Abschlussbericht zum Verbundvorhaben

Begleitforschung zum kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen: Chancen und Risiken beim kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen, Technologiefolgenabschätzung für eine Schlüsseltechnologie in der Durchbruchphase der Elektromobilität

im Rahmen des FuE-Programms
"Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität"

Oktober 2011

Kurztitel: JustPark

Gefördert durch das:

Projektpartner: Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg
Kiefermedia GmbH

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Projektlaufzeit: 01.10.2010 – 30.09.2011

Erneuerbar mobil

FuE-Programm "Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Gemeinsamer Abschlussbericht

Vorhabenbezeichnung:
Begleitforschung zum kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen: Chancen und Risiken beim kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen, Technologiefolgenabschätzung für eine Schlüsseltechnologie in der Durchbruchphase der Elektromobilität - JustPark

Laufzeit des Vorhabens:

vom: 01.10.2010 ..... bis: 30.09.2011.....

Zuwendungsempfänger: (Auflistung aller Verbundpartner)	Förderkennzeichen: (FKZ´s entsprechend der links angegebenen Verbundpartner)
Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg	16EM0090
Kiefermedia GmbH	16EM0089

Das Dokument ist für das Lesen am Bildschirm mit aktiven Endnoten (als Pop-Up, Mauszeiger über rechteckig gerahmte Nummerierung führen) angelegt. Die Links im Endnotenverzeichnis sind ebenfalls aktiv. So ist der Nutzwert am Bildschirm wesentlich höher als in Papierform.

Inhalt

1 Executive Summary 5

1.1 Szenario ab 2015 6
1.2 Szenario ab 2020: 7
1.3 Ressourceneffizienz Gesamtsystem 10
1.3.1 Kabelloses Laden nach der deutschen Anwendungsregel 10
1.3.2 Langsames Laden = mehr Netz- und Kraftwerkskapazität = mehr Ressourceneffizienz 18
1.3.3 Unsichtbares Laden = weniger Betriebskosten aufgrund von Vandalismus, Diebstahl und Verschleiß = höhere Produktlebenserwartung = mehr Ressourceneffizienz 24
1.3.4 Unsichtbares Laden = barrierefreies Laden = weniger Unfallkosten 28
1.3.5 Kabelloses Laden = automatisches Laden = gesteuertes Laden = mehr Batterie-, Netz- und Kraftwerkkapazität = mehr Ressourceneffizienz 30
1.3.6 Unsichtbares Laden = weniger Denkmalschutzauflagen= mehr VerbreitungsPotential = mehr Ressourceneffizienz 37
1.3.7 Kabelloses Laden = hygienischeres Laden = mehr Akzeptanz = schnellere Verbreitung der Elektromobilität 39

2 Zielstellung des Verbundprojektes 42

2.1 Gesamtziel des Verbundes 42
2.2 Aufgaben der einzelnen Partner 43
2.2.1 Teilbericht ifak, Institut für Automation und Kommunikation e.V. 44
2.2.2 Teilbericht OvGU, Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb (IAF) 45
2.2.3 Teilbericht RWTH, Institut für Städtebau- und Landesplanung (ISL) 47
2.2.4 Bisherige Arbeiten der Antragsteller 48

3 Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojektes 49

3.1 Automatisches, netzfreundliches Laden 50
3.1.1 Schnellladen ist keine Option, gesteuertes Laden beim Arbeitgeber schon, vor allem für Laternenparker 51
3.1.2 Slow Charging, der neue Trend aus LA: Langsam laden als Gewinn für Umwelt und Gesellschaft 52
3.1.3 Verfügbarkeit für das Flottenmanagement 95
3.2 Automatisches, batteriefreundliches Laden 101
3.2.1 Die Geschichte wiederholt sich immer: Plausibilität der Batteriepreisdegression 101
3.2.2 Schnell laden erreicht niemals 100 % SOC bzw. erreicht 100 % niemals schnell - und ist niemals schnell genug 129
3.2.3 Batteriefreundlich laden bringt nach 10 Jahren mindestens 10 % mehr Restkapazität und -wert 136
3.2.4 Das Zweitleben der Batterie ist ihr eigentliches Leben: Je höher der Restwert, desto geringer die Leasingrate im Fahrzeug 138
3.3 Automatisches, nutzerfreundliches Laden 141
3.3.1 Korrelation konduktiv – induktiv anhand Nutzerfreundlichkeit 142
3.3.2 Strukturkomponenten induktiver und konduktiver Systeme 144
3.3.3 Verschleißfreies Laden mit geringeren Ausfallzeiten und Ersatzteilkosten 147
3.3.4 Kommunikation 149
3.3.5 Wirkungsgraddifferenz 150
3.3.6 EMV/-EMF-Differenz 152
3.3.7 Laden ohne Berührkontakt: Hinsichtlich Berührschutz eigensicheres Laden 155
3.3.8 Akustikdifferenz 157
3.3.9 Analyse des Ladeverhaltens der Nutzer 159
3.3.10 Parkassistenzsysteme/automatisches Fahren und induktives Laden von EFZ 206
3.3.11 Zusammenfassung 219
3.4 Automatisches, unsichtbares Laden 222

3.4.1 Aussicht auf einen weltweit einheitlichen Standard ... 223
3.4.2 Barrierefreies Laden ... 226
3.4.3 Laden ohne Berührkontakt: kein Gefahrenpotential ... 229
3.4.4 Keine visuellen Beeinträchtigungen für Denkmalschutz, Stadtplanung ... 230
3.4.5 Weniger Diebstahl: keine Gelegenheit und Exposition ... 256
3.4.6 Weniger Vandalismus: keine Angriffsfläche und Provokation ... 260
3.5 Stand der kabellosen Ladetechnologien ... 268
3.6 Megatrend Wireless ... 272
4 Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan ... 275
5 Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik ... 275
5.1 Stand der Technik ... 275
6 Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf ... 276
7 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des BMU ... 276
8 Methodik ... 278
8.1 Datenerhebung durch Zuspieler aus verschiedenen Disziplinen ... 279
8.1.1 Zuspieler Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (IAF) ... 279
8.1.2 Zuspieler ifak e.V. Magdeburg ... 280
8.1.3 Zuspieler Kiefermedia GmbH ... 281
8.1.4 Zuspieler RWTH Aachen (ISL) ... 285
8.2 Kommentierung des Szenarienmodells, Schlussbericht ... 286
8.3 Das JustPark-Wiki ... 287
8.4 Das JustPark Szenarienmodell ... 288
8.4.1 Ausgangslage und Zielstellung ... 288
8.4.2 Literaturrecherche, Stand der Wissenschaft und Technik ... 289
8.4.3 Anforderungen an das Modell ... 294
8.4.4 Methodik ... 297
8.4.5 Anwendung der im Vorhaben erarbeiteten Methodik zur Wirkungsabschätzung verschiedener Ladetechnologien auf die Verbreitung der Elektromobilität ... 322
9 Anhang ... 335
9.1 Anhang ifak ... 335
9.1.1 Durchgeführte Befragungen und Interviews ... 335
9.1.2 Fragenschwerpunkte: ... 335
9.1.3 Interviews mit industriellen Herstellern und Anwendern induktiver Energieübertragungssysteme ... 336
9.1.4 Interview mit Anwendern und Instandhaltungsverantwortlichen aus dem Bereich des Automobilbaus als typischen Anwendungsbereich kontaktlos-induktiver Energieübertragungssysteme ... 336
9.2 Anhang Universität Magdeburg ... 337
9.2.1 Interviewleitfaden für die Befragung auf der HMI: ... 337
9.2.2 Screenshots der Internetbefragung zum Nutzerverhalten beim Umgang mit Mobilgeräten und EFZ ... 339
9.3 Anhang ISL, RWTH Aachen ... 350
9.3.1 Frage 1. Wieviele Ladestationen im öffentlichen Raum sind im Stadtgebiet vorhanden bzw. bereits geplant? ... 351
9.3.2 Frage 2. Wieviele Ladestationen im öffentlichen Raum können im Stadtgebiet nach Ihrer Einschätzung realisiert werden? ... 351
9.3.3 Frage 3. Von wem wird in Ihrer Verwaltung das Thema „Elektromobilität - Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum“ federführend bearbeitet? ... 352
9.3.4 Frage 4. Wie würden Sie Ihre Beteiligung in Bezug auf Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum beschreiben? ... 353
9.3.5 Frage 5. Sind beim Aufbau von konduktiven Ladestationen für Elektroautos bisher Konflikte aufgetreten? ... 353
9.3.6 Frage 6. Erwarten Sie in Zukunft bei einem Ausbau der Ladeinfrastruktur Probleme? ... 354

9.3.7 Frage 7. Sind die Kommunen bisher bei der strategischen Standortwahl für Ladestationen beteiligt worden? ... 355
9.3.8 Frage 8. Brauchen Kommunen Steuerungsinstrumente für den Aufbau von Ladeinfrastruktur? ... 356
9.3.9 Frage 9. Wer wird im Rahmen der Genehmigung von Ladestationen im öffentlichen Raum immer beteiligt? ... 357
9.3.10 Frage 10. Wer wird im Rahmen der Genehmigung von Ladestationen im öffentlichen Raum gegebenenfalls zusätzlich beteiligt? ... 358
9.3.11 Frage 11. Welche der folgenden allgemeinen stadtplanerischen Ziele werden in Ihrer Kommune verfolgt? ... 359
9.3.12 Frage 12. Welche der folgenden strategischen Ziele werden in Ihrer Kommune im Hinblick auf die Gestaltung des öffentlichen Raums verfolgt? ... 360
9.3.13 Frage 13. Wie schätzen Sie die Parkplatzsituation im Stadtgebiet ein? ... 361
9.3.14 Frage 14. Wieviele öffentlich zugängliche Parkplätze gibt es im Stadtgebiet? ... 362
9.3.15 Frage 15. Gibt es Parkplätze im öffentlichen Raum in denkmalgeschützten Bereichen? ... 363
9.3.16 Frage 16. Sind Flächen mit Mehrfachnutzungen vorhanden ? ... 363
9.3.17 Frage 17. Gibt es Bewohnerparkzonen im Stadtgebiet? ... 364
9.4 Anhang Kiefermedia: Das LA-Supplement ... 365
9.5 Abkürzungen ... 367
9.6 Abbildungsverzeichnis ... 368
9.7 Tabellenverzeichnis ... 374
9.8 Literaturverzeichnis ... 380
9.8.1 Dokumentationen, Studien ... 380
9.8.2 Einzelbeiträge, Presseartikel ... 404
9.8.3 Links ... 406
9.8.4 Rechtsgrundlagen ... 409
9.9 Endnoten / Fundstellen ... 410

1 EXECUTIVE SUMMARY

Die Akzeptanz für die Elektromobilität hängt in einem hohen Maße vom Nutzungskomfort ab, insbesondere beim Laden der Energiespeicher. Im Gegensatz zum herkömmlichen Laden mit Kabel und Stecker kann das kabellose Laden auf der Basis der induktiven Energieübertragung deutliche Vorteile in Fragen der Sicherheit und des Komforts bieten. In diesem Begleitforschungsprojekt zum FuE-Programm „Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität“ (BMU) wurden u.a. mithilfe eines Szenarienmodells die Einflussfaktoren der Technologiefolgen, auch in ihrer komplexen wechselseitigen Abhängigkeit transparent dargestellt. Ein weiteres Ziel war die Flankierung entsprechender Forschungsprojekte zum Thema der kabellosen Ladetechnologie.

Insgesamt können die erzielten Werte bei Wirkungsgrad, Bauraum, Gewicht und Kosten 2 Jahre nach der konstituierenden Sitzung des Arbeitskreises zum kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen als sehr vielversprechend eingestuft werden. Es handelt sich hier immerhin um eine grundlegend neue Spezifikation von Parametern, bei der die Hersteller kaum auf Erfahrungswerte, z. B. aus dem Anlagenbau, zurückgreifen konnten.

Gleichzeitig erlaubte der erreichte Technologiestand noch keine ausreichend belastbaren Aussagen, z. B. zu Fläche, Bauhöhe und Mehrgewicht der Spule oder gar ein Benchmarking der Systeme mittels einer für alle nivellierten, wiederholgenauen Vergleichsplattform. Dieses Assessment bleibt Anschlussprojekten sowohl auf der Technologieentwicklungs- als auch auf der Begleitforschungsseite vorbehalten.

Für die Marktforschung ist bei einem solchen eher undefinierten Schwebezustand in der Gegenwart der Trend in die Zukunft entscheidend. Hier bleibt zum Wirkungsgrad als Zwischenstand nur festzuhalten, dass die erreichten Werte letztendlich annähernd auf eine Verdopplung des bisherigen Stands der Technik hinauslaufen. Dabei konnte bis zum Ende der Projekte insgesamt eher nur von einer Sensibilisierung für die Wirkungsgradfaktoren gesprochen werden als von einer systematischen Optimierung. Dort steht man fast noch ganz am Anfang. Damit ist aber auch das vorhandene Potential aufgezeigt.

Die gesamte Situation ist durchaus typisch für vorgewerbliche, ergebnisoffene Grundlagenforschung. Entscheidend sind für die Bestandsaufnahme durch die Begleitforschung nicht nur die erreichten Technologiestände, sondern auch die vorgelebten Entwicklungsprozesse in den einzelnen Häusern, insbesondere hinsichtlich Robustheit und Tempo. Die vorgelegte Methodik der konzertierten Entwicklungsprojekte, begleitet durch die nationale und internationale Normungsarbeit ist als Erfolgsgeschichte zu werten.

Angesichts der Entwicklung, welche vergleichbare Technologiemodule wie z. B Photovoltaik-Wechselrichter in den letzten Jahren durchschritten haben [1], besteht kein Zweifel daran, dass die resonante Induktionsladung hinsichtlich Wirkungsgrad und Kosten in 20 Jahren nicht nur wettbewerbsfähig, sondern auch wettbewerbsführend sein wird.

Geringfügige Nachteile beim technischen Wirkungsgrad der Energieübertragung werden durch die systemischen Kompensationseffekte der existentiell notwendigen Netzstabilisierung und Batterielebensdauererhöhung mehr als ausgeglichen. Es zeichnet sich hier nicht weniger als ein für die Energiewende unverzichtbarer Technologiebaustein ab.

Während man beim kabellosen Laden lediglich von unternehmerischen Risiken im Zusammenhang mit Mehrwertdiensten zum Smart Grid sprechen kann, reden die einzig gerichtsfesten Unterlagen zum kabelgebundenen Laden ganz unumwunden von Risiken für Leib und Leben.

Beispielhaft sei hier die Bedienungsanleitung des Nissan Leaf in den USA genannt, die davor warnt, den Stecker mit feuchten Händen anzufassen oder beim Laden in einer Pfütze oder im Schnee zu stehen. Ferner dürfe nicht geladen werden, wenn sich Wasser in der Ladebuchse befände. Das alles könne zu Kurzschluss, Feuer, Verletzungen oder Tod führen. Dagegen könne man ruhig den Haarfön benutzen, um Eis in der Ladebuchse aufzutauen 2. Wohlgemerkt: Wir sprechen hier von einem Serienprodukt, das allein in den USA bisher 7.500 Käufer gefunden hat.

Spätestens durch diesen konkreten Reality Check wird deutlich, mit welchen kaum je bezifferbaren Sicherheitsvorteilen das kabellose Laden systembedingt und nicht nur wirkprinzipbedingt aufwartet. Mit dem Wirkprinzip der Energieübertragung über das elektromagnetische Feld ist eine galvanische Trennung von Fahrzeug und Stromnetz verbunden. Viele extrem kostentreibende Absicherungsmaßnahmen der konduktiven Welt können in der induktiven somit entfallen.

Vor allem aber ist der Nutzer aufgrund des berührungslosen, kontaktfreien und automatischen Ablaufs ohne manuelle Eingriffe, ohne Disziplinanforderungen und ohne jede Art von hinderlichen Objekten im allgemein zugänglichen Umfeld komplett auf der sichern Seite. Wie viel ist uns das wohl angesichts von jährlich etwa 60 Stromschlagtoten und 3 Millionen Stolperunfällen allein in Deutschland wert?

1.1 Szenario ab 2015

Im Vergleich zum kabelgebundenen ist das kabellose Laden ab ca. 2015 hinsichtlich des Wirkungsgrads ebenbürtig. Der heute schon im Schnitt erreichte Wirkungsgrad der resonanten Induktionsladung von 90 % wird sich bis 2015 auf eine Größenordnung 95 % steigern lassen, da in diesen Anfangsjahren der noch jungen Technologie mit einer steilen Lernkurve zu rechnen ist.

Die entsprechenden leistungselektronischen Halbleiter, Litzenmaterialien, Topologien und Systemarchitekturen für die benötigten, höheren Frequenzen werden bis 2015 zunehmend identifiziert und allmählich auch benutzt. Das ist heute durchweg noch nicht der Fall, aber das Potential wurde in jüngster Zeit richtig deutlich.

Zur Wirkungsgradbetrachtung gehört nicht nur der reine Ladewirkungsgrad, sondern der gesamte Systemwirkungsgrad. Dieser verbessert sich durch das nutzer-, netz- und batteriefreundliche, kabellose Laden mit geringer Ladeleistung und Ladedauer aufgrund hoher, steuerbarer Regelmäßigkeit sowie Automatisierbarkeit des Ladeprozesses.

Mit Hilfe von Parkassistenzsystemen wird die Kopplung der Spulen ab 2015 millimetergenau und vollautomatisch gelingen.

Ab einem Zeitfenster um 2015 wird die Umständlichkeit des Ladevorgangs die Reichweitenangst als Kaufhinderungsgrund für Elektrofahrzeuge ablösen. Ab dann wird das kabellose Laden wesentlich zur Verbreitung der Elektromobilität beitragen:

- Schon heute ist der Ladevorgang der zweitwichtigste „Deal Breaker“. Das stand zwar schon immer so in den Studien, wurde aber im Gegensatz zur Reichweite kaum aufgegriffen.
- Die Ladeproblematik wurde bisher als unumgänglich akzeptiert, die Reichweitenproblematik nicht.
- Die Reichweiten nehmen schneller als erwartet zu und beim Laden steht mit „kabellos“ eine Option für Kaufinteressenten ab 2013 bevor.
- Die Verbraucher lernen schnell wie viel Reichweite sie brauchen und für welches Fahrprofil sich Elektrofahrzeuge eignen. Auch dadurch schrumpft die Reichweitendiskussion.
- Nachteile des Ladekabels wie Kosten aufgrund von Vandalismus, Diebstahl, Verschmutzung und Verschleiß rücken mit zunehmender Verbreitung und Erfahrung mehr in das Bewusstsein.

Langsam Laden genügt ab 2015 nicht nur, sondern ist vor dem Hintergrund der Energiewende und ohnehin schon seit Jahren steigender Netzbelastung als reguläres Standardladen dringend geboten. Damit erhöht sich auch die Wettbewerbsfähigkeit des kabellosen Langsamladens nach der deutschen Anwendungsregel mit 3,3 kW Ladeleistung (Haushaltssteckdose):

- Pendlermobile und Fuhrparkfahrzeuge sind ein ausreichend großer Markt für die nächsten 10 Jahre, fahren planbare Touren und bleiben mit ihrer Tagesfahrleistung weit unter den heute schon möglichen Reichweiten. Das kabellose Langsamladen passt sehr gut zu diesen Fahrprofilen. Wenn man dieses Markteintrittssegment sich nach den Gesetzen des Marktes entwickeln lässt, dann wird Schnellladen in diesem Fahrprofil und Zeitraum nicht gebraucht.
- Ohne die Fokussierung auf technologiegerechte Fahrprofile und netzkonforme Ladestrategien ist ein ökonomisch und ökologisch effizienter Einstieg in die Elektromobiliät nicht möglich. Universallösungen sind zu teuer. Das Elektrofahrzeug muss nicht gleich alles können. Das kabellose Laden auch nicht. Wer das dennoch fordert, will die Elektromobilität eher verhindern als fördern.
- Diese Art von Fokus-Einstieg erlaubt hingegen die Ausschöpfung von Kostendegressionspotentialen in der Batterie-, Lade- und Fahrzeugtechnik, bevor der Massenmarkt erschlossen wird. Das kabellose Laden hat als sehr junge Langsamladetechnologie noch die gesamte Kostendegressionskurve vor sich.
- Kabelloses und somit vollautomatisiertes Langsamladen kann sich zusammen mit entsprechenden Fahrzeugflotten ab 2015 über Systemdienstleistungen zur Netzstabilisierung selbst finanzieren, wenn die Politik die dafür einzig notwendige Rahmenbedingung schafft, nämlich lastvariable Stromtarife in Echtzeit, minutenaktuell.

1.2 Szenario ab 2020:

Im Vergleich zum kabelgebundenen ist das kabellose Laden ab ca. 2020 überlegen hinsichtlich Wirkungsgrad, Bauraum, Gewicht und Kosten, wenn man dafür den Entfall des Onboard-Laders ansetzt, das Elektrofahrzeug also konsequent auf das kabellose Laden als Standardladen auslegt.

Diese Autos könnten dann zur Not immer noch über ein Ladekabel mit In-Cable-Box an AC-Haushaltssteckdosen oder bei entsprechender Ladebuchse an DC-Schnellladesäulen geladen werden.

Der Wegfall des Onboard-Laders wiegt das Mehrgewicht der Fahrzeugspule auf. Die mit ihm entfallenden Wandlungs- und Leitungsverluste sind größer als die Übertragungsverluste, die das Induktionsladen über eine optimierte Energiekette und den Luftspalt bis dahin mit sich bringt.

Halbleiter und weitere leistungselektronische Komponenten, die es heute nur als Labormuster gibt, werden im Zeitfenster von 2020 bereits Massenware sein. Materialforschung und –integration zu den Spulen, die heute noch ganz am Anfang steht, wird bis dahin mit hochintegrierten Verbundlösungen aufwarten, die auch den Anforderungen des Leichtbaus genügen.

Kabelloses Langsamladen, finanziert über Geschäftsmodelle mit lastvariablen Stromtarifen, übernimmt eine Scharnierfunktion bei der Systemintegration nachhaltig ausgelegter Elektromobilität, gekennzeichnet vom Wegfall großer Kostenblöcke. Insbesondere können Subventionen entfallen wie z. B. für Pendlerpauschale, Elektrofahrzeugneuwagenkauf, Elektrofahrzeugsteuerbefreiung und öffentliche Ladeinfrastruktur, aber z. B. auch für die Erhöhung von volatilem Eigenverbrauchs- und Grünstromanteil an Ladeströmen.

Die Automatisierung des Ladens eröffnet das Potential, sowohl die Ladetechnologie als auch die Elektrofahrzeuge nach Marktgesetzen finanzierbar zu machen. Dazu muss lediglich die Strompreisbildung marktkonformer und börsennäher erfolgen, die Strompreisstaffelung breiter gespreizt sein, inkl. negativer Strompreise. So kann das Makeln mit Strom für das parkende Auto zum zweiten Geschäftszweck werden. Für das Fahren allein ist die Batterie zu teuer. Nicht, weil die Reichweite dafür zu gering wäre, sondern weil im Gegenteil die verfügbare Reichweite zu selten genutzt wird, das Fahrzeug also in der Regel zu wenig ausgelastet ist.

Das automatisierte Laden macht aus dem Stehzeug ein Werkzeug der Netzstabilisierung, mittelfristig zunächst durch Bereitstellung negativer Regelkapazität, d. h. die Abnahme von Überschussstrom, mit der Schwarmintelligenz von Elektrofahrzeugflotten. Langfristig dann auch durch positive Regelkapazität, also durch Rückspeisung. Die dafür entscheidende Verfügbarkeit am Netz garantiert das kabellose Laden. Wohlgemerkt: Am Kapazitätsmarkt wird allein schon die Verfügbarkeit honoriert, auch ohne jegliche Stromumsätze.

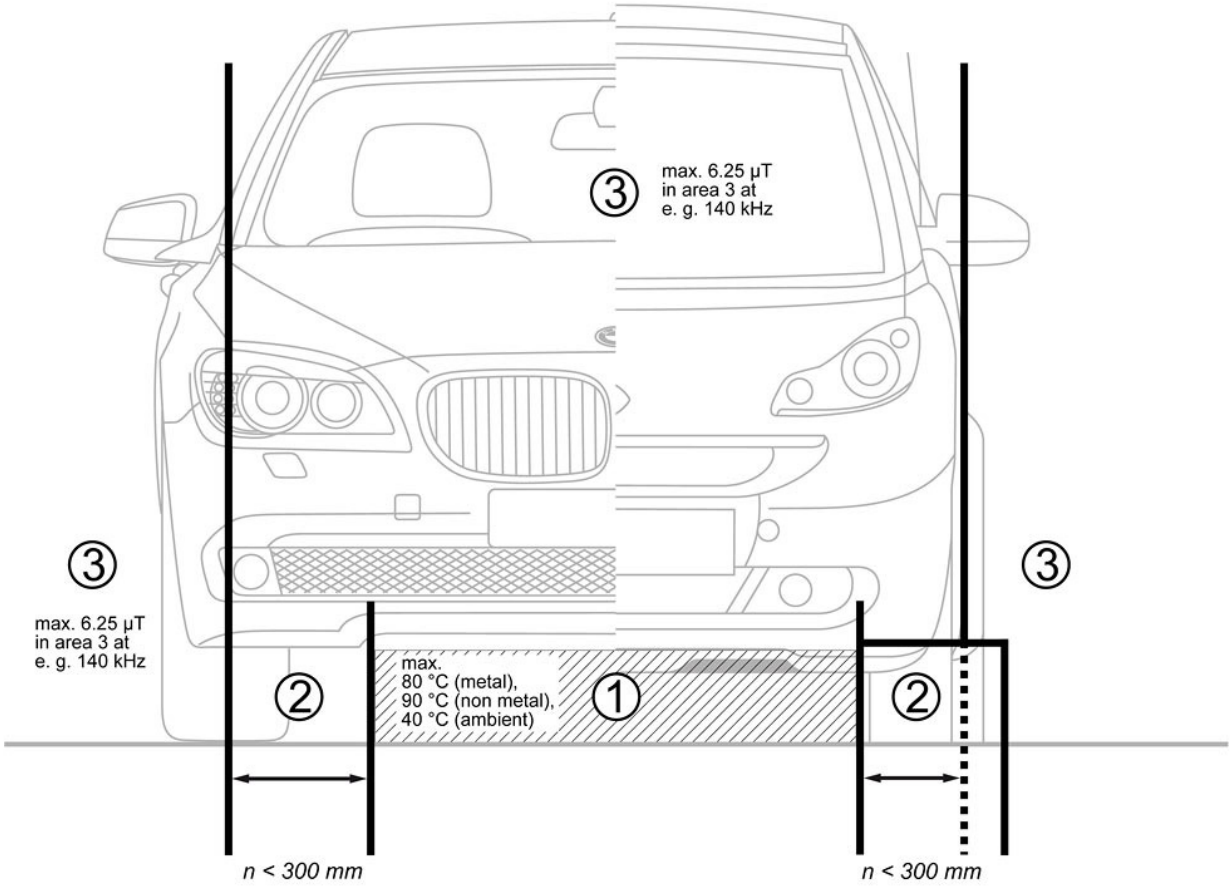
In diesem Zusammenhang liegen gleichzeitig die größten Chancen und Risiken des Kabellosladens. Er verdient daher auch eine weiter vertiefte Betrachtung, zumal die Stromwirtschaft kein Schwerpunkt dieses Berichts sein konnte. Darüber hinaus verdient der Zusammenhang weitere Untersuchung unter Alltagsbedingungen in einem entsprechenden Feldtest.

Abb. 1: Audi Urban Concept auf der IAA 2011 mit publikumswirksamer Thematisierung des kabellosen Ladens im Zentrum der Präsentation: herausgezogenene Karosserieverkleidung für ausreichend große Ladefläche am Unterboden - das erste Fahrzeug auf Basis der deutschen Anwendungsregel (SEW)

1.3 Ressourceneffizienz Gesamtsystem

1.3.1 Kabelloses Laden nach der deutschen Anwendungsregel

1.3.1.1 Eckpunkte der deutschen Anwendungsregel: das Parameter-Set



Tab. 1: Schutzziele des kabellosen Ladens nach der deutschen Anwendungsregel: Das Feld (1) bleibt trotz der Leistung von 3,3 kW so schwach, dass sich keine Gegenstände unter dem Auto erhitzen, und ringsherum (3) strengste Empfehlungen für Felder unterschritten werden (GAK 353.0.1)

Die Begleitforschung zum kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen begleitet eine ganz konkrete Art von kabellosem Laden bei ganz konkreten Fahrzeugherstellern in 3 Technologieversuchen im Rahmen des Konjunkturpakets II der Bundesregierung 3:

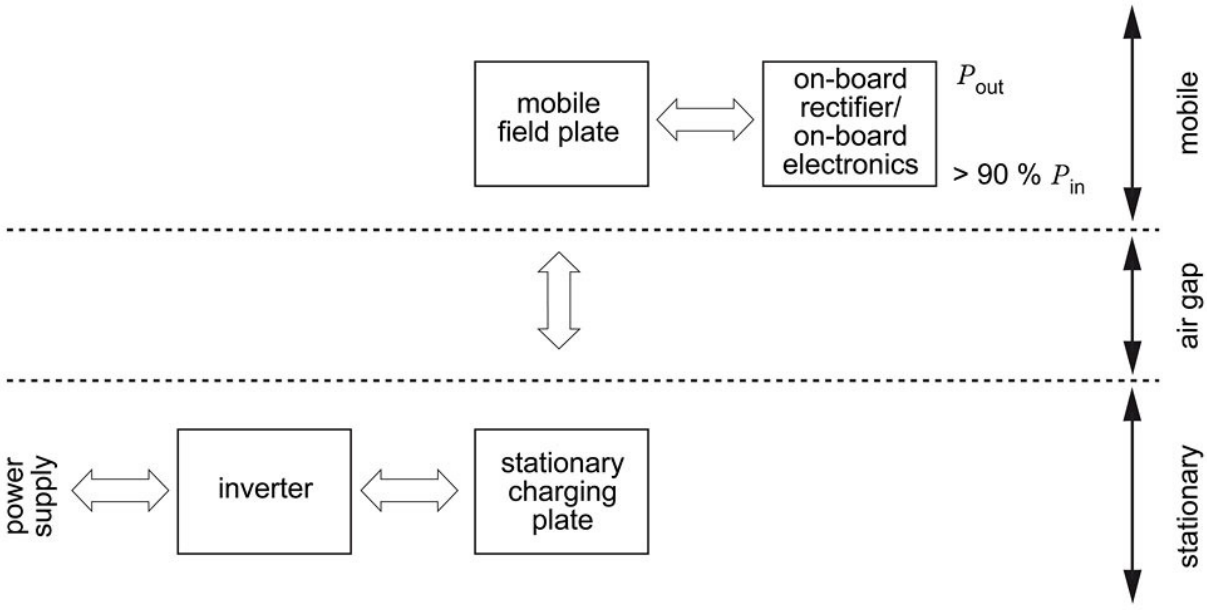
- Kabelloses Laden von Elektrofahrzeugen W-Charge, Partner:
  - Fraunhofer IWES (Kassel),
  - Audi Electronics Venture GmbH (Ingolstadt),
  - Paul Vahle GmbH & Co. KG (Kamen),
  - VW AG (Wolfsburg)
- Kontaktloses Laden von batterieelektrischen Fahrzeugen IndiOn, Partner:
  - Siemens AG (München),
  - Bayerische Motoren Werke AG (München
- Kontaktloses Laden von Elektrofahrzeugen Conductix, Partner:
  - Conductix-Wampfler AG (Weil am Rhein),

- Daimler AG (Sindelfingen)

Diese Unternehmen hatten zusammen mit weiteren am 26.08.2009 die Gründung eines gemeinsamen VDA/VDE DKE-Arbeitskreises (GAK 353.0.1) zur Formulierung einer Anwendungsregel für das kontaktlose Laden von Elektrofahrzeugen beschlossen. Eingeladen hatte das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit über die VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.

In den ersten Arbeitskreissitzungen wurden die verschiedenen Technologieparameter einer eingehenden Prüfung unterzogen und vereinbart:

- Ziele des zu findenden Technologiestandards (höchstmöglicher Wirkungsgrad und Schutz von Mensch, Tier und Sachwerten; höchstmögliche Nutzer-, Netz-, und Batteriefreundlichkeit; geringstmögliche Enwicklungs, Anschaffungs-, und Betriebskosten; langfristige Skalierbarkeit auf Volumenmarktgröße durch systemimmanente Kostendegressionspotentiale und Smart-Grid-Konformität; weitestgehende Interoperabilität, zumindest aber Kompatibilität innerhalb jeder Fahrzeugklasse)
- Art der kontaktlosen Energieübertragung (z. B. kapazitiv, Laser, Mikrowelle, resonante Induktion) und Leistung als Folge vorgenannter Ziele.
- Als Folge von Zielen, Art und Leistung dann die Ausdehnung und entsprechende Position der stromeinspeisenden Spule auf der Parkfläche und der stromabnehmenden am Fahrzeug (seitlich, ober- oder unterhalb, vorne oder hinten am Fahrzeug).
- Weitere Details zur Interoperabilität auf Basis der vorgenannten Parameter (Frequenz, Kommunikation, Systemtopologie, übergeordnete Systemarchitektur und elektromagnetisches Feld als möglichst einzige Schnittstelle).

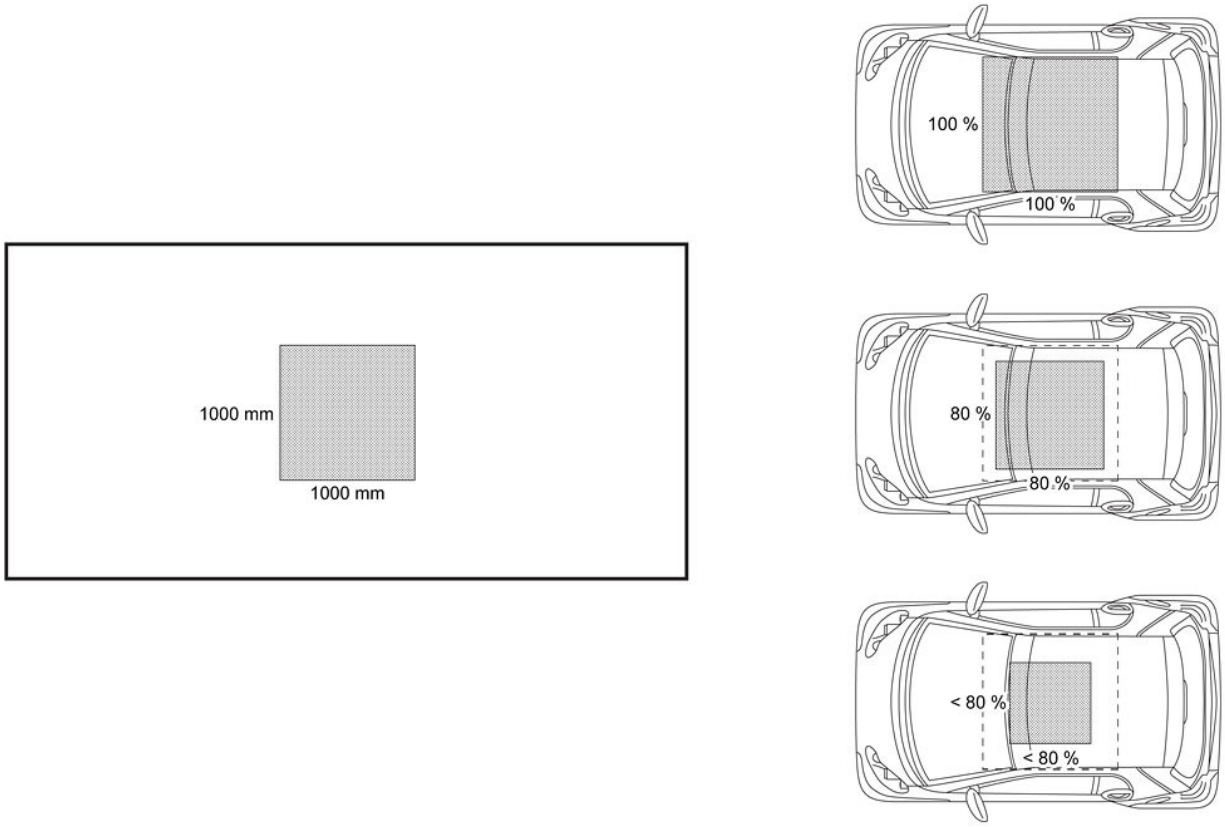


Tab. 2: Neben den Schutzzielen ist der Ladewirkungsgrad von über 90 % der zweite wichtige Parameter für das Systemlayout nach der deutschen Anwendungsregel (GAK 353.0.1)

Kabelloses Laden ist nach der deutschen Anwendungsregel gekennzeichnet von 3,3 kW-Ladeleistung (Schuko-Steckdose). Damit ist der Ladevorgang in das Netz integrierbar wie jeder andere alltagsübliche Verbraucher. Das senkt die Markteintrittshürden, z. B. in Form der Anschaffungs-, Installations-, und Folgekosten (Netzrückkopplung, Batteriedegradation).

Ferner verbindet sich das Fahrzeug, unabhängig von eventuellem Ladebedarf, bei Beginn des Parkvorgangs automatisch, also ohne Bedienereingriff, mit dem Energienetz. Je nach Netzintelligenz (Smart Grid-Ausbaustufe) kann dann der Ladevorgang auch ohne weiteren Bedienereingriff vom Netzmanagement gesteuert werden.

Der Nutzer liefert dazu nur die Voreinstellungen (Mindestkapazität zu bestimmten Zeitpunkten, Bevorzugung von Grünstrom oder reduzierten Tarifen usw.). Die relativ geringe Ladeleistung prädestiniert das kabellose Laden für Ladevorgänge, bei denen die Ladedauer zweitrangig ist. Dies ist in der Regel nachts, zuhause oder auf dem Mitarbeiterparkplatz der Fall, also immer, wenn das Fahrzeug länger steht.



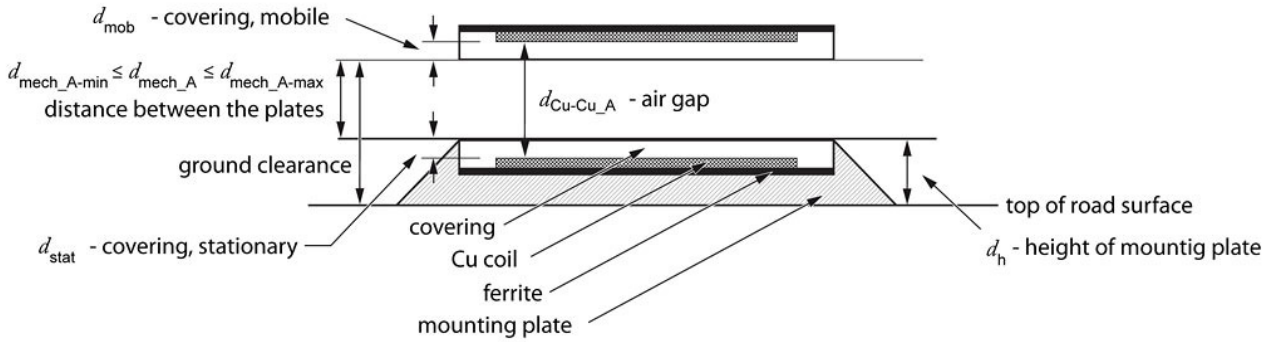
Tab. 3: Aus Schutzzielen (inkl. Leistung) und Wirkungsgrad (vorige Abbildungen) ergibt sich physikalisch zwingend das resonante Induktionsladen als Technologiegattung und die recht große Übertragungsfläche mittig unter dem Auto, höchstens auf der Fahrzeugseite mit Verkleinerungen (GAK 353.0.1)

Das kabellose Laden ist nach der deutschen Anwendungsregel vollkommen unsichtbar installierbar. Die Einspeiselektronik und die stromübertragende Spule können unter der Parkplatzoberfläche installiert sein. Die Bedienung kann am besten komplett über ein Smartphone erfolgen.

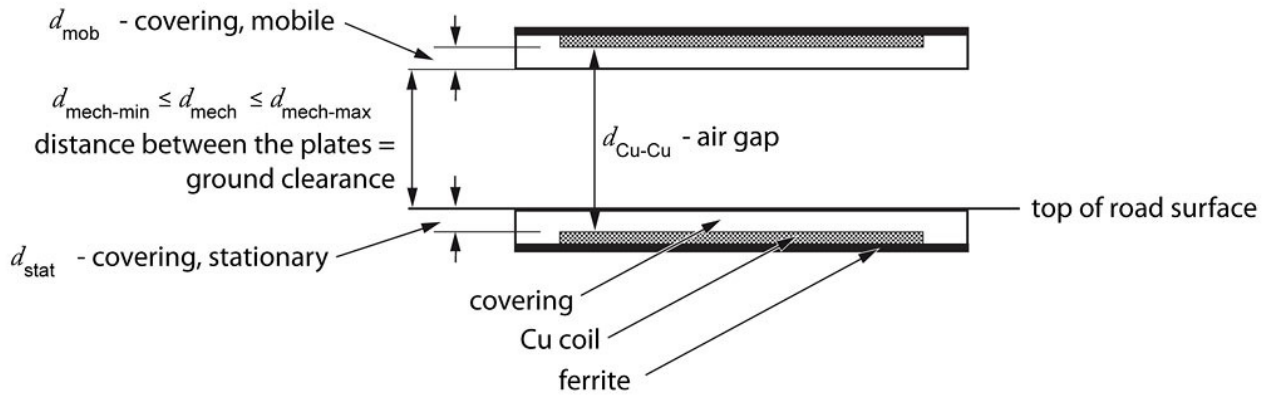
Die stromabnehmende Spule kann entsprechend hinter der Verkleidung des Fahrzeugunterbodens integriert sein. Diese Installationsart schützt auf beiden Seiten vor Vandalismus, Diebstahl, Verschmutzung und Verschleiß. Ein Systemdesign, das in der deutschen Anwendungsregel mit Bedacht so ausgelegt wurde, um die Betriebskosten zu senken.

Anschaffungs- und Unterhaltskosten des kabellosen Ladens sollten auch durch eine weitere Ausprägungsform in der deutschen Anwendungsregel gesenkt werden: Es gibt keine beweglichen Teile. Das senkt zunächst die Kosten in der Produktentwicklung und –herstellung, weil folgende Arbeitspakete entfallen:

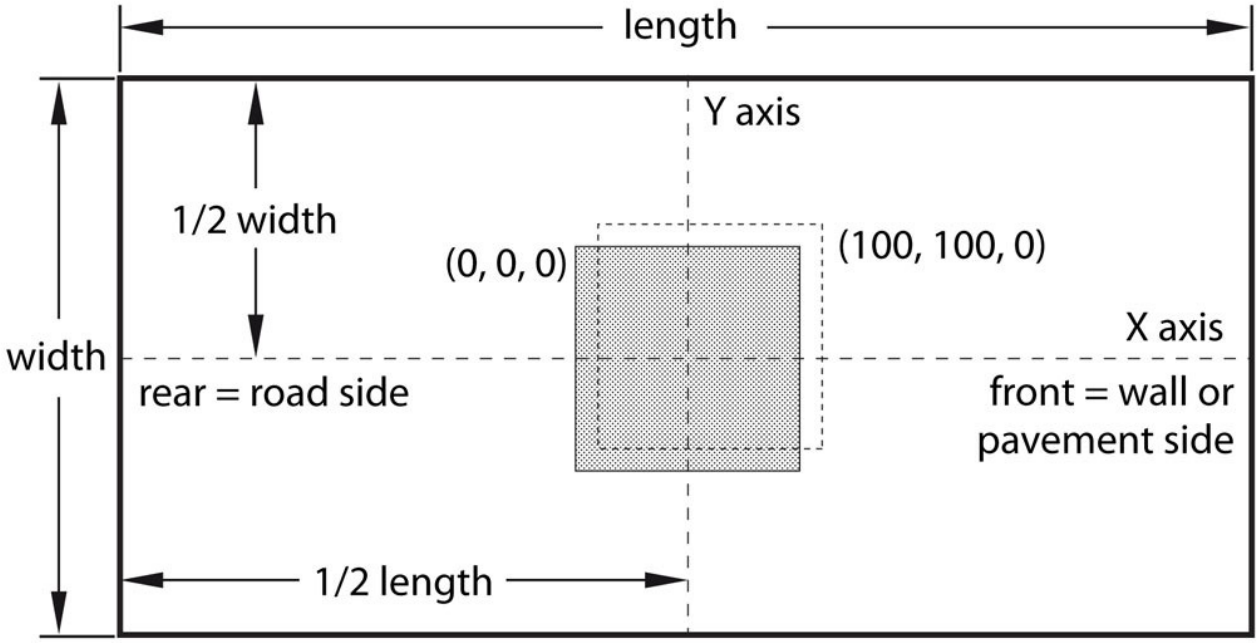
- Versicherung und Absicherung von Einklemmschutz,
- Aktuatorik und Steuerung für Verstellfunktion
- Genehmigung und Zulassung von Fahrzeuganbauten
- Im Betrieb entfallen mit den beweglichen Teilen ebenfalls ganze Kostenblöcke:
- Verschleiß-, Prüfungs- und Wartungskosten
- Qualitätssicherungs-, Garantie- und Ausfallkosten
- Überwachungs- und Prüfzykluskosten



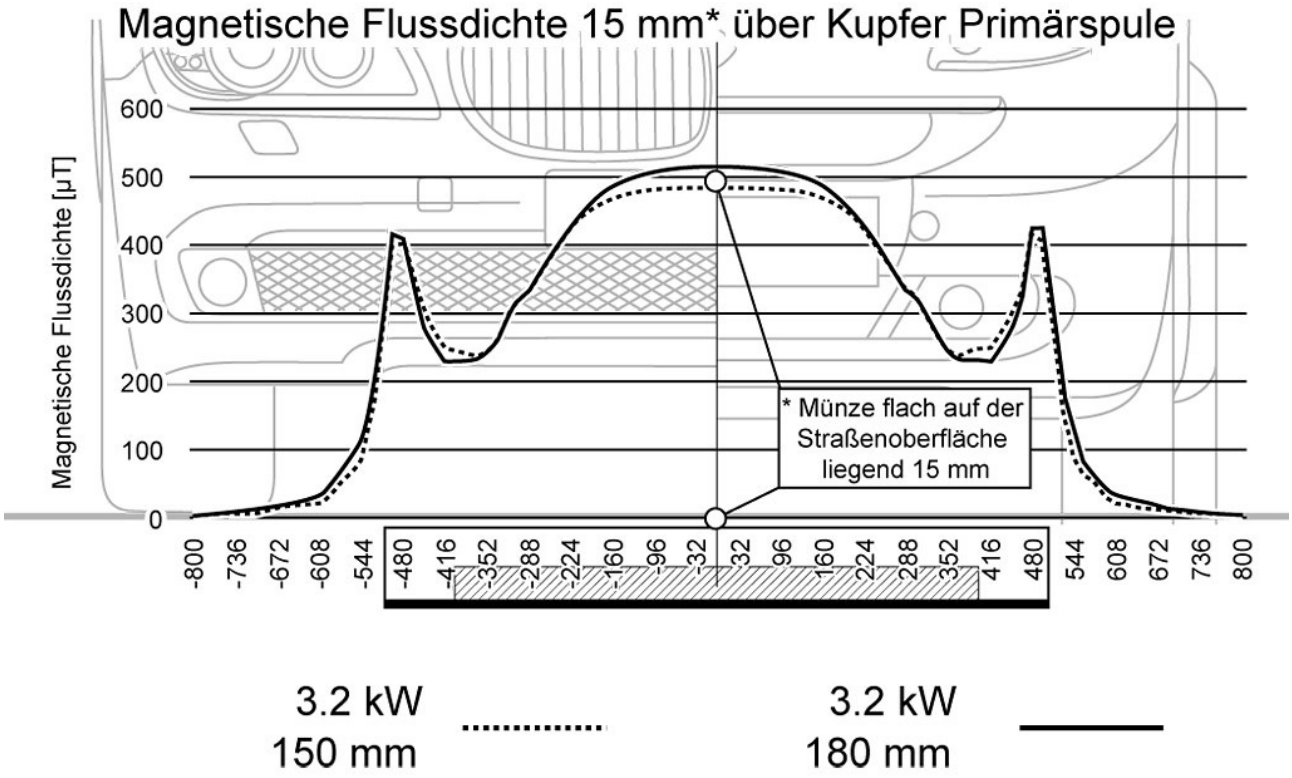
Tab. 4: Überflurinstallation mit Mindestabstand von 50 mm und Maximalabstand 120 mm zwischen Oberfläche Spulengehäuse und Fahrzeugunterboden (GAK 353.0.1)



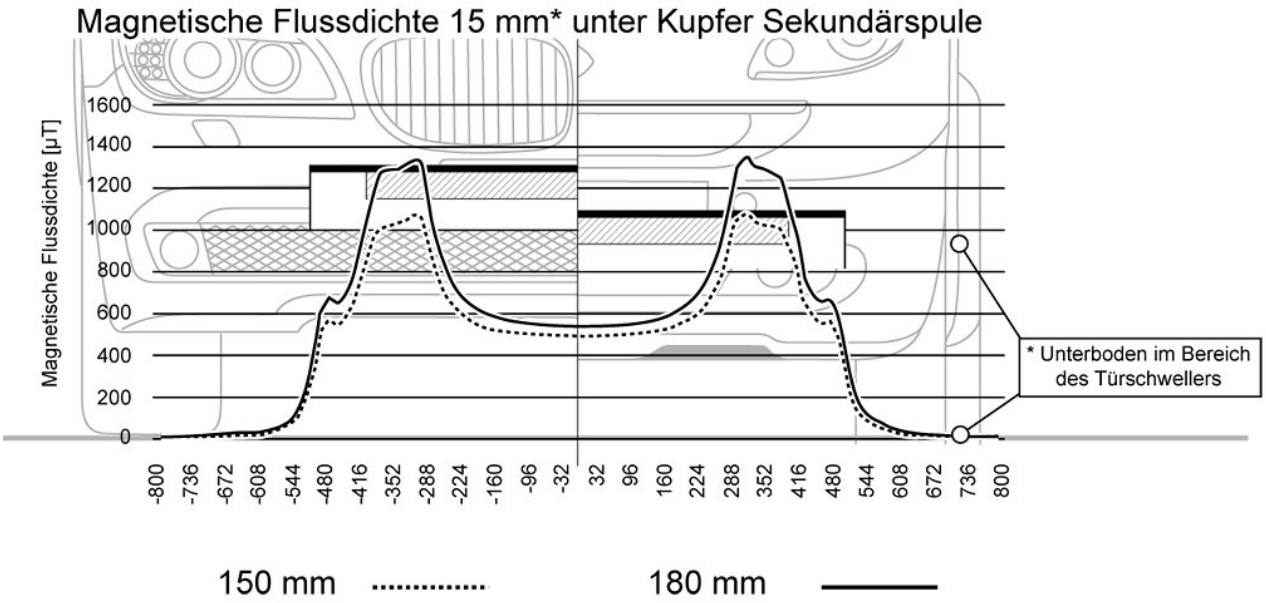
Tab. 5: Bodengleiche Unterflurinstallation mit Mindestabstand von 100 mm und Maximalabstand 170 mm zwischen Oberfläche Straße/Parplatz und Fahrzeugunterboden (GAK 353.0.1)



Tab. 6: Maximaler Versatz zwischen Fläche am Boden und am Fahrzeug in Fahrtrichtung und quer dazu um jeweils 100 mm (GAK 353.0.1)



Tab. 7: Schutzziel Erwärmung von Gegenständen im Bereich der aktiven Fläche, unabhängig vom Luftspalt (150 oder 180 mm) (GAK 353.0.1)



Tab. 8: In der Nähe des Fahrzeugunterbodens sieht das Feld anders aus, fällt aber zum Rand hin genau so ab wie in Bodennähe (voriges Bild) und erlaubt somit dauerhafte Ganzkörper-Exposition längs entlang des gesamten Türschwellers (GAK 353.0.1)

1.3.1.2 Megatrends als Treiber der deutschen Anwendungsregel: das Mind-Set

Die oben beschriebenen Differenzierungsmerkmale des resonanten Induktionsladens nach der deutschen Anwendungsregel beruhen auf Megatrends, auf welche das Parameter-Set dieses Normungsvorschlages von Anfang an ausgelegt war:

- Steigende Energiepreise als Folge endlicher fossiler Energieträger und damit zunehmende Wettbewerbsfähigkeit von Regenerativenergien, auch wenn sie volatil sind.
- Kleinere und günstigere Fahrzeuge als Folge steigender Energiepreise und der Mobilisierung der Schwellenländer sowie restriktiverer Klimaschutzauflagen.
- Mehrfachnutzung von Fahrzeugen, z. B. im Carsharing oder für Systemdienstleistungen im Energiemarkt, zur besseren Verwertung der im Fahrzeug verbauten Ressourcen bzw. Steigerung der Attraktivität von Fahrzeugen weit über das individuelle Mobilitätsbedürfnis hinaus.
- Dezentralisierung der Energieversorgung als Folge zunehmender Wettbewerbsfähigkeit von (volatilen) Regenerativenergien und in deren Folge wiederum stetig steigende Mengen von Überschussstrom.
- Wachsende Wettbewerbsfähigkeit erneuerbarer Energien aufgrund von technologischem Fortschritt, dieser wiederum ermöglicht durch politisch gewollte Incentivierung vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele.
- Häufung von Extremwetterlagen, insbesondere von Hochwasser und Dürre sowie immer höheren Niederschlagsmengen von Regen und Schnee und die damit einhergehende Behinderung bzw. Gefährdung von elektrischen Installationen, aber auch von extremen Hitzeperioden mit allen Folgen für Installationen unter freiem Himmel.
- Überalterung der Bevölkerung in den hochindustrialisierten Schlüsselmärkten und damit mehr Akzeptanz bzw. Notwendigkeit für Ergonomievorteile, wie z. B. Barrierefreiheit, behinderungsgerechte Alltagsabläufe, altersgerechte Erinnerungsfunktionen.
- Überbevölkerung und Verstädterung in den schnell wachsenden Schwellenlandmärkten und dementsprechend höhere Bevölkerungsdichte mit Folgen für die Stadtplanung, z. B. Marktzugangs- und Stadtzufahrtsbeschränkungen für Fahrzeuge ohne Zusatznutzen.

- Zunahme sozialer Spannungen durch Klimakatastrophen, aufgehende Wohlstandsschere innerhalb westlicher Industriegesellschaften und mehr Wohlstandsgefälle in Schwellenländern mit zunehmend produktprägender Wirkung, z. B. in Form von vandalismus- und diebstahlsicheren Ausführungen.

Aus diesen makroökonomischen Megatrends ergeben sich branchenspezifische Subtrends wie z. B. Batterieboom, Energieeffizienzhäuser, Smart Home oder Smart Grid, die letztendlich durch die Volatilität von Wind- und Sonnenstrom bedingt sind. Nachgelagerte Wirkungsketten dieser Art beschreibt das Szenarienmodell der Begleitforschung.

Dort werden die Trends, von denen der VDA/VDE DKE-Arbeitskreis bei Entwicklung der Anwendungsregel 2009 ausging, hinterfragt, gegengeprüft, gewichtet und in einen dynamischen Wirkzusammenhang gestellt, der die Gesetzmäßigkeiten der Realität – auch auf die Zukunft – abgetragen und möglichst wirklichkeitsnah abbilden soll.

1.3.1.3 Deutsche Anwendungsregel und internationales Normungsgeschehen

Der Standard wurde auf Basis dieser Trends vorausentwickelt, lange bevor irgendein Arbeitskreismitglied ein entsprechendes Produkt hatte. Die Spezifikation der Anwendungsregel stellte selbst dann noch, als sie Ende 2010 verabschiedet wurde, eine für alle Arbeitskreismitglieder erhebliche Herausforderung dar. Auch nach Abschluss der ersten Technologieversuche im September 2011 gab es noch kein vollumfänglich anwendungsregelkonformes System.

Es kommt der internationalen Akzeptanz der Anwendungsregel im Herbst 2011 sehr entgegen, dass aufgrund der vorgewerblichen Forschung in den 3 deutschen Förderprojekten noch keine marktreifen Produkte vorliegen können. „The Germans have no products also," ist die erleichterte Reaktion. Auf dieser Basis sind die oben beschriebenen Parameter international konsensfähig. Die Papiere zwischen ISO/IEC, SAE und VDA/VDE DKE werden inzwischen enger abgestimmt denn je. Auf dieser Basis besteht die Aussicht auf einen schnellen, weltweiten Standard – ganz im Gegensatz zu Kabel und Stecker.

Die frühzeitig vom VDE DKE-Arbeitskreis im Sommer 2009 identifizierten Megatrends haben sich inzwischen allesamt deutlich verstärkt. Damit haben sich die Parameter der Anwendungsregel als nachhaltig bewährt. Dies ergab auch eine breit Angelegte Phase von Technologie-Assessments, Gegenprüfungen, Double Checks und Reviews im VDE DKE-Arbeitskreis für die Anwendungsregel und darüber hinaus in der befreundeten Taskforce "Kontaktlose Energie- und Datenübertragung" bei der Energietechnischen Gesellschaft (ETG) im VDE, welche sich um das gesamte Spektrum der kontaktlosen Energieübertragung kümmert.

Diese Methodik des von der ersten Stunde an trendkonform angelegten Ladestandards, begleitet von einem Normungsprozess, der dem Entwicklungsprozess eher voraus- als nacheilt und frühzeitig international abgestimmt wird, abgesichert durch breit angelegte Technologieversuche, enge Abstimmung mit der Task Force und einschlägige Begleitforschung umreißt die Seltenheit bzw. vielleicht sogar Einmaligkeit des gesamten Vorgangs rund um das kabellose Laden in Deutschland - vor allem wenn man die tragende Rolle vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH berücksichtigt.

So wurde das kabellose Laden zum einzigen Technologiegebiet in der Elektromobilität, auf dem Deutschland Themenführerschaft behaupten kann.

Der dabei vorgelegte Organisationsgrad des Innovationsmanagements

- verbessert die Entscheidungs- und somit Führungsqualität in den Häusern,
- sichert mit dem Technologiepfad auch entsprechende Investitionen ab,
- ermöglicht nachhaltige Entwicklungs-, Produkt- und Unternehmensplanung,
- beschleunigt den gesamten höchst zeitkritischen Produktentstehungsprozess einer Schlüsseltechnologie in der Durchbruchphase der Elektromobilität.

So wurde für die Nachhaltigkeit des Kapitaleinsatzes von Politik und Wirtschaft durch strukturiertes, methodisch systematisches Vorgehen eine Grundlage geschaffen.

Am 19.01.11 in Frankfurt verabschiedet: SAE folgt Eckwerten v. AK 353.0.1

Über 30 Teilnehmer in einer WebKo, u. a. sämtliche US und japan. OEM, größte Zulieferer, Wissenschaft

Abb. 2: Mit dieser Folie kommunizierte der SAE die Arbeit an der deutschen Anwendungsregel in der internationalen Community, kurz darauf konnte der de-facto-Zusammenschluss auf Arbeitsebene berichtet werden (SAE).

1.3.2 Langsames Laden = mehr Netz- und Kraftwerkskapazität = mehr Ressourceneffizienz

1.3.2.1 Langsames Laden = geringere Kosten = schnellere Verbreitung der Elektromobilität

Vorteilen wie den beschriebenen steht gemäß der deutschen Anwendungsregel die freiwillige Beschränkung auf relativ geringe Ladeleistungen von etwa 3,3 kW gegenüber. Beim kabelgebundenen Laden spricht man dagegen gerne von 22 bis über 50 kW. Die zentralen Fragen in diesem Zusammenhang drängen sich allerdings mit ebenso großer Schnelligkeit auf:

- Ist das Langsamladen angesichts von Lade-Automation und Smart Grid tatsächlich ein auf Dauer relevanter Nachteil?
- Können die Netze zahlreiche Schnellladepunkte überhaupt tragen?
- Verringert das Schnellladen die Lebensdauer der Batterie nicht in einem Maße, das den Ladevorgang letztendlich viel zu teuer macht?
- Ist der höhere Preis für Schnellladesäulen und Spitzenlaststrom nicht ohnehin schon mit so hohen Preisen auszugleichen, dass sich dieser Hype in kürzester Zeit aus dem Markt preisen wird?

Selbst wenn die Minimierung der Batteriedegradation beim Schnellladen gelingen sollte, so bleibt doch immer die Netzbelastung mit den Folgekosten. Das stellt auch eine Studie für Clintons C40-Städte fest [4]. Insgesamt werden Fahrzeugbatterien, Fahrzeugperipherie, Ladepunkte, Ladestromkosten, Netzinfrastruktur, Kraftwerkpark, Netzmanagementmaßnahmen und stationäre Speicher durch den Fokus auf das Schnellladen unnötig verteuert - auch wenn die Schnellladesäulen verschenkt werden, wie das Nissan aktuell in Europa bezeichnenderweise macht [5]: Die Systemkosten für die Elektromobilität und der Energieverbrauch steigen ungerechtfertigterweise. Die Begleitforschung zeigt als Alternative mit geringeren Kosten für Fahrzeug und Netz das Langsamladen auf.

Wobei unter Langsamladen 3,3 kW (16 A, 220 V, Schuko-Haushaltssteckdose) verstanden wird. Aus Sicht von Amerika ist das schon Schnellladen. Dort liefert die Haushaltssteckdose etwa die halbe Leistung (15 A, 120 V, Level 1 Charging). Dennoch empfiehlt eine jüngste Studie aus Los Angeles eben dieses Level-1-Charging ausdrücklich als Standard für die allermeisten regulären Ladevorgänge [6]. So werden die Netze besser ausgenutzt, weniger überlastet und die Elektrofahrzeuge schneller verbreitet.

Entsprechend bezeichnet es das Fraunhofer ISI auch als „Mythos“, wenn die Notwendigkeit hoher Ladeleistungen behauptet wird [7]. Wenige Wochen zuvor beschreibt das auch das Schweizer Forum Elektromobiliät als „Mythos“ [8]. Zu einem ähnlichen Resümee der „Mythenbildung“ um das Schnellladen kamen schon zuvor mehrere Autoren [9], aufbauend auf das Thesenpapier von Jan Traeckner vom Dezember 2009, das bis heute an Gültigkeit nichts eingebüßt hat.

Selbst im englischsprachigen Raum wird seit Jahren immer wieder auf den Terminus „myths“ zurückgegriffen, wenn es um vorherrschende Meinungsbildung zur Elektromobilität in den Publikumsmedien geht. Dagegen sind Studien, die dem nachts, zuhause und langsam laden den Vorzug geben, in der wissenschaftlichen Literatur so verbreitet, dass man hier von einem weltweiten Konsens sprechen darf, wenn nicht gar von einer einhelligen Meinung.

1.3.2.1.1 Industriepolitischer Exkurs

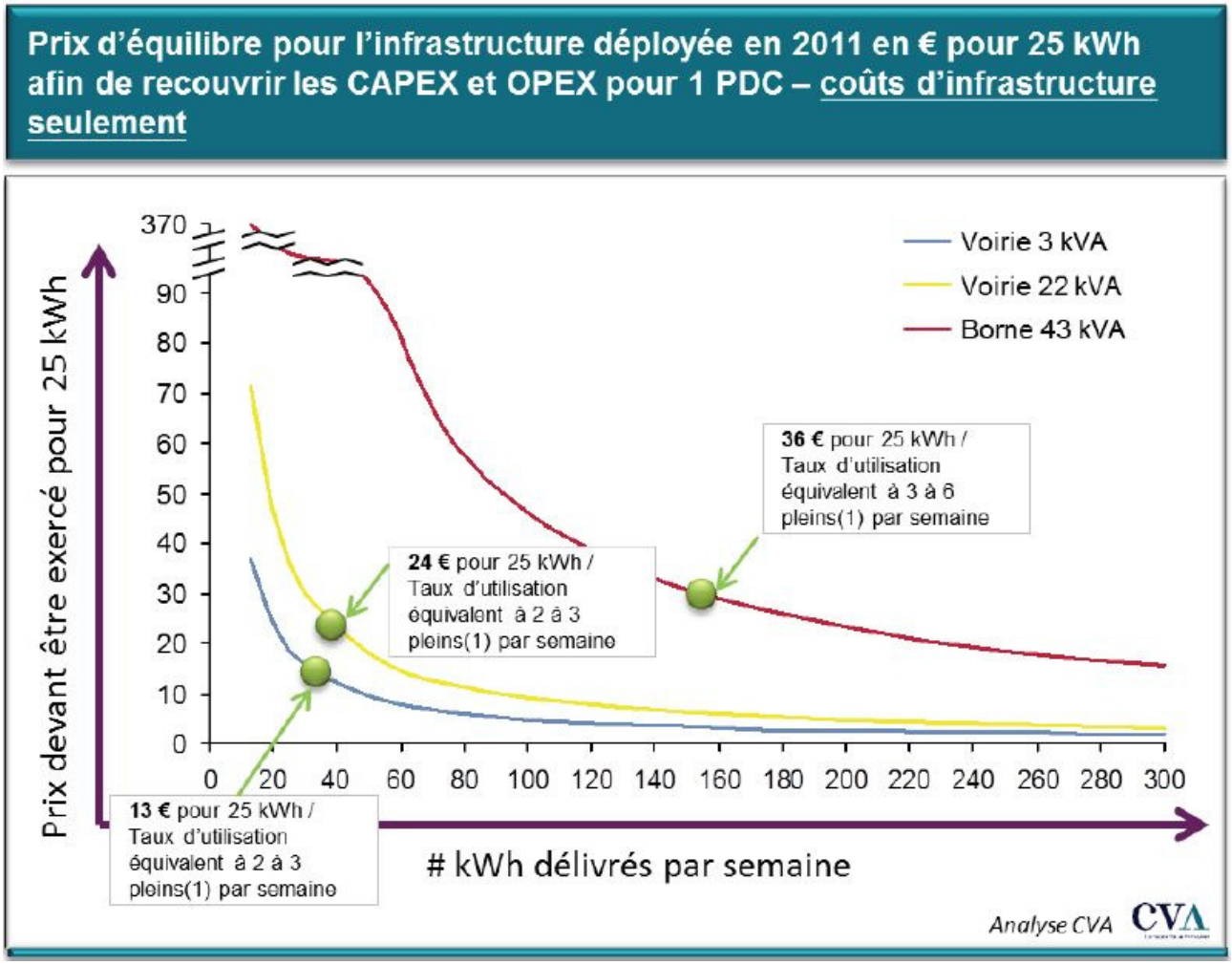


Abb. 3: Brake Even laut französischem Livre Vert, allein für die Infrastrukturkosten öffentlicher Ladesäulen, umgelegt auf einen Tankvorgang von 25 kWh: bei 3 kW Ladeleistung 13 €, bei 22 kW schon 24 €. Da das kein Nutzer zahlen würde, zahlen alle Stromkunden per Umlage mit (République Francaise: Livre Vert [10]).

Es gibt kein nachhaltiges Geschäftsmodell für das Ad Hoc Laden an Ladesäulen, noch weniger für das spontane Schnellladen [11]. Selbst das französische Livre Vert [12], ein ordnungspolitisch durchgetakteter Generalstabsplan zur Einführung der Elektromobilität, beschreibt öffentliche Ladesäulen als marktwirtschaftlich nicht darstellbar, s. Abb. oben [13].

Die Kosten müssen also dringend sinken. Dafür wiederum sieht man in einer Studie zu Clintons C40-Städten bei der gereiften Ladesäulentechnologie keinen Spielraum [14]. Es bedarf eines Game Changers, eines Kostenkillers, eines disruptiven Technologiesprungs. Das kabellose Laden bietet dazu das Potential. Dies jedoch nicht für sich allein betrachtet, als Ladestation für Elektrofahrzeuge, sondern als automatisierbare Schnittstelle zwischen Netzmanagement und Fahrzeugbatterie.

Elektromobilität ist als nachhaltiges Geschäftsmodell nur im Zusammenhang mit den Notwendigkeiten der Energiewende selbsttragend darstellbar und eben nicht, wenn es allein um die Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse geht. Konsequent zu Ende gedachte Elektromobilität ist eben nicht von einem Null-Emissions-Antrieb gekennzeichnet, das haben andere auch, sondern

ausdrücklich vom Wegfall sämtlicher Arten manueller Tankvorgänge. Das kann nur das kabellos geladene Batterietraktionsfahrzeug leisten.

Alle anderen müssen tanken fahren. Allein das schon ist ein viel zu wenig beachteter Zusammenhang: Der durchschnittliche Weg zur Tankstelle und zurück muss eigentlich von der technischen Reichweite eines Antriebskonzepts abgezogen werden, weil es sich dabei um ungewollte Mobilität handelt. Tankstellensuchverkehr kann durchaus nennenswerte Ausmaße annehmen.

Bei Gas- und Wasserstofffahrzeugkonzepten wird das Thema etwas zurückgestellt. Man versucht z. B. Akzeptanz für die 3 Mrd. Infrastrukturkosten der – noch lang nicht vorhandenen - Brennstoffzellenfahrzeuge zu schaffen, indem man eine Zahl von 1.000 Tankstellen als ausreichend für die Grundversorgung angibt. Welche Kilometerleistungen ergeben sich bei einem so grobmaschigen Tankstellennetz wohl für den Tankstellensuchverkehr?

Bei den Batterietraktionsfahrzeugen ist es umgekehrt: Steckdosen gibt es bereits überall und am besten hängen daran in Zukunft so viel wie möglich steuerbare Verbraucher. Warum das? Schon in den nächsten Jahren kann die Menge an volatilem Wind- und Sonnenstrom den gesamten bisherigen Verbrauch erheblich und regelmäßig überschreiten. Dann käme es bereits zu den von der Bundesnetzagentur angedrohten Abregelungen ohne Entschädigung. Daher braucht die Energiewende – so grotesk das erst einmal klingen mag - also allein schon für ein Wachstum der Erneuerbaren dringend weitere elektrische Verbraucher. Allerdings eben nur in Form von verschiebbarer Last, welche zusätzlich den Verbrauch fossiler Kraftstoffe substituiert.

Das können neben Wärmepumpen nur Elektroautos sein. Durch die selbstorganisierende, netzfrequenzbasierte Kopplung der Ladevorgänge an das Aufkommen von Wind- und Sonnenstrom werden Elektromobilität und Erneuerbare zu einem sich gegenseitig selbstverstärkenden Wirkzusammenhang, aber eben nur mit gesteuertem Laden. Am besten vollautomatisch. Das wiederum geht nur kabellos.

1.3.2.2 Langsames Laden = mehr Systemdienstleistungen = mehr Netzstabilität

Es gibt seit Jahren eine große Mehrheit von Publikationen, welche nachts, zuhause und langsam Laden mit ökonomisch und ökologisch sinnvollerem Laden gleichsetzen. Die komfortabelste, sicherste und langfristig günstigste Technologie für diese Ladeszenarien ist das kabellose Laden.

Elektrofahrzeugnutzer laden ihr Fahrzeug in den allermeisten Fällen an einem festen Stellplatz am Wohnort oder beim Arbeitgeber. Dort stehen die Fahrzeuge über mehrere Stunden, so dass keine hohe Ladeleistung benötigt wird - langsames Laden ist ausreichend. Der langsame Ladevorgang begünstigt die Netzstabilität. Kabelloses Laden verstärkt die Netzfreundlichkeit noch zusätzlich durch die automatische Verfügbarkeit des Fahrzeugs am Netz.

Durch nachts Laden spart der Fahrzeughalter Energiekosten aufgrund günstigerer Stromtarife, trägt zur Lastglättung und zur Integration von erneuerbaren Energien in das Stromnetz bei, insbesondere zur Abnahme von überschüssigem Windstrom. Damit darf das langsame Laden durchaus als umweltfreundlicher gelten als schnelles Laden.

Die freiwillige Selbstbeschränkung der Ladeleistung in der deutschen Anwendungsregel auf 3,3 kW trägt diesen Zusammenhängen Rechnung und wird gleichzeitig als grundlegende Weichenstellung von vielen jüngsten Trends bestätigt, die so vor 2 Jahren noch nicht für jeden absehbar waren und von vielen sogar bestritten wurden:

- Netzstabilitätsprobleme durch unerwartet schnellen Zuwachs von Wind- und Sonnenstrom
- Netzstabilitätsprobleme durch die Energiewende mit ihrem Verzicht auf Überkapazitäten bei den Grundlastkraftwerken
- schnellere Verbreitung von Smart Home, Smart Grid und Smart Phone für das programmierte Laden
- weiter rückläufige Jahreskilometerleistungen der PKW in Deutschland
- weiter rückläufige Möglichkeiten der öffentlichen Hand, Jahrhundertprojekte im Infrastrukturumbau zu bewältigen
- weiter zunehmender Stromverbrauch und weiter steigende Strompreise
- weitere Studien weltweit, die das Langsamladen bevorzugen

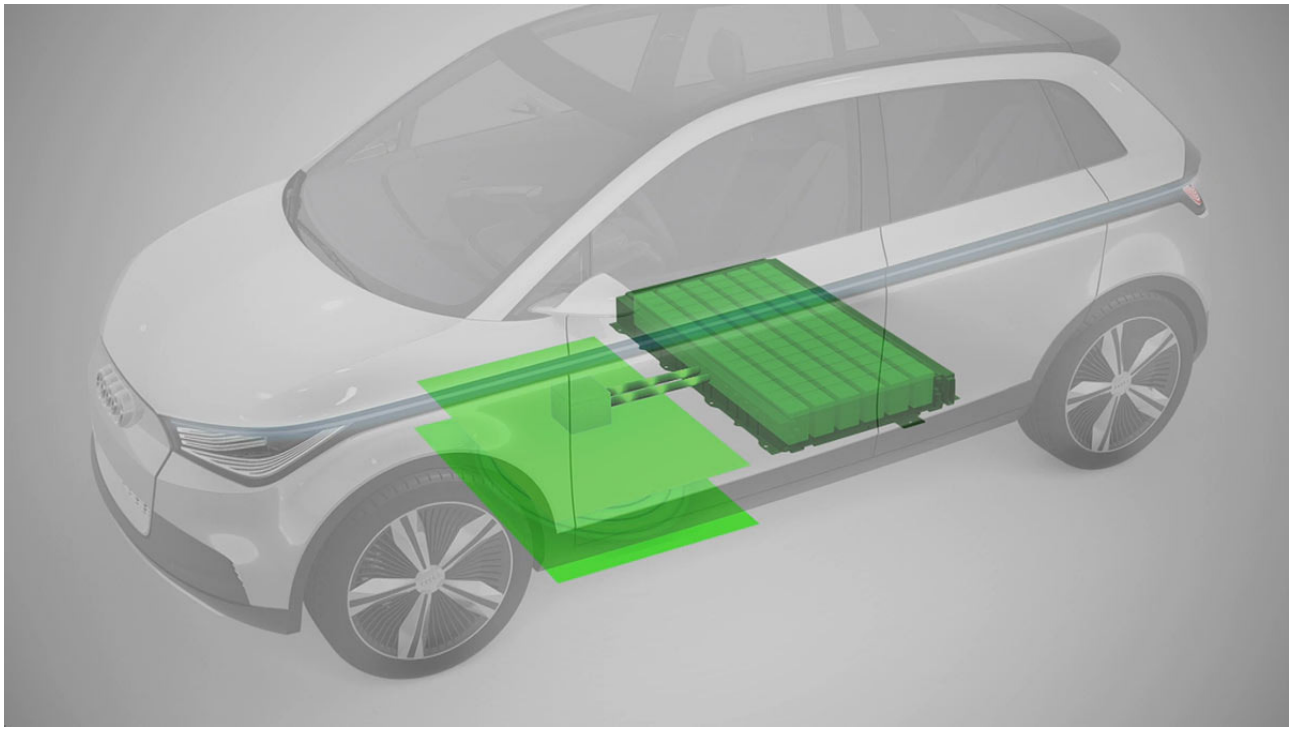


Abb. 4: Passend zu Audis Einstieg in die Erzeugung von Windstrom: Prinzipdarstellung des kabellosen Ladens in einer 3D Visualisierung des neuen A2 auf der IAA 2011 (Audi PR)

1.3.2.3 Langsames Laden = 10 % höhere Batterierestwerte = 10 % geringere Batterieleasingkosten

Mindestens 10 % mehr Batterielebenserwartung bzw. -kapazität bringt der Verzicht auf das Schnellladen nach 8 Jahren [15]. Das ist die mittlerweile offizielle Zahl von Herstellern wie Mitsubishi und Nissan. Bei einer Mio. Elektrofahrzeugen und einem heutigen Batteriepreis von 6.000 Euro für 20 kWh sind das schon 600 Mio. Euro. Die Zahl könnte aber auch um ein Vielfaches höher liegen. Vor allem wegen dem „Hinderniß des Lebens“ (Kant), wenn es um die Ladedisziplin geht.

Auf der Seite der Kontraindikatioren häufen sich vor allem Batterieentwicklungen mit einer Optimierung für das Schnellladen auf Kosten der Reichweite. Für das Schnellladen optimierte Zellchemie profitiert weniger von ansonsten batterieschonendem Langsamladen. So wird mit der Batterieentwicklung der Technologiepfad für die Ladetechnik vorgezeichnet.

Second-Life-Batterien (Zweitverwertung der Autobatterie) bieten in diesem Zusammenhang nicht nur den OEMs neue Geschäftsfelder, sondern auch den Energieverbrauchern neue Möglichkeiten der Energienutzung. Hier gilt langsames und stetiges Laden, das durch den kabellosen Ladevorgang begünstigt wird, als Risikominimierung für die Batterielebensdauer. Insofern trägt auch hier das langsame Laden zur Umweltfreundlichkeit der Elektromobilität bei.

Immerhin zeigen schon jetzt alle wegweisenden Geschäftsmodelle, dass die Risiken für die Batterielebensdauer und den Batterierestwert bei den Herstellern bleiben werden. Entsprechend lenken heute selbst Protagonisten des Schnellladens wie Nissan das Verbraucherverhalten gezielt zum batterieschonenden, gesteuerten Langsamladen [16]. Jeder solche Trendindikator für das Langsamladen steigert nachvollziehbarerweise die Wettbewerbsfähigkeit des langsamen, kabellosen Ladens unmittelbar und nachhaltig.

Folgerichtig hat Nissan auch als erster Automobilhersteller weltweit bereits am 02.08.2009 das kabellose Laden angekündigt [17]. Bis dahin galt das als unmöglich oder zumindest als uninteressant. Auch unter den Herstellern, die mit induktiver Energieübertragung zu diesem Zeitpunkt seit über 10 Jahren gutes Geld im Anlagenbau verdienten. Die Bilder aus Yokohama waren ein Weckruf. Das Potential der kontaktlosen Energieübertragung konnte nicht länger ignoriert werden.

Angesichts des hohen Kapital-, Energie- und Rohstoffeinsatzes bei der Batterieherstellung rückte die batterieschonende Eigenschaft des Kabellosladens von Anfang an in den Fokus. Es bestand Aussicht auf eine umweltschonendere Alternative.

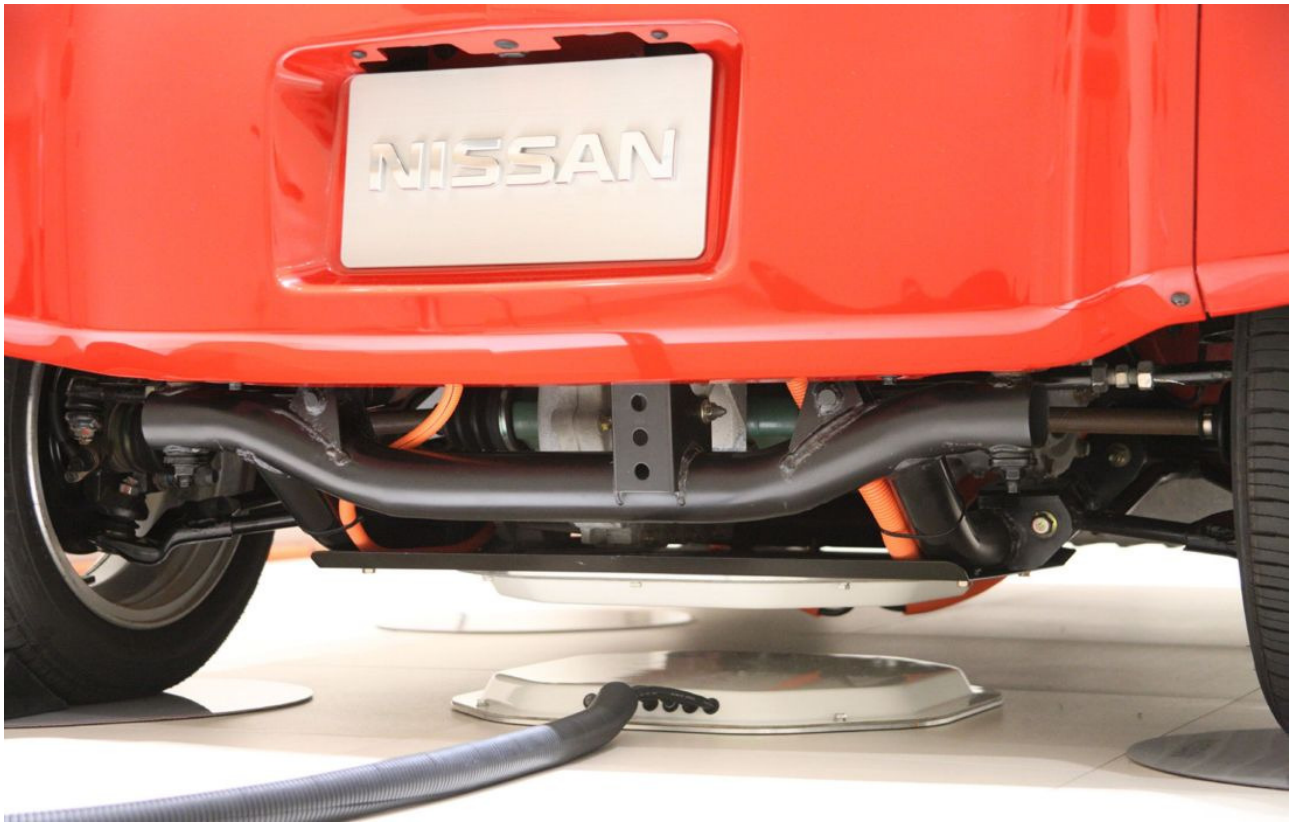


Abb. 5: Weckruf für die Branche: Nissan zeigt bei der Eröffnung des neuen Entwicklungszentrums am 02.08.2009 in Yokohama die ersten Bilder vom kabellosen Laden (Nissan PR)

1.3.2.4 Langsames Laden = geringere Batterieherstellungskosten

Schnellladefähige Batterien sind oft aufwändiger, auch aufgrund von Peripheriemaßnahmen wie aktiver Kühlung. Ferner weisen sie allein schon wegen der schnell benötigten Kühlleistung höhere Ladeverluste als langsam geladene Batterien auf. Nissans Zellchemie kommt bereits ohne Luft- oder Flüssigkühlung aus. Daher auch die geringen Kosten.

Das Beispiel zeigt: Eine Ladetechnik auf den heutigen Stand der Batterietechnik auszulegen, kann schon per Definition nicht nachhaltig sein. Der heutige Stand der Batterietechnik ist wie auch sonst in der Technikgeschichte nur eine Momentaufnahme. Selbst ein Blick auf die nächsten 3 Jahre ist eher rückwärtsgewandt.

Man kann die Zukunftsaussichten einer Ladetechnologie nur vor dem Hintergrund der zukünftigen Batterietechnologie beurteilen. Hier beginnt die mittelfristige Perspektive etwa ab 2015

und die langfristige ab dem Zeitfenster um 2020. Alles davor ist heute schon Geschichte. Um so erstaunlicher ist es angesichts der Langfristigkeit von Infrastrukturinvestitionen wie sehr sich Ladetechnologien und –szenarien an heutigen, d. h. gestrigen, Batterietechnologien orientieren.

Insgesamt lässt sich zur alles entscheidenden Batterietechnik feststellen, dass die Batteriepreisrückgänge gerade in deutschsprachiger Literatur ebenso gerne unterschätzt werden wie die Zunahme an Energiedichte. Beide Effekte führen jedoch nach den ersten belastbaren Zwischenergebnissen der Begleitforschung dazu, dass sich schon ab 2015 weder Schnellladen, noch Hybridantriebe, noch Reichweitenverlängerer – inkl. Brennstoffzelle - , noch das kabellose Laden während der Fahrt lohnen werden.

Weltweit gehen daher schon jetzt zwei Drittel der Batterieentwicklung in die Erhöhung der Energiedichte und eben nicht in die Leistungsdichte bzw. Schnellladefähigkeit. Allein innerhalb der letzten 6 Monate gab es eine deutliche Häufung von Nachrichten zur Reichweitensteigerung. Diese Nachrichtenlage hat sich innerhalb der letzten Wochen in einem Maße verdichtet, dass mehrfach große Umfänge dieses Berichtes umgeschrieben werden mussten.

Spätestens seit Toyota von 1.000 Reichweite zu einem Zehntel der Kosten ab 2015 spricht [18] und Nissan 400 Chademo-Schnellladesäulen allein in Europa - schnell noch – verschenken will [19], sollte deutlich werden, dass auch anderenorts die Annahmen überarbeitet werden müssen.

Wobei man spätestens in diesem Zusammenhang weniger denn je der Vermutung erliegen dürfte, es ginge den Japanern mit dem Chademo-Standard tatsächlich um eine Ladetechnologie oder gar etwa um das schnelle Laden von Elektrofahrzeugen. Die Begleitforschung ruft daher die in der westlichen Welt bereits wieder in Vergessenheit geratenen Beobachtungen eines gewissen Takafumi Anegawa aus dem Jahr 2008 in Erinnerung und spricht in diesem Zusammenhang vom „Chademo Paradoxon“.

1.3.3 Unsichtbares Laden = weniger Betriebskosten aufgrund von Vandalismus, Diebstahl und Verschleiß = höhere Produktlebenserwartung = mehr Ressourceneffizienz

1.3.3.1 Weniger Vandalismus

Die jüngsten Vandalismus-Ereignisse in London und Berlin haben einmal mehr deutlich vor Augen geführt, welche hohen Schadenssummen in Geschäftsmodelle mit öffentlich installierten Stadtmöbeln einkalkuliert werden müssen. Schon jetzt gilt die Faustregel: Die einmaligen Anschaffungs- und Installationskosten verdoppeln sich im Laufe von 10 Jahren durch „Betriebskosten“ wie sie vor allem durch mutwillige Beschädigung hervorgerufen werden. Dies gilt z. B. auf die Gesamtheit von Installationskategorien wie Bezahlautomaten oder Notrufsäulen hochgerechnet und wurde in der Begleitforschung ausführlich dokumentiert.

In Zukunft werden diese Probleme aufgrund der allgemeinen soziodemographischen Entwicklung eher zunehmen. Allein dieser Kostenfaktor genügt schon, um sämtliche Geschäftsmodelle mit sichtbaren Ladesäulen im öffentlichen Raum zu kippen. Dabei ist auch ohne diese Risikoposition die Amortisationszeit einer Ladesäule regelmäßig länger als ihre technische Lebenserwartung [20].

Das Kabel wird auch Ziel von einer ganz speziellen Art von Vandalismusattacken. Nicht nur im Rahmen von Randale. Viel erheblicher dürfte das Schadensbild aufgrund von Mardern und Eichhörnchen werden.

Das amerikanische Eichhörnchen ist in den USA schon heute zweithäufigste Ursache von allen Kabelbeschädigungen. Mittlerweile breitet es sich auch in Europa sehr schnell aus. Alle damit verbundenen Kosten wie Prävention, Reparatur, Ausfallzeit und Ersatz entfallen beim kabellosen Laden. Dies wird erst mit zunehmender Verbreitung von kabelgebundenen Ladestationen ins öffentliche Bewusstsein rücken.

Das Vandalismusproblem wird der Wettbewerbsfähigkeit des kabellosen Ladens, als prinzipbedingt unsichtbarem Laden, deutlich Vorschub verleihen. Je mehr die Besiedelung mit Ladesäulen und somit die Schadenszahlen zunehmen, desto schneller wird sich diese Erkenntnis durchsetzen.

Vandalismus bedeutet eine drastische Verkürzung des Produktlebenszyklus, vergrößert somit den CO2-Fußabdruck des zerstörten Gegenstandes unmittelbar und ist demzufolge auch eine echte Umweltsünde. Umgekehrt ist eine vandalismussichere Ausführung tendenziell nachhaltig, wenn sich der Zusatzaufwand in Grenzen hält. Am ehesten ist dies bei prinzipbedingter Vandalismussicherheit der Fall, z. B. durch Vermeidung von Sichtbarkeit und Zugänglichkeit.

1.3.3.2 Weniger Diebstahl

Die in der Begleitforschung erfassten Statistiken zum Kabeldiebstahl haben Schadensausmaße dokumentiert, die in der öffentlichen Diskussion zur Machbarkeit der Elektromobilität erst noch gelernt werden müssen.

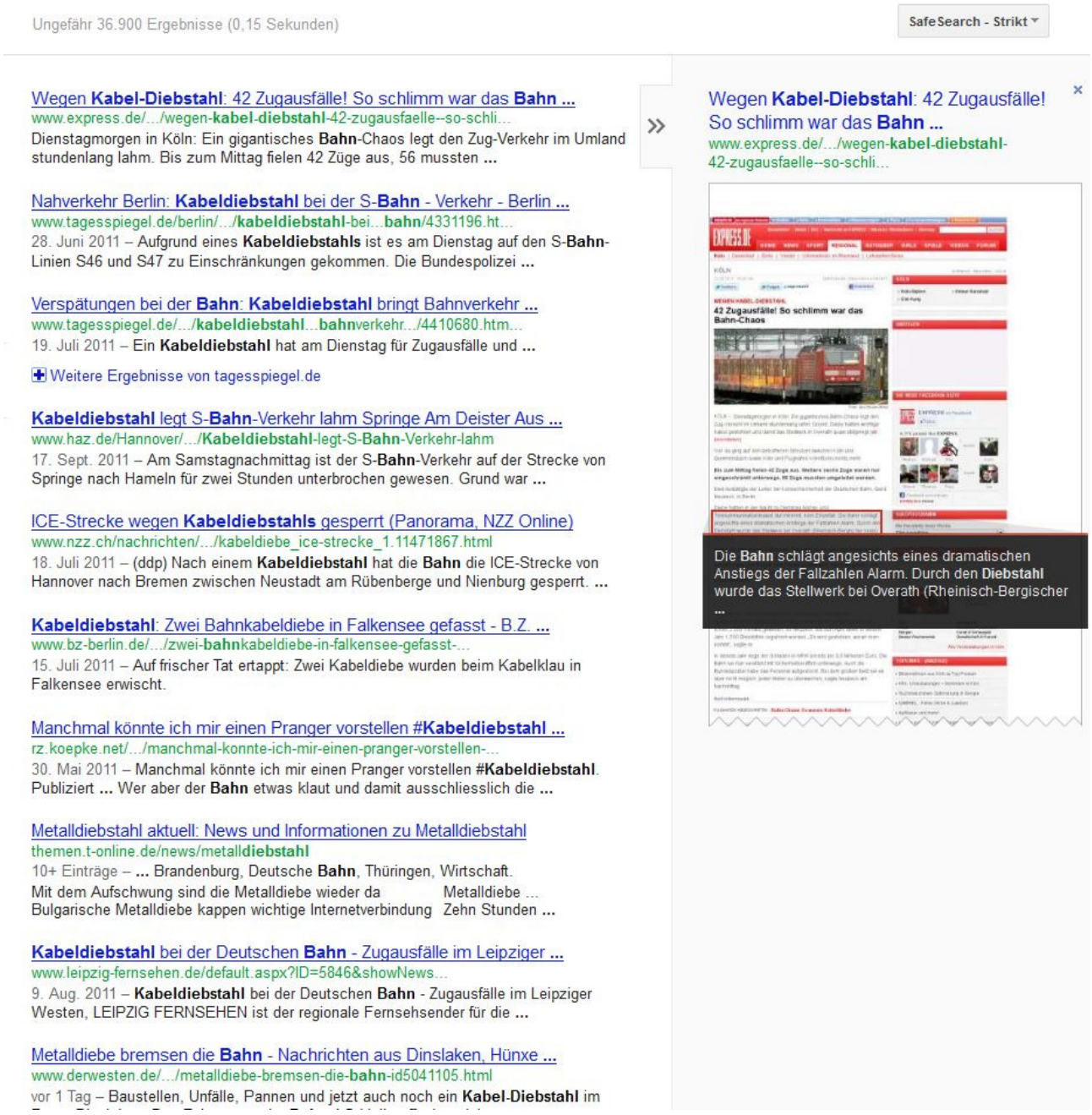


Abb. 6: Google Suchergebnis als Trendindikator: zeitliche Reihung, örtliche Verteilung und Gesamtzahl der Fundstellen zu „Kabeldiebstahl Deutsche Bahn“ (KM)

Diebstahlvermeidung ist auch eine Form der Ressourceneffizienz: Das Diebesgut kommt meist erst nach deutlichem Abstieg in der Wertstoffkette wieder zum Einsatz. Produktausprägungen, die weniger zum Diebstahl einladen, sind daher nachhaltiger.

1.3.3.3 Weniger Verschleiß

Ebenso kritisch müssen aufgrund der aktuellen Erkenntnisse aus der Begleitforschung die Betriebskosten für das Ladekabel gesehen werden. Dabei handelt es sich um ein hoch exponiertes Verschleißteil. Nicht nur, dass Prüf- und Austauschintervalle bisher in keiner Weise festgelegt wurden, obwohl alle Marktteilnehmer von einer solchen Notwendigkeit ausgehen. Auch die Kosten für das Kabel an sich werden völlig unterschätzt. Diese können sich ohne Weiteres von mehreren hundert Euro bis über 1.000 Euro erstrecken [21].

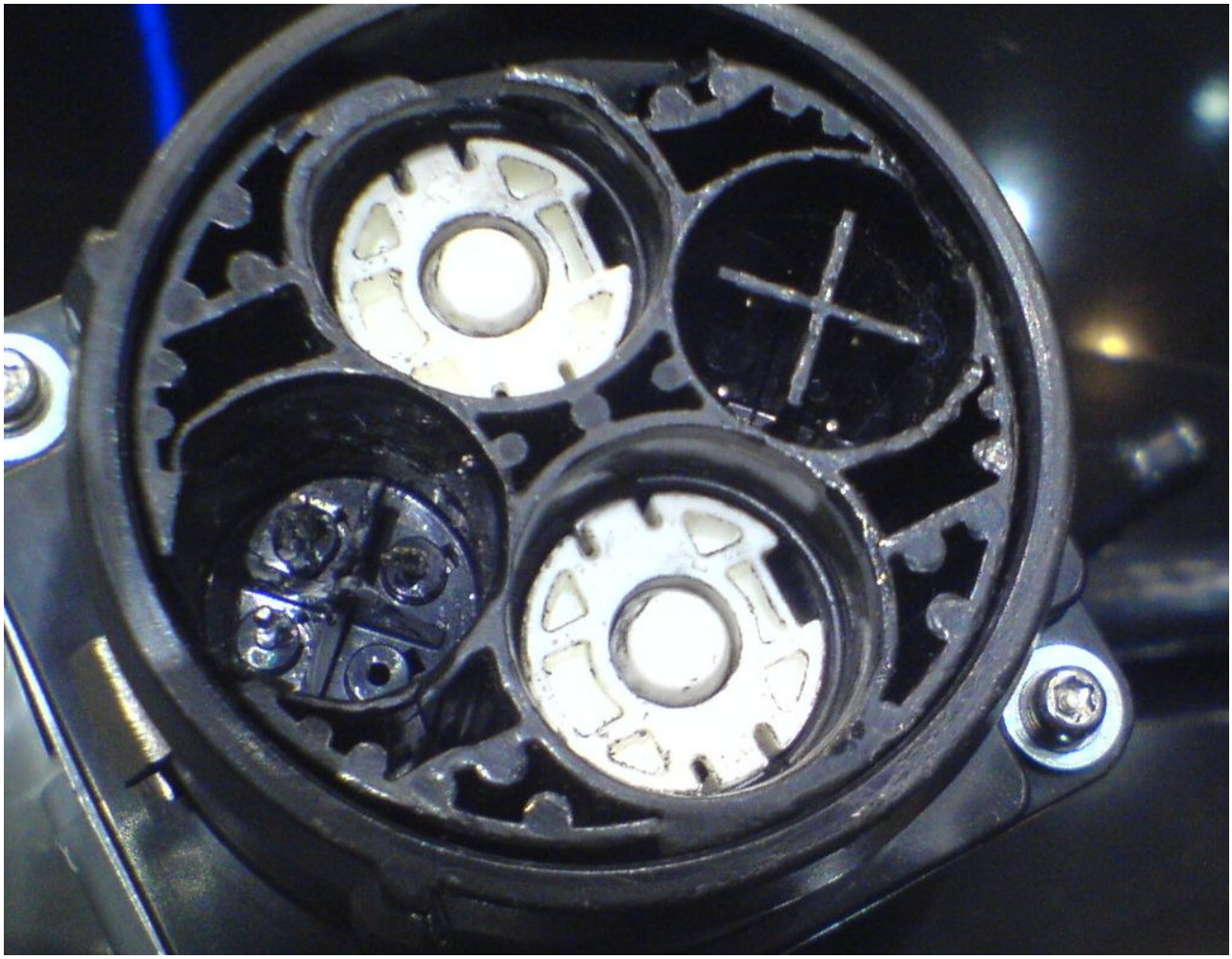


Abb. 7: Chademo-Stecker-Schadensbild nach wenigen Stunden Messebetrieb auf dem Genfer Automobilsalon 2011: Hier fließen ansonsten bis zu 50 kW (KM).

Verschleiß ist Ressourcenverbrauch, verkürzt die Produktlebenserwartung, vergrößert den CO2-Fußabdruck und entsteht durch Reibung, was wiederum in kontaktlosen Ausführungen konstruktiv vermieden wird.

1.3.4 Unsichtbares Laden = barrierefreies Laden = weniger Unfallkosten

1.3.4.1 Weniger Stolperunfälle

Abb. 8: Stolpergefahr als allgemeines Lebensrisiko oder ein Fall für die Haftpflicht? Ist für Ladekabel die KFZ- oder die Privathaftpflicht zuständig? Muss man dann in letzterem Fall eine Privathaftpflicht bei der Zulassung vorweisen? (Frank Hebbert, flickr 22)

Die Quote der Stolperunfälle an allen Unfällen war eine weitere Überraschung im Rahmen der Begleitforschung. Sie beläuft sich schon heute in allen Statistiken verschiedenster Länder auf etwa ein Drittel. Die massenhafte und in Innenstädten flächendeckende Installation von Stolperfallen stellt ein erhebliches Zusatzrisiko dar. Mit welcher Größenordnung an Zunahme die Versicherungsexperten bei entsprechender Verbreitung von kabelgebundenen Ladesäulen rechnen, wird aktuell noch ermittelt.

Das ist eine rein statistische Überlegung: Gemäß der allgemeinen Lebenserfahrung kann es nicht ohne Folgen für die Unfallstatistik bleiben, wenn es zu einer flächendeckenden, millionenfachen Installation von Gefahrenquellen im öffentlichen, halböffentlichen und privaten Raum kommt und es sich dabei um eine völlig neue Risikokategorie handelt, die Ausgangsgröße also Null ist.

1.3.4.2 Weniger Stromschläge

Ähnliches gilt für die schon heute rund 60 Toten durch Stromschlag – pro Jahr - allein in Deutschland oder 1.000 allein in den USA [23]. Das ist die offizielle Statistik vor dem Zeitalter der Elektromobilität, insbesondere also vor der massenhaften Verbreitung von elektrischen Installationen mit Kabel und Stecker im öffentlichen Raum [24]. Die Versicherungsexperten rechnen hier auf Basis linearer Effekte mit einem sprunghaften Anstieg der Unfallzahlen [25].

Immerhin galten die bisherigen Elektroinstallationen auch schon als sicher. Öffentlich, für jedermann zugänglich waren sie allerdings bisher nicht in der Form wie für Ladesäulen angestrebt. Im Gegenteil: Aus Sicht der Statistik besteht nur der ganz nüchterne Hinweis, dass bisher eben keinerlei elektrische Installation mit Kabel und Stecker öffentlich zugänglich ist. Von höheren Leistungsklassen, Stichwort Kraftstrom, ganz zu schweigen.

Allein schon der Umstand der zusätzlichen Exposition wird von Schadensstatistikern mit entsprechenden Aufschlägen eingerechnet. Zusätzlich zum reinen Anstieg der Anzahl der Installationen. Im Gegensatz dazu bietet das kabellose Laden als prinzipbedingt berührgeschütztes, kontaktloses und somit eigensicheres Laden einen Wettbewerbsvorteil, dessen man möglichst auch außerhalb des Risikomanagements gewahr werden sollte. Bevor erste Unfälle die Elektromobilität insgesamt in Verruf bringen.

Abb. 9: Es gibt Normungsvorschläge für Stecker, das Bemühen um einen einheitlichen Buchsenplatz am Auto hat man aber frühzeitig aufgegeben. Daher sind 5 – 6 m Kabel mitzuführen und zu verlegen. So steigt das Risiko für Beschädigungen der Kabelisolation.

1.3.5 Kabelloses Laden = automatisches Laden = gesteuertes Laden = mehr Batterie-, Netz- und Kraftwerkkapazität = mehr Ressourceneffizienz

Abb. 10: Audi hat auf der IAA 2011 einen Film gezeigt, in dem ein Fahrzeug fahrerlos ausparkt (Audi PR)

Da das kabellose Laden von den Strategen in Automobilbau und Energiewirtschaft primär als automatisches Laden verstanden wird, bekommt es durch den Megatrend 26 zum selbsttätigen Einparken einen ganz anderen Stellenwert: Erst mit automatischem Laden ist das automatische Einparken sinnvoll. Erst mit einem kabellosen Elektrofahrzeug funktioniert das fahrerlose Einparken tatsächlich vollautomatisch. Nämlich inklusive automatischem Tanken. Alles andere wird sehr schnell als umständlich empfunden werden 27.

Premium ist, wenn sich das Auto alleine wegparkt und von selbst lädt 28. Letzteres kann weder das Schnellladen noch das Brennstoffzellenfahrzeug bieten. Einmal mehr ist das Bessere des Guten Feind. Fahrassistenzsysteme für eine höhere Autonomie von Fahrzeugen sind daher in dieser Begleitforschung als Haupttreiber des kabellosen Ladens und der Elektromobilität identifiziert worden. Immerhin kann man sich mit einem solchen Elektrofahrzeug die Zeit für das „Tanken“ vollkommen sparen. Man parkt einfach. Und in Zukunft überlässt man sogar das dem Fahrzeug.

Typisch für einen disruptiven Technologiesprung kommen eher neue Funktionalitäten hinzu, als dass die Eigenschaften konventioneller Produkte überboten werden 29. Das kabellose Elektroauto ist nicht das komfortablere Automobil. Aber es bietet die komfortablere Mobilität. Das kabellose Elektroauto ist nicht das bessere Auto. Aber mit der automatischen Tankfunktion hat es den besseren Autopilot. Die Schlüsseltechnologie dafür ist das kabellose Laden.

Abb. 11: Google Firmenparkplatz links mit Ladepunkten, rechts kabellose Überflur-Variante wie im Test am Google Firmensitz: Vorher – Nachher? (Google, Evatran [30])

Google investiert in autonomes Fahren und kabelloses Laden in einem ähnlichen Verhältnis die viele große Automobilhersteller [31]. Warum ist das autonome Fahren Googles wichtigstes Entwicklungsprojekt außerhalb vom Kerngeschäft? Google Street View als Vorbote von Roboter-Autos, die alles vollautomatisch Tag und Nacht abfahren und scannen? Spricht Google nicht auch von Robots, die ähnlich autark das Internet nach neuen Fundstellen absuchen? Robotic Cars als Suchmaschinen, die ihre Fahrgäste an den gesuchten Ort bringen?

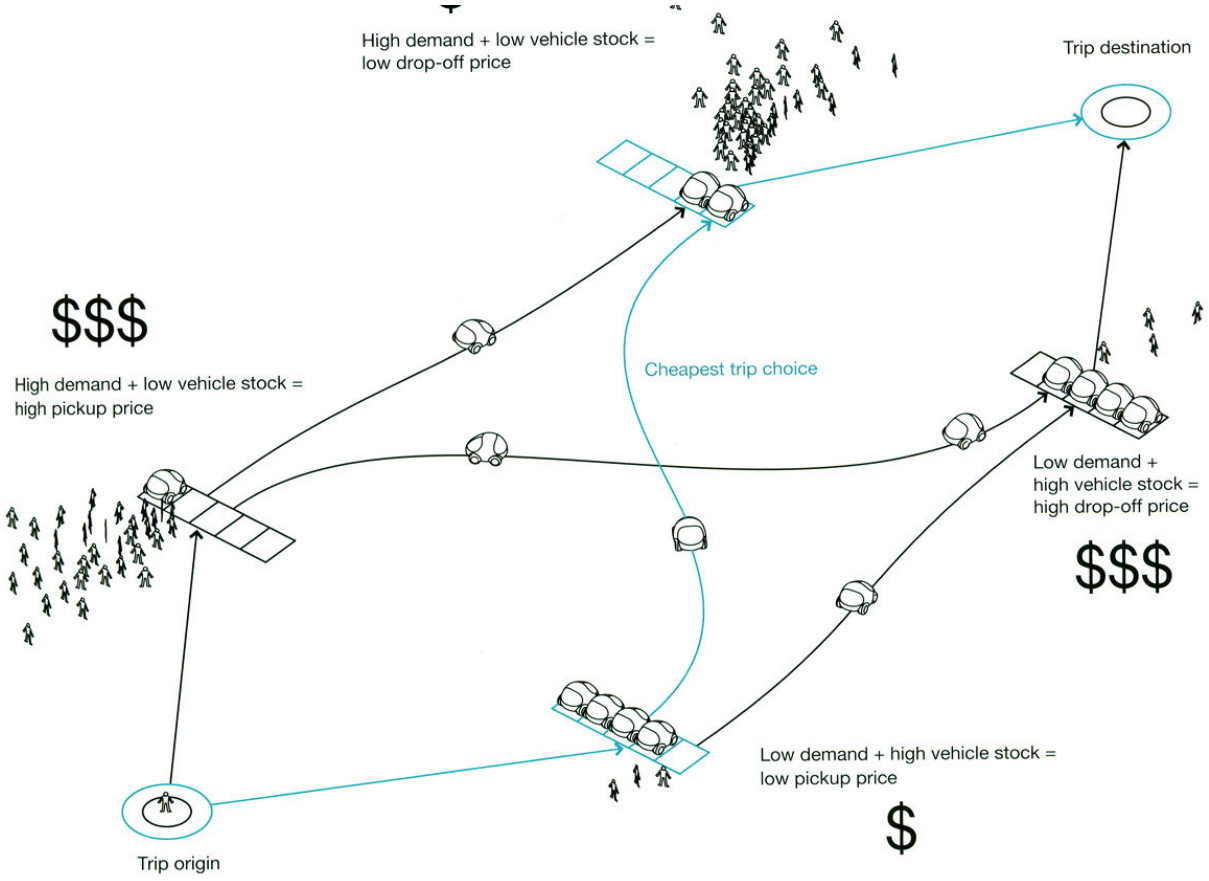


Figure 8.12
Customers of mobility-on-demand systems seek to minimize total trip costs.

Abb. 12: Kabelloser MIT City Car sucht sich den passenden Zielparkplatz gemäß minutenaktuellen Preisen selbst – und parkt sich auch selbst weg (Reinventing the Automobile, Mitchell [32])

1.3.5.1 Automatisches Laden = regelmäßigeres Laden = geringere Ladetiefe = höhere Batterielebensdauer

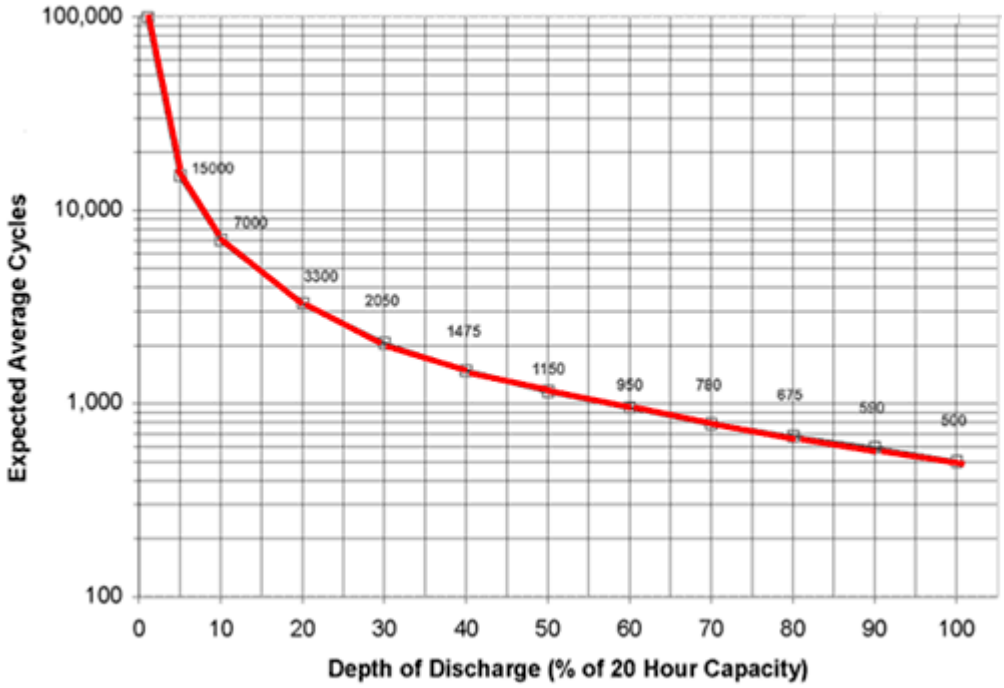


Abb. 13: Bei einer Ladetiefe von 10 % schafft die Batterie sieben Mal mehr Zyklen als bei 55 %: Das erhöht aber noch nicht die Gesamtkilometerleistung im Produktlebenszyklus (Electropaedia 33).

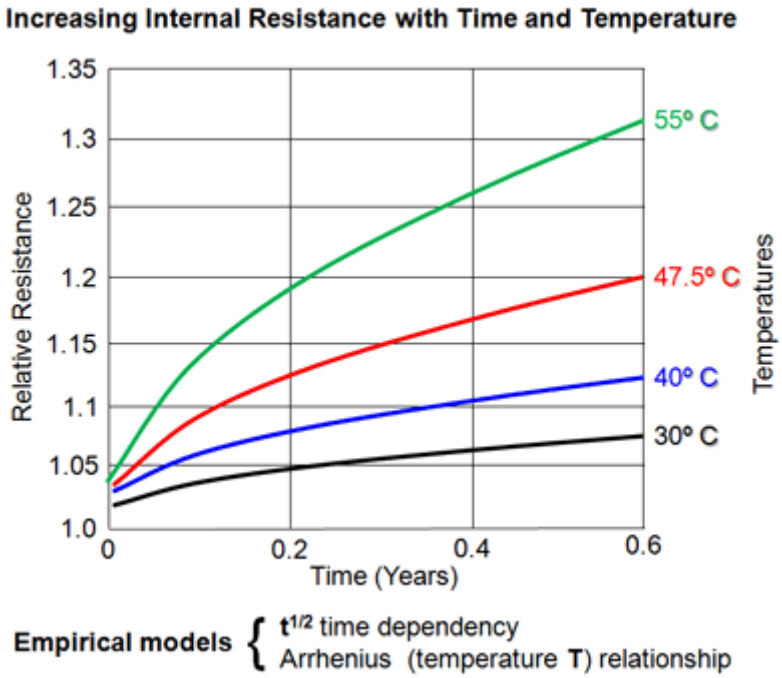


Abb. 14: Je wärmer eine Batterie wird, desto schneller steigt ihr interner Widerstand an. Es kommt zu irreversiblen Anreicherungen: Nicht so bei kleinen Ladehüben, geringen Ladetiefen und niedriger Ladeleistung wie beim kabellosen Laden nach deutscher Anwendungsregel (Electropaedia 34).

Mehr Zyklen bedeuten nicht mehr Energiedurchsatz und somit auch keine unbedingt höhere Kilometerleistung über den Lebenszyklus, aber die Erwärmung bleibt bei kleinen Hüben gering und trägt somit kaum zur Lebensdauerverkürzung bei. Daher sehen Batteriehersteller wie Johnson

Controls bei kleinen Hüben auch gar keine Auswirkung auf die Lebenserwartung. Demnach ist die für das Kabellosladen typische, geringe Ladetiefe (DoD) sehr batterieschonend, geradezu ideal.

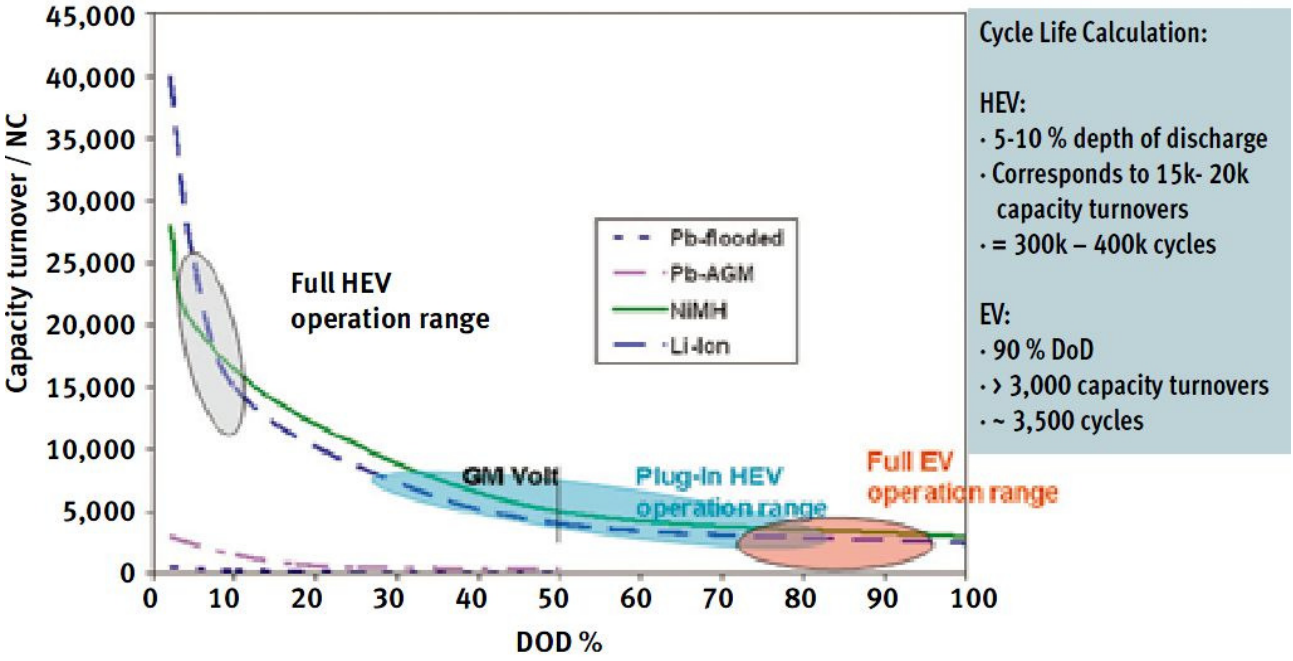


Abb. 15: Johnson Controls bestätigt hiermit für Hybridbatterien (HEV) eine Zyklenfestigkeit bei kleinen Hüben (10 %), die hundert Mal über großen (90 %) liegt, allerdings bei EVs (Johnson Controls, Sonne Wind Wärme 35).

Mit dem Kabellosladen sind – quasi automatisch – regelmäßigere Ladevorgänge verbunden als mit dem Kabelladen, obendrein bei kleineren Ladeleistungen als beim Schnellladen: „Ideale Bedingungen für die Lebensdauer, so haben wir Batteriehersteller das gerne 36."

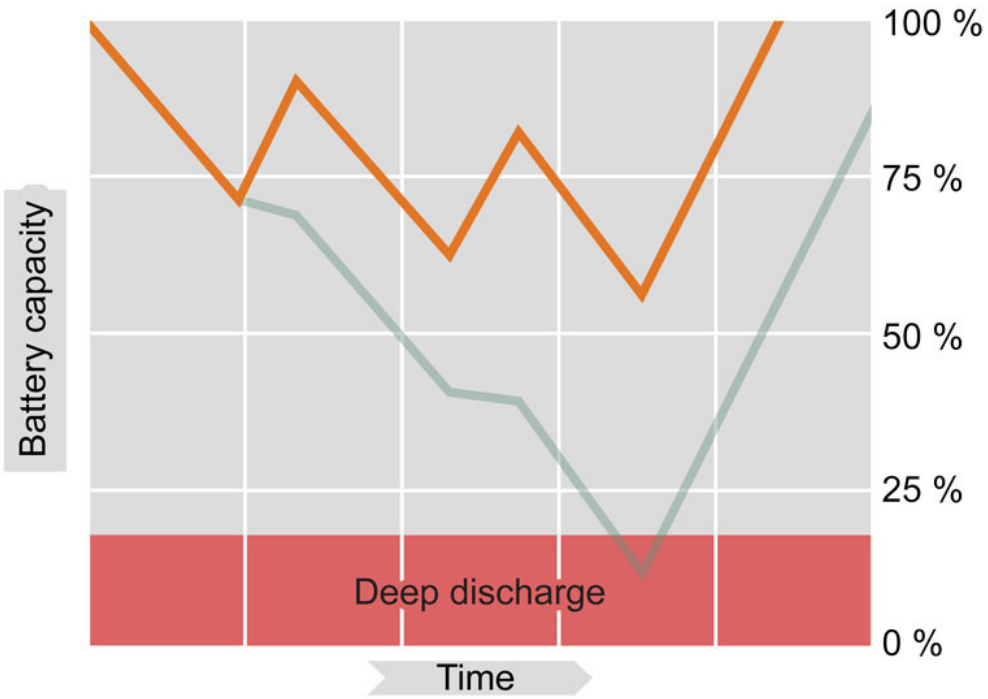


Abb. 16: Kabelloses Laden (orange) erlaubt immer wieder zwischendurch ein gelegentliches Laden (Opportunity Charging): Die Kapazität sinkt nicht so weit ab wie wenn nur alle 2 – 3 Tage geladen wird (blau) und ist wieder schneller bei 100 % (KM)

1.3.5.2 Automatisches Laden = schnellere Verbreitung der Elektromobilität

Der mit dem Wegfall des Tankens verbundene Komfortgewinn macht kabellose Elektrofahrzeuge insgesamt wesentlich attraktiver. Schon ab 2015 kann das der bedeutendste Kaufgrund sein. Verbraucher fossiler Kraftstoffe werden die Tankstelle und den Weg dorthin als Einschränkung ihrer persönlichen Mobilität empfinden, sobald sich herumspricht wie befreiend es ist, wenn man das Tanken wirklich komplett vergessen kann.

Ebenso wie der Umgang mit Kabel und Stecker als zweitbeste Lösung wahrgenommen werden wird, sobald es eine kabellose Alternative gibt. Man spart damit zwar noch immer den Weg „zur Tanke“, es sei denn man muss unbedingt schnellladen, aber die Umständlichkeit des Ladevorgangs bleibt.

Bisher ist das Hantieren mit Kabel und Stecker aber noch der zweitwichtigste Hinderungsgrund 37 für den Kauf eines Elektrofahrzeugs. Dabei geht es um viel mehr als um Komfort. Kabelloses Laden ist nur am Rande ein Convenience-Product, auch wenn man allein zu diesem Megatrend eine eigene sehr ergiebige Studie auflegen könnte. Es geht hier nicht um Bequemlichkeit. Automation bedeutet in erster Linie Sicherheit im Sinne von Verlässlichkeit.

Ob von McKinsey aus Shanghai [37] oder in einer Studie aus Los Angeles: Aus allen Teilen der Welt häufen sich die Nachrichten über Forschungsergebnisse, wonach das Laden sehr schnell die Reichweitendebatte als Hemmschuh der Elektromobilität ablösen wird. „Almost 50 % of the sample indicated that they do not want to charge their car every day”, heißt es von der kalifornischen Befragung 38.

Das Problem nimmt sogar noch zu: “Late Adopters … are less inclined to accommodate daily recharging 39”. Der zukünftige Massenmarkt wird also weniger von idealistischen Pionieren geprägt sein, die den Ladevorgang noch als cool empfinden.

Irgendwann ist es einfach nur noch lästig. Das bestätigt ebenso der Mini-E-Versuch in Berlin. Für eine richtige Alltagserfahrung hat zwar auch dieser Versuch nicht lange genug gedauert. Aber immerhin: Mit zunehmender Versuchsdauer rückte auch der Ladevorgang mehr und mehr in den Fokus kritischer Kommentare.

Nach der Reichweite ist das Laden das Haupthemmniss für potentielle Elektrofahrzeugkäufer. Die Reichweite wird sich innerhalb weniger Jahre zufriedenstellend darstellen lassen. Daran wird mit Hochdruck weltweit gearbeitet. Die Automatisierung des Ladeprozesses würde jedoch erst der Elektromobilität zum Durchbruch verhelfen.

Hier ist aber die Technik „der zweiten Generation“ noch nicht im Gespräch. Obwohl der schnelle Erfolg der Elektromobilität für alle Beteiligten wichtig wäre: Mit der Verbreitung steigen die Stückzahlen, was wiederum eine Kostensenkung pro Stück erlaubt. Die Beschleunigung des Wachstums nimmt mit den absoluten Stückzahlen ihrerseits zu.

1.3.5.3 Automatisches Laden = gesteuertes Laden = schnellere Verbreitung des Smart Grids

Der Wandel zum intelligenten Stromnetz inklusive intelligentem Wohnen steht noch bevor. Ein flächendeckender Rollout von Smart Metern (intelligenten Stromzählern) ist die Voraussetzung für diese Entwicklung. Dies findet bisher in Deutschland im Gegensatz zu vielen anderen Industriestaaten nicht statt, weil sich die Politik hier – im Gegensatz zum Ausland – erst einmal auf Freiwilligkeit und Marktkräfte verlassen wollte.

Umso mehr müssen bereits heute die systemkonformen Technologien für gesteuertes Laden als Standard etabliert werden. Da das Smart Grid das Stromnetz automatisiert, sind automatisierte Komponenten die logische Konsequenz. Kabelloses Laden entbindet alle Beteiligten von manuellen Eingriffen.

Der Trend zu energieeffizienten und energieerzeugenden Gebäuden wird die Verbrauchergewohnheiten künftig in Richtung Eigenverbrauch von dezentral erzeugtem Strom beeinflussen. Das gilt auch für die Nachfrage nach stationären Speichern. In dieses System muss das Elektrofahrzeug eingebunden werden.

Gesteuertes Laden gilt als Grundvoraussetzung dafür, dass Elektrofahrzeuge ohne hohe Zusatzkosten für die Energiewirtschaft in das Stromnetz integriert werden können. Durch gesteuertes Laden tragen sie zur Lastglättung sowie Netzstabilität bei und können im Extremfall auch Netzausfälle verhindern helfen. Um gesteuert Laden zu können, müssen die Fahrzeuge aber, sobald sie parken, am Netz verfügbar sein. Nur ein automatischer Ladevorgang garantiert dies schlussendlich und ermöglich somit die gezielte Steuerung.

Ohne hohe finanzielle Anreize 40 sieht der Fahrzeugnutzer das netzfreundliche Potential seines Fahrzeuges kaum. Für ihn ist eine vollgeladene Batterie in erster Linie ein Mobilitätskriterium. Durch kabelloses Laden profitiert der Elektroautohalter ohne manuelle Eingriffe von lastvariablen Stromtarifen, Energieversorger und Volkswirtschaft profitieren aufgrund der verlässlichen Verfügbarkeit durch Kosteneinsparungen bei Netz- und Kraftwerksausbau.

Mehr noch als private Elektrofahrzeughalter profitieren Flottenbetreiber von automatischem, netzfreundlichem Laden. Es senkt die Total Costs of Ownership (Gesamtbetriebskosten) der Flottenfahrzeuge. Mit ihrem bereits hohen Marktanteil an Elektrofahrzeugen gelten sie als Marktreiber der netzfreundlichen Technologie.

1.3.5.4 Automatisches Laden = schnellere Verbreitung von E-Carsharing

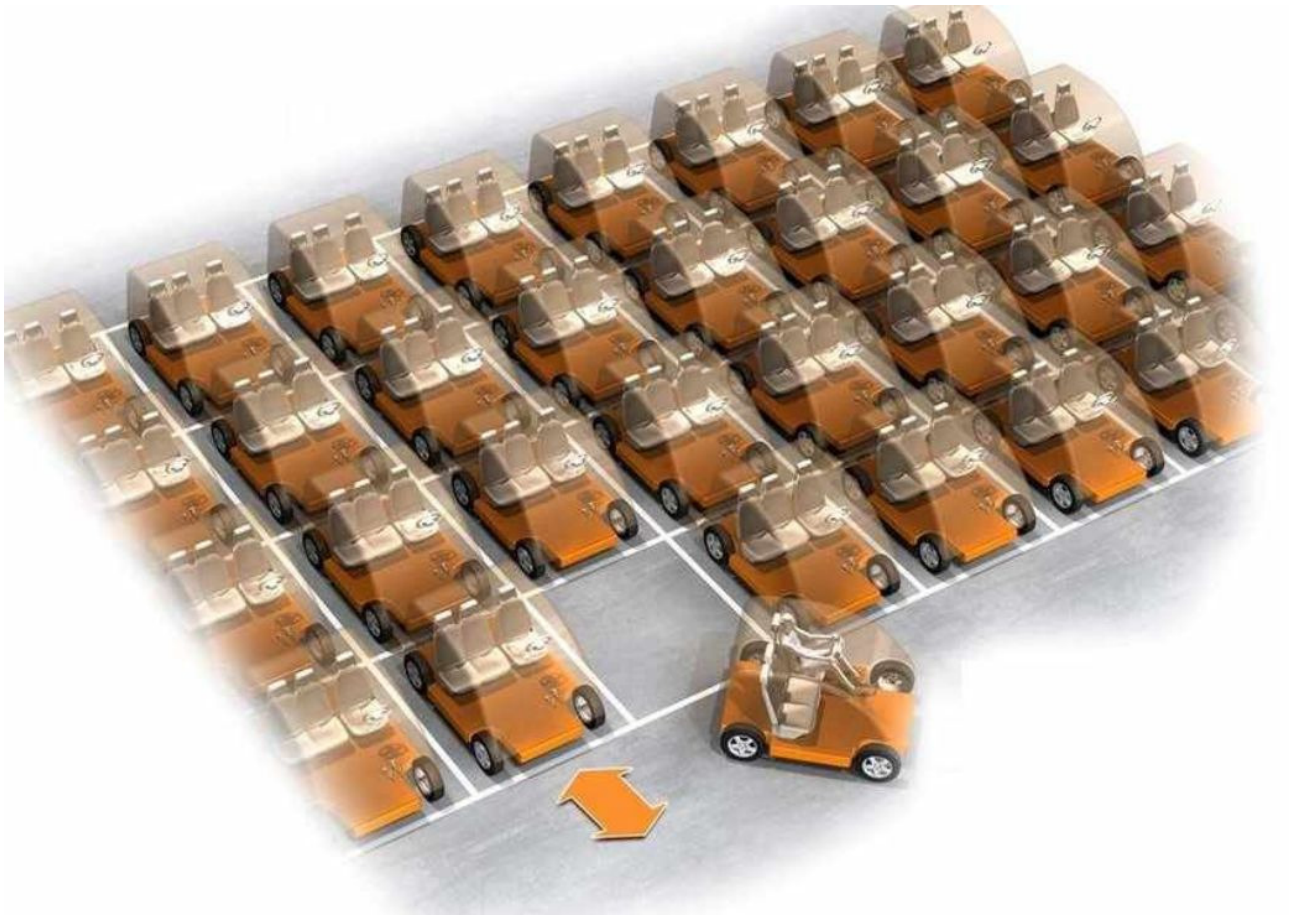


Abb. 17: Barrierefreie Sammelparkplätze von Car Pools zur Nachverdichtung von Parkflächen mit 100 Fahrzeugen auf der Fläche von 30 Parkplätzen (PR induct.fr 41)

E-Carsharing wird für die Betreiber wohl erst mit der Automation des Ladens so richtig interessant. Nicht nur wegen der Kunden, die nicht gerne am Ende des Mietvorganges noch einen Ladeprozess starten. Sondern vor allem, weil automatisches Laden die Fahrzeugflotte zu einem intelligenten Schwarm von steuerbaren Stromspeichern und -generatoren macht.

Abb. 18: Beispiel für maximal verdichtete Parkflächen: Der Parkhausautomationssnbieter IHI hat mit dem Kabellos-Lieferanten Witricity eine Allianz geschlossen, weil das Regalsystem mit Kabel und Stecker nicht kompatibel ist (IHI PR)

1.3.6 Unsichtbares Laden = weniger Denkmalschutzauflagen= mehr VerbreitungsPotential = mehr Ressourceneffizienz

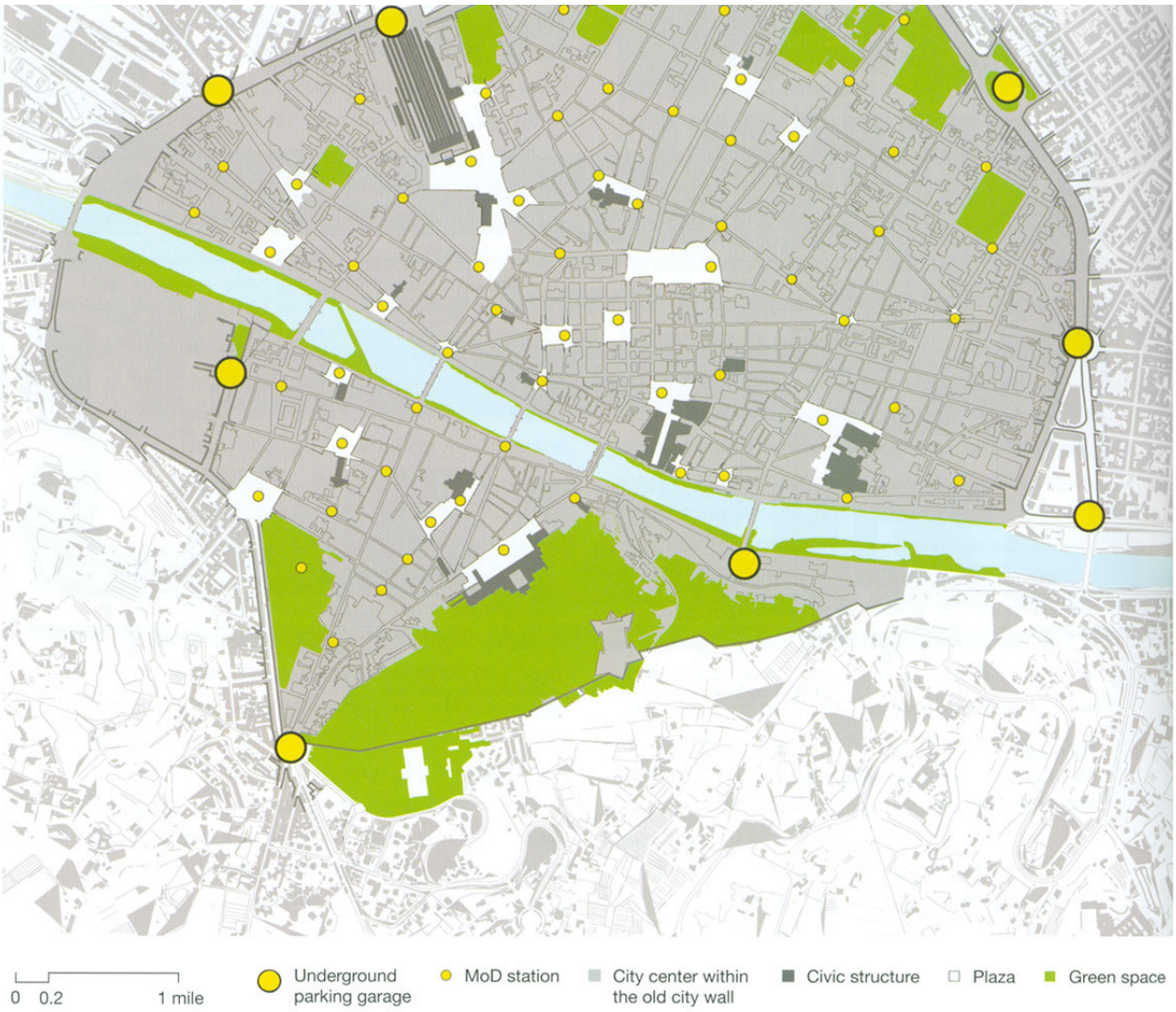


Abb. 19: Öffentliche Ladepunkte und Denkmalschutz in der Altstadt von Florenz nach der Planung des MIT: Die Fahrzeuge laden kabellos (Reinventing the Automobile, Mitchell 42)

Das kabellose Laden hat einen weiteren denkbaren Bonus: Es bleibt in denkmalgeschützten Ensembles vollkommen unsichtbar. Selbst ohne Denkmalschutzauflagen bleibt für die Stadtplanung eine potentielle Erleichterung durch die Option auf barrierefreies Laden.

Dazu muss aber auch die Bedienung und Dokumentierung des Ladevorganges komplett über das Smartphone erfolgen. Die damit verbundenen Einsparungen für Bedienoberflächen und Kommunikationstechnik am Ladepunkt und im Auto senken die Systemkosten. Daher ist der weltweite Boom der Smartphones letztendlich auch ein Trendindikator für das kabellose Laden.

Abb. 20: Smartphone Boom als Trendindikator für das kabellose Laden: keine das Stadtbild störende Bedienoberfläche mehr (Audi PR)

1.3.6.1 Barrierefreies Laden senkt die Markteintrittsbarrieren der Elektromobilität aus Sicht der Stadtplanung

Ein eigenes Teilprojekt war der Stadtplanung gewidmet:

„Art (induktiv oder konduktiv), Ort (Standort mit Umgebung) und Anzahl bzw. Netzdichte der Ladeinfrastruktur spielen eine zentrale Rolle in der Bewertung ihrer städtebaulichen Verträglichkeit.

Aufgrund der bisher sehr geringen Marktdurchdringung mit Elektrofahrzeugen gibt es noch kaum Erfahrungen, aber bisher auch wenig Konflikte im Umgang mit Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum.

Stadträumliche Kriterien haben die Standortwahl bisher kaum beeinflusst. Wichtiger sind wirtschaftliche Kriterien (Geschäftsmodelle, Marketing), rechtliche und technische Fragen (Standardisierung, Netzintegration). Rechtliche Fragen entstehen insbesondere im Zusammenhang mit der Flächenausweisung für Elektrofahrzeuge im öffentlichen Raum (Diskriminierungsfreiheit, Verfügbarkeit, Nutzungsoffenheit).

Induktive Ladeinfrastruktur ist grundsätzlich städtebaulich verträglicher zu realisieren als konduktive Ladeinfrastruktur.

Je größer der Bedarf an Ladepunkten im öffentlichen Raum, desto größer die Wahrscheinlichkeit, dass städtebauliche Kriterien die Realisierung konduktiver Ladeinfrastruktur limitieren. Die Entscheidung für die städtebaulich verträglichere Technologie kann sich dann fördernd auf die Marktdurchdringung des Elektroautos auswirken.

Je stärker städtebauliche Kriterien die Realisierung konduktiver Ladeinfrastruktur limitieren, desto größer die Wahrscheinlichkeit, dass der Aufbau konduktiver Ladeinfrastruktur die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen hemmt.“

(Institut für Städtebau- und Landesplanung, Prof. Dipl.-Ing. Kunibert Wachten)

1.3.7 Kabelloses Laden = hygienischeres Laden = mehr Akzeptanz = schnellere Verbreitung der Elektromobilität

Aus Sicht der unterschiedlichen Stakeholder geht es beim Kabellosladen um Sicherheit im weitesten Sinne, z. B. um eine verlässlich aufgeladene Batterie, also Reichweitensicherheit aus Nutzersicht, oder um eine schonend aufgeladene Batterie, also Wertsicherheit aus Herstellersicht, oder um verlässliche Verfügbarkeit am Netz, also Prozesssicherheit aus Netzbetreibersicht.

Das sind die rationalen Überlegungen. So funktioniert Technik, so funktionieren Technikentwickler und so funktionieren die handverlesenen, aufgeklärten Early Adopter einer neuen Technologie in öffentlich geförderten und öffentlich wirksamen Feldversuchen. So funktionieren aber keine Massenmärkte.

Wie Massenmärkte funktionieren, lässt sich mit dem Szenarienmodell der Begleitforschung nachvollziehen. Betrachten wir den Faktor Sicherheit am Beispiel von einem Hygieneszenario:

Angenommen es kommt eine neue Grippe-Epidemie in Verbindung mit einer Meldung in die Nachrichten, wonach der Alltagsgegenstand mit dem höchsten Erregerbesatz die Zapfpistole an der Tankstelle ist [43]. Nach kurzem Rauschen im Blätterwald sieht man die ersten Tankstellenkunden mit Handschuhen an der Zapfsäule hantieren. Wenige Tage und einige tausend Blogeinträge später beginnen die ersten Tankstellen, Einweghandschuhe aus Kunststofffolie auszulegen. Der Kraftstoffverbrauch geht zurück, aber Verbraucher fossiler Kraftstoffe haben keine Alternative. Elektrofahrzeugfahrer schon.

Ebbt die Grippe nicht ab, gehört es allein schon aus hygienischen Gründen nach 2 Wochen zum guten Ton, möglichst zuhause zu laden. Oder dann eben gleich kabellos. Spätestens ab dem nächsten Fahrzeugkauf. In Asien noch viel konsequenter als bei uns. An Schnellladesäulen werden Spender mit Desinfektionsmitteln aufgehängt. Sie bleiben aber unbenutzt. Genau wie die Säulen selbst mit ihren fest verbundenen Kabeln und stutzenartigen Steckern. So funktionieren Massenmärkte.

Die Begleitforschung versucht, u. a. mit Werkzeugen wie der Szenarienmodellierung, diesen marktprägenden Strömungen nachzugehen, auch wenn sie statistisch schwer greifbar sind. Ein Beispiel aus diesem Bericht: Elektrofahrzeugaffine Fachmessebesucher oder Feldversuchsteilnehmer – und somit Early Adopter - geben bei einer Befragung völlig selbstverständlich erst einmal zu Protokoll, dass sie der Umgang mit Kabel und Stecker keineswegs stört. Auch natürlich ausdrücklich die denkbare Verschmutzung nicht.

So lauten, wie zu erwarten, die Antworten, bevor Meldungen wie die obige bekannt werden oder die ersten Bilder durch die Presse gehen, z. B. von Hunden, die an einer Ladesäule das Bein heben. Oder von Tauben, die eine Ladesäule gerne als Aussichtspunkt nutzen. Mit allen Begleiterscheinungen. Dann fehlt nur noch eine Vogelgrippe und die Blogosphäre ist voller Empfehlungen zu Ladesäulen mit geringer Taubenplage.

Abb. 21: Ein Verbotsschild für 8,95 Euro im Internetversandhandel als Indikator für die Akzeptanz von weiteren exponierten Stadtmöbeln, ebenso wie Fundstellenanzahl und –art zu „Pigeon Droppings“

Selbst wenn der Technologiefolgenabschätzung vorab für solche Zusammenhänge keine belastbaren Beweise zur Verfügung stehen, sind die entsprechenden Szenarien doch mehr als rein hypothetisch. Das Szenarienmodell der Begleitforschung bildet daher solche Wirkzusammenhänge nach mathematischen Gesetzmäßigkeiten ab (wobei allerdings der hier beschriebene Hygienefaktor mangels derzeitiger Datendichte erst in der nächsten Version zur Darstellung kommt).

Will man die Auswirkung unterschiedlicher Ladetechnologien auf die Akzeptanz der Elektromobilität abschätzen, dann genügt es nicht, dafür die Produktdatenblätter der einzelnen Varianten heranzuziehen. Der Erfolg der Elektromobilität entscheidet sich nicht allein aufgrund von technischen Eigenschaften. Elektromobilität ist mehr als ein Mobilitätskonzept, sie ist ein gesellschaftliches Ereignis, ein wenig Kultur, ein wenig Psychologie, eben ein Marktphänomen. Märkte verhalten sich aber nicht rational, schon gar nicht der Automarkt. Daher kann man den Erfolg einer Ladetechnik auch nicht mit der Stoppuhr ausmessen.

Es gibt zu Phänomenen der Kategorie Vogelgrippe kaum eine verwertbare Datenlage, also keine Hard Facts. Solche Soft Facts können aber letztendlich dennoch zur Akzeptanz der Elektromobilität beitragen. Es ist Aufgabe der Begleitforschung, Szenarien der Art zu identifizieren, zu gewichten und in die Technologiefolgenabschätzung einzubringen, bevor sie je irgendwo entsprechende Schlagzeilen gemacht haben können.

1.3.7.1 Szenarienmodell am Beispiel von Hygienefaktoren

Dabei erlaubt das Szenarienmodell das Durchspielen weicher Markttreiber, auch ohne harte Fakten. Wenn sich also im Versandhandel des Internets schon heute Schilder bestellen lassen, die es verhindern helfen sollen, dass Hunde an Hydranten das Bein heben, dann darf man daraus sehr wohl einige Schlüsse in Bezug auf die flächendeckende Akzeptanz eines Ladesäulenwalds ziehen:

1. Der Leidensdruck in Bezug auf Vierbeiner und Stadtmöbel ist schon jetzt so groß, dass es für kommerzielle Verbotsschilder einen ausreichenden Markt gibt, auch wenn sie weitgehend nutzlos sind.
2. Bisherige Stadtmöbel sind tendenziell robuster und reinigungsfreundlicher als Ladesäulen und dennoch sind die Hunde ein Thema.
3. An bisherigen Stadtmöbeln gibt es nichts, was in Bodennähe angefasst und gar ins Auto gelegt werden muss, schon gar nicht mehrmals täglich, und dennoch sind die Wegmarken der Hunde offenbar auch ohne das schon ein großes Ärgernis.

Ähnlich ist es mit den Hinterlassenschaften von Tauben. Wenn heute schon die oberflächlichen Verschmutzungen von Stadtmöbeln ein Grund für Petitionen und Gemeinderatsbeschlüsse sind, wie wird das dann erst, wenn das Ladekabel als eigenes Hab und Gut des Autofahrers trotz Besudelung eingewickelt und ins eigene Auto gelegt werden muss?

Neben den hygienischen Aspekt tritt auch der Kostenfaktor von verschmutztem Autoinnenraum und reinigungsbedürftigen Kleidungsstücken [44]. Die Reinigungskosten sind zwar bezifferbar, die Folgekosten durch Imageschaden und Kaufzurückhaltung naturgemäß nicht. Diese Unwägbarkeiten weiter einzukreisen und möglichst zu fixieren, ist Ziel der Begleitforschung.

Das klingt zwar nach „Pudding an die Wand nageln“ ist aber so unmöglich nicht. Aus der allgemeinen Lebenserfahrung, dem allgemeinen Lebensrisiko in der Sprache der Versicherer, ergeben sich Gesetzmäßigkeiten. Der allgemeine Lebensalltag folgt Gesetzen, wenn auch ungeschriebenen.

Es erscheint auf Basis dieser Überlegungen durchaus nicht als zu weit hergeholt, wenn man in Bezug auf hygienische Sicherheit dem kabellosen Laden einen Wettbewerbsvorteil zuspricht. Wie sich solche Produkteigenschaften mit Kausalketten der Kausalität „kabelloses Laden = hygienischeres Laden“ in die übrigen Wechselwirkungen einordnen lassen zeigt das Szenarienmodell.

Ähnlich wie der Megatrend „Convenience Products“ ist allerdings speziell dieser Hygienefaktor im derzeitigen Demonstrator des Szenarienmodells noch nicht aktiviert, um die Komplexität zu reduzieren. Zusammenhänge, die bereits aktiviert sind, beschreibt dieser Bericht im Folgenden genauer.

2 ZIELSTELLUNG DES VERBUNDPROJEKTES

2.1 Gesamtziel des Verbundes

Grobziel der Begleitforschung war es,

- die angelaufenen Förderprojekte zum kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen wissenschaftlich zu begleiten,
- die unterschiedlichen Ansätze und Ergebnisse der einzelnen Förderprojekte zu beleuchten,
- eine internationale Austauschplattform für die Projekte in Deutschland aufzubauen,
- einen internationalen Diskurs zwischen Projekten in Deutschland, der EU und Übersee einzuleiten,
- die technischen Eckwerte des Arbeitskreises „Anwendungsregel für das berührungslose Laden von Elektrofahrzeugen“ zu untermauern bzw. in Frage zu stellen,
- die Bedeutung des kabellosen Ladens für den Durchbruch der Elektromobilität zu einem Massenmarkt zu erfassen bzw. zu relativieren.

Das wesentliche wissenschaftliche Ziel der Begleitforschung zum kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen war die Entwicklung und Bereitstellung eines Szenarienmodells. Mit diesem Werkzeug sollten die Einflussfaktoren der Technologiefolgen transparent werden - auch in ihrer komplexen wechselseitigen Abhängigkeit. Damit wird den Entscheidungsträgern in Politik und Wirtschaft ein Instrument an die Hand gegeben, mit dem sich die Chancen und Auswirkungen des induktiven Ladens abschätzen und gestalten lassen.

Ein weiteres Ziel der Begleitforschung zum kabellosen Laden war die Flankierung der entsprechenden Forschungsprojekte durch die Aufarbeitung grundlegender Fragestellungen. So wurde eine gemeinsame Wissensbasis zu Peripheriethemen geschaffen. Dadurch ließen sich Redundanzen und Lücken unter den Einzelprojekten vermeiden.

Inhaltliches Ziel war eine Technologiefolgenabschätzung mit Gesamtökobilanz für das Induktionsladen von Elektrofahrzeugen im Vergleich zum Laden mit Kabel und Stecker. Angestrebt wurde eine Gesamtökobilanz für das Induktionsladen von Elektrofahrzeugen im Vergleich zum Laden mit Kabel und Stecker. Dazu sollten verschiedene Szenarien näher betrachtet werden.

Dabei ging es um die Bestätigung oder Widerlegung grundlegender Prämissen:

- Induktionsladen erlaubt häufigeres, automatisches und fernsteuerbares Laden im batterieschonenden und energieeffizienten Teilladebereich mit hohem Wirkungsgrad.
- Daher kann das Induktionsladen als regelmäßigeres und somit automatisch flacheres Batterieladen wesentlich zu den Batterielebenszeiten, zur flächendeckenden Verfügbarkeit der Rückeinspeisung, zur netzseitigen Steuerbarkeit des Ladens bzw. Entladens und somit zur Gesamtökobilanz sowie Kosteneffizienz und Sicherheit der Elektromobilität beitragen.
- Insgesamt dürfte sich das Induktionsladen folglich auf die Flotte und den Netzbetrieb hochgerechnet als umweltfreundlicher und für die Gewährträger als wirtschaftlicher gegenüber dem kabelbasierenden Laden erweisen.

Diese Annahmen galt es, auf eine wissenschaftlich fundierte Grundlage zu stellen bzw. zu widerlegen.

Der Ergebnisbericht des Projektes macht vor allem die methodischen Ansätze der Szenarienidentifizierung, der Parametrisierung und Modellierung nachvollziehbar. Damit wird das Szenarienmodell als erkenntnistheoretisch adäquater Ansatz für eine so komplexe Technologiefolgenabschätzung beschrieben. Entsprechend wurde folgerichtig auf eine unzulässig gewichtete Prognose verzichtet.

Das im Laufe des Projektes weiterentwickelte und verfeinerte Szenarienmodell soll mit dem so gewachsenen Methodenfundus in Zukunft auch für vergleichbare Aufgaben zur Verfügung stehen. Ferner wird sich in den nächsten Jahren zeigen wie realitätsnah sich die Modelle erweisen. Insofern ist eine hervorragende wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit gewährleistet. Prinzipiell könnten demnach interaktiv durchspielbare Szenarien den Prognosestudien die Daseinsberechtigung entziehen.

2.2 Aufgaben der einzelnen Partner

Verbundforschungsprojekt von

- Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb (IAF) der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, (Zuspiel, Szenarienidentifizierung, Stoffsammlung und –strukturierung, z. B. zu Bedienerabläufen, Ergonomiebeispielen, Zeit- und Kraftaufwand, Automatisierungsvorteilen, Verhaltensforschung, Verbraucherpsychologie)
- Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg (ifak), (Programmierung Szenarienmodell, Bestandsaufnahme Modellierungsansätze, Entwicklung Modellarchitektur, Parameter- und Strukturierungsvorgaben für die übrigen Projektbeteiligten, Initialbefüllung des Szenarienmodells, Modellierung in verschiedenen Wirkzusammenhängen wie z. B. für Gesamtökobilanz, insbesondere hinsichtlich Batterie-Ökobilanz, Verfügbarkeit Rückspeisung für Regelkapazität)
- ifak Magdeburg, (Zuspiel, Szenarienidentifizierung, Stoffsammlung und –strukturierung, z. B. zu System- und Lebenszyluskosten in Form von Stück-, Installations- und Betriebskosten, insbesondere hinsichtlich Nahfeldkommunikation, EMV, Wirkungsgradvergleich)
- Kiefermedia GmbH, (Zuspiel, Szenarienidentifizierung, Stoffsammlung und –strukturierung, z. B. zu Verbraucherverhalten, gesellschaftliche Akzeptanz, Geschäftsmodellen, Markt- und Rahmenbedingungen, Verbraucherschutz, Tierweltaspekten - Zusammenfassung, Kommentar)
- Institut für Städtebau- und Landesplanung (ISL) der RWTH Aachen, (Zuspiel, Szenarienidentifizierung, Stoffsammlung und –strukturierung, z. B. zu stadtplanerischen Freiheitsgraden, Lebensqualität, Sicherheit, Vandalismus, Parkflächenbewirtschaftung, Betriebskostenvergleich, Denkmalschutz, Gebäudeintegration und –automatisation, TGA- und andere Normauflagen, Haftungsfragen für öffentliche Betreiber und private „Kabelverleger“ im öffentlichen Parkraum)

Die wissenschaftlichen Projektbeteiligten waren Unterauftragnehmer von ifak, Kiefermedia war Verbundpartner ohne Zusammenschluss des Konsortialführers ifak Magdeburg. Innerhalb des ifak war der Bereich, der sich mit der Technologie des induktiven Ladens beschäftigt, gleichwertiger Zuspieler von Szenarien neben den externen Zuspielern.

2.2.1 Teilbericht ifak, Institut für Automation und Kommunikation e.V.

2.2.1.1 Untersuchungsgegenstand und Methode

Die Akzeptanz der unterschiedlichen Formen der Mobilität hängt direkt vom Komfort für den Nutzer ab. Bestimmende Faktoren in der Elektromobilität sind dabei u.a. der Vorgang des Ladens, die Reichweite des Fahrzeuges und auch die Lebensdauer der Batterie. Auch die kabelgebundene Aufladung (konduktiv) der Energiespeicher der Fahrzeuge über entsprechende Steckverbindungen ist im Vergleich zum heutigen Tanken komplexer. Die innovative Technologie der kontaktlosen Energieübertragung (induktiv) stellt hierbei völlig neue Möglichkeiten zur Verfügung. Induktive Übertragungssysteme für Energie und Daten verbessern durch das Entfallen von Kabeln, Stromschienen oder anderen mechanischen Kontakten wesentlich den Komfort bei gleicher Sicherheit und Zuverlässigkeit.

Die Beurteilung der Vor- und Nachteile der beiden Ladetechnologien sollte in diesem Teilprojekt insbesondere unter den Aspekten Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV), Betriebs- und Lebenszykluskosten, Wirkungsgrad und der elektrischen Sicherheit erfolgen. Weiterhin wurden Fragestellungen zu den Bereichen der Datenkommunikation diskutiert.

Die Ergebnisse der Projektarbeit (Wirkungsketten, Kostenfunktionen usw.) dienten dann als Datengrundlage für das im Projekt vorgesehene Modell.

Während die Betrachtungen zur EMV und der elektrischen Sicherheit auf der Basis der bestehenden technischen Regeln und Normen erfolgen kann, bestehen auf dem Gebiet der Kostenbetrachtungen aufgrund der aktuell verfügbaren Datenlagen für die konduktiven Systeme (Ladesäule, Ladekabel…) wie auch für die induktiven Systeme (induktive Ladestationen) umfassende Schwierigkeiten für einen direkten Vergleich. Jedoch existiert für induktive Systeme aus dem Anlagenbau und im öffentlichen Nahverkehr, den einzigen unmittelbaren Technologiereferenzen für das kabellose Laden, eine bessere Kostentransparenz. Durch entsprechende Recherchen und Interviews sollte eine möglichst genaue Gegenüberstellung von konduktiven und induktiven Lösungen oder durch Analogien aus ähnlich gelagerten Bereichen erfolgen.

2.2.2 Teilbericht OvGU, Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb (IAF)

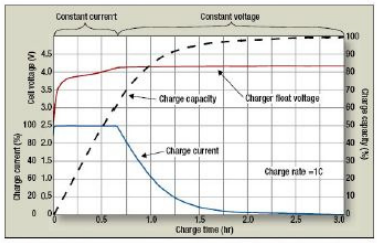
OTTO VON GUERICKE UNIVERSITÄT MAGDEBURG | MB | FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU | IAF

Nutzerverhalten beim Laden von Elektrofahrzeugen

Ein wesentlicher Faktor für die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen ist deren Ladekomfort. Neben dem konventionellen Laden mit Kabel und Stecker wird dabei auch das induktive, kabellose Laden diskutiert. Um aus heutiger Sicht eine belastbare Akzeptanzprognose abgeben zu können, müssen nicht nur (sicherheits)technische und ökonomische Aspekte, sondern vor allem auch das Verbraucherverhalten prädiziert werden.

Akkutechnologie

Die Akkutechnologie wirkt sich auf Reichweite, Ladedauer, Sicherheit, Handhabung, Leistung und Lebensdauer aus. Zudem bestimmt sie einen wesentlichen Teil des Verkaufspreises. Die meisten Akku-Typen sind empfindlich gegenüber Tiefenentladungen, da diese zu irreversibler Schädigung führen können.
Hitze kann im schlimmsten Fall Explosionen und Brände verursachen. Des Weiteren brauchen die meisten Akkus, wie man sie auch in Handys oder Laptops findet, beim Aufladen deutlich weniger Zeit um auf 80% der maximalen Kapazität zu kommen, als zum Laden der restlichen 20 %. Dabei wird die Lebensdauer bei jedem Ladevorgang verkürzt.
Ein entscheidender Unterschied der verschiedenen Akku-Varianten ist der Grad der Selbstentladung. Deswegen Augen auf beim E-Car-Kauf!



Ladekurve eines Lithium-Ionen Akkus
quelle: powerelectronics.com

Laden per Kabel

Das Laden per Kabel ist die am weitesten verbreitete und bekannteste Möglichkeit Elektrogeräte zu laden.

Vorteile des Kabelladens	Nachteile des Kabelladens
- Infrastruktur in Ansätzen vorhanden	- Teure Infrastruktur
- Technik bereits erprobt	- Stadtbild wird durch Ladesäulen beeinträchtigt
- Vertrauter Ladevorgang	- Vandalismusgefährdet
- Hoher Wirkungsgrad	- Kontaktbelastung/Verschleiß
- Keine Elektrostrahlung	- Lange Ladezeiten
- Rückspeisung ins Netz möglich	- Normierung der Anschlüsse nötig
	- Pirateriegefahr
	- Lästige Handhabung

E-Mobil an der Ladesäule
quelle: mennekes.de

Laden per Induktion

Induktives Laden während der Fahrt
quelle: welt.de

Kontaktlos, sicher und bequem. So stellt man sich im 21. Jahrhundert das Laden seiner Elektrogeräte vor. All diese Eigenschaften können mit Induktivität realisiert werden.

Vorteile induktives Laden	Nachteile induktives Laden
- Bequeme Handhabung	- Emittierung von Strahlung (Elektrosmog)
- Wetterunabhängig	- Übertragungsverluste
- Unauffällig	- Komplexe und teure Infrastruktur nötig
- Kein Verschleiß	- Unsichere Datenübertragung
- Berührungssicher	
- Hermetische Kapselung	
- Laden beim Fahren möglich	

Abb. 22: Die Uni Magdeburg beobachtete das Nutzerverhalten und das System Elektromobilität (OvGU)

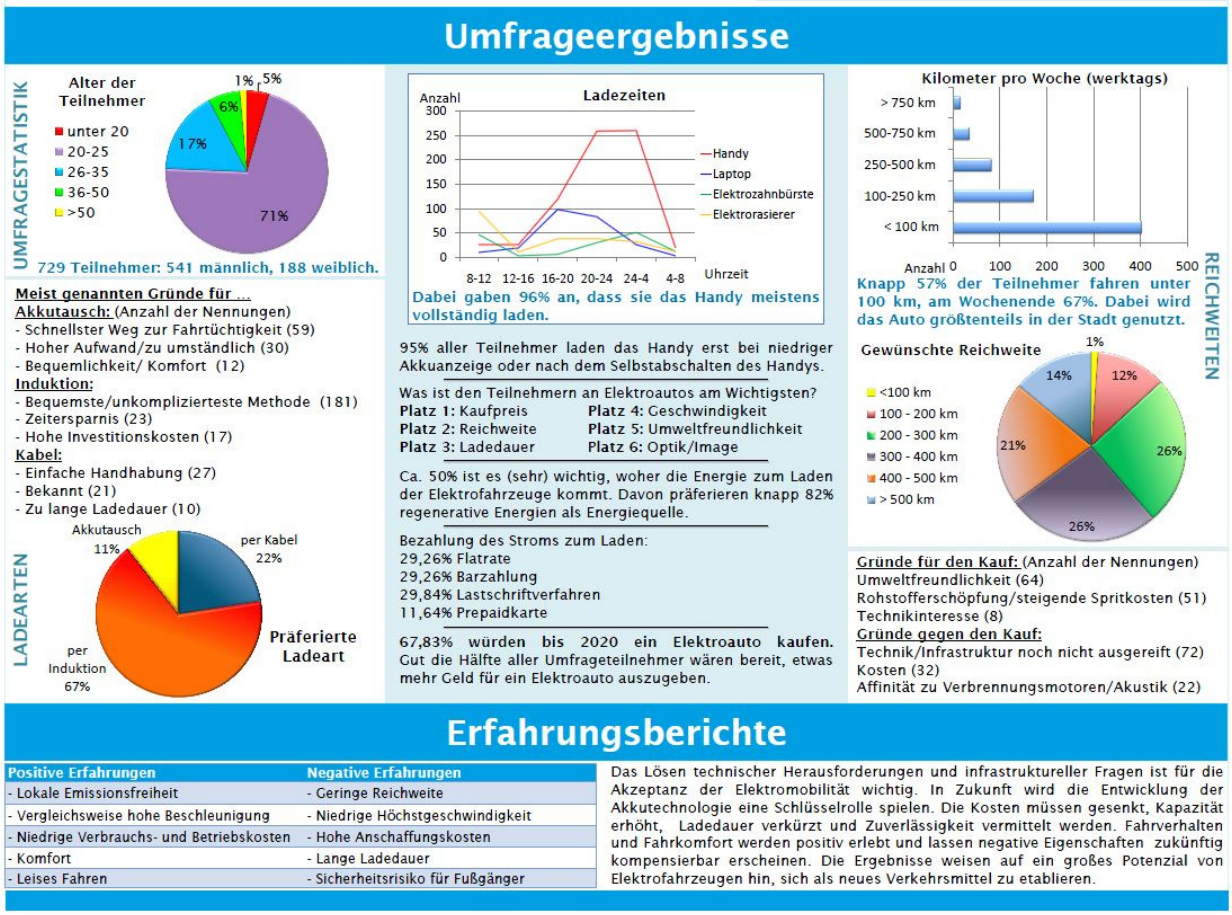


Abb. 23: Schwerpunkt der OvGU war eine Umfrage auf der Hannover-Messe Industrie sowie eine Telefonbefragung (OvGU)

2.2.3 Teilbericht RWTH, Institut für Städtebau- und Landesplanung (ISL)

Im Rahmen des interdisziplinären Begleitforschungsvorhabens „Kabelloses Laden“ im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Projektträger: VDE/VDI Innovation + Technik GmbH) untersuchte das Institut für Städtebau und Landesplanung an der RWTH Aachen University die städtebaulichen Auswirkungen von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum.

Insbesondere wurde die Frage untersucht, inwieweit visuelle (Stadtbild, Denkmalschutz, Sauberkeit) bzw. funktionale (Sicherheit, Barrierefreiheit, Nutzungsoffenheit) Restriktionen einem flächendeckenden Ausbau von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum entgegenstehen.

Der Untersuchungsteil des Instituts für Städtebau und Landesplanung an der RWTH Aachen University fokussierte die Fragestellung des Begleitforschungsprojekts „Kabelloses Laden“ auf städtebauliche Faktoren, die bezogen auf die beiden Ladetechnologien „induktiv“ und „konduktiv“ die Marktdurchdringung mit Elektroautos beschleunigen bzw. hemmen können.

Räumlich beschränkte sich diese Untersuchung auf Ladeinfrastruktur in den Städten der „Modellregionen Elektromobilität“, da hier der Netzaufbau zuerst erprobt wird und erste Erfahrungen vorliegen.

Untersuchungsgegenstand war die Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum im Bereich von Straßen und Plätzen. Ladeinfrastruktur auf privaten (Endverbraucher und gewerbliche Nutzer) oder semi-öffentlichen Flächen (bspw. Mitarbeiterparkplätze, Kundenparkplätze) löst grundsätzlich keine städtebaulichen Spannungen bzw. Regelungsbedarfe aus.

Untersucht wurden nur die Kriterien, die für die Ladetechnologie-Entscheidung „konduktiv oder induktiv“ von Bedeutung sind, d. h. in Abhängigkeit von der Ladetechnologie unterschiedlich zu bewerten sind. Fragestellungen, die beide Ladetechnologien gleichermaßen betreffen, konnten ausgeklammert werden.

2.2.4 Bisherige Arbeiten der Antragsteller

2.2.4.1 ifak Magdeburg, Institut für Automation und Kommunikation e. V. Magdeburg

„Das Institut für Automation und Kommunikation Magdeburg (ifak) ist ein unabhängiges Forschungsinstitut. Es betreibt angewandte Forschung auf den Gebieten der Leit- und Automatisierungstechnik, der industriellen Kommunikation, der Mess- und Analysentechnik, des Informationsmanagements für Umwelt und Automation, der Mechatronik und der Verkehrstelematik. In jährlich ca. 75 Projekten, die von Machbarkeitsstudien bis zu komplexen Entwicklungsvorhaben reichen, ist das ifak Partner für die Industrie und für kommunale Auftraggeber."

http://www.ifak.eu/index.php?id=10

2.2.4.2 Kiefermedia (KM)

Die neuen Geschäftsmodelle liegen im natürlichen Fokus der Markt- und Technologieforschung von Kiefermedia. Der Aspekt Normungsvorteile wird durch den von Kiefermedia initiierten und geführten Arbeitskreis zur Normierung des kabellosen Ladens vertieft.

Das datenbankgestützte Portal für Projektsteuerung und -dokumentation entspricht dem extranetbasierten Wissensmanagement gemäß einem früheren Lehrauftrag an der Albert Ludwigs Universität Freiburg. Kiefermedia betreibt seit Jahren verschiedene Wissensmanagementangebote auf Abobasis für Kunden in der Industrie.

www.kiefermedia.de

2.2.4.3 Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OvGU), Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb

Am Lehrstuhl für Arbeitswissenschaft und Arbeitsgestaltung (Fakultät für Maschinenbau) arbeiten Psychologen und Ingenieure interdisziplinär zusammen. Das gemeinsame Ziel ist eine ganzheitliche Betrachtung des Faches, um Arbeitssysteme technisch funktional, wirtschaftlich effizient und menschengerecht zu gestalten.

Im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten stehen die Bereiche Arbeitsorganisation und Ergonomie, wobei der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion eine besondere Rolle zukommt und die Arbeitsgruppe über einen eigenen Fahrsimulator verfügt.

Diese Schwerpunkte setzen sich konsequent in der Lehre fort, so dass sich die Veranstaltungen ebenfalls an einen interdisziplinären Hörerkreis richten; Studierende aus dem Maschinenbau und der Psychologie bilden dabei die Mehrheit.
http://www.iaf-ag.ovgu.de/

2.2.4.4 RWTH Aachen, Institut für Städtebau- und Landesplanung

„Das Arbeitsgebiet des Lehrstuhls reicht über die verschiedenen Instrumente und Ebenen der Stadtplanung wie Bebauungsplanung, Rahmenplanung über Städtebau und Stadtgestaltung, Regional- und Landesplanung bis zum städtebaulichen Entwurf. Von Bedeutung für das, was als Planungskonzept oder Gestaltungsvorschlag realisiert werden kann, sind die sozialen,

ökonomischen, technischen und rechtlichen Zusammenhänge, das Zusammenwirken von Institutionen und Bürgern, das Suchen und Finden produktiver Kompromisse zwischen unterschiedlichen Anforderungen. Deshalb sind systematische und kreative Fähigkeiten genauso bedeutsam wie Sensibilität in der Erkennung von sozialen und räumlichen Bedingungen."
http://www.isl.rwth-aachen.de/institut_forschung.php

3 AUSFÜHRLICHE DARSTELLUNG DER ERZIELTEN ERGEBNISSE DES VERBUNDPROJEKTES

Die folgenden Kapitel greifen schwerpunktmäßig kommentierend einzelne Wirkzusammenhänge heraus, die auch im Szenarienmodell dargestellt sind. Dabei wird in den Einleitungsabschnitten der Hauptkapitel jeweils darauf eingegangen, warum das Thema für die Gegenüberstellung von kabellosem und kabelgebundenen relevant ist. Diese Korrelation ist dann eine erste wichtige Größe zur zahlenmäßigen Beschreibung der „Chancen und Risiken beim kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen".

Die einzelnen Korrelationen wiederum stehen mit anderen in einem größeren Wirkzusammenhang. Es ergeben sich Kausalketten und am Ende ein ganzes, verzeichnisbaumartiges Wirkmodell. Dieses stellt die unterschiedlichen Konstellationen von Einflussgrößen als Szenarien dar. So ergibt sich ein Szenarienmodell mit flexiblen Parametern. Diese können vom Nutzer interaktiv verändert werden.

Geliefert wird das Szenarienmodell mit einer Voreinstellung. Diese leitet sich aus der Bewertung der im nachfolgenden Bericht geschilderten Zusammenhänge ab. Die in diesem Bericht beschriebenen Teilaspekte sind im Szenarienmodell jeweils bei den einzelnen Gliedern der Kausalkette mit allen Fundstellen hinterlegt. Methodisch erlaubte die Übersicht der Fundstellen hinter jedem dieser „Knoten" den Rechercheuren eine sinnfällige Zusammenschau der Nachrichtenlage. Auf Basis dieser Synopse konnte der Rechercheur die einzelne Korrelation mit einem Ranking gewichten. Dadurch geht der beschriebene Teilaspekt mehr oder weniger in die Gesamtbewertung ein.

Insofern versteht sich der nachfolgende Bericht also lediglich als Kommentar zur Gewichtung dieses Teilaspekts im mathematischen Modell. Dadurch soll die Gewichtung transparent werden. Der Leser des Berichtes kann sich dann als Nutzer des Szenarienmodells ein eigenes Bild machen und interaktiv Stellgrößen verändern.

Damit der Bericht aber auch eigenständig lesbar bleibt und für sich allein schon einen Nutzen liefert, wurde auf ständige Verweise zum Szenarienmodell verzichtet. Dessen Nutzung bedarf im augenblicklichen Betastadium ohnehin einer Anleitung durch die Experten des Teams. Szenarienmodell und Methodik werden in einem eigenen Kapitel 8 ausführlich beschrieben.

Ein Technologievergleich geht auf die unterschiedlichen Varianten des kabellosen Ladens ein. Ansonsten ist hier immer von der Variante aus der deutschen Anwendungsregel die Rede.

3.1 Automatisches, netzfreundliches Laden

Das wichtigste Differenzierungsmerkmal des kabellosen Ladens im Vergleich zum kabelgebundenen ist die Option auf vollautomatische Ladevorgänge. Dies ist weniger in Bezug auf den Verbraucherkomfort bedeutsam als vielmehr hinsichtlich der Anforderungen von Smart Grid und virtuellen Kraftwerken.

Hier lassen sich Elektrofahrzeuge als tatsächliche (ein Flottenbetreiber im Besitz der Fahrzeuge) oder virtuelle Flotten (viele Fahrzeughalter über ein Internetportal zusammengeschlossen) für Geschäftsmodelle mit positiver und negativer Regelleistung 45 nur dann voll integrieren, wenn sie am Netz verfügbar, also angeschlossen, sind. Kurzfristig von Bedeutung ist hier zunächst die negative Regelleistung, also die Abnahme von Überschussstrom aus dem Netz. Erst mittelfristig bedeutsam wird die positive Regelleistung, d. h. die Rückspeisung von Fahrzeugbatteriestrom ins Netz zu dessen Stabilisierung.

Aus Perspektive des Betreibers, der das virtuelle Kraftwerk wie eine Anlage plant und steuert, bringt erst das kabellose Laden den unabdingbar notwendigen Automationsgrad für die Einbeziehung von Elektrofahrzeugen. Von dieser Verfügbarkeit hängt letztendlich die Verlässlichkeit des Systems und damit auch die Finanzierbarkeit (Bankability) des Geschäftsmodells ab. Dem wird jeder Planer und Investor auf dem Gebiet der Energiewirtschaft sowie des Anlagenbaus und der Fabrikautomation zustimmen.

Korrelation konduktiv – induktiv anhand Ladeprozessautomation:
Resonantes Induktionsladen in der eigensicheren, kostenminimierten Ausgestaltung der deutschen Anwendungsregel ist nur massenmarktfähig, wenn Konsens zum Vorrang vom gesteuerten Laden herrscht. Zusammen mit dem Einspeisevorrang von erneuerbaren Energien erhöht das gesteuerte Laden selbstregelnd den Anteil an Grünstrom im Ladestrom.

Entscheidend für einen verlässlich hohen Anteil an Grünstrom ist der Automationsgrad des gesteuerten Ladens. Je weniger Bedienereingriffe und Verbraucherdisziplin erforderlich sind, desto höher die Verfügbarkeit der Fahrzeuge am Netz. In diesem Zusammenhang stellt das kabellose Laden eine Befähigungstechnologie (Enabling Technology) für die Integration von Elektrofahrzeugen in Smart Grid und Smart Home dar.

Das reine Mobilitätsangebot von Elektrofahrzeugen ist je nach Sichtweise kaum besser oder gar schlechter als das von fossilen Fahrzeugen. Ohne zusätzlichen Mehrwert wie die automatische Bereitstellung von Systemdienstleistungen im Smart Grid gibt es für Elektrofahrzeuge keinen Kaufgrund. Idealistische Käufermotive wie weniger Emissionen werden für einen Massenmarkt nicht ausreichen, zumal speziell der deutsche Strommix derzeit noch selbst die Emissionsverbesserungen höchstens marginal ausfallen lässt. Insofern ist das Kabellosladen auch eine Befähigungstechnologie für die Elektrofahrzeuge selbst. Erst damit wird aus Elektromobilität ein Massenmarkt 46.

3.1.1 Schnellladen ist keine Option, gesteuertes Laden beim Arbeitgeber schon, vor allem für Laternenparker

Man mag Parallelen sehen zwischen IBMs Kugelkopfschreibmaschine mit Textverarbeitungsdisplay oder Gottlieb Daimlers Pferdefuhrwerk mit Einkolbenmotor und einer Schnellladesäule mit Elektrofahrzeug oder man mag den Leistungsdurchfluss sehen, den eine klassische Tanksäule mit fossilem Kraftstoff aufweist: Bei einem Energieinhalt von 9 kWh / L und einer Fließgeschwindigkeit von 0,5 L / Sek. entspricht das einem Leistungsdurchfluss von 16 MW. Oder 8 Windrädern gängiger Größe, die unter Volllast drehen. Oder 32.000 Haushalten, die mit typischen 500 W am Netz hängen. Oder pro Tanksäule eine Hochspannungsleitung mit 100.000 Volt. Wenn alle Fahrzeuge so tanken würden, dann bräuchte man als Ersatz für die 170 Mio. Liter Benzin pro Tag eine Kraftwerkleistung von 64 GW [47].

Das entspräche einer Verdopplung der derzeit in Deutschland im Schnitt genutzten Kraftwerkleistung von 40 bis 80 GW. Die Beispiele machen deutlich: Auf Dauer gibt es zum automatischen, netzfreundlichen Laden keine Alternative. Alles andere sind industriegeschichtlich typische Hybridstrukturen und Übergangsphänomene, die sich bereinigen, wenn die Gesetzmäßigkeiten des Massenmarktes ihren Tribut fordern. Unter dem dann einsetzenden Kostendruck können sich sämtliche Ausprägungen von Verschwendung nicht mehr halten.

Die Frage ist nur, wie viel Verschwendung kann sich eine Volkswirtschaft angesichts des branchenübergreifenden Strukturwandels leisten, den die Elektromobilität mit sich bringt?

Und die Laternenparker? Diese haben mit 9.000 km eine viel zu geringe Jahreskilometerleistung, um ein Elektrofahrzeug wirtschaftlich sinnvoll nutzen zu können [48]. Auch die Einkommensstruktur spricht gegen eine frühe, große Nachfrage in diesem Segment. Ohne festen Stellplatz beträgt ihr Parkplatzsuchverkehr über 15 Minuten, mit völlig ungewissem Ausgang, wo das Fahrzeug zu stehen kommt. Dieses Fahrprofil wird am besten über Lademöglichkeiten beim Arbeitgeber bedient so wie das in Kalifornien, Bangalore oder den skandinavischen Ländern längst verbreitet ist.

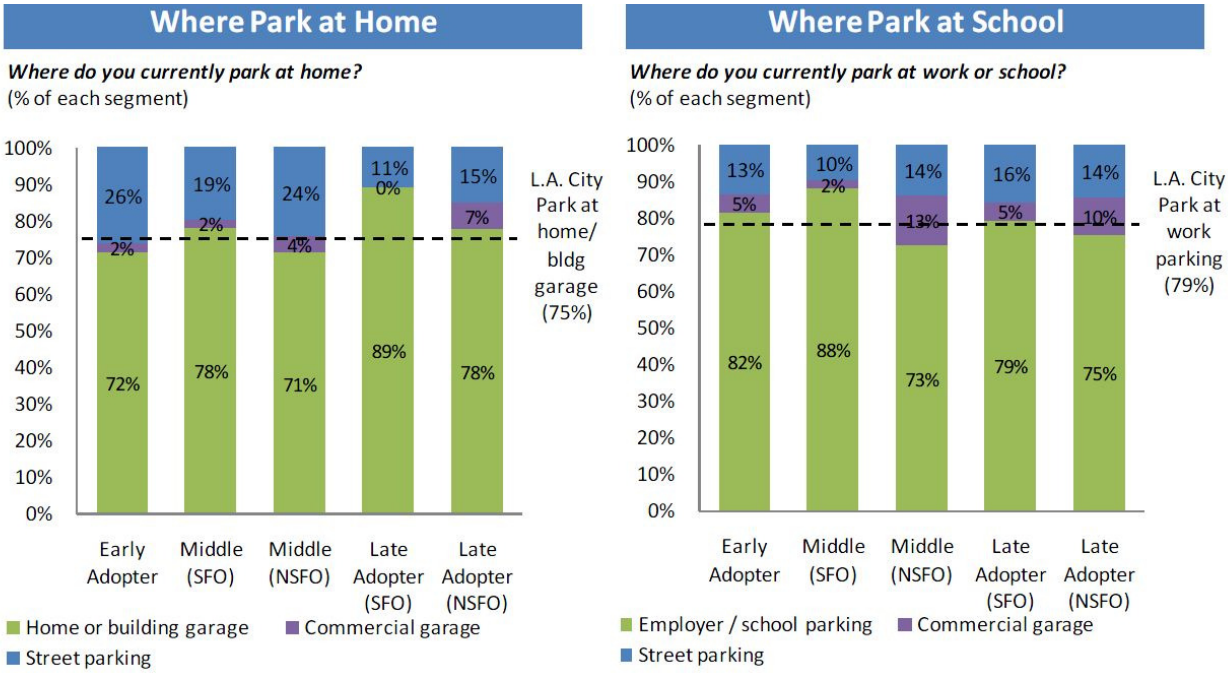


Abb. 24: Der Firmenparkplatz ist mit 79 % der Ort, an dem die meisten Autos zu stehen kommen, sogar noch mehr als am heimischen Stellplatz mit 75 % (UCLA [49])

3.1.2 Slow Charging, der neue Trend aus LA: Langsam laden als Gewinn für Umwelt und Gesellschaft

Figure 56 Attitude Towards Recharging

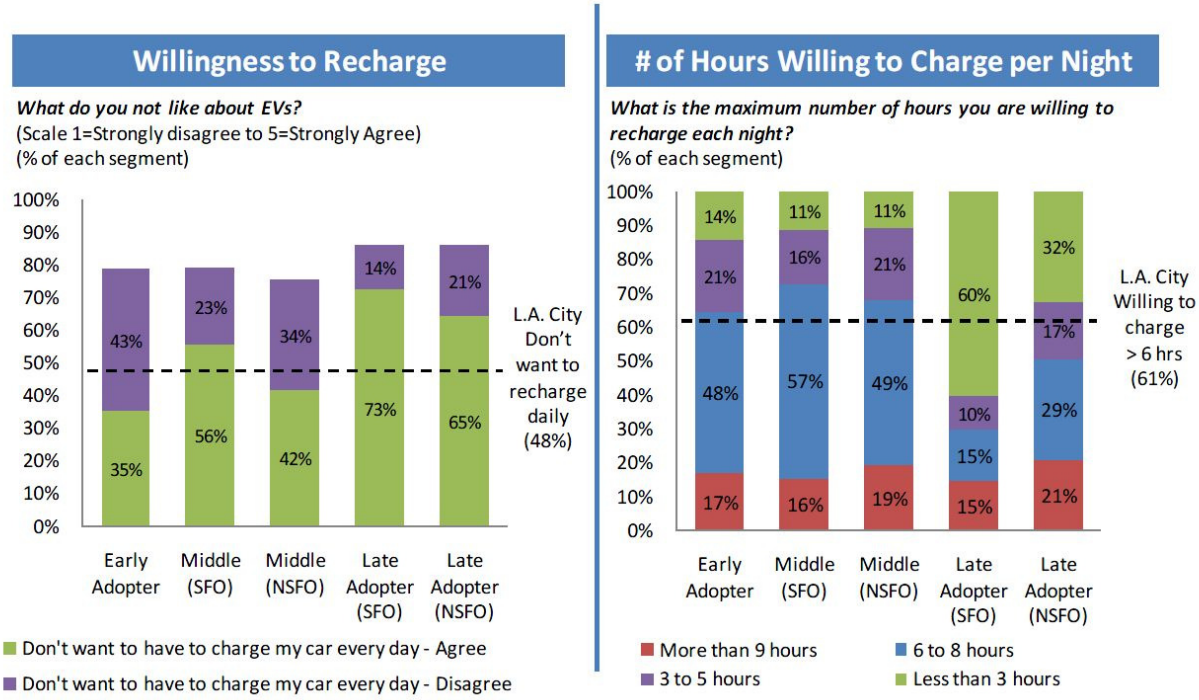


Abb. 25: Selbst in der Welthauptstadt der Elektromobilität hängen die Fahrer das Ladekabel nicht gern an, laden aber am liebsten nachts (UCLA [49])

Figure 58 Interest in Level I and Level II and III Charging

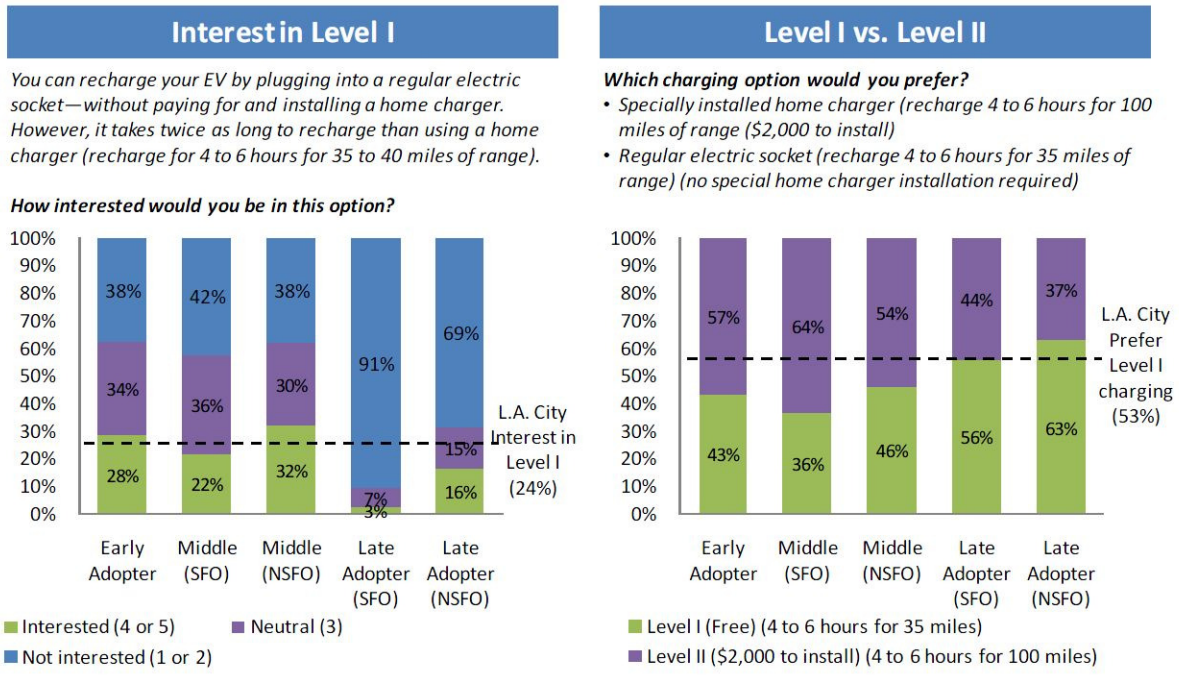


Abb. 26: Je nach Fragestellung wird in LA sogar mit Level 1 ein noch langsamerer Ladestandard als die Schukosteckdose bevorzugt (UCLA [49])

Während anderenorts alle vom Schnellladen reden, hat Los Angeles in einer groß angelegten Studie festgestellt: Es geht auch langsam [49].

Unter den mittelfristigen Nutzern wäre die Akzeptanz dafür sogar noch höher als unter den Early Adoptern. Außerdem trage es zur Verbreitung der Elektromobilität bei, wenn man den Installations- und Anschaffungsaufwand für die Ladetechnik so gering wie möglich halte. Zumal es in LA viele Mieter und Bewohner von Mehrfamilienhäusern gäbe.

Im Übrigen könne man den Nutzer sehr wohl von den Vorteilen des Langsamladens überzeugen. Das sei alles eine Frage der Darstellung. Das hätten auch unterschiedliche Fragestellungen in der Erhebung deutlich gemacht. Man müsse den Verbraucher eben auch ein wenig „erziehen“.

Sehr trocken wird dann die Netzbelastung in LA für jeden einzelnen Stadteil zu unterschiedlichen Tageszeiten dargestellt. Man sieht wie sich die Ladeleistung tagsüber auf einigen Firmenparkplätzen verdichtet. Nachts verteilt sie sich eher gleichmäßig inklusive Umland. Oder anders gesagt: So viel halten die Netze aus. Mehr aber auch nicht.

So weit der Reality Check aus Los Angeles, der klassischen Trendsetterin, die mit etwa 1.400 neu zugelassenen Batterietraktionsfahrzeugen (BEVs) in 2011 wohl schon 2012 zur Welthauptstadt der Elektromobiltät aufsteigen wird und als einzige Stadt weltweit auf kontinuierliche eineinhalb Jahrzehnte mit mehreren hundert Elektrofahrzeugen zurückblicken kann. Insofern kann man die Tragweite diese Empfehlung kaum überschätzen.

Aufgrund der Bedeutsamkeit des Textes wird er hier ausnahmsweise in großen Umfängen zitiert und nicht in den Endnoten verborgen:

"... For over 70 % of L.A. drivers who commute less than 30 miles per day (round-trip), there are multiple charging schedules to fit their charging preferences. Six to eight hours of Level II recharge every two to three days or three to four hours of Level II recharge every day would also be enough for most L.A. drivers. Alternatively, six to eight hours of Level I recharge every day would also suffice. ...

Level I charging may be a realistic option to support and incentivize widespread adoption amongst non-single family homeowners and Mid to Late Adopters. Seventy-three percent of commutes are below 30 miles (round-trip) and 76 % of total driving is below 50 miles per day. At least 30 % of Mid-Adopters show an interest in Level I charging (and another 30 % of the population remain neutral who might be convinced to try Level I). ...

Finally, Level I charging may be a realistic option to support and incent greater widespread adoption among non-single family homeowners and Mid to Late Adopters. Given limited driving distances of the majority of L.A. residents, Level I charging may be a realistic opportunity for early to midadopters— especially when charger installation might be difficult.

Level I charging uses a regular electrical socket and doesn't require installation of a special home charger installation, but takes twice as long to charge than other charging equipment (four to six hours for 35 to 40 miles of range). Early Adopters are interested in Level I charging at a rate of 28 %, compared to 22 % of Mid-SFOs, 32 % of Mid-NSFOs, and a 24 % sample average.

Also promising is that a significant portion of the population remains neutral about Level I. With more education about how Level I might be enough to support the majority of L.A. drivers' range needs, a significant portion of the 34 % of Early Adopters, 36 % of Mid-SFOs, and 30 % of Mid-NSFOs who remain neutral might consider Level I charging a viable option. ...

When given a choice between charging for 4 to 6 hours for 100 miles of range using a specially installed home charger at $2,000 installation cost (Level II) vs. charging for 4 to 6 hours for 35 miles of range with no home charger installation required (Level I), respondents preferring Level I increased dramatically. ... "

Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, S. 3, 74

Figure 48 BEV 100 Mile Range Limitation

How much of a problem would the 100 mile range of a BEV be for you? (% of each segment)

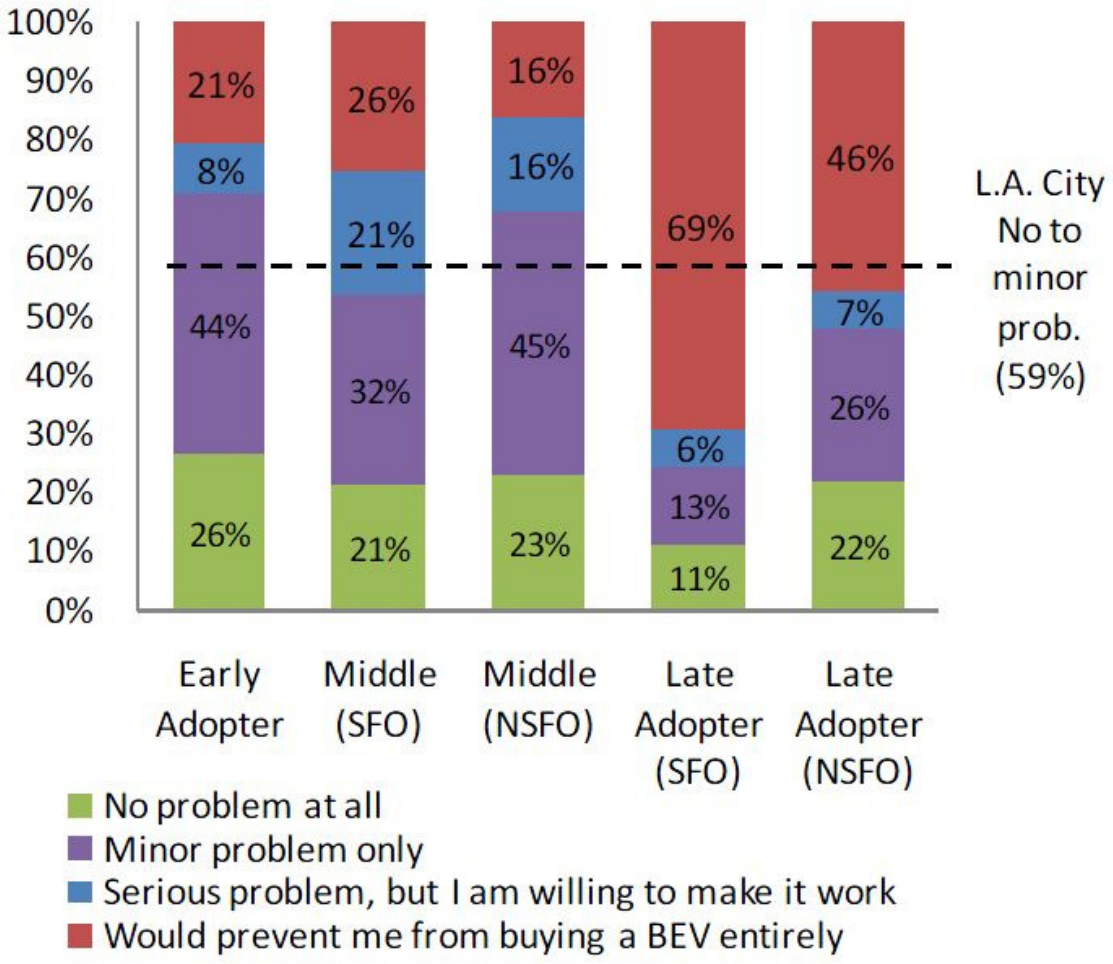


Abb. 27: Selbst in LA werden die heutigen Batteriereichweiten von 59 % als unproblematisch angesehen (UCLA [49])

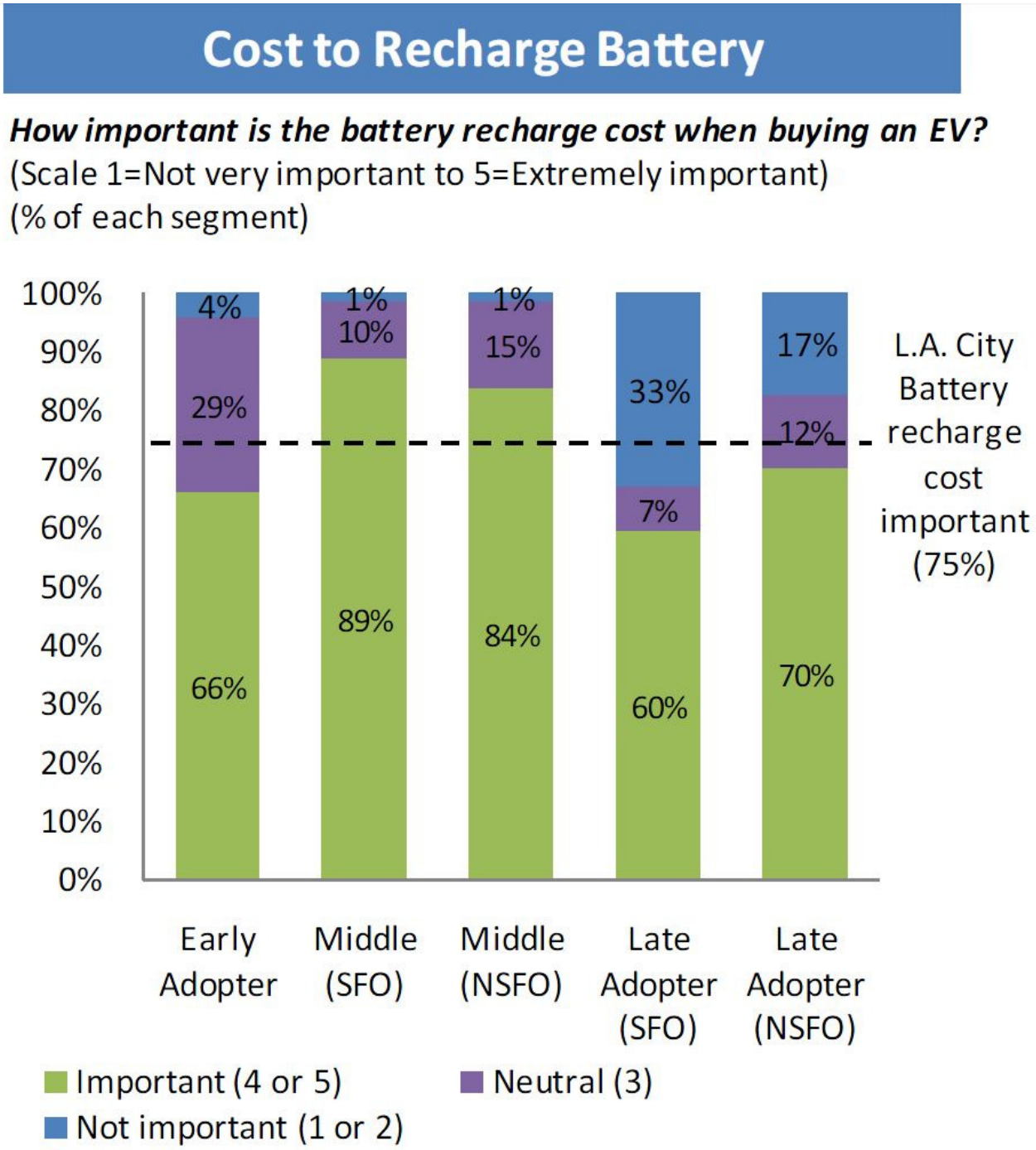


Abb. 28: Auch in Kalifornien sind die Batterieladekosten für 75 % der Elektrofahrzeugfahrer wichtig. Damit wird es für Aufpreise an der Schnellladesäule sehr schwer (UCLA [49])

Fazit: Warum flächendeckendes Schnellladen volkswirtschaftlich keine Option ist

Wenn man nach der C40-Studie an einer Schnellladesäule mindestens das Vierfache pro kWh zahlen müsste, damit allein die Infrastrukturkosten gedeckt sind, oder wenn dafür nach dem französischen Livre Vert allein 24 Euro pro Tankvorgang erhoben werden müssten (bei ansonsten 2 Euro zuhause), dann darf die Frage gestellt werden „Wer soll das bezahlen?“. Beide Studien prüfen genau wie die aus LA den Business Case für Schnellladesäulen wohlwollend, beide empfehlen auch am Ende entsprechende Investitionen. Dazu bleibt anzumerken, dass die reinen Investitionskosten in die Infrastruktur über einer Ladesäule keine 50 % der Gesamtlebenszykluskosten ausmachen. Ferner haben alle in der Begleitforschung aufgefundenen Studien einen ganz entscheidenden Aspekt außer Acht gelassen: Mit der Grid Parity von

Solardächern wird noch öfter zuhause geladen. Die Säulen werden noch schneller zu Investitionsruinen.

3.1.2.1 Netzfreundlichkeit

Nach Angaben der Internationalen Energie Agentur (IEA) ist der Transportsektor weltweit für rund 60 % des globalen Ölverbrauchs verantwortlich und für geschätzte 30 % der CO_2-Emissionen. Allein in Deutschland lag der Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr 2008 bei 65 Mrd. Litern [50]. Jetzt suchen Industrie, Politik, Forschung und Entwicklung nach Alternativen. Zu diesen gehören zu Recht Elektrofahrzeuge (EFZ), die laut einer Accenture Studie 40 bis 60 % effektiver sind als Verbrennungsmotoren [51].

Doch der Umstieg von einem Energieträger zum anderen — also weg vom Öl hin zum Strom — ist nicht nur ein Austausch des Antriebs, sondern ein Systemwechsel [52]. Und zwar in ein System das gerade dabei ist, sich neu zu formieren. Der übergeordnete Begriff hierzu lautet Energiewende. Es sollte also auch beachtet werden, dass die Elektrofahrzeuge und deren Infrastruktur in ein Umfeld eintreten, dass sich noch ständig verändern wird.

Allein der Blick auf die Wertschöpfungskette von Elektrofahrzeugen zeigt, dass künftig die Wirtschaftszweige Automotive, Batterie- und Elektrizitätswirtschaft Hand in Hand arbeiten müssen. Aus diesem dringend erforderlichen Zusammenwirken ergeben sich Schnittstellen, die bei Technologiebetrachtungen wie dem konduktiven und induktiven Laden besonders beachtet werden müssen. Hinzu kommt als ganz neuer Faktor der Elektrofahrzeug-Nutzer. Ein Faktor, der im bisherigen Energiesystem kaum eine aktive Rolle übernehmen konnte, sich langsam aber vom reinen Consumer (Konsument) zum Prosumer (Produzent und Konsument) entwickelt.

Aber nicht nur den Prosumer als neuen Marktteilnehmer gilt es in die Betrachtung einzuschließen, die gesamte dezentrale Energieerzeugung und die Entwicklung der Erneuerbaren Energien treiben die Akzeptanz und damit den Markt Elektromobilität voran. Beispielgebend sei hier die Integration fluktuierender erneuerbarer Energien mittels Elektrofahrzeug und entsprechender Ladeinfrastruktur in das Stromnetz zu nennen.

Im Hinblick auf die CO_2-Emissionen werden sich Elektrofahrzeuge in Deutschland nur rechtfertigen lassen, wenn sie nach einer Übergangszeit ausschließlich durch erneuerbare Energien gespeist werden und zudem regelnd auf das volatile Angebot vor allem von Sonne und Wind wirken. Mit dieser angesprochenen Regelung von Energieangebot und –nachfrage erhält das Elektrofahrzeug neben der Senkung von CO_2-Emissionen einen weiteren volkswirtschaftlichen Nutzen.

Schließlich benötigen 1 Mio Elektrofahrzeuge laut VDE Studie nur 0,5 % des deutschen Stromverbrauchs. Die Studie sagt zudem: „Solange Schnell-Ladung nicht erforderlich ist, wird bis zu einer Anzahl von 1 Mio Fahrzeuge kein nennenswerter Netzausbau erforderlich [53] .“ E.ON-Chef Klaus-Dieter Maubach geht sogar soweit, dass selbst bei 30 Millionen Elektrofahrzeugen mit 10.000 Jahreskilometerleistung der Strombedarf lediglich um 10 % steigen würde. Dieser könne mit bestehenden Kraftwerken gedeckt werden [54]. Das heißt, bestehende Kraftwerke würden besser ausgelastet.

In der Konsequenz bedeutet dies: bei zumeist langsamen Ladeprozessen (Schnell-Ladungen sollen damit nicht grundsätzlich ausgeschlossen, aber eher die Ausnahme als die Regel sein) ist kein Netzausbau für Elektrofahrzeuge notwendig. Zudem kann auf einen Kraftwerksausbau verzichtet werden. Im Gegenteil: bei entsprechend gesteuerter Ladetechnologie und

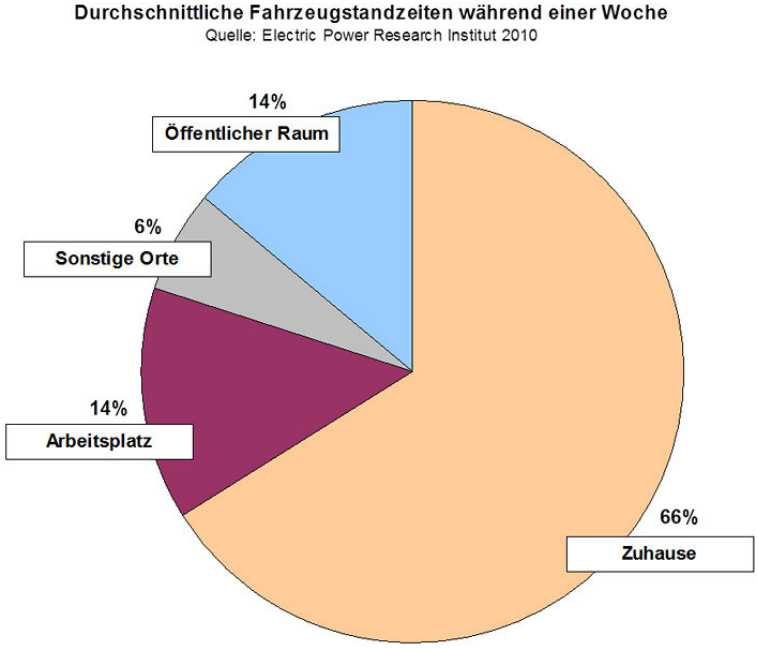
entsprechendem Nutzerverhalten können bestehende Kraftwerke besser genutzt, Lasten besser ausgeglichen und damit Kosten gespart werden. Diese Fragen der Interoperabilität von Elektrofahrzeug, Energiewirtschaft und Nutzer sollen im Folgenden im Hinblick auf konduktives und induktives Laden näher beleuchtet werden.

3.1.2.1.1 Langsam Laden am festen Stellplatz, beim Arbeitgeber und nachts

Wörtlich genommen ist die Bezeichnung Fahrzeug sowohl für Autos mit Verbrennungsmotoren als auch für die mit Elektromotoren irreführend. Fahrzeuge können zwar zum Fahren genutzt werden, die meiste Zeit ihres Lebens aber stehen sie, genauer gesagt 23 Stunden pro Tag [55]. Und wo stehen die Fahrzeuge? Laut Electric Power Research Institute [56] stehen 66 % der Fahrzeuge zuhause, 14 % bei der Arbeit, 6 % auf öffentlichen Stellplätzen, 1 % an Schule oder Kirche, 8 % sind anderweitig geparkt und 5 % sind unterwegs — wohlgemerkt, gerechnet auf 24 Stunden pro Tag.

Diese Zahlen mögen sich je nach Land etwas unterscheiden, die Tendenz bleibt aber augenfällig: Die Anzahl der zuhause [57] geparkten Fahrzeuge überwiegt. Sogar in London [58].

Demnach kann der Großteil der Elektrofahrzeuge am festen Stellplatz geladen werden. Eine Feststellung, die mit den ersten Ergebnissen aus den deutschen E-Modellregionen und denen der Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität (FSEM) [59] übereinstimmt. Demnach werden 65 % der Elektrofahrzeuge zuhause und am Arbeitsplatz geladen.



66% der Fahrzeuge sind zuhause geparkt und dort zum Laden verfügbar

Tab. 9: Der Ladestandard entscheidet sich beim Laden zuhause, weil dort die Stückzahlen anfallen (KM)

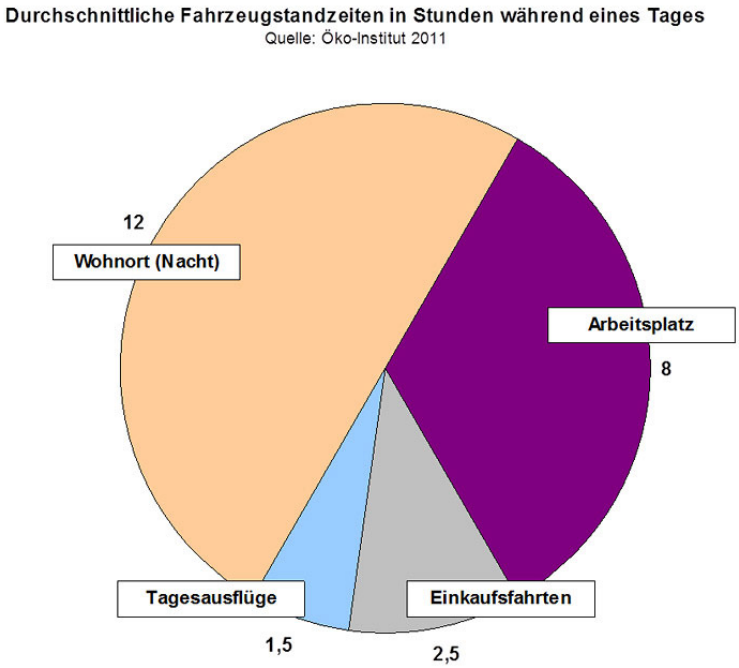
Allein aus den Standzeiten der Fahrzeuge und deren Verfügbarkeit für Ladevorgänge (Abb.2) wird deutlich, dass die Mehrzahl der Ladevorgänge zuhause, nachts [60] und beim Arbeitgeber stattfindet. Auch die Forschungsergebnisse und Umfragen der Otto von Guericke Universität zum Nutzerverhalten (siehe: Fragebogen Studie zum Nutzerverhalten) unterstreichen, diese Tatsache. Ein aktueller Bericht des Londoner Department for Transport entspricht dem ebenso [61].

Von führenden Elektrofahrzeug-Anbietern wie Tesla Motors sind entsprechende Aussagen zu hören, wonach nur sehr wenige Menschen jemals nicht am festen Stellplatz laden werden. „Selbst

mit der kleinsten Batterie-Einheit, die eine Reichweite von 160 Meilen (rund 257 km) zulässt, werden die meisten Teslabesitzer keine öffentliche Tankstelle benötigen“, heißt es von Tesla zum neuen Model S für 2012 62.

Das Parkverhalten der Elektro-PKW wird also die Ladeinfrastruktur stark beeinflussen, unterstreicht auch die VDE Studie zu Elektrofahrzeugen 63. Sie kommt ebenfalls zu dem Schluss, dass die meisten Autos derzeit nachts parken, die überwiegende Anzahl tagsüber an einem festen Stellplatz bzw. beim Arbeitgeber steht.

Anders formuliert es Tomi Engel von der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie. „Legt man die durchschnittliche, tägliche Fahrstrecke von 30 km und einen Strompreis von 20 Cent/kWh zu Grunde, so generiert ein Elektrofahrzeug an der Steckdose einen täglichen Umsatz von rund einem Euro 64.“ Dieser eine Euro sei ein zentraler Grund, warum es keine öffentlichen Stromtankstellen geben wird, die über 1.000 Euro allein in der Anschaffung kosten. Dafür gibt es kein wirtschaftliches Modell, meint Engel.



Am längsten stehen Fahrzeuge in der Nacht mit 12 Stunden und am Arbeitsplatz mit 8 Stunden

Tab. 10: Das lange Nachtfenster reicht auch, um mehrere Fahrzeuge sequentiell zu laden: Ein Markt, der aufgrund der Daten viel realistischer ist als das Schnellladen (KM)

Dass auch das Strommonopol in Deutschland den Ausbau öffentlicher Ladesäulen erschwert und damit zuhause Laden begünstigt, beweist die Kritik der Internationalen Parkhaus Q-Park mit 3.500 Parkhäusern in zehn Ländern. Diese moniert, dass Parkhäuser in Deutschland keinen Strom verkaufen dürfen und deshalb keine eigenen Ladestationen für Elektroautos einrichten können. Deutschland-Chef Thomas Grüttner sagte der Wirtschaftswoche, dass Q-Park derzeit gezwungen sei, die Strom-Tankstellen in seinen Parkhäusern durch regionale Energieversorger betreiben zu lassen. „Für Q-Park ist der wirtschaftliche Nutzen somit momentan gering 65.“

Trotz aller Hindernisse sind bereits einige öffentliche Ladepunkte realisiert. Dennoch bleiben wir bei der Aussage, dass die überwiegende Anzahl der Elektrofahrzeuge am festen Stellplatz,

nachts oder beim Arbeitgeber geladen wird. Dies bedeutet zum einen: es ist nur eine geringe Anzahl an öffentlichen Ladepunkten notwendig. Zum anderen erlaubt zuhause, nachts und beim Arbeitgeber laden immer einen langsamen Ladevorgang.

Steht das Auto nachts sowieso 12 Stunden ungenutzt, wird keine Schnellladung benötigt. Der übliche Haushaltsanschluss mit 220 Volt, 16 Ampere und einer Leistung von 3,7 kW ist ausreichend. Er reicht für das Nachladen nach durchschnittlichen Fahrstrecken aus, wenn dies in den üblichen Stillstandzeiten im Stundenbereich erfolgt.

Wenn die Batterie allerdings vor einer längeren Fahrt in einer kurzen Stillstandzeit nachgeladen werden muss, ist eine erheblich höhere Leistung erforderlich. Eine Nachladung für beispielsweise 100 km Wegstrecke innerhalb von 15 min würde eine Leistung von rund 75 kW erfordern (100 km = ca. 20 kWh, 20 kWh = 1 h Ladedauer bei 20 kW Ladeleistung = 1/4 h Ladedauer bei 80 kW Ladeleistung) 66. Dies ist bereits deutlich mehr als die gesamte Anschlussleistung eines Einfamilienhauses. Eine derartige Anforderung würde auf Seiten der Batterie zu erheblichen Mehrkosten führen 67.

Das Laden am festen Stellplatz mit einer geringen Ladelast begünstigt den induktiven Ladevorgang, der vom Autofahrer so gar nicht wahrgenommen wird, da das Laden ohne jeglichen Bedienvorgang, berührungslos, über den Luftspalt unter dem Fahrzeugunterboden beginnt - gesteuert von Voreinstellungen des Fahrers, die Stromtarife und benötigte Reichweiten berücksichtigen können.

Die Ladefläche am Boden erkennt das Fahrzeug über induktive Nahfeldkommunikation und bekommt so auch alle für den Ladevorgang notwendigen Informationen. Die Induktion bietet also eine sehr komfortable Lademöglichkeit für den Nutzer ohne Eingriff, Handgriff, Bezahlvorgang oder gar einen Umweg zur Lade-Tankstelle. Die Fehlerquelle Menschliches Verhalten (siehe OvG-Universität: Nutzerverhalten) ist damit eliminiert.

3.1.2.1.2 Langsamladen nachts

Das Laden nachts wird hier gesondert zum tagsüber Laden aufgeführt, da sich der jeweilige Ladezeitpunkt auf die Ladestruktur, das Ladeverhalten und die Energieversorgung auswirkt.

Wird zunächst das Nutzerverhalten betrachtet, so zeigten erste praktische Studien zur Elektrofahrzeug-Nutzung wie die Mini-E Studie [68] sowohl für Großbritannien wie auch für die USA dasselbe Bild: Im Durchschnitt luden die Elektrofahrzeug-Fahrer ihr Auto 2,9 mal pro Woche auf und nutzten dabei die günstigeren Stromtarife, die vom Energieversorger für den Nachtstrom angeboten wurden.

Im US-Bundesstaat Virginia [69] werden derzeit Stromtarife für das Laden von Elektrofahrzeugen in Nebenzeiten (off-peak) getestet. Sie liegen mehr als die Hälfte unter den Preisen der Spitzenzeiten (Peak) und bieten einen doppelten Gewinn. Erstens spart der Elektrofahrzeugnutzer die Hälfte der Ladekosten, zweitens kommt der Energieversorger um eine Netzerweiterung herum. Denn Dominion Virginia Power hat errechnet, dass allein 5 % Elektrofahrzeuge 2020, die im Bundesstaat Virginia nur zu Spitzenzeiten geladen würden, die Energienachfrage um 270 Megawatt steigern würden. Das entspricht der Stromversorgung von 67.500 Wohneinheiten.

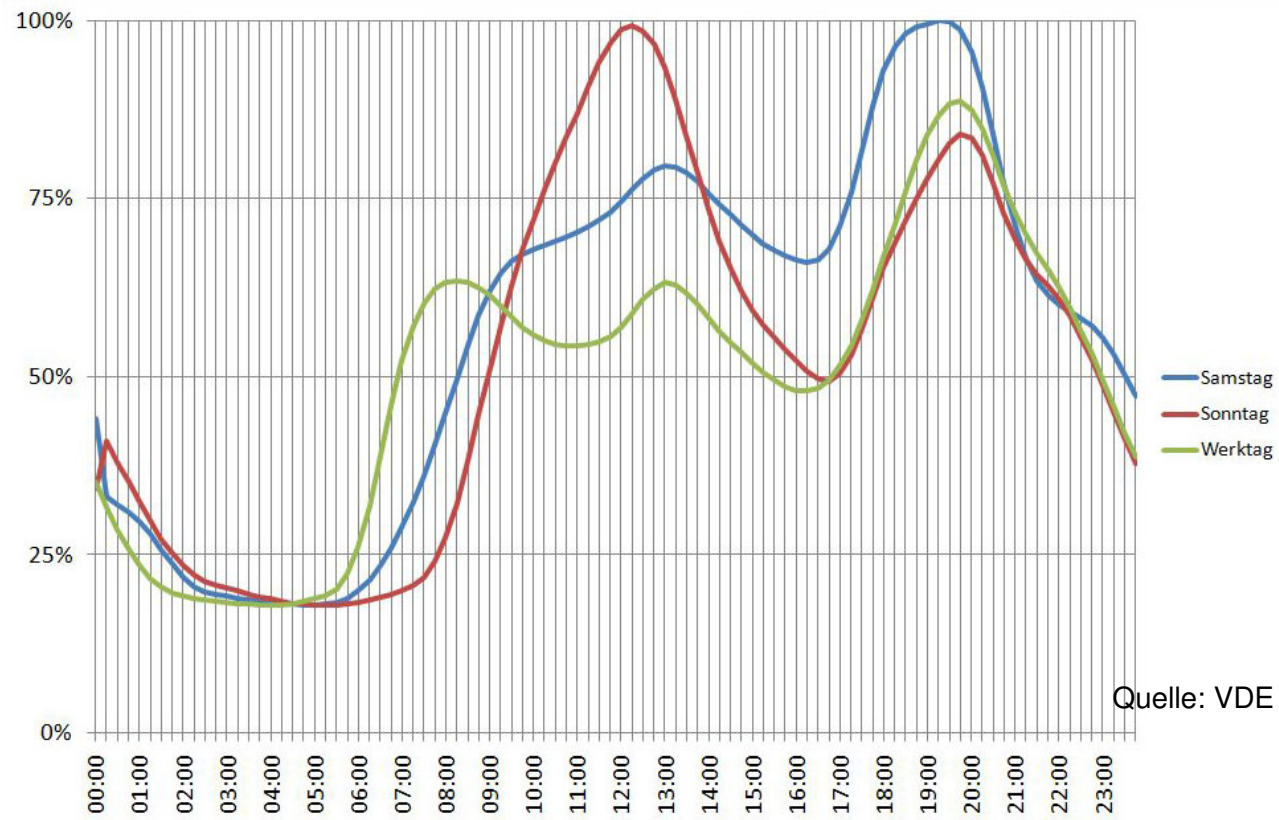


Abb. 29: Typisches Haushaltslastprofil im Winter: Nachts bleibt in der Schwachlastphase genügend Zeit zum Laden, auch für 2 – 3 Fahrzeuge nacheinander (VDEW [70])

Zwischen 24 und 6 Uhr morgens verbrauchen Haushalte am wenigsten Energie. In dieser Zeit kann ähnlich wie in anderen Lasttälern günstig geladen werden.

Auch RWE [71] testet derzeit Tarife für das nächtliche und damit Off-Peak Laden des E-Fahrzeuges. Einzelne Anbieter wie E.ON zusammen mit Telekom bieten erste Produkte wie das

EnergieNavi [72] mit wenigstens zwei Tarifen und einem intelligenten Zähler an. Auch das Praxisprojekt Modellstadt Mannheim [73] untersucht Möglichkeiten, Erzeuger und Verbraucher von Energie mit Hilfe moderner Informations- und Kommunikationstechnologie näher zusammen zu bringen. Ein sogenannter Energiebutler soll Haushalte auf günstige Strompreise aufmerksam machen und ihnen durch Lastverschiebung Energiekosten sparen.

Mit derartigen Angeboten tritt als zusätzlicher Nutzen der Stromverbrauch viel stärker ins Bewusstsein der Verbraucher. Voraussetzung dafür ist jedoch ein flächendeckender Rollout von intelligenten Stromzählern (smart meter) wie er in anderen europäischen Ländern wie Italien und Schweden [74] bereits vollzogen ist.

Immerhin würden laut einer Umfrage von Accenture, die in 18 Ländern mit über 10.000 Verbrauchern durchgeführt wurde, 73 % der Stromkunden intelligente Dienstleistungen zur Lastglättung beziehen[75]. Da ein Elektrofahrzeug zu den größten Stromverbrauchern eines Haushaltes zählt und der Ladevorgang gleichzeitig ohne Komforteinschränkung auf die lastschwachen Nachtstunden gelegt werden kann, können Elektrofahrzeuge einen wesentlichen Beitrag zur Abnahme von Überschussstrom leisten.

Dieser fällt nicht nur in den Nachtstunden als Windstrom an, sondern auch zunehmend mittags als Sonnenstrom. Ein klarer Indikator dafür, dass Elektrofahrzeugnutzer das Laden zuhause oder am Arbeitsplatz noch mehr bevorzugen werden, sobald die Strompreise für den Endverbraucher den tatsächlichen Börsenpreisen angepasst werden. Eine entsprechende Strompreisstaffelung bzw. gleitende Mitführung der Börsenpreise würde schon genügen, um den Anteil an Grünstrom beim Ladestrom automatisch zu erhöhen, die Verschwendung von Überschussstrommengen zu reduzieren und die Ladestromkosten zu senken.

Mit Blick auf die Nutzung regenerativer Energiequellen kann das off-peak Laden (Laden in Lasttälern) nachts die Windenergie bestens nutzen. Das bestätigt der Geschäftsführer des Bundesverbandes eMobilität, Frank Müller: „Bei einer Million Autos gibt es nur 0,3 Prozent mehr Strombedarf und zu rund 90 Prozent würden die Autos nach Verbandsschätzungen nachts geladen, wenn es ohnehin meist zu viel Strom gibt, der Verbrauch gering ist und oft viel Wind herrscht.“ Auch das Energieforschung Institut in Jülich kommt bei seinen Forschungen zu dem Schluss, dass Elektrofahrzeuge in der Nacht die Last erhöhen können, so dass in Starkwindzeiten mehr Windenergie genutzt werden kann [76].

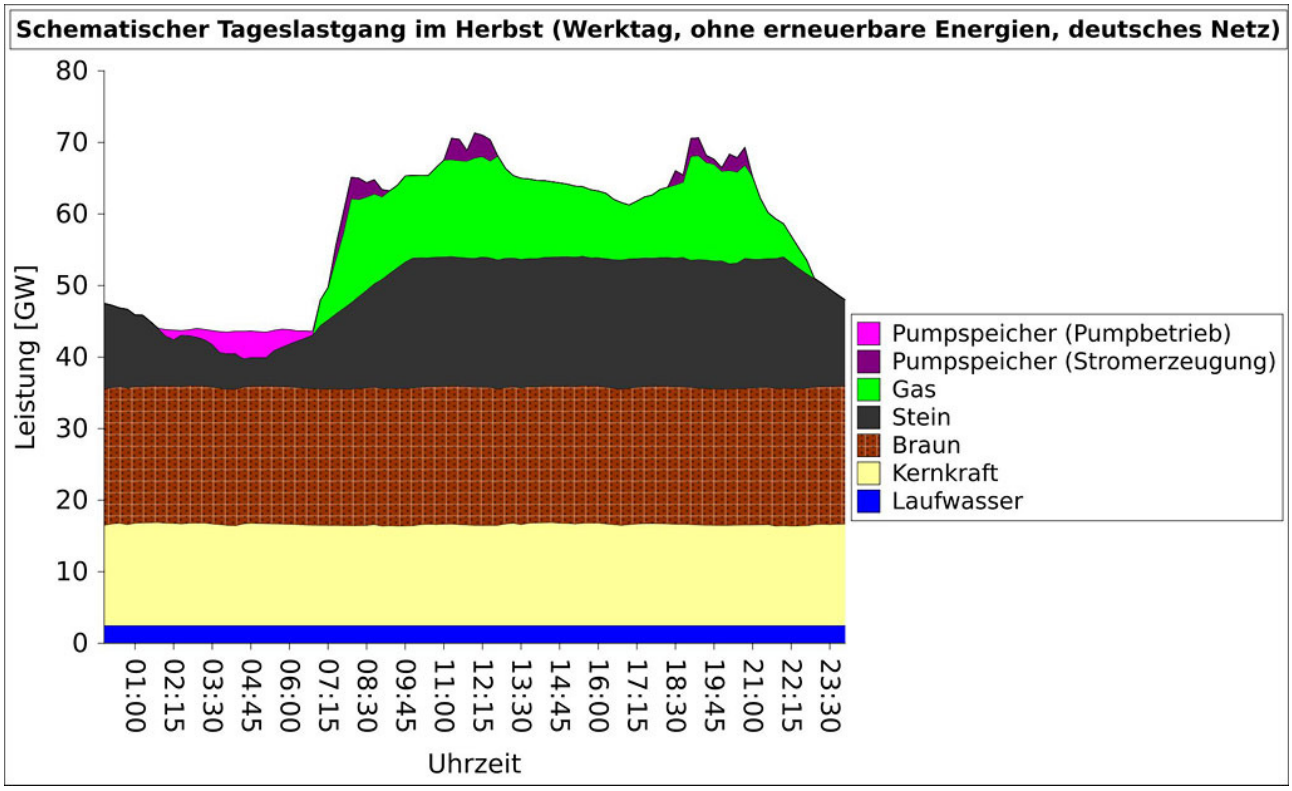


Abb. 30: Einsatz der unterschiedlichen Kraftwerkstechnologien für einen typischen Tagesgang: die Spitzen verteuern den Strom für alle anderen, dürfen also nicht noch spitzer werden (Wikipedia)

Die Abbildung oben zeigt schematisch den Einsatz der unterschiedlichen Kraftwerkstechnologien für einen typischen Tagesgang (Werktag in einer Herbstwoche) des Stromverbrauches (sogenannter Lastgang) im deutschen Elektrizitätsnetz. In den Nachtstunden füllen die Pumpspeicherkraftwerke ihre Speicherbecken auf und verursachen zusätzlichen Verbrauch (Pumpbetrieb). Fluktuierende Erzeuger wie Wind- oder Sonnenenergie wurden zur Vereinfachung weggelassen [77].

In der Praxis bestätigen Nissan Leaf-Fahrer den günstigeren Nachtstrom. Für das Laden mit Tagstrom zahlten sie 0,02 Euro-Cent pro Kilometer, nur 0,007 Euro-Cent wenn sie nachts luden [78]. Ein besonders emsiger Nissan Leaf-Fahrer, zahlte für die 1.704,7Kilometer, die er im Monat zurücklegte, lediglich 11,98 Euro für das Aufladen. Diese günstige Möglichkeit werden sich viele Autofahrer sicher nicht entgehen lassen und damit eher nachts langsam laden und nur, wenn unbedingt notwendig, tagsüber bzw. schnell.

Neben den Vorteilen, die sich für den Elektrofahrzeug-Nutzer durch langsames im Zusammenhang mit gesteuertem Laden ergibt, werden in hohem Maße auch die Stromnetze und das Netzmanagement profitieren. So zeigen Untersuchungen des Pacific Northwest National Laboratory, dass 2,1 Mio Elektroautos mit einer Reichweite von 53 Kilometern im Northwest-Netz ausreichen, um Windkraft mit zusätzlichen 10 Gigawatt in das dortige Netz zu integrieren. Die Anzahl entspricht einem Fahrzeug-Anteil von 13 % [79].

Aus der Abbildung wird zudem deutlich, dass Elektrofahrzeuge, gerade in Nachtzeiten hohe Kosten für Pumpspeicher-Kraftwerke einsparen könnten, in dem sie den überschüssigen Strom aufnehmen. Allerdings müssten die Fahrzeuge auch tatsächlich am Netz verfügbar sein, sobald sie stehen sowie langsam nachts laden. Dies war aber wegen der dafür erforderlichen Bedienereingriffe schon bei den bisherigen Feldversuchen mit hochmotivierten Frühnutzern nicht

der Fall (siehe OvG Universität Nutzerverhalten). Diese Zusammenhänge des Netzmanagement werden im Kapitel automatisches Laden ausführlich beleuchtet.

3.1.2.1.3 Langsamladen im Kontext erneuerbarer Energien

Elektromobilität lässt sich nur mit der Nutzung erneuerbarer Energien nachhaltig darstellen, denn nur dann kann sie ihren Anteil zur Klima-Verbesserung beitragen. Nach Angaben der Internationalen Energie Agentur soll der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Weltstromerzeugung 2035 bei knapp einem Drittel liegen [80]. Diese erneuerbaren Energiequellen müssen für das Elektroauto genutzt werden und umgekehrt muss Elektromobilität die Volatilität der Erneuerbaren ausgleichen helfen, wenn sich beide Systeme als machbar, d. h. vor allem eben auch als finanzierbar, erweisen sollen.

Die größte Schwäche der Erneuerbaren ist ihr unberechenbares Aufkommen, ihre Volatilität. Die größte der Schwäche der Elektromobilität ist die Notwendigkeit, regelmäßig zu laden. Das gesteuerte Laden führt die beiden Systemwelten zusammen und eröffnet Finanzierungsmöglichkeiten auf beiden Seiten. Aus den Schwächen wird ein robustes Geschäftsmodell. Erneuerbare und Elektromobilität werden durch gesteuertes Laden zu einem sich gegenseitig selbst verstärkenden Effekt.

In erster Linie kommt die Photovoltaik als direkte Stromquelle für Elektrofahrzeuge in Frage. Der Vorteil liegt auf der Hand. Denn auf dem Hausdach wird der Strom dort erzeugt, wo er auch gleich verbraucht oder in der Batterie gespeichert werden kann. So kann mittlerweile fast jeder Automobilhersteller (OEM) mit einem eigenen Solarcarport aufwarten [81]. Das langsame Laden am Arbeitsplatz oder zuhause gewinnt also auch durch die Verbreitung der Photovoltaik an Dynamik.

Das ist nicht nur für das Stromnetz die freundlichste Variante. Auch für den Kunden wird sich der Verbrauch von selbsterzeugtem Strom, der sogenannte Eigenverbrauch, wirtschaftlich immer mehr lohnen. Anhand der Stromkostenentwicklung und der EEG-Vergütungssätze in Deutschland zeigt sich: Je höher der Strompreis steigt, desto mehr Vorteile bringt der Eigenverbrauchsbonus, weil dieser auf die eingesparten Kosten pro kWh addiert wird, wenn man den Vorteil im Vergleich zur Einspeisevergütung ermitteln will. Höhere Strompreise treiben also die dezentrale Selbstversorgung und damit das Laden der Überschussströme zuhause in das Elektrofahrzeug.

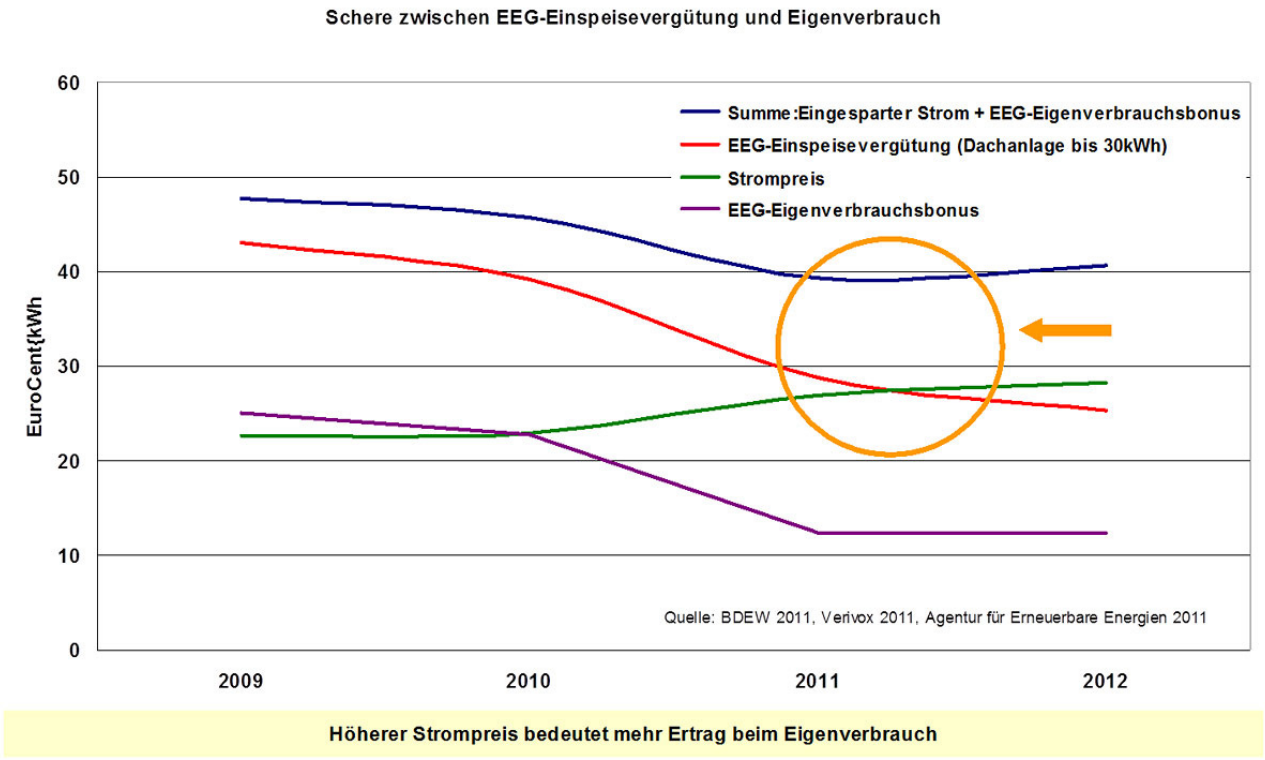


Abb. 31: Höherer Strompreis = mehr Ertrag durch Eigenverbrauch: Dadurch wird zuhause laden immer interessanter, letztendlich wird man dort sogar für das Laden bezahlt (KM)

Betrachtet man die Entwicklung der Photovoltaik, so ist damit zu rechnen, dass ihr Anteil an der weltweiten Stromerzeugung immer mehr zunimmt und die Kosten damit immer weiter sinken (siehe Batterietechnik und Ladeverfahren im Vergleich: PV Lernkurve bestätigt zu erwartende Kostendegression bei Fahrzeugbatterien). Die sogenannte Netzparität sehen die meisten Experten bereits im kommenden Jahr 2012.

Dann ist der Zeitpunkt erreicht, dass aus Sicht des Endkunden der selbst produzierte Strom dieselben Kosten je Kilowattstunde verursacht wie der Einkauf von einem Energieversorgungsunternehmen. Sicher ein psychologischer Faktor, der die PV-Nutzung noch attraktiver macht. Zumal die Eigenverbrauchsbonifizierung dann den selbst erzeugten und verbrauchten Strom günstiger macht, als den eingekauften. Die entsprechende Eigenverbrauchsregelung wurde im neuen EEG 2012 um weitere 2 Jahre verlängert.

Doch schon beim derzeitigen Anteil von Sonnenstrom im Netz, lässt an sonnigen Tagen mit wenig Verbrauch die Photovoltaik den Strompreis an der Börse einbrechen. So geschehen am 16.Juli 2011. Nur 2,5 Cent pro Kilowattstunde musste ein Käufer für eine Stromlieferung in der Zeit zwischen 14 und 15 Uhr zahlen. Üblich sind mehr als doppelt so hohe Preise.

Der günstige Preis kommt zwar – noch- nicht beim Verbraucher an, der ja nicht selbst an der Strombörse einkauft. Dennoch betont der Herausgeber der Zeitschrift Photon Philippe Welter: „Der hohe Photovoltaikzubau wird dazu führen, dass künftig zur Mittagszeit an den meisten Wochentagen von April bis September an der Börse keine übermäßigen Gewinne zu Lasten der Verbraucher mehr erzielt werden können [82].“

So wird es zu diesen Zeiten dann sowohl im Sinne der Endverbraucher als auch der Energieversorgungsunternehmen sein, Elektroautos mit Photovoltaikstrom zu laden. Auch der

Arbeitgeber könnte den günstigen Stromtarif gleich an seinen Mitarbeiter weitergeben, dessen E-Fahrzeug am firmeneigenen Parkplatz hängt. Oder er bleibt gemäß der neuen Tankgutscheinregelung (BFH in drei neuen Urteilen vom 11.11.2010 IV R 21/09 und VI R 27/09 und VI R 41/10) eben über den günstigeren Tarif länger unter der monatlichen Bemessungsgrenze von 44 Euro für den steuerlichen Ansatz geldwerter Vorteile.

Das heißt: Der Arbeitgeber kann dem Arbeitnehmer größere Strommengen schenken, ohne dass dieser das versteuern muss. Mit 44 Euro kommt man bei 22 Euro-Cent pro kWh und 20 kWh pro 100 km schon heute 1.000 km weit (20 kWh = 4,40 Euro pro 100 km). Pro Monat. Was schon über der Jahresfahrleistung eines Pendlermobils liegt (30 km pro Tag in 46 Wochen = 30 km * 230 effektive Arbeitstage = 6.900 km).

30 km pro Arbeitstag bedeuten auch 150 km pro Woche und 600 km im Monat. Das sind bedeutende Eckzahlen für absehbares Ladeverhalten und somit auch die Wettbewerbsfähigkeit von Ladetechnologien. Ein erheblicher Marktfaktor, der sich mit Zunahme von günstigem PV-Strom um die Mittagszeit ständig weiter verstärken wird.

Wie auch immer, die Reaktion auf solche sich künftig häufenden Phänomene wird allerdings nur gelingen, wenn die Elektrofahrzeuge auch zur Verfügung stehen. Also: sobald sie stehen, immer am Netz angeschlossen sind. Mit Induktion kein Problem (siehe automatisches Laden).

Es wäre in solchen Fällen aber auch vorstellbar, dass der relative Solarstrom-Überschuss von Pfingsten hätte gespeichert werden können für die dunkle Jahreszeit - oder zumindest für die kommende Nacht. Doch Speichertechnologien stehen in der geforderten Größenordnung noch nicht zur Verfügung. Nach Berechnungen des Beratungsunternehmens Boston Consulting Group (BCG) liegt die derzeitige Speicherkapazität Deutschlands bei gerade einmal sieben Gigawatt. Um das schwankende Aufkommen von Wind- und Solarstrom mithilfe von Speichern ausgleichen zu können, müsste die Speicherkapazität bis 2025 vervierfacht werden 83.

Doch an diesem Punkt schlägt die Stunde des Elektroautos, das genau dann am Netz verfügbar ist, wenn Überschuss-Strom auf dem Markt ist. Zudem hat die Solarindustrie begonnen, stationäre Speicher auf den Markt zu bringen, die auf der Intersolar Messe 2011 zu Besuchermagneten wurden. Stationäre Speicher haben theoretisch den Charme der Eigenverbrauchserhöhung aber auch der dezentralen Unabhängigkeit für den Energiekonsumenten — Stromausfälle könnten über Stunden überbrückt werden. Die Realität sieht derzeit noch anders aus, jedenfalls was die Angebote der Photovoltaik-Hersteller zu den stationären Speichern angeht — sie sind derzeit schlichtweg noch zu teuer.

Wer derzeit auf einen Eigenverbrauch von 30 % kommt, ist schon nicht schlecht. Mit einem stationären Speicher soll der Eigenverbrauch nach Angaben der meisten Anbieter auf gute 70 % bei manchen sogar auf 100 % — jedenfalls von Frühjahr bis Herbst — steigen. Das Problem der noch neuen Speicherprodukte: sie sind schlicht weg viel zu teuer 84. Bis auf eine Ausnahme und die kommt aus der Automotive-Welt. Das Zauberwort dazu lautet Second Life und meint die Zweitverwertung der Autobatterie.

Abb. 32: Nissan Leaf-Batterien dienen in ihrem zweiten Leben als Sonnenergiespeicher: Die Batteriepakete kommen unverändert in den Schrank - ein Massenmarkt (Nissan 85)

So haben beispielsweise der Automobilhersteller Nissan und die 4R Energy Cooperation vier 24kWh Lithium Ionen-Batterien nach ihrer Verrentung im Nissan Leaf in einen Schaltschrank gelegt und nutzen sie nun in einem Pilotprojekt zur Sonnenenergiespeicherung. 1800 Nissan Leaf sollen über diesen Zwischenspeicher pro Jahr mit Sonnenstrom betankt werden können 86. Natürlich nicht ad hoc. Der Schlüssel zu dieser phänomenalen Zahl liegt im gesteuerten Laden.

Diese Zahl zeigt auch wie das zweite Leben der Batterie zum entscheidenden Faktor für die Bezahlbarkeit von Elektromobilität werden kann: Das eigentliche Geld verdient die Batterie über den Kapazitätsmarkt mit dem dringenden Bedarf an Speichern und eben nicht mit der Befriedigung von Mobilitätsbedürfnissen. Entsprechend berechtigt sind Aussagen, wonach Traktionsbatterien noch nicht wettbewerbsfähig darstellbar sind. Bezieht man aber eine weitere Verwendung als Volatilstrompuffer in die Betrachtung mit ein, sind diese Aussagen schon heute unhaltbar wie das Beispiel Nissan eindrucksvoll beweist.

Für den Einfamilienhaus-Gebrauch reicht selbstverständlich das zweite Leben einer Fahrzeugbatterie aus, um den Eigenverbrauch von Solarstrom erheblich zu erhöhen. Im Vergleich haben die meisten angebotenen stationären Speicher eine Kapazität zwischen 3 und 10 kWh. Bei langsamem Laden liegt der Kapazitätsverlust der Autobatterie bei rund 2 % pro Jahr (vgl. Batterietechnik und Ladeverfahren im Vergleich) 87 .

Käme also eine 24 kWh Autobatterie nach 6 Jahren im Auto zum stationären Einsatz ist ihre Kapazität mit rund 21 kWh immer noch mehr als ausreichend für den Hausgebrauch. Der Vorteil der stationären Second Life Batterie: sie ist wesentlich günstiger als die von PV-Herstellern derzeit angebotenen stationären Vergleichsgrößen. Denn nach 8 bis 10 Jahren Einsatz im Fahrzeug ist die Batterie nur noch die Hälfte wert, die Kapazitätseinbußen halten sich aber – bei batteriefreundlichem Laden - in Grenzen (siehe Ausführungen du Abb 9,10,11 Batterietechnik und Ladeverfahren).

In Zahlen bedeutet dies: Während die auf der Intersolar 2011 angebotenen stationären Speicher rund 1.500 Euro pro kWh verlangen, belaufen sich die wirtschaftlich darstellbaren Kosten der Nissan Leaf Second Life Batterie auf rund 134 Euro pro kWh. Das ist ein Unterschied von mehr als Faktor 10. Selbst wenn man den von Nissan realisierbaren Zielpreis unter Annahme von drei wesentlich schlechteren Rahmenbedingungen drei Mal verdoppelt (aktuelle, tatsächliche Kosten der Batterie im Leaf, Restkapazität bei Austausch, Restlebensdauer nach Austausch), Dann reicht es immer noch, um den Stationären-Speicher-Markt nach Belieben aufzurollen.

Aber auch die derzeit angebotenen stationären Speicher werden künftig von der Kostendegression der Batterien profitieren. Bis zu einem Second-Life-Markteintritt nach einem mehrjährigen Fahrzeugeinsatz ist also der Neupreis der Batterien bis dahin das Hauptrisiko für das Geschäftsmodell: Der Neupreis könnte ja auch schneller fallen als der Restwert. Immerhin verteilen sich die Forschungs- und Entwicklungskosten mit dem Einstieg der PV-Fraktion in die Batterie-Welt auf mehrere Schultern. Mit der höheren Anzahl von Märkten und Stückzahlen könnten die Preise für neue Batterien umso schneller sinken. Dennoch bieten auch für dieses Szenario die Mindestdeckungsbeiträge von Nissan einen ausreichenden Sicherheitsabstand.

Beispiel 5kWp-Photovoltaik-Anlage im Jahr der Inbetriebnahme	Volleinspeisung	mit 30 % Eigenverbrauch	mit 40 % Eigenverbrauch
Netzeinspeisung	4250kWh	2975 kWh	2550 kWh
Eigenverbrauch Eigenverbrauch bis 30 % Eigenverbrauch ab 30 %	 0 kWh 0 kWh	 1275 kWh 0 kWh	 1275 kWh 425 kWh
Vergütung Einspeisevergütung (28,74 Cent/kWh) Eigenverbrauchsvergütung < 30 % (12,36 Euro Cent/kWh) Eigenverbrauch >30 % (16,74 Cent/kWh)	 1.221,45 €	 855,02 € 157,59 €	 732,87 € 157,59 € 71,16 €
Gesparte Stromkosten (durchschnittlich 24 Cent)	0,00 €	306 €	408 €
Ertrag pro Jahr	1.221,45 €	1.318,61 €	1.369,62 €
Mehrertrag pro Jahr		97,16 €	148,17 €

Abb. 33: Vorteil Eigenverbrauch nach aktuellen Vergütungssätzen (1. Juli 2011): Zuhause werden in Zukunft zusätzliche Verbraucher regelrecht gesucht

Der Erlös aus dem Eigenverbrauch wächst mit steigendem Strompreis: Treiber für das dezentrale, gesteuerte und langsame Laden gemäß dem Aufkommen volatiler Regenerativenergie

3.1.2.1.4 Energieeffiziente Gebäude im Kontext langsam Laden

Obwohl das Laden an einem festen Stellplatz nicht nur das Laden in der heimischen Garage einschließt, soll ein Blick auf die kommende Gebäudestruktur geworfen werden. Denn auch sie gehören in das zu Beginn angesprochene Umfeld, in das die Elektrofahrzeuge hinein- und mit welchem sie zusammen wachsen müssen. Schließlich tragen Gebäude – jedenfalls deren Dächer — heute schon zur Energie-Erzeugung bei. Neubauten sind derzeit energieeffizient, sollen künftig aber auch selbst Energie erzeugen und zwar für den Gebäude-Eigenverbrauch und darüber hinaus (Plusenergiehaus). Immerhin ist der derzeitige Gebäudebestand der EU für 40 % des Energieverbrauchs verantwortlich 88.

Wenn man ein Gebäude auf bilanzielle Energie-Autarkie (Wärme und Strom) übers Jahr auslegt, dann wird regelmäßig auch mehr Strom erzeugt als augenblicklich selbst verbraucht werden kann, typischerweise im Sommer um die Mittagszeit. Zusätzliche elektrische Verbraucher wie Batteriespeicher, passiv kühlende Wärmepumpen oder Elektrofahrzeuge bekommen durch diesen Zusammenhang einen Markt bereitet.

Zu typischen Solardachleistungen von 5 kW passt in diesem Kontext das Langsam Laden mit 3,7 kW sehr gut. Bauherren werden solche Überlegungen zunehmend in ihre Finanzierungsplanung einbeziehen. So betrachtet stellt sich auch die Anschaffung eines Elektrofahrzeuges ganz anders dar, als im reinen Vergleich mit verbrennungsmotorischen Fahrzeugen. Ein weiteres Beispiel für die grundlegende Gesetzmäßigkeit, wonach Elektromobilität von der Elektroinfrastruktur und nicht vom Mobilitätsbedürfnis getrieben wird.

Die Universität Darmstadt verbindet bereits Bauen mit Elektromobilität und zeigt dabei, die potenzielle Speicherkapazität des deutschen Gebäudebestandes auf. Ausgehend vom Extrem-Szenario, dass alle 41 Mio Fahrzeuge in Deutschland elektrifiziert sind und ihnen eine Batteriekapazität von 10kWh (bei 20 kWh Gesamtkapazität) zur Verfügung steht, so läge die an Gebäuden verfügbare Kapazität durch den Fahrzeugbestand bei 398.000 MWh.

Die Leistungsaufnahme der deutschen Fahrzeuge beträgt bei einem Stromanschluss von 230 Volt, 15 Ampere also 137.000 MW 89. Der aktuelle Regelleistungsmarkt liegt derzeit bei rund 7.400 MW. Das sind natürlich nur beispielgebende Zahlen, dennoch wird daran das Potential von Elektrofahrzeugen in Zusammenhang mit Überschussstrom aus zukünftigen energieautarken Gebäuden deutlich.

Recherchen zu Neubauten aus jüngster Zeit ergaben, dass energieeffiziente Gebäude den Trend angeben. Dazu zählen sowohl Passivhäuser, als auch Sonnenenergiehäuser, Plusenergiehäuser, Energie-Plus Häuser ect. Die Schwierigkeit eine verlässliche Gesamtzahl dieser Gebäudetypen angeben zu können, liegt an den unterschiedlichen Bezeichnungen, die für energieeffiziente und energieproduzierende Gebäude verwendet werden.

Bisher wurde kein einheitlicher Standard festgelegt. Genaue Zahlen liegen lediglich für Passivhäuser vor, die als eine Vorstufe zum Energie-Plus Haus gewertet werden können, wie der bine Informationsdienst in einem Telefoninterview bestätigt.

Untermauert und weiter getrieben wird die energiesparende und -erzeugende Gebäudeentwicklung durch Förder- und gesetzgeberische Maßnahmen. Für Deutschland

beispielhaft zu nennen ist das vom Bundesbauministerium (BMVBS) im August 2011 aufgelegte Förderprogramm für Modellhäuser, die den sogenannten Plus-Energie Standard erfüllen [90].

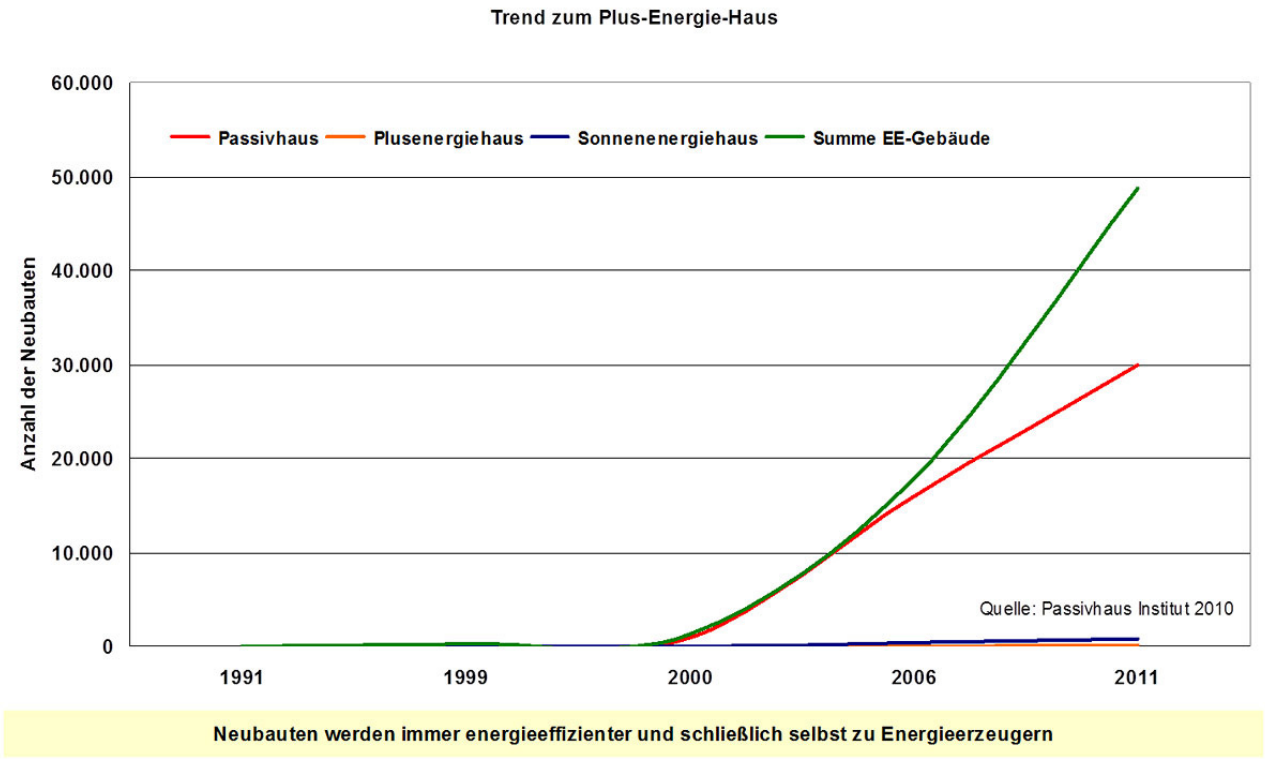


Abb. 34: Trend zu energieeffizienten Neubauten ist ein Trend zum zuhause Laden: Die Ausgangsbasis ist gering, aber ab 2021 gehört für jeden Neubau das zuhause Laden dazu

Nicht nur Neubauten werden energieeffizienter auch Altbausanierungen sind an der Tagesordnung (siehe Abb. 9). Programme wie „Niedrigenergiehäuser im Bestand“ einem Projekt der Deutschen Energie Agentur [91] schließen auch die Integration erneuerbarer Energien ein. Sie sind der Schlüssel zum umweltfreundlichen Laden.

Der Blick ins europäische Ausland zeigt eine ähnliche Entwicklung. So gilt Brüssel City als eine von 27 Passivhaus-Leuchtturm-Projekten in Europa, in Großbritannien ist ab 2016 das „Zero CO_2-Emission building" verpflichtend und als weiteres Stadtprojekt will Norwegen in Oslo Stadt ab 2014 sämtliche öffentlichen Bauten nur noch in Passivhaus-Standard und in der Sanierung wo möglich durchführen [92]. Das deckt sich mit der europäischen Gebäuderichtlinie, wonach öffentliche Gebäude ab 2019 Niedrigstenergiegebäude sein müssen.

Für Wohngebäude gilt dieser Standard ab 2021 in allen europäischen Mitgliedsstaaten [93]. Unter Niedrigstenergiegebäuden werden Gebäude mit sehr hoher Gesamtenergieeffizienz verstanden. Zudem sollte der fast bei null liegende oder sehr geringe Energiebedarf zu einem ganz wesentlichen Teil durch erneuerbare Energie gedeckt werden –einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird [94].

Noch einen wesentlichen Schritt weiter in Richtung Elektromobilität geht Frankreich. Ab 2012 müssen dort alle Neubauten mit Stromzapfsäulen ausgestattet werden, bis 2015 sollen alle Bürogebäude über Stromanschlüsse für parkende Autos verfügen [95]. Im kalifornischen San

Franzisco gibt ein grünes Finanzierungsprogramm günstige Kredite für die Ladestation zuhause, ähnlich in San Jose und Oakland 96.

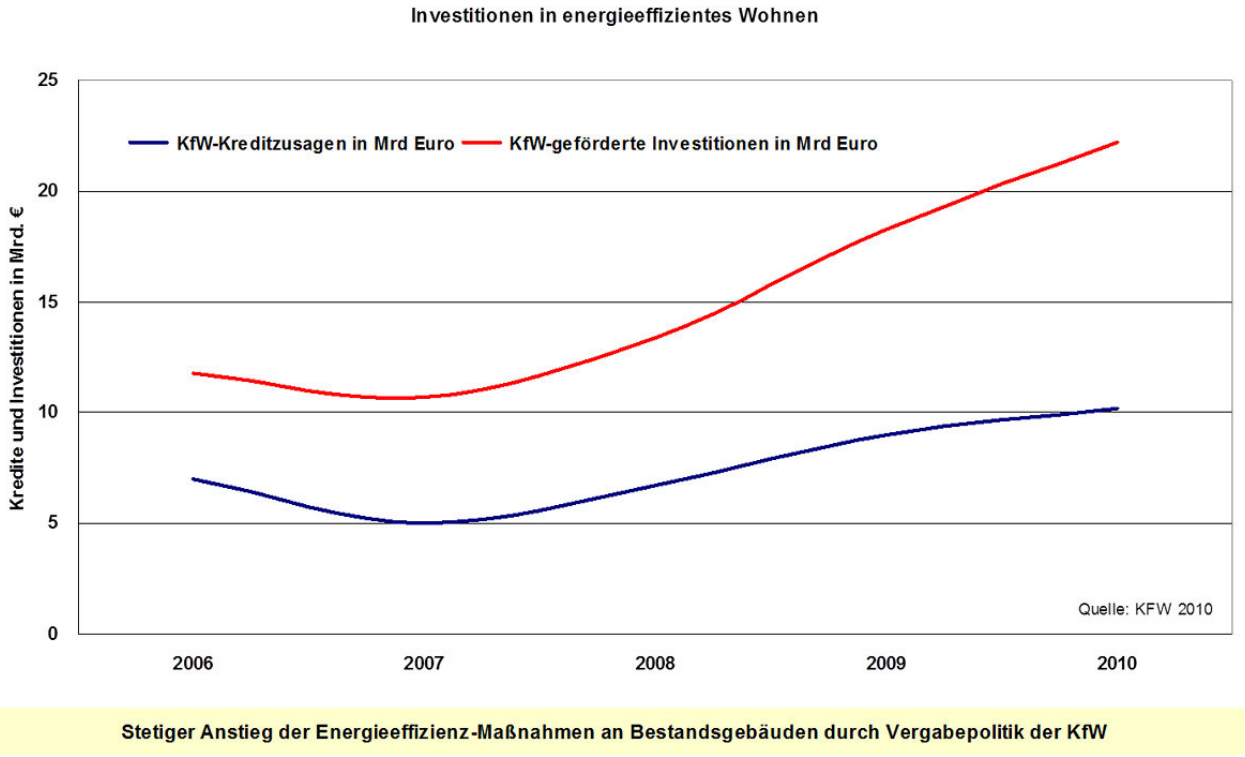


Abb. 35: Der Anstieg der Energieeffizienzmaßnahmen an Bestandsgebäuden bedeutet auch einen Anstieg an Überschussstrom zuhause, der auch zuhause Verbraucher sucht (KM)

3.1.2.1.5 Fazit

Etliche Studien und die Erfahrungen des Nutzerverhaltens aus ersten Pilotprojekten zeigen, dass die überwiegende Anzahl an Elektrofahrzeugen an einem festen Stellplatz, nachts und beim Arbeitgeber geladen wird. Da die Fahrzeuge dort die meiste Zeit stehen, ist schnelles Laden nicht notwendig. Der langsame Ladevorgang mit 220 Volt, 16 Ampere und 3,7 kWp reicht vollkommen aus.

Dieser langsame Ladevorgang begünstigt die Wettbewerbsfähigkeit von kabellosem Laden. Bei Systemdienstleistungen im Smart Grid kommt es auf die Verfügbarkeit am Netz an und weniger auf die Ladeleistung. Mit dem Kabellosladen wird der EFZ-Nutzer von seiner Verantwortung freigesprochen, sein Fahrzeug etwa zur Zeit günstiger Stromtarife, zur Abfederung von Überschuss-Strömen durch Erneuerbare Energien, zum Lastausgleich oder zur Erhöhung des Eigenverbrauchs am Netz zu halten.

Einen ökologischen als auch ökonomischen Nutzen bieten die Elektrofahrzeuge im Hinblick auf die Nutzung sowie Regelung erneuerbarer Energien. Das Laden in Zeiten hoher Erzeugungsleistung beispielsweise nachts oder bei hoher Netzeinspeisung durch regenerative Energien kann durch langsames Laden unterstützt werden. Der Nutzer profitiert vom günstigen, erneuerbar erzeugten Strom.

Aufgrund der Integration vor allem von Sonnen- und Windenenergie in das Stromnetz — die wie im Folgenden gezeigt wird durch automatische Ladevorgänge noch besser gelingt — gilt das

langsame Laden unbedingt als umweltfreundlicher als das schnelle Laden. Beim schnellen Laden muss in kurzer Zeit eine große Menge an Strom zur Verfügung stehen.

Damit ginge das Elektrofahrzeug für das Gesamtnetz nicht nur für die Abfederung von Spitzenlasten verloren, sondern würde selbst noch hohe Lasten produzieren, beziehungsweise die lokalen Transformatoren bereits bei einer geringen Anzahl von Elektrofahrzeugen im Verteilnetz überlasten und damit hohe Kosten verursachen — ein Transformator kostet laut RWE 20.000 bis 25.000 Euro 97.

Neben dem weiter steigenden Strompreis treibt der aufgezeigte Trend zu energieeffizienten und energieautarken Häusern den Eigenverbrauch von Solarstrom weiter nach oben zudem werden Gebäude künftig die Energiebilanz aktiv beeinflussen (Plus-Energie Haus). Als weiterer Treiber des Eigenverbauchs von Solarstrom gilt das Angebot von stationären Speichern sowie das neue Geschäftsfeld der Second Life Batterien.

Um den Eigenverbrauchsanteil nachhaltig zu erhöhen, müssen die Elektrofahrzeuge konsequenterweise auf dem festen Stellplatz, nachts oder beim Arbeitgeber geladen werden und zwar induktiv, denn nur dann erfüllen sie die aufgezeigte Prämisse des langsamen Ladens der ständigen Verfügbarkeit am Netz.

3.1.2.1.6 Automatisches Laden

Kabelloses Laden bedeutet immer automatisches Laden. Durch den induktiven Ladepunkt sind die Fahrzeuge, sobald sie parken, am Stromnetz verfügbar. Durch automatisches Laden stehen sie, wenn benötigt, einerseits für die Bedürfnisse der Fahrzeugbesitzer oder -nutzer (Reichweite, günstige Strompreise, Nutzung erneuerbarer Energien und Eigenverbrauchssteigerung) zur Verfügung. Sie können andererseits jeder Zeit für das Management des Stromnetzes — inklusive Integration Erneuerbarer Energien — als auch für den optimierten Flottenbetrieb genutzt werden, wie im Weiteren erläutert wird.

Elektrofahrzeuge bieten einen Mehrwert für das Gesamtsystem in der Energiewende, sofern ihre ständige und damit automatische Verfügbarkeit während ihrer Standzeiten am Netz gewährleistet ist. Mit Hilfe dieses Mehrwertes werden sie sich rasch verbreiten. Schließlich sind die Erwartungen an Elektrofahrzeuge und deren Infrastruktur hoch, was das Stromnetzmanagement betrifft: Elektrofahrzeuge sollen das Stromnetz stabilisieren sowie die Integration und Nutzung Erneuerbarer Energien verbessern und erhöhen.

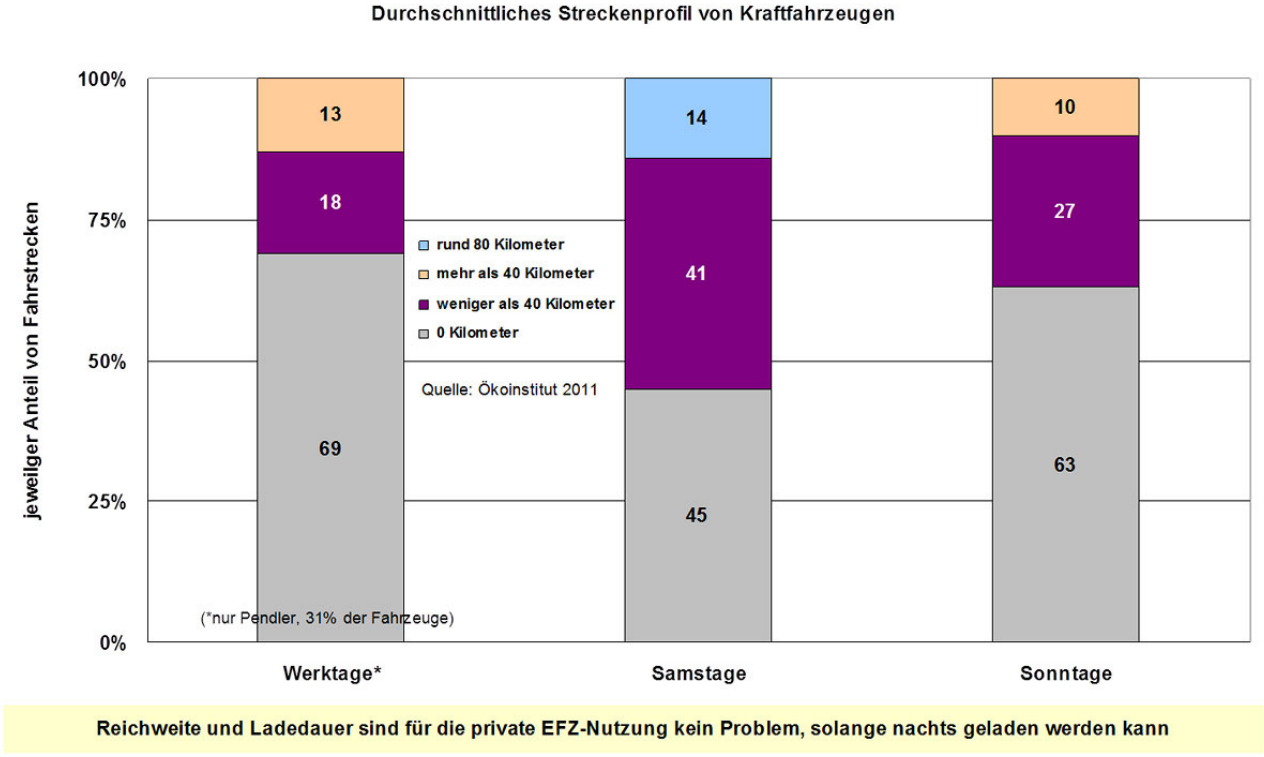
3.1.2.1.7 Mobilitätsverhalten

Im Kapitel Langsames Laden wurde bereits auf die lange Standzeit von Fahrzeugen hingewiesen. Ein ebenso wichtiger Faktor wie die Parkzeit der Autos ist ihre Mobilitätsstruktur. Sie gibt Aufschluss darüber, wie lange, wie oft und wie weit Autos täglich unterwegs sind. Diese Zahlen erlauben Rückschlüsse etwa auf die benötigte Ladeleistung und die Ladezeit bzw. -dauer. Diese wirken sich wiederum auf das Netzmanagement aus, wie im Folgenden erläutert wird.

Als Grundlage der Mobilitätsstruktur von Elektrofahrzeugen dient das derzeitige Bewegungsmuster von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Demnach legen 85 % der Fahrzeugnutzer weniger als 70 Kilometer pro Tag zurück 98. Laut Forschungsvorhaben Optum

von Öko-Institut und Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) fahren 80 % sogar weniger als 50 km und 95 % weniger als 100 km an einem Tag [99].

Täglich werden 31 % der Fahrzeuge genutzt, um zur Arbeit zu fahren: 18 % fahren weniger als 40 km (hin und zurück), nur 13 % pendeln 40 km und mehr am Tag. Am Samstag fahren 41 % weniger als 40 km, 14 % brauchen das Auto für längere Fahrten (durchschnittlich 80 km). Am Sonntag wird besonders wenig Auto gefahren. 63 % der Fahrzeuge werden gar nicht genutzt. 27 % bewegen ihre Auto nicht weiter als 40 km.



Tab. 11: Private und Pendlerfahrten aufgeteilt nach Wochenende und Arbeitstagen mit jeweiligem Anteil der Fahrstrecken: Eine Mehrzahl an Fahrzeugen wird an den meisten Tagen gar nicht bewegt, ideal für kabellos (KM)

Wie die Abbildung unten zeigt, sind die Alltagsfahrten kein Problem für Elektrofahrzeuge, so lange nachts geladen werden kann. Aufgrund der relativ kurzen Strecken, sind sie lange am Netz verfügbar und müssen bis auf Ausnahmen nicht schnell geladen werden. Die meisten Tagesstrecken sind mit einer Nachtladung gewährleistet. Das bestätigt auch eine Umfrage der Marktforschungsagentur Thema-Q [100]. Demnach fährt nur rund jeder Dritte maximal vier Tage im Jahr mehr als 100 Kilometer. Das gilt für die Wochentage Montag bis Freitag.

Dennoch wäre für den Großteil der Deutschen ein Elektro-PKW als einziges Fahrzeug keine Alternative. Denn in der Freizeit legen die Befragten an 37 Tagen im Jahr mehr als 100 Kilometer mit dem Auto zurück. Rund jeder Vierte Befragte gab an, fünf bis zehn lange Autotouren pro Jahr zu unternehmen. Acht Prozent kommen sogar auf über 50 Fahrten. Allerdings ergab diese Umfrage, dass 40 % der Befragten über mehr als ein Auto verfügen. Die Analyse der Mobilität in Deutschland (MID) von Infas und DLR dagegen ergab, dass lediglich 29 % der Deutschen mehr als ein Auto besitzen [101].

Die MID-Analyse, deren jüngste Auswertung aus dem Jahr 2008 stammt, erkennt bereits vor drei Jahren den Trend, dass sich das Wachstum im motorisierten Individualverkehr abschwächt. Das heißt, es werden mehr öffentliche Verkehrsmittel, Fahrräder oder gar Car Sharing-Modelle genutzt. Gerade die junge Generation im urbanen Raum hänge weniger am Auto, was eine geringere Führerscheinquote im Vergleich zur Analyse aus dem Jahr 2002 beweist.

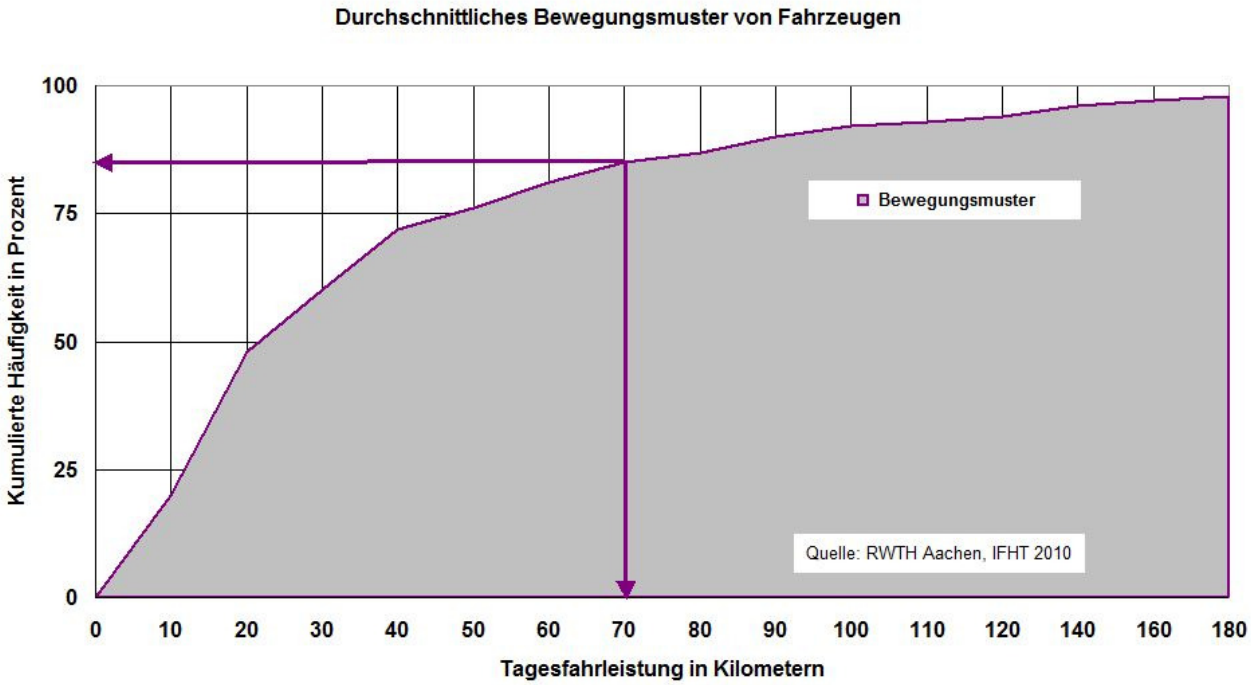


Abb. 36: 85 % der Pendler und Privatfahrer legen täglich im Durchschnitt bis zu 70 Kilometer zurück: Danach ist eine gängige Elektrofahrzeugbatterie zur Hälfte voll. Wozu schnell laden? (KM)

Aus dem aufgezeigten Mobilitätsverhalten der Deutschen lässt sich ebenso wie an den Standzeiten von Fahrzeugen eindeutig ablesen, dass die Verfügbarkeit der Fahrzeuge für das Stromnetz hoch ist, sofern sie beim Parken mit dem Netz verbunden sind.

3.1.2.1.8 Gesteuertes Laden für das Netzmanagement

Aufgrund ihrer Verfügbarkeit für das Stromnetz wird von Elektrofahrzeugen eine stabilisierende Wirkung auf das Stromnetz gewünscht. Doch zunächst benötigen die Fahrzeuge selbst Energie. Da steht die Frage im Raum, ob die regenerative Stromproduktion für Elektroautos überhaupt ausreicht. In diesem Punkt sind sich die meisten Experten aber einig: 1 Million Elektrofahrzeuge bringen derzeit laut Energieversorger E.ON eine Erhöhung der Stromnachfrage von 0,5 % mit sich.

Noch geringere Zahlen liefert der Verband für Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik (VDE). Unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Tagesfahrstrecke von 30 Kilometern pro Tag und einem Verbrauch von 20 kWh/100 km ergibt sich laut VDE ein durchschnittlicher Energiebedarf von 6 kWh pro Tag und fahrendem Fahrzeug. Für eine Million Elektroautos bedeutet das rund 1,4 TWh an Energiebedarf pro Jahr. Das entspricht in etwa 0,25 % der in Deutschland pro Jahr genutzten elektrischen Energie [102].

Das Institut für Energieforschung in Jülich errechnet bei 1 Million Elektroautos einen Energiebedarf von 3 TWh [103] und entspricht damit eher den Angaben von E.ON. Bei einem Erneuerbaren-Energien-Anteil von rund 20 % [104] (rund 121 TWh) am Brutto-Stromverbrauch im ersten Halbjahr 2011 steht es wohl außer Frage, dass der Energiebedarf der Elektrofahrzeuge damit befriedigt werden kann.

Die für den Betrieb von Elektrofahrzeugen erforderliche Strommenge ist also gemessen am heutigen Bruttostromverbrauch relativ gering. Doch rechnet das Energieforschungsinstitut in Jülich für 10 Millionen Elektrofahrzeuge mit einer Erzeugungskapazität — je nach unterstelltem Ladeverhalten — zwischen 13 bis 40 GW — was etwa 10 bzw. knapp 30 % der heutigen installierten Kraftwerkskapazität (156 GW laut BDEW 2011) entspricht.

Entscheidend ist also neben der Fahrzeuganzahl die Art der Nachfrage nach Erzeugungskapazität. Hier spielt das Ladeverhalten und die Ladeleistung eine wichtige Rolle. Analysen zeigen, dass mit entsprechenden Ladestrategien die Nachfrageleistung gleichmäßiger verteilt und Ladespitzen - etwa wenn alle nach der Arbeit nach Hause kommen und ihr Fahrzeug ans Netz anschließen - vermieden werden können.

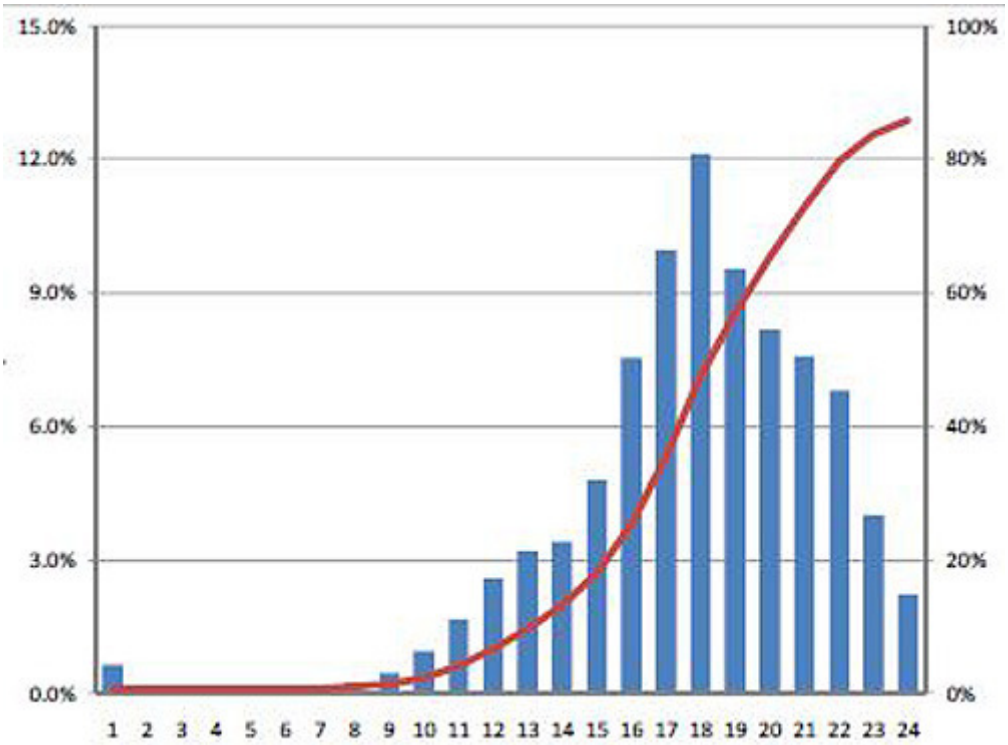


Abb. 37: Tägliche Ankunftszeit am Stellplatz und kumulierte Ankunftszeit: ungesteuertes Laden führt schon bei wenigen Elektrofahrzeugen pro Straße zu einer zwangläufigen Synchronität und Netzüberlastung

14 % der Fahrzeuge waren an diesem Tag nicht unterwegs. Bis 20 Uhr parken 70 % der Fahrzeuge am festen Stellplatz. Die Ladespitze liegt bei ungesteuertem Laden zwischen 17 und 18 Uhr. Quelle: Electric Power Research Institute 2011 [105]

Betrachtet werden zunächst die Ladeleistung und deren Auswirkung auf das Netz. Wobei Netz nicht gleich Netz ist. In erster Linie schaltet sich das Elektroauto ja in das Niederspannungsnetz ein, das aus dem Mittelspannungsnetz durch lokale Transformatoren gespeist wird. In einem typischen deutschen Verteilnetz haben laut RWE Transformatoren Reservekapazitäten von 20 bis 40 % [106]. Daher sei die maximale Kapazität der Transformatoren bei rund 11 Mio. Elektrofahrzeugen erreicht. Und zwar unter den Annahmen, dass die Autos täglich wenn sie nach rund 65 Kilometern abends nach Hause kommen, laden.

Zudem nimmt RWE an, dass die Fahrzeuge schnell Laden — mit 22 KW in 36 Minuten. Und da vereinfacht rund 120 Haushalte an einen Transformer hängen, können höchstens 30 Elektromobile unter genannten Voraussetzungen geladen werden. Die Folge sind hohe Investitionen in die Netzinfrastruktur sobald mehr als 30 Fahrzeuge angeschlossen werden sollen.

Die Kosten für einen Transformer gibt RWE mit rund 25.000 Euro an, hinzu kommen stärkere Kabel zwischen Haushalt und Transformator sowie Folge-Investitionen in das Hochspannungsnetz. Die Rechnung zeigt, bei hoher Ladeleistung, sprich schnellem und ungesteuertem Laden, ist die Kapazität der Transformatoren schnell überschritten. Hohe Kosten sind die Folge.

Die Aussage zum ungesteuerten Laden deckt sich auch mit den Analysen von Professor Schnettler vom Institut für Hochspannungstechnik der RWTH Aachen [107]. Er geht davon aus,

dass es bereits bei wenigen Millionen Fahrzeugen und einer leistungsschwachen Ladung (Anschlussleistung von 3,6 kW) in ländlichen Strukturen Grenzwertverletzungen geben wird. Städtische Strukturen weisen, so Schnettler, höhere Verteilungskapazitäten auf, so dass die Netzkapazitäten dort für höhere Durchdringungsgrade von über 20 % (ca. 9 Millionen Fahrzeuge) selbst bei ungesteuertem Laden ausreichen.

Ein Stadtversuch des Energieversorgers Stawag in Aachen zeigt deutlich, dass der Ortsnetztransformator in einem Teilgebiet mit Reihen- und Einfamilienhäusern bei schnellem (44,3 kW), ungesteuertem Laden der Fahrzeuge bereits bei 20 Autos überlastet ist [108]. Aus diesen exemplarisch aufgeführten Beispielen — weitere Studien untermauern die erwähnten Zahlen — wird deutlich, dass eine zielgerichtete Steuerung der Fahrzeuge das Netz wesentlich entlasten kann.

So geht der technische Report des Electric Power Research Institut aus den USA davon aus, dass der Ladezeitpunkt ein Schlüsselfaktor für die Einflüsse durch Elektrofahrzeuge auf das Stromnetz ist. Desweiteren beweist die Studie, dass langsames Laden mit einer niedrigen Ladeleistung am netzfreundlichsten ist, während schnelles Laden mit hohen Lasten die größten Einflüsse auf das Netz hat [109].

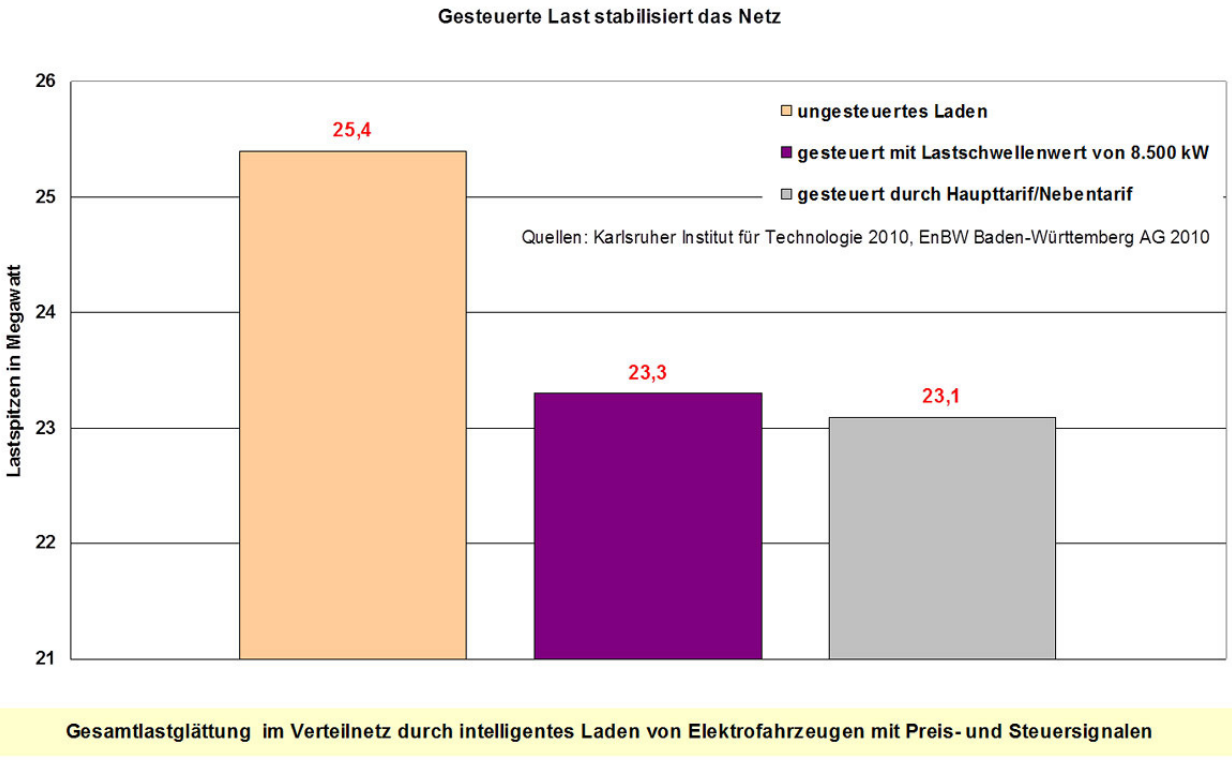
Bezüglich der Ladezeit geht die Studie davon aus, dass eine langsame und damit kontinuierliche Ladung der E-Fahrzeuge etwa gegen 23 Uhr beginnen und um 3 Uhr morgens enden sollte. Zwar werden in diesem Fall die Fahrzeuge auch alle gleichzeitig geladen, aber eben konstant und noch wichtiger, zu einer Zeit, in der generell wenig Energie nachgefragt wird und teure Pumpspeicher-Kraftwerke den Strom speichern müssen. Als Anreiz für den Elektrofahrzeug-Nutzer setzen sie auf ein Tarifsystem, das Off-Peak-Laden belohnt.

Eine Pilotstudie des Salt River Projekt nutzte die so genannten „time of use tarifes“ in Kombination mit intelligenten Zählern und konnte den Stromeinkauf der Haushalte zu Spitzenlastzeiten (on-peak) auf 25 % senken.

Ungesteuertes Laden oder Schnell-laden von einer Million Elektrofahrzeugen könnte die Energiekosten in den USA um 750 Millionen US-Dollar erhöhen, sagen der Übertragungsnetzbetreiber PJM Interconnection and Better Place in einer gemeinsamen Studie. Zu dem „Time-of-Use-Konzept“ stellt die Studie fest, dass die Stromnutzer zwar 10 % ihrer Energiekosten im Jahr sparen könnten. Die Problematik des Schnell-Ladens und seine Auswirkungen auf das Netz blieben aber bestehen. Lediglich das intelligente Laden durch einen zentralen Netzwerk-Betreiber könne die zusätzlichen Kosten halbieren [110], meinen die Verfasser der Studie.

Intelligentes Laden von batteriebetriebenen Fahrzeugen im Kontext eines Stadtviertels hat auch das Karlsruher Institut für Technologie zusammen mit dem Energieversorger EnBW erforscht. Dabei untersuchten die Wissenschaftler die Lastverschiebung mittels Preis, Steuer sowie Eigenverbrauch von Photovoltaik-Strom (PV-Strom). Voraussetzung für das gesteuerte Laden ist immer eine entsprechende Informations- und Kommunikationstechnologie. Das Ergebnis: Mit Hilfe von Preis und Steuersignalen können Spitzenlasten vermieden werden. Der Eigenverbrauchsanteil an PV-Strom konnte erhöht werden, ohne stationäre Speicher sei eine Ladelastdeckung durch PV-Strom aus dem untersuchten Wohngebiet aber nur schwer möglich [111].

Dr. Armin Gaul von RWE geht in seinen Aussagen soweit, dass durch zielgerichtete Steuerung das Netz soweit entlastet werden kann, dass 100 % Elektrofahrzeuge darstellbar seien. Was sich wiederum mit den Aussagen aus der Fleet Electrification Raodmap in den USA deckt. Diese weist auf Untersuchung der Pacific Northwest National Laboratories (PNNL) von 2007 hin, wonach über 160 Millionen E-Fahrzeuge in den USA (insgesamt 250 Mio Fahrzeuge) mit Strom versorgt werden können, ohne ein einziges neues Kraftwerk bauen zu müssen, wenn Off-Peak-Charging, also gesteuertes Laden in Schwachlastphasen, zur Regel gemacht wird 112.



Gesamtlastglättung im Verteilnetz durch intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen mit Preis- und Steuersignalen

Tab. 12: Glätten der Gesamtlast im Verteilungsnetz durch intelligentes Laden: Die Berechnungen gehen von einer viel zu geringen Strompreisstaffelung aus, da geht viel mehr (KM)

Die perfekte Strategie des intelligenten bzw. gesteuerten Ladens muss nach nationalen Netzvorgaben erarbeitet werden. Sie ist nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Die angeführten Beispiele zeigen aber, dass obwohl die amerikanischen als auch die deutschen Studien, Pilotprojekte und Strategien zum gesteuerten Laden unter der Annahme getroffen wurden, dass die E-Mobile am Netz angeschlossen sind, sobald sie stehen.

Das bestätigt Professor Armin Schnettler im persönlichen Gespräch: „Bei unseren Simulationen nehmen wir an, dass das Fahrzeug, wenn es steht und eine Lademöglichkeit hat, auch angeschlossen ist.“ Eine Vorgabe die, sofern der Ladepunkt vorhanden, mit induktivem Laden gewährleistet ist. Dass nicht nur ungesteuertes, sondern auch seltenes Laden zu instabilen Stromnetzen führt, bestätigt eine Accenture Studie Anfang des Jahres 2011.

Gerade Pilotprojekte in Städten hätten gezeigt, dass Elektrofahrzeug-Fahrer ihre Autos nicht täglich ans Netz anschließen. „Das erhöht unvorhersehbares Laden und reduziert die Kontrolle über die Ladevorgänge. Sind die Fahrzeuge, wenn sie stehen, mit dem Netz verbunden, erleichtert dies das Netzmanagement“, wissen die Experten 113.

Wie wichtig die ständige und automatische Verfügbarkeit der E-Autos am Netz nicht nur zur Lastglättung, sondern auch zur Systemstabilisierung durch Rückspeisung ist, zeigt folgendes, vereinfachtes Beispiel von Professor Armin Schnettler, Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen. „Der europaweit spürbare Stromausfall vom 4. November 2006 („Brownout“) hätte vermieden werden können, wenn ca. 3 Millionen Elektrofahrzeuge in Westeuropa ihren Ladevorgang unterbrochen und mit 3kW ins Netz eingespeist hätten. Ohne Rückspeise-Möglichkeit hätte Westeuropa ca. 6 Millionen ladende Fahrzeuge zur Laststeuerung benötigt.“

3.1.2.1.9 Gesteuertes Laden für das Flottenmanagement

Bei den bisherigen Betrachtungen wurden in erster Linie Fahrzeuge im privaten Gebrauch betrachtet. Eine Art Mikrokosmos unter den Fahrzeugen stellen meist gewerblich genutzte Flotten dar. So belief sich die Anzahl der 2009 in den USA zugelassen Flottenfahrzeuge auf 16 Millionen [114]. In Deutschland sind laut Verband der markenunabhängigen Fuhrparkmanagement-Gesellschaften (VMF) 3,7 Millionen Fahrzeuge (Pkw und Kleintransporter) in Flotten unterwegs [115].

Ein überschaubarer Markt aber mit wachsender Bedeutung vor allem für die Elektromobilität. Nach einer Studie von Dataforce [116] liegt der Anteil der in Flotten gebundenen E-Autos in Deutschland immerhin schon bei 45,4 %.der zugelassenen Elektrofahrzeuge. Neun von zehn Flottenverantwortlichen haben sich aufgrund der Steuerbefreiung für die Elektrofahrzeuge entschieden. Lediglich 16,7 % sehen sich als „grüne Innovatoren“, die zugunsten der Umwelt mehr investieren würden. Die Kosten sind demnach der Schlüsselfaktor zur Entscheidung für eine elektrische Fahrzeug-Flotte.

Neben den aufgeführten Steuerbefreiungen spielen sicherlich auch die im Vergleich zu den Spritkosten für Verbrennungsmotoren niedrigen Stromkosten eine Rolle. Darauf weist auch die Fleet Electrification Roadmap aus den USA hin. Die günstigen Stromkosten für Industrie und Gewerbe – die den größten Anteil der Flotten betreiben – wirken sich auf die Kauf- oder Leasingentscheidung zugunsten von Elektrofahrzeugen aus.

Da die Flottenfahrzeuge in den meisten Fällen eine vorgegebene und damit vorhersehbare Route abfahren, kann der Flottenverantwortliche das bisher noch teuerste Teil des Elektrofahrzeuges – die Batterie – ganz genau auf die eigenen Bedürfnisse abstimmen und spart somit Kosten. Zusammen mit günstigen Stromkosten, einer guten Auslastung der Fahrzeuge, einem zentralen Parkplatz und geringen Wartungskosten gehen auch die Batteriekosten in die Gesamtbetriebskosten (Total cost of ownership TCO) ein.

Und die sind nach Aussagen der Verantwortlichen das entscheidende Kriterium für die Fahrzeugwahl in der Flotte. Daher geht dieser Electrification Coalition Report auch ausführlich auf Faktoren ein, die den Restwert der Batterie schmälern bzw. gar ihre Lebensdauer verkürzen. Dazu zählt aus Sicht der großen Autorengemeinde u. a. eindeutig das Laden mit zu hoher Ladetiefe und das schnell Laden [117].

Der relativ hohe Anteil an Elektromobilen, die bereits in deutschen Flotten unterwegs sind, zeigt, dass die TCO bei Elektrofahrzeugen wohl günstig sind und stellt die Flotte somit als wichtiges Eintrittssegment für die Elektromobilität dar.

In Bezug auf das Stromnetz müssen aus Energieversorger- bzw. Energieverteilersicht durch elektrische Flotten besondere Herausforderungen gemeistert werden. Flottenfahrzeuge laden lokal konzentriert und oft sogar gleichzeitig. Die Netzregion, in der die Flotte steht, wird also mit einer ungewöhnlich hohen Last belastet. Transformatoren müssen auf das gleichzeitige Laden mehrerer Fahrzeuge ausgelegt sein. Damit wird sowohl das nachts als auch das Off-Peak-Charging, bzw. gesteuertes Laden für Flotten noch wichtiger als für Privat-Pkw.

Dass die Flotten vor allem nachts und damit langsam geladen werden, ergibt sich beispielsweise aus den Zahlen der Fleet Electrification Roadmap. Demnach liegen die Kosten für Schnellladestationen rund 20-mal höher als die für langsames Laden. Abgesehen davon, wird das Stromnetz einer gleichzeitigen Schnell-Ladung der Flottenfahrzeuge kaum standhalten.

Flotten können aber noch mehr, als durch gesteuertes Laden die Last im Netz zu verschieben. „Es wäre beispielweise denkbar, dass Flottenfahrzeuge aufgrund regelmäßiger Ladezeiten über längere Zeiten Regelleistung für das Netz bereitstellen“, heißt es vom Energiewirtschaftlichen Institut in Köln, das die Potentiale der Elektromobilität bis 2050 untersuchte 118. Dazu gibt es schon seit längerem Versuche.

Die Universität of Delaware ist hier wohl als Vorreiter zu nennen. Professor Willett Kempton nannte seine Versuche, Elektroautos als Pufferspeicher zu nutzen Vehicle to Grid (abgekürzt: V2G, deutsch: vom Fahrzeug ins Netz). Darunter versteht man ein Konzept, das Strom aus dem öffentlichen Netz in Elektroautos speichert und zu gegebenem Zeitpunkt, etwa wenn die Energie-Nachfrage sehr hoch ist, wieder ins Netz einspeist — ein Kraftwerk auf Rädern.

V2G wird in dieser Studie unter dem Punkt „kompatiblerer Systemansatz zum smart grid und smart home“ noch eingehender beleuchtet. An dieser Stelle sollen aber bereits die Chancen aufgezeigt werden, die Flottenfahrzeuge durch netzfreundliches Laden haben.

„Fuhrparks sind ein idealer Anfangsmarkt für Vehicle to grid“ meint Kempton. Ein Internetfähiges Fahrzeug und ein vernetztes Ladegerät sind notwendige Voraussetzungen für das Konzept. „Wenn man weiß, wo sich wie viele Fahrzeuge gerade aufhalten, ist V2G eine sehr elegante Lösung um Reservekapazitäten direkt dort zuzuschalten, wo sie gerade benötigt werden“, sagt Mark Duval vom Energieforschungsinstitut EPRI dem Technology Review 119. So geht das Massachusetts Institut for Technology (MIT) davon aus, dass Flottenverantwortliche durch V2G 5 bis 11 % der Gesamtbetriebskosten (TCO) reduzieren können 120.

Es gibt also einen ordentlichen Anreiz, dass die Fahrzeuge am Netz verfügbar sind. Die Nutzung spricht dem nicht entgegen. Ein US-Postfahrzeug fährt pro Tag nur 18 Meilen, die gesamte Jahreskilometerdurchschnittsleistung von US Flottenfahrzeugen liegt bei 28.000 Meilen, also ca. 90 km pro Arbeitstag. Da bleibt reichlich Zeit für das netzfreundliche Laden.

Wenn die Flottenverantwortlichen — inklusive Carsharingbetreiber — mit ihrem frühen Markteinfluss und ihrer großen Einkaufsmacht (jedes zweite Neufahrzeug in den USA) erst einmal auf netzfreundliches Laden setzen, dann ist davon auszugehen, dass der ganze Markt und die Batterieentwicklung in diese Richtung steuern. Der Electrification Coalition Report zeichnet genau diese Entwicklung vor.

Erste rechtliche Voraussetzungen in diese Richtung sind auch in Deutschland bereits geschaffen. So bedeuten die neuen Regelleistungsbedingungen der Bundesnetzagentur vom April dieses Jahres [121] verkürzte Ausschreibungsfristen von einem Monat auf eine Woche. Die Mindestmengen für Primärregelenergie (erste Hälfte innerhalb von 5 Sekunden, Rest innerhalb von 30 Sekunden bereitzustellen) wurden von 5 MW auf 1 MW und von 10 auf 5 MW für Sekundärregelleistung (innerhalb von 5 Minuten bereitzustellen) verringert.

Das soll den Zugang zum Regelenergiemarkt erleichtern und somit den Wettbewerb stärken. Unter anderem verbessern sich dadurch die Geschäftsmodelle für Virtuelle Kraftwerke und gesteuertes Laden im Flottenbetrieb von Elektrofahrzeugen. Die konkreten Folgen und Zusammenhänge können bisher mangels Erprobung aber nur abgeschätzt werden.

Nur wenige Regelkraftwerke können innerhalb von 5 Sekunden reagieren. Für Elektrofahrzeugflotten mit Schwarmintelligenz ist das kein Problem. Bei einer Rückspeiseleistung von etwas mehr als 3,3 kW genügen bereits etwas mehr als 300 Fahrzeuge, um 1 MW zu liefern. Solche Geschäftsmodelle machen Elektrofahrzeuge für Flottenbetreiber interessant. Betrachtet man sie als Fahrzeuge für reine Transportaufgaben, wird schnell klar, warum viele am Erfolg der Elektromobilität zweifeln.

Umgekehrt aber machen gerade solche Geschäftsmodelle am Kapazitätsmarkt deutlich, warum die Verfügbarkeit am Netz so entscheidend ist. Sind nur 50 % der Fahrzeuge verfügbar, braucht der Flottenbetreiber schon 600 Stück, um am Regelenergiemarkt teilzunehmen. Außerdem muss die Verfügbarkeit wirklich planbar sein.

Solange ein Bediener Kabel und Stecker in die Hand nehmen muss, ist sie das nicht. Das kabellose Laden bedeutet aus dieser Perspektive des „Anlagenbetreibers“ schlichtweg Prozessautomation. Das automatische Laden wird zum Schlüssel für neue Geschäftsmodelle in der Elektromobilität.

Abb. 38: Das erste kabellose Elektrofahrzeug in Deutschland mit Straßenzulassung macht gesteuertes Laden automatisch möglich (Mainova PR 122)

Die immense Bedeutung des automatischen Ladens mittels Induktion für Flotten und intelligente Netze sehen auch die ersten deutschen Energieversorger. So startete Ende August 2011 die Deutsche Lufthansa zusammen mit dem Energieversorger Mainova einen Praxistest zur induktiven Ladung von Elektrofahrzeugen.

„Elektromobilität ist ein wichtiger Teil der Vision intelligenter Stromnetze, denn in ihren Akkus können die Fahrzeuge Überschussenergie speichern. Erst die induktive Ladetechnik ermöglicht gesteuertes Laden. Somit werden die Elektrofahrzeuge in das Energiemanagement einbezogen“, betonte der Mainova Vorstandsvorsitzende Dr. Constantin Alsheimer [123].

3.1.2.1.10 Fazit:

Die erste Voraussetzung, dass Elektrofahrzeuge ihre Mission des netzfreundlichen Ladens erfüllen können, ist ihre ständige Verfügbarkeit am Netz mit automatischem Laden. Hohe Verfügbarkeit für gesteuertes Laden, beziehungsweise eine gezielte Laststeuerung (demand side management), ist nur mit automatischem Laden möglich. Anreize für gesteuertes Laden können Time of Use-Tarife bieten.

Diese lastvariablen Stromtarife müssen aber zunächst einmal politisch gewollt sein und über die Regulierungsbehörde durchgesetzt werden. Das kann auch schrittweise von immer stärker gestaffelten Tarifen bis hin zu einer Fluktuation in Echtzeit erfolgen wie sie in den USA bereits erprobt wird. In Bundesstaaten wie Illinois sind stündliche Preisanpassungen bereits Programm [124].

Ohne diese Maßnahme wären die Netzengpässe nur mit erheblichem Netzausbau zu bewältigen gewesen. Ähnlich wie je nach Verkehrsaufkommen variable Mautgebühren wirken lastvariable Stromtarife lastglättend und das ohne jede weitere Incentivierung selbstregulierend. Dazu passen die Ladevorgänge von Elektrofahrzeugen als „dispatchable load“, als verschiebbare Last, hervorragend. Ebenso wie das kabellose, automatische Laden.

Auch zentrale Netz-Betreiber können die Rolle des gesteuerten Ladens übernehmen. Wenn jedoch wirtschaftliche Anreize für den Fahrzeugnutzer fehlen, ist es für den Flottenbetreiber umso wichtiger, die ständige Verfügbarkeit der Fahrzeuge durch entsprechende Ladeinfrastruktur wie kabelloses Laden zu gewährleisten.

Daher kursieren ja von DGS (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie) bis zu NPE (Nationale Plattform Elektromobilität) schon Vorschläge, die Nutzer mit Bargeld zum Einstecken des Ladekabels zu motivieren. Bei den dort gehandelten Beträgen von 1.000 Euro pro Nutzer und Jahr stellt sich allerdings die Frage, ob kabelloses Laden nicht günstiger wäre.

Außerdem beweist die University of Delaware laut Electrification Coalition Report gerade, dass ein Elektrofahrzeug am US-Regelenergiemarkt bis zu 10 Dollar pro Tag verdienen kann. Das entspricht gut den bereits in früheren Feldtests von der UoD bewiesenen Einnahmepotentialen von über 3.500 US-Dollar pro Jahr. Aktuell geht die University of Delaware damit in Dänemark in einen Großversuch. Warum soll man dieses RefinanzierungsPotential den deutschen Elektrofahrzeugfahrern vorenthalten? Der Anreiz wäre vielfach stärker als jede Subventionierung der Neuwagenanschaffung.

Der Steuerzahler hätte keine zusätzlichen Kosten. Im Gegenteil: Die Stromkosten würden per Saldo übers Jahr und auf Dauer von Jahr zu Jahr immer weiter sinken, weil die strompreisdämpfende Wirkung der zunehmenden Einspeisung von Erneuerbaren Energien beim Endverbraucher ankäme. Damit würden auch die Kraftstoffkosten für Elektrofahrzeuge sinken. Das

würde auch der Akzeptanz von Erneuerbaren und Elektromobilität helfen. Insgesamt bedarf es dazu nur zweier Schlüsselkomponenten: lastvariable Stromtarife und automatisches Laden.

Ohne automatisches und damit gesteuertes Laden ist mit sehr hohen Kosten für den Netzausbau zu rechnen. Durch zielgerichtete Steuerung kann das Netz so weit entlastet werden, dass eine 100 %-Durchdringung von Elektrofahrzeugen darstellbar ist.

Ähnlich wie beim ungesteuerten Laden belastet schnelles Laden, aufgrund seiner hohen Lasten, und unstetiges Laden, aufgrund seiner schlechten Vorhersehbarkeit, die Stromnetze (ebenso wie die Batterien). Dagegen kann automatisches Laden und stetige Verfügbarkeit der Fahrzeuge am Netz, das Stromnetz nicht nur stabilisieren sondern sogar vor Strom-Ausfällen schützen.

Netzfreundlich automatisch Laden kommt nicht nur privaten Elektroauto-Fahrern zugute — auch Flottenbetreiber senken damit ihre Total Cost of Ownership. Somit können Flotten mit ihrem bereits relativ hohen Marktanteil an Elektrofahrzeugen als Markttreiber für netzfreundliches Laden gelten. Erleichterungen für den Zugang zum Regelenergiemarkt haben das Geschäftsmodell gesteuertes Laden im Flottenbetrieb bereits verbessert. Flotten gelten aufgrund ihrer Struktur als ideales Marktsegment für Vehicle to Grid und könnten auch diesen Ansatz weiter vorantreiben.

3.1.2.2 Automatisches Laden als kompatiblerer Systemansatz zum Smart Grid und Smart Home

Zur Definition von Smart Grid: Smart Grids (intelligente Netze) stellen durch abgestimmtes Management mittels zeitnaher und bidirektionaler Kommunikation eine Balance zwischen Energie-Erzeugern, Netzkomponenten, Speichern und Verbrauchern her. Oder wie es der Vorstand der Energietechnischen Gesellschaft im VDE, Professor Jochen Kreusel formuliert: „In Smart Grids werden die Verbrauchsseite und dezentrale, verbrauchsnahe Erzeugungseinheiten in den jederzeit erforderlichen Abgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch einbezogen.[125]

Das Smart Grid soll den Energiefluss von heute und morgen koordinieren und dabei den erforderlichen Ausgleich zwischen Energieangebot und –nachfrage regeln. Während sich bisher der Energie-Lastfluss vom Erzeuger über das Übertragungs- und Verteilungsnetz zum Verbraucher –in eine Richtung bewegt, so fließen die Energieströme im intelligenten Netz bidirektional — also in beide Richtungen.

Immer mehr Verbraucher werden gleichzeitig auch Strom produzieren, etwa aus erneuerbaren Energien mit Photovoltaikanlagen oder mit kleinen Blockheizkraftwerken im eigenen Keller. Sie mutieren damit vom reinen Energie-Konsument (Consumer) zum Energie-Prosumer (Produzent und Konsument). Das beweisen die neuesten Zahlen der Agentur für Erneuerbare Energien [126] und des Klaus Novy Instituts. Demnach befinden sich mehr als 50 Prozent der in Deutschland installierten Anlagen zur Stromerzeugung aus regenerativen Quellen im Eigentum von Privatpersonen und Landwirten.

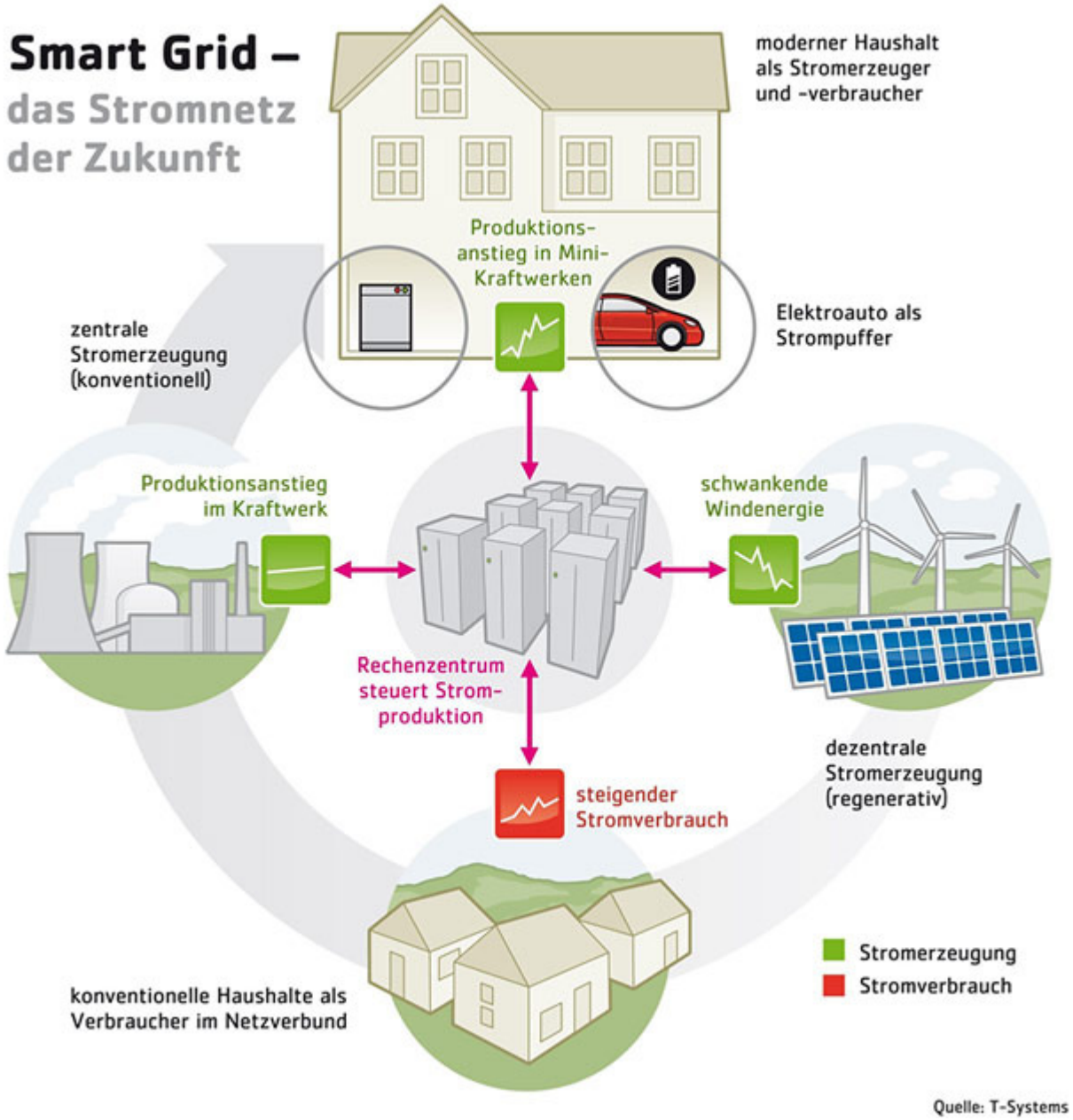


Abb. 39: Smart Grid Kreislaufwirtschaft: Volatilenergien, Regelkapazität und Verbrauch über Cloud-Dienstleistung in Ausgleich gebracht (T-Systems)

Das Bild oben ein Smart Grid, wie es in seiner Erzeugungs- und Abnahmestruktur bereits heute in Ansätzen vorhanden ist. Künftig wird die dezentrale Erzeugung aus erneuerbaren Energieträgern weiter ansteigen, konventionelle Haushalte werden sich zum Smart Home wandeln.

Durch die bidirektionalen Energieflüsse und veränderte Stellung der Marktteilnehmer steigt die Komplexität des Stromnetzes. Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) soll deshalb das komplexe System verwalten. Parallel zum Stromnetz entsteht ein Datennetz, das alle System-Mitspieler verbindet. Einen grundlegenden Baustein für die Informationen und Daten stellen sogenannte Smart Meter (intelligente Stromzähler) dar.

Teil des Smart Grid wird ein Smart Home (intelligentes Wohnen) sein. Beim Smart Home werden die intelligenten Zähler zusammen mit intelligenten Geräten eingesetzt. Letztere können

durch Datenvernetzung ferngesteuert ohne Einfluss des Benutzers auf den aktuellen Energiebedarf, die Verfügbarkeit sowie den aktuellen Energiepreis selbstständig last- und energieoptimiert – also automatisch - reagieren.

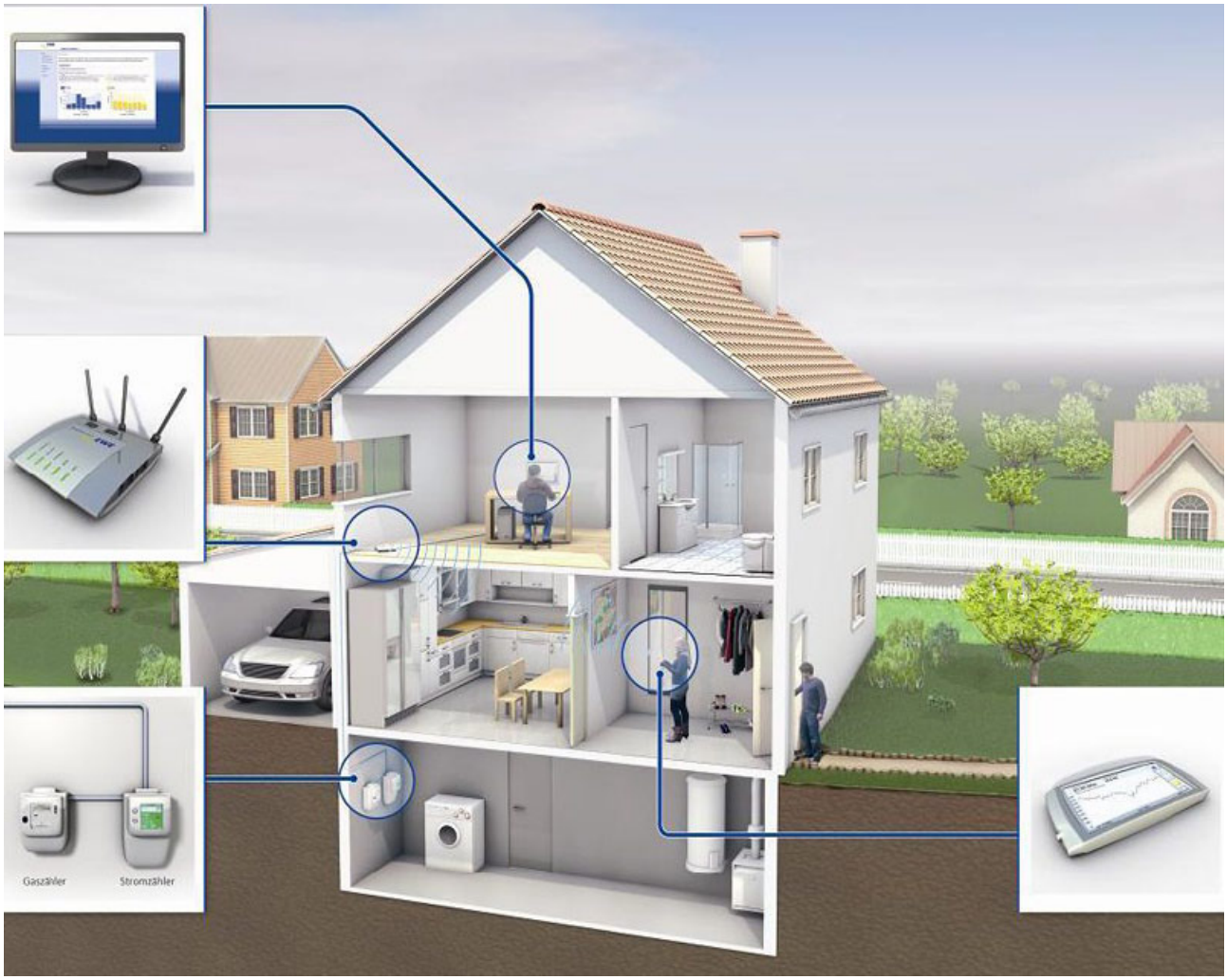


Abb. 40: Smart Home mit Steuerungs- und Datenverarbeitungs-Komponenten, Smart Phone als zentrale Bedienerschnittstelle: ideales Szenario für das zuhause Laden (Quelle EWE 127)

Zum intelligenten Wohnen zählt auch das intelligente Laden von Elektrofahrzeugen. Wie im Kapitel „Gesteuertes Laden für das Netz- und Flottenmanagement“ deutlich wurde, ist das Elektrofahrzeug eine Komponente im Smart Grid, die gesteuert Energie einspeisen oder dem Netz entnehmen kann. Relevante steuerbare Lasten im Smart Home sind zudem die Wärmepumpe, Elektroheizung, Klimaanlage und das Blockheizkraftwerk.

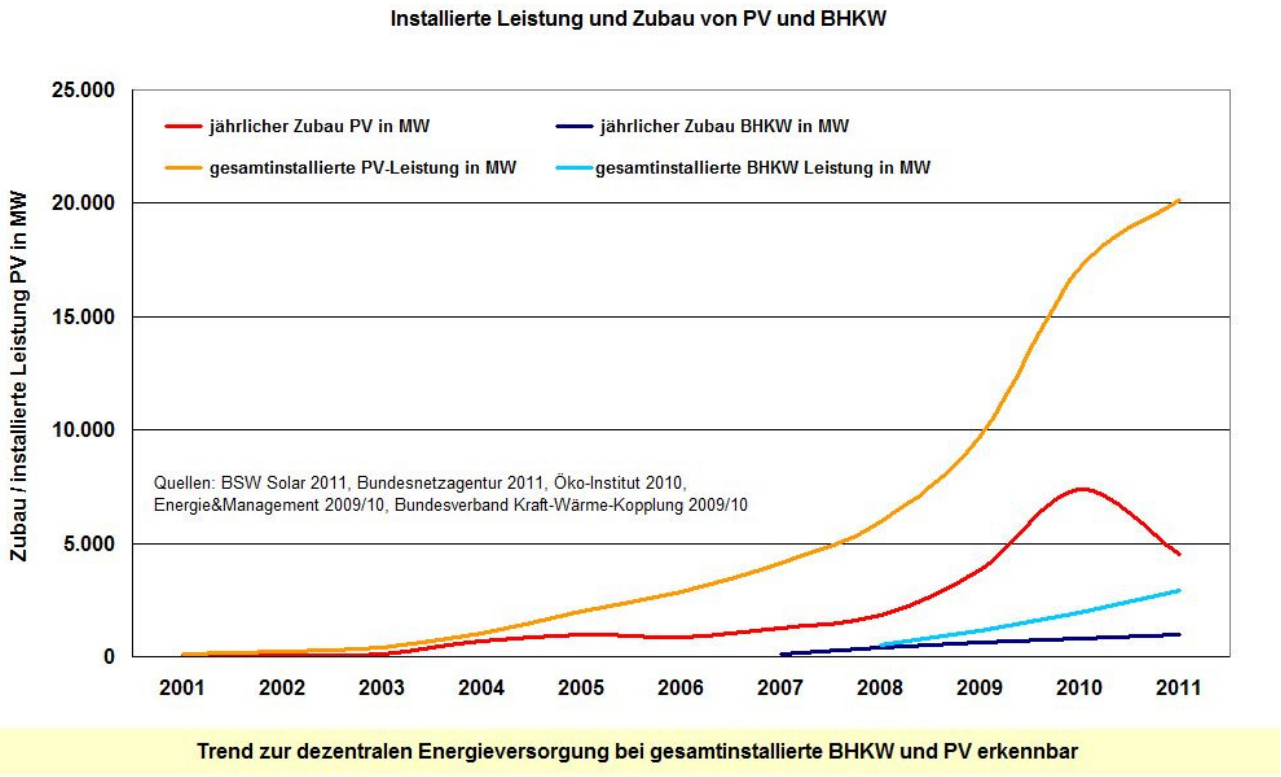


Abb. 41: Zuhausekraftwerke passen zum Zuhauseladen: Kabellosladen bedeutet hier einen steuerbaren Verbraucher größerer Mengen direkt vor Ort (KM)

3.1.2.3 Integration Erneuerbarer Energien und Elektromobilität

Ein weiterer Teil sowohl des Smart Grid als auch des Smart Home sind dezentrale Anlagen, die Strom aus erneuerbaren Energiequellen gewinnen. In Verbindung mit dem Elektroauto spielen Photovoltaikanlagen die größte Rolle. Im Gegensatz zur Windkraft, kann der Strom aus verteilten Photovoltaik-Anlagen sofort an dem Ort verbraucht werden, an dem er produziert wurde. Das bestätigt Professor Armin Schnettler, Leiter des Instituts für Hochspannungstechnik der RWTH-Aachen, im persönlichen Gespräch:

„Die Meinung des BDEW, dass Elektrofahrzeuge zwangsweise zu einem Netzausbau führen, teile ich nicht. Denn gerade in Verbindung mit der Photovoltaik kann der Vorteil genutzt werden, dass diese PV-Einspeisung durch Elektrofahrzeuge vor Ort genutzt und somit im gesteuerten Betreib auch Überschussenergie abfangen kann [128] .“

Damit seien die Zahlen, die Roger Kohlmann vom BDEW in seiner Eröffnungsrede Treffpunkt Netze zum Netzausbau nannte, zumindest zu hinterfragen und intensiv auf Optimierungspotentiale durch eine gemeinsame Betrachtung von dezentraler PV-Erzeugung und dezentralen Lasten (Wärmepumpe, Elektromobilität) zu untersuchen, meint Professor Schnettler.

Laut Kohlmann erfordert der Wind- und PV-bedingte Netzausbau in den Verteilungsnetzen bis 2020 ein Investitionsvolumen von 10 bis 13 Milliarden Euro. Dem widersprechen z. B. Veröffentlichungen von RWE, den Verbundforschungen zu virtuellen Kraftwerken auf Bornholm (Edison) im Harz (Kombikraftwerk II) und im Allgäu (IRENE) oder der Electrification Coalition in den USA. Demnach würden die Netze weitgehend genügen. Sie müssten nur intelligenter genutzt werden.

Der Vorort-Verbrauchsvorteil von Photovoltaik soll aber keinesfalls ausschließen, dass Elektrofahrzeuge auch zur Integration von Windenergie im Netz beitragen können. Im Gegenteil: das Institut für Energieforschung in Jülich hat errechnet, dass 10 Millionen Elektrofahrzeuge einen Ladebedarf von 42 bis 64 GWh haben und damit den Windstromüberschuss leicht aufnehmen können (10 Mio. * 6 kWh täglicher Ladebedarf bei 30 km pro Tag durchschnittlicher Fahrleistung = 60 GWh) 129.

Das bedeutet, Elektrofahrzeuge können vor allem nachts aber auch zu anderen Off-Peak-Zeiten die Last erhöhen, so dass in Zeiten von Starkwind und gleichzeitig schwacher Netzlast mehr Windenergie genutzt werden kann. Die genannten Zahlen passen zu denen, die die Dena Netzstudie 1 errechnet hat. Demnach liegt die im Jahr 2020 installierte Windanlagenleistung bei 48 GW 130. Das stärkste Windaufkommen ist bei Windradnabenhöhen von 100 m nachts.

Nach Aussagen der Jülicher Energiewissenschaftler haben Elektrofahrzeuge aber nicht genügend Speicherkapazität, um Schwachwindzeiten zu überbrücken. Sie können jedoch in begrenztem Umfang Regelleistung 131 liefern. Sinnvoll und mit Elektrofahrzeugen realisierbar sei die Bereitstellung von negativer Minutenreserve (15 Minuten Vorankündigungsfrist), so die Energieexperten, also das Anfahren von Ladeprozessen zur Frequenzabsenkung.

Wie wichtig die Integration von Wind-Energie ist und wie viel Strom derzeit wörtlich schon in den Wind geschossen wird, verdeutlicht die Zahl, die Hermann Albers, Präsident des Bundesverbandes Windenergie (BWE) im September 2011 in den VDI Nachrichten nennt132. Demnach seien an der Westküste Schleswig-Holsteins im April und Mai 2011 40 % der erzeugbaren Windenergie nicht eingespeist worden. "Jedes Wochenende stehen die Windräder still", weiß Albers.

Laut Dena Netzstudie 2 vom November 2010 müssen aktuell 4 GW nicht übertragbare Leistung in Deutschland verworfen werden. Das entspricht der Leistung von 4 kleineren Kernkraftwerken bzw. entgangenen Erlösen von 6,8 Mrd. Euro pro Jahr (200.000 Euro / GWh * 4 GW * 8.600 h / Jahr). Wie lässt sich angesichts dieser Zahl behaupten, die Maßnahmen zur Reduzierung dieser Verschwendung, wie z. B. Smart Grid, dezentrale Erzeugung von erneuerbarem Strom oder Elektromobilität, seien teuer?

Auch die Zahlen für den Netzausbau sind beeindruckend: 1 km Netzanschluss verschlingt zwischen 60.000 bis 70.000 Euro heißt es in dem VDI Artikel. Jeder Kilometer, der durch Elektroautos mit automatischer Ladeinfrastruktur eingespart werden kann, ist da wohl sein Geld wert. So bringt es auch Armin Gaul auf den Punkt: „Es gibt zwei Alternativen: Entweder wir investieren viel Geld in neue Leitungen - oder wir investieren in intelligente Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik", sagt der bei RWE Deutschland für den Test neuer Technologien Verantwortliche im Handelsblatt vom 25. September 2011133.

3.1.2.3.1 Bereitstellung von Regelenergieleistung durch Elektrofahrzeuge und Vehicle to Grid

Noch sind Elektrofahrzeuge nur in geringen Stückzahlen auf den Straßen unterwegs; von Smart Grid und Smart Hhome gibt es nur Ansätze. Die bisherigen Ergebnisse stützen sich demnach auf Pilotprojekte, Studien und zahlreiche Laborversuche. Wie bereits erwähnt, werden sich einige

Dinge mit dem entstehenden Markt selbst entwickeln. Wichtig ist dennoch, die richtigen Weichen zu stellen. Tendenzen sind ja bereits absehbar.

Eine Tendenz bestätigte sich jetzt durch das tägliche Fahrverhalten von 7.500 Nissan Leaf-Fahrern in den USA. Sie legen durchschnittlich rund 60 Kilometer (37 Meilen) pro Tag mit ihrem Elektrofahrzeug zurück [134]. Dabei nutzen sie täglich nur die Hälfte der zur Verfügung stehenden 24 kWh ihrer Nissan-Leaf-Batterie. Um das Fahrzeug wieder aufzuladen, genügen laut Nissan nur zwei bis drei Stunden bei 240 Volt (in den USA sind 110 Volt üblich).

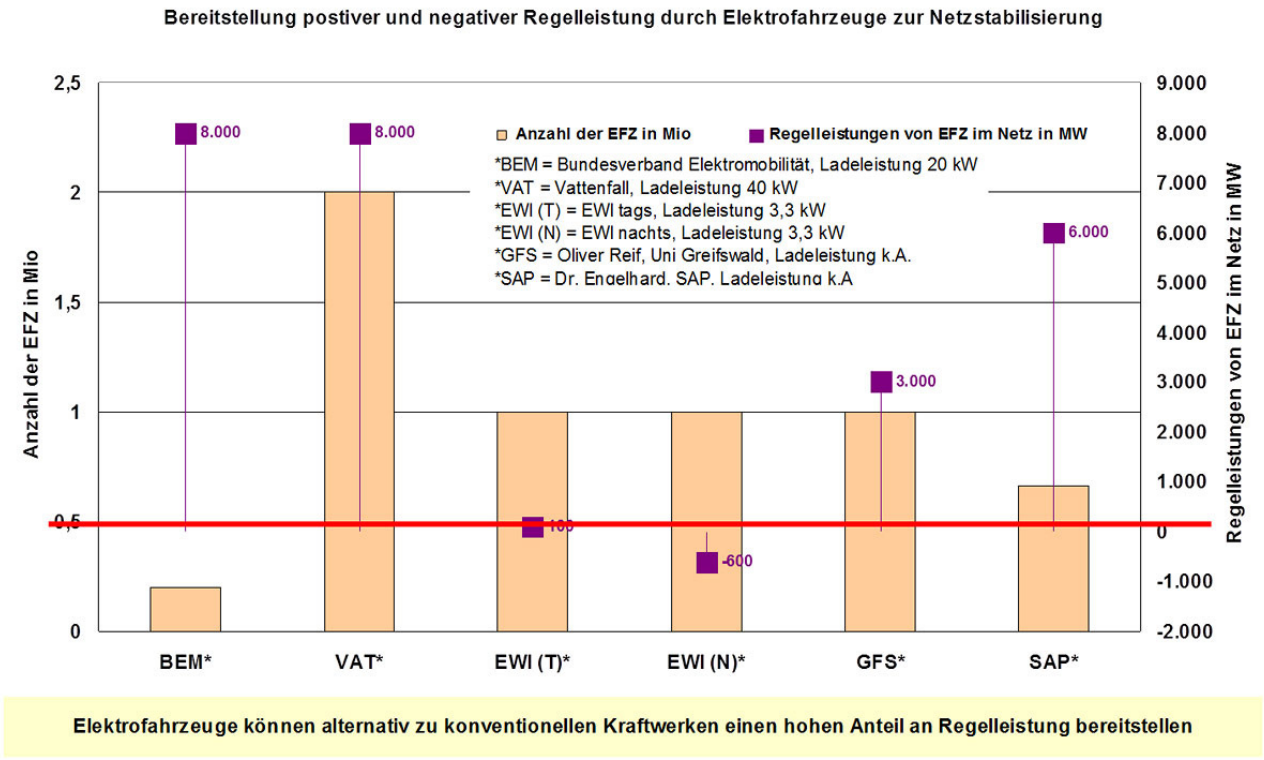
Die Praxis-Erfahrungen zeigen aber auch, dass die Fahrer ihr Fahrzeug immer seltener an das Netz anschließen, je vertrauter sie mit dem Auto sind. Sie handeln ganz nach dem Motto: „Wenn man nicht laden muss, wird auch nicht geladen." Ein Verhalten, das leider nicht netzfreundlich ist und damit mehr Kosten wie teuren Netzausbau nach sich zieht. Dabei bieten Elektrofahrzeuge Kostensenkungspotential, das auch genutzt werden sollte. Zu diesem zählt, wie bereits erwähnt, die unbedingt notwendige Steuerung des Ladeprozesses, um Netzstabilität und Lastglättung zu gewährleisten.

So kann ein teurer Netzausbau vermieden werden. Desweiteren können Elektrofahrzeuge im Ernstfall Netzausfälle unterbinden und wesentlich zur Integration von Erneuerbaren Energien in das Stromnetz beitragen. Dieses Potential kann heute und im Hinblick auf das Smart Grid aber nur in vollem Umfang genutzt werden, wenn die Weichen bereits jetzt in Richtung automatisches Laden und damit kabelloses Laden gestellt werden. Damit ist der Fahrzeugnutzer und dessen - ohne weitere Anreizsysteme - tendenziell netzunfreundliches Ladeverhalten als „Fehlerquelle" ausgeschlossen.

Zur Verdeutlichung, wie viel Regelleistung durch Elektrofahrzeuge bereitgestellt werden kann, sollen hier verschiedene Projekte beispielgebend aufgeführt werden. Je nach Pilotprojekt oder Studie liegen unterschiedliche Zahlen zur Regelleistung von Elektrofahrzeugen vor. So könnten 660.000 Elektrofahrzeuge mehr Regelenergie (für rund eine Stunde) bereitstellen (660.000 * z. B. 10 kWh = 7 GWh) als alle deutschen Pumpspeicherwasserkraftwerke zusammen, sagt Dr. Stefan Engelhardt, Industry Business Unit Utilities, SAP AG bei seinem Vortrag „Smart Grid und Elektromobilität – Innovative Lösungskonzepte für neue Geschäftsprozesse" im September 2011 in Mannheim [135] (in Deutschland sind laut Wikipedia 7 GW Pumpspeicherleistung installiert).

Das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität in Köln EWI ermittelt für 1 Mio. EFZ tagsüber eine positive Reserveleistung von 20 - 100 MW, nachts eine negative von 500 - 600 MW [136], wobei diese Zahl wie so oft hinterfragt werden muss: Positive Reserveleistung bedeutet Rückspeisung. Diese könnte bei 1 Mio. EFZ und bei 100 % Anschlussquote als rein theoretisches Optimum auch 3.700 MW betragen (1 Mio. * 3,7 kW / 1.000).

Im Vergleich dazu sind 20 bis 100 MW weniger als 0,6 bis 3 % von diesem Potential. Das EWI rechnet also tagsüber mit einer äußerst geringen Verfügbarkeit der Fahrzeuge am Netz. Solange man dafür Kabel und Stecker braucht, ist das wohl auch realistisch. Umgekehrt macht die Zahl deutlich wie entscheidend der Faktor der Verfügbarkeit für Geschäftsmodelle am Regelenergiemarkt ist.



Tab. 13: Die Regelleistung von Elektrofahrzeugen kann nur genutzt werden, wenn die Fahrzeuge automatischen geladen werden und, sobald sie parken, am Netz verfügbar sind (KM)

2 Mio. Fahrzeuge, die mit 3,3 kW rückspeisen, können 7 GW Primärregelenergie innerhalb von weniger als 5 Sekunden zur Verfügung stellen, mehr als Deutschland gegenwärtig zum Abfedern von Verbrauchsspitzen benötigt. Damit wäre die bis 2020 benötigte Verdopplung der Regelkapazität abgedeckt und eine wesentliche Voraussetzung für einen höheren Anteil an Erneuerbaren Energien geschaffen.

Voraussetzung: Die Fahrzeuge hängen tatsächlich auch immer, wenn sie länger stehen, am Netz. Dies war aber wegen der dafür erforderlichen Bedienereingriffe schon bei den bisherigen Feldversuchen mit hochmotivierten Frühnutzern nicht der Fall: Wie viele Elektrofahrzeuge wären notwendig, um die Lücke für die Regelkapazität bis 2020 zu schließen, wenn die Fahrzeuge nur jede 3. Nacht angehängt werden? Dieser Zusammenhang wurde zuletzt von der TU Darmstadt ermittelt.

Szenario 1, 2, 3		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Durchschnittliche Batteriekapazität in kWh	K	20	20	20
Anzahl Elektrofahrzeuge in Millionen	A	1	1	1
Prozentualer Anteil von Fahrzeugen am Netz	N	75	85	95
Erlaubter Entladegrad in Prozent	E	20	20	20
Verfügbare Energie in MWh VE=K*A*N*E	VE	3.000	3.400	3.800

Tab. 14: Durch automatisches kabelloses Laden ließe sich die Verfügbarkeit der Fahrzeuge am Netz sicher auf 95 % steigern und die verfügbare Energie wächst überproportional mit an. (KM)

Die Zahlen zeigen, dass sich die Verfügbarkeit von Elektrofahrzeugen am Netz überproportional auf ihr Stabilisierungspotential auswirkt.

Professor Henning Kagermann, Mitglied des Aufsichtsrates bei BMW, hält es dagegen durchaus für realistisch, dass sechs Millionen Elektroautos 2030 15 GW Regelleistung zur Verfügung stellen können [137]. Das entspräche dann einer Verfügbarkeit der Fahrzeuge von ca. 75 % (6 Mio. * 3,4 kW * 0,75 = 15,3 GW).

Die unterschiedlichen Zahlen zeigen, dass hier noch Forschungsbedarf besteht, bzw. die Praxisversuche voran schreiten müssen. Denn die Experten sind sich nicht einig, weder in Bezug auf die Bereitstellung von Regelleistung noch über die Rückspeisung von Energie aus der Fahrzeugbatterie und vor allem nicht über den finanziellen Nutzen für den E-Auto-Nutzer. Daran erkennt man vor allem eines: Als disruptiver Technologiesprung gemäß Christensen zerstört die Elektromobilität zusammen mit den Erneuerbaren im Sinne von Schumpeter viele etablierte Geschäftsmodelle [138]. Diese werden natürlich nicht kampflos aufgegeben.

Unterdessen verspricht die Erfinderin des Vehicle-to-Grid (V2G), die University of Delaware [139], Elektrofahrzeug-Fahrern 4.000 US-Dollar (rund 2.900 Euro) an jährlichem Einkommen, wenn sie Ihr Auto dem Netz zur Verfügung stellen, sobald dieses geparkt ist. Zu diesem Schluss kamen die Wissenschaftler, nachdem sie eine Flotte von sieben Elektrofahrzeugen drei Jahre lang über ein Wireless-System mit dem Server einer lokalen Elektrizitätsgesellschaft verbunden hatten.

Und da die Fahrzeuge mit ihrem Angebot an Regelleistung das Hochfahren teurer Gaskraftwerke ersetzen konnten, wurden die sieben Pilot-Fahrzeuge in Delaware für ihre Leistungsbereitstellung finanziell entlohnt. Und zwar mit 0,30 US Dollar (0,21 Euro) pro Stunde, in der das Fahrzeug am Netz verfügbar war.

Hinzu kommt ein fixer Betrag dafür, dass sich die E-Mobile generell an der Netzregulierung beteiligen (wie am Kapazitätsmarkt üblich). Das Ergebnis war die stolze Summe von 4.000 Dollar. 17 Mal so viel, wie Nissan für die durchschnittliche jährliche Tank-Befüllung eines Leaf kalkuliert (225 US- Dollar pro Jahr). Mit diesen Summen mutieren Autos jenseits aller Pferdestärken zum Goldesel.

Dennoch unterscheiden sich die Delaware-Zahlen noch stark von denen, die die britische Konstruktions-Firma Ricardo zusammen mit dem britischen Energieversorger National Grid herausgaben [140]. Dieser Studie zufolge können durch sogenanntes Demand-Side-Management also Laststeuerung im Jahr 2020 6 % des Netzausgleichs bestritten werden. Rechnet man die nächtlichen Ladevorgänge hinzu, sind es laut Ricardo 10 %. Die Fahrzeugbesitzer verdienen dabei jährlich rund 60 Euro (80 US Dollar).

Beim Vehicle-to-Grid-Konzept gemäß der University of Delaware, bei dem das Fahrzeug Energie auch wieder ins Netz zurückspeisen kann, bekommt der Fahrzeugbesitzer dagegen schon rund 650 Euro (900 US Dollar) bei einem 3kW-System. Für ein 18kW Drei-Phasen System sieht

Ricardo keinen wirtschaftlichen Ansatz. Dagegen sehen die britischen Experten eine effiziente Ladeinfrastruktur als Schlüssel des Erfolgs für Vehicle-to-grid Konzepte.

Effizient ist die Ladeinfrastruktur laut Ricardo genau dann, wenn sie sowohl die individuellen Ansprüche von Flotten- und Fahrzeugnutzern, als auch die maximale Verfügbarkeit der Fahrzeuge am Netz miteinander vereint. Eine intelligente Ladetechnologie wird daher eher von den Spielern intelligenter Netze vorangetrieben als von der Elektromobilität selbst. Finanzielle Vergütungen können ebenfalls als Anreize intelligenter Ladetechnologien gelten.

Abb. 42: Toyota testet das Smart Home im Smart Grid mit Einbindung von Elektrofahrzeugen: Toyota testet nicht das Schnellladen. Dazu entsteht eine ganze Stadt. (Bild Toyota 141)

Dass sich aber auch die Automobilhersteller in Sachen Smart Grid engagieren und damit neue Geschäftsfelder eröffnen, zeigen Initiativen zur Entwicklung von intelligenten Stromnetzen wie die von Nissan, Mitsubishi 142 und Toyota 143 oder das smart home Projekt von Honda 144.

Toyota beispielsweise betreibt mit den Partnern Japan Wind Development, Panasonic Electric Works und Hitachi eine Versuchsanlage in Rokkasho Village in der japanischen Präfektur Aomori. Sechs Häuser werden ausschließlich mit regernativer Energie versorgt. Zusätzlich verfügt jedes Haus über einen Akku im Keller. Zum Einsatz kommen Sonnenkollektoren und eine Windkraftanlage.

Die Akkus der Prius-Fahrzeuge beziehen nicht nur Energie aus dem Stromnetz der Häuser, sondern können bei Bedarf auch Strom abgeben. Alle Energielieferanten, -Speicher und Verbraucher sind miteinander vernetzt. Getestet wird auch eine acht Kilometer lange Freilandleitung, in der neben dem üblichen Stromleiter auch Glasfaserkabel zur schnellen

Datenübertragung miteinander verknüpft sind. Das Projekt läuft seit September 2010 bis voraussichtlich Juli 2012.

Aus den Projekten in den USA und Japan lässt sich ableiten, dass stromkostenfreies Fahren in profitablen Geschäftsmodellen darstellbar wird. Zudem besteht eine Technologiekonvergenz zwischen Kommunikations- und Energienetzen, wie das Toyota-Panasonic-Projekt belegt.

Schaut man auf die deutschen Forschungs- und Pilot-Ergebnisse, so sehen die meisten Experten bidirektionales Laden noch als vergleichsweise teuer an. So sagt etwa das Fraunhofer ISI: „Dynamische Einspeisung (bei Stromüberschuss) und Lastabwurf (bei Stromdefiziten) reichen energiewirtschaftlich betrachtet aus 145."

Dennoch wird auch hierzulande dem Vehicle to Grid ein global gutes Potential unterstellt 146. Die Zurückhaltung deutscher Wissenschaftler mag daran liegen, dass weder die Rahmenbedingungen für den Verkauf von Energie seitens Elektrofahrzeugnutzern geregelt ist, noch finanzielle Anreize für die Verfügbarkeit der Fahrzeuge am Netz geschaffen sind, noch lastvariable Stromtarife ernsthaft verfolgt werden, geschweige denn die Voraussetzung dafür, nämlich Smart Meter. Diesbezüglich gibt es noch einiges zu klären. Hier ist die Politik gefordert.

Global betrachtet, gilt Vehicle-to-Grid in jedem Fall als der nächste logische Schritt bei der Elektrifizierung des Transport-Systems innerhalb des Smart Grid — und zwar mit einer Energieversorgung aus erneuerbaren Energien. Denn das Prinzip bringt nicht nur dem Elektrofahrzeug-Nutzer Vorteile, sondern spart auch den Energieversorgern Netzausbau- und Kraftwerks-Kosten.

Hinzu kommt: Durch Kalendersignale weiß der Energieversorger bereits im Voraus, wann eine außerplanmäßige lange Tour ansteht und das Fahrzeug mehr Energie als gewöhnlich benötigt 147. Den entsprechenden Ladevorgang kann er aber nur starten, wenn das Fahrzeug selbst auch am Netz ist. Ein Argument mehr, die ständige Verfügbarkeit des Fahrzeuges am Netz zu fordern und Vehicle-to-Grid mit kabelloser Ladestruktur gleich zu setzen.

3.1.2.3.2 Fazit

Smart Grid und Smart Home sind bisher nirgends flächendeckend installiert, die Pilotprojekte und Forschungen aber zeigen, dass mit intelligenten Netzen und intelligentem Wohnen ganz neue Geschäftsmodelle, Kooperationen und Systeme entwickelt werden müssen. Anders formuliert automatisiert das Smart Grid das Stromnetz. Die logische Schlussfolgerung ist also, dass nur automatisierte Komponenten in dieser Fabrik systemkonform funktionieren.

Um diese Netzautomatisierung zu bewerkstelligen, müssen die passenden Technologien bereits im Vorfeld gewählt werden — auch im Hinblick auf ökonomische Ziele. Hier kommt das automatische Laden als Technologiebaustein des Smart Grid ins Spiel. Schließlich kann die passende Technologie, kombiniert mit einem System wie etwa Vehicle-to-Grid, hohe Netzausbaukosten verhindern.

Konsequent zu Ende gedachte Elektromobilität ist darüber hinaus ohnehin ausdrücklich vom Wegfall manueller Tankvorgänge gekennzeichnet – automatisiert eben.

3.1.3 Verfügbarkeit für das Flottenmanagement

3.1.3.1 Höhere Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit bei Carsharing

Erstmals in der 125-jährigen Geschichte des Automobils wurde Carsharing auf der Internationalen Automobil Ausstellung (IAA) in Frankfurt 2011 thematisiert. Vor allem in Ballungszentren wie London oder New York liege Carsharing im Trend, so Kai Lindemann, Stellvertretender Vorsitzender des Verbandes der Deutschen Automobilwirtschaft (VDA) auf dem Carsharing-Symposium der IAA.

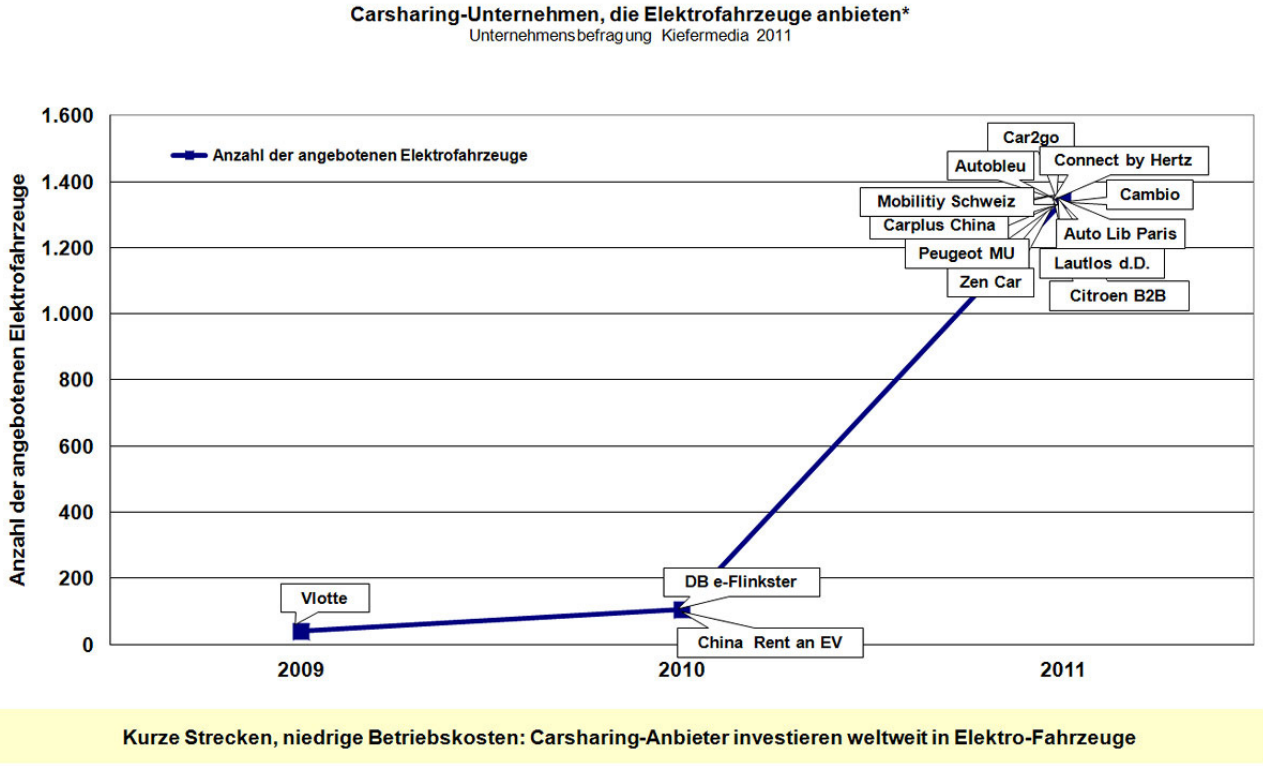
Allein in Deutschland ist die Zahl der Nutzer 2010 laut Bundesverband Carsharing im Vergleich zum Vorjahr um 20 % angestiegen. Dank Umweltbewusstsein und steigender Spritpreise hat das Auto bei 18-25-jährigen als Status-Symbol immer mehr ausgedient (s. Studie „i-car“ von Professor Bratzel) 148. In Berlin besitzen nur 30 % der Einwohner ein eigenes Auto, in New York sind es sogar nur 23 %.

Das Marktforschungsunternehmen Frost & Sullivan hat den Trend zum Carsharing näher untersucht: Schon heute leben über 50 % der Menschen in Städten, bis 2050 werden es 70 % sein, so dass vorhandene Straßen und Parkplätze nicht mehr ausreichen werden, heißt es in der Frost-Studie 149.

„Die Zahl der (Carsharing-)Fahrzeuge wird in Europa von 16.000 auf 77.000 im Jahr 2016 steigen. Etwa jedes fünfte dieser Fahrzeuge könne dann ein Elektroauto sein", sagte Franck Leveque, Vice President bei Frost & Sullivan auf dem Carsharing-Symposium der IAA im September 2011.

Autobesitz wird immer kostspieliger: Der Allgemeine Deutsche Automobil-Club (ADAC) hat errechnet, dass für einen Kleinwagen durchschnittlich pro Monat 330 Euro Fixkosten anfallen 150, selbst wenn das Fahrzeug keinen Meter bewegt wird. Diese Bilanz wird sich durch die Benzinpreissteigerung weiter verschlechtern. Fix- und Betriebskosten mittels Carsharing auf mehrere Schultern zu verteilen, wird dadurch immer attraktiver. Privat genutzte Autos stehen sowieo die meiste Zeit nur auf Parkplätzen - in Deutschland 151, Großbritannien 152 und den USA 153 im statistischen Mittel mehr als 23 Stunden am Tag.

3.1.3.2 E-Fahrzeuge bei Carsharing-Flotten



Tab. 15: 2011 investierten bisher schon 12 Carsharing-Anbieter in Elektro-Autos (KM)

Der typische Carsharing-Nutzer legt noch kürzere Strecken zurück als der durchschnittliche Deutsche (Tages-Durchschnitt: 39 km): Bei Car2Go fahren die Nutzer im Schnitt nur 5 bis 10 Kilometer [154], bei Vlotte im ländlichen Vorarllberg von Österreich sind es 20 Kilometer. "Die üblichen Nutzungsprofile im Carsharing stimmen mit der erwarteten Reichweite von Elektroautos überein“, weiß auch Willi Loose, Vorsitzender des Bundesverbands Carsharing. Daher spreche viel für ihren Einsatz in Carsharing-Flotten – vor allem wenn der Strom aus erneuerbaren Energiequellen kommt [155] .

Die Rentabilität von Carsharing mit Elektro-Autos hängt direkt mit dem Ladeverhalten der Nutzer zusammen: Nur wenn Autos regelmäßig und langsam geladen werden, sind die Betriebskosten dauerhaft niedrig, bzw. amortisieren sich die (noch) hohen Anschaffungskosten und stehen die Fahrzeuge jeden Morgen wieder voll geladen bereit.

Nachts laden genügt rein statistisch auch hier. Bei 1.000 Fahrten und 300 Fahrzeugen im Geschäftsgebiet von Ulm fährt jedes Fahrzeug rund 3 mal pro Tag. Wenn die durchschnittliche Fahrstrecke dann 10 km kaum überschreitet, bedeutet das eine Tagesfahrleistung von etwa 30 km. Das ist zwar jeweils ein rein arithmetischer Mittelwert mit entsprechend großer Streuung, aber immer noch deutlich weniger als die 130 km Reichweite, die der Smart ED schon heute mitbringt.

3.1.3.3 Ladestand-Überwachung

Der Ladezustand eines Elektro-Fahrzeugs muss überwacht werden, um zu verhindern, dass Nutzer mit leerer Batterie liegen bleiben. Das Batterie-Management-System (BMS) zeigt den Ladestand zwar an, jedoch ist analog zur Handy-Nutzung (s. Bericht OVGU) nicht davon

auszugehen, dass E-Fahrzeug-Nutzer ein Sharing-Auto zuverlässig und batterieschonend laden – zumal es sich beim Sharing-Auto nicht um Eigenbesitz, sondern einen Mietgegenstand handelt.

Beispiel Car2Go: Um Tiefentladungen zu vermeiden, wird der Kunde durch das Cockpit-Display aufgefordert, zur nächsten Ladesäule zu fahren, bevor die Batterie auf 20 % entladen ist. „Ob der Kunde das zuverlässig machen wird, wissen wir aber noch nicht“, so Helmuth Ritzer, CTO von Car2Go, der die IT für die 500 E-Smarts programmiert, die in San Diego und Amsterdam an den Start gehen werden [156].

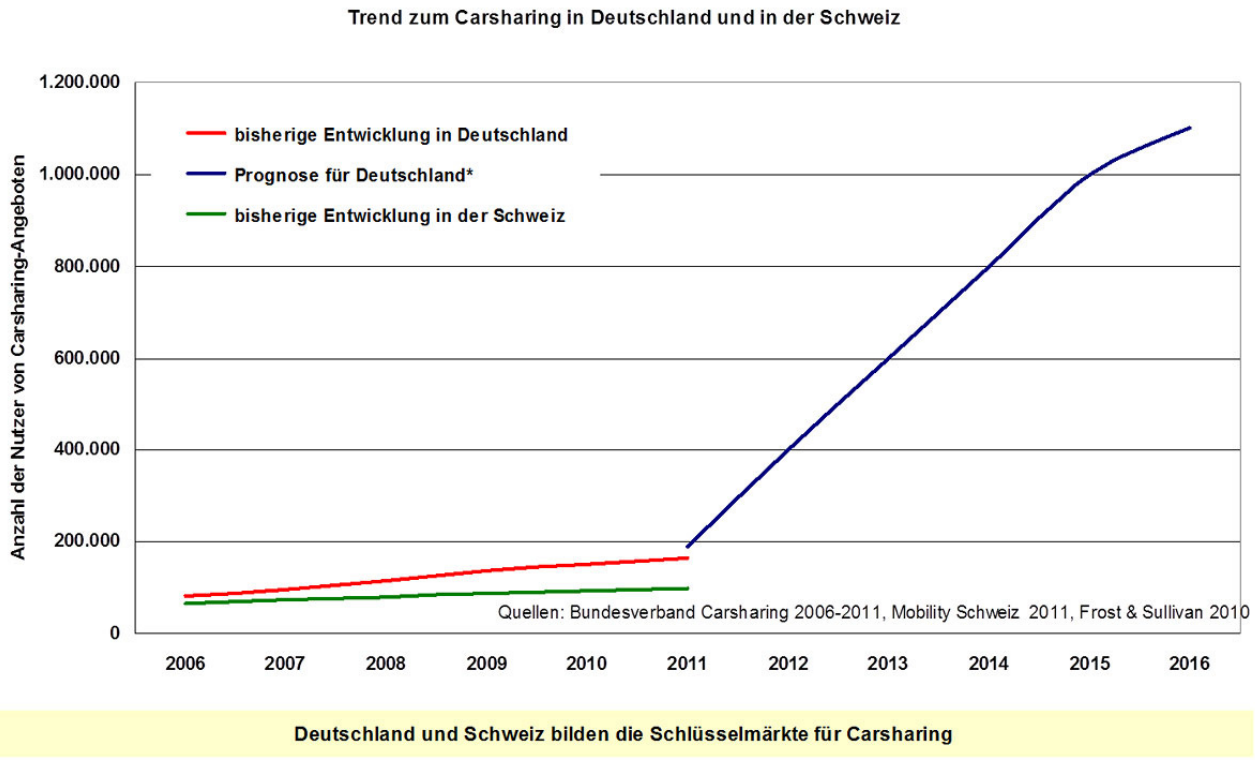
Automatisches (induktives) Laden könnte dieses Problem lösen: Der Carsharing-Nutzer wird aus dem Ladeprozess herausgenommen. Das BMS stimmt das Laden mit der Lade-Elektronik regelmäßig ab.

„Wir haben das Interesse, das Elektrofahrzeug so einfach wie möglich für den Kunden zu gestalten. Dafür möchten wir den Mietvorgang so weit wie möglich automatisieren. Sobald ein Kunde auf technische Notwendigkeiten stößt, werden Fehler gemacht. Das mit dem Kabel ist fehleranfällig“, so Car2Go-CTO Helmuth Ritzer.

3.1.3.4 Carsharing als neues Geschäftsmodell der Automobilkonzerne

Automobil-Hersteller reagieren auf die oben beschriebene Entwicklung, indem sie ihr Selbstverständnis ändern. Statt ausschließlich Autos zu bauen, versteht Daimler sich heute „als weltweiter Mobilitätsanbieter“, wie Daimler-Entwicklungsvorstand Thomas Weber 2011 bekanntgab [157]. Folgerichtig testet Daimler das Potential des Smart-Elektrik beim firmeneigenen Carsharing-Unternehmen Car2Go, noch bevor Privatkunden das Auto im Frühjahr 2012 käuflich erwerben können.

Deutschland könnte ein Schlüsselmarkt für das Carsharing werden. Das Marktforschungsunternehmen Frost & Sullivan prognostiziert einen steilen Anstieg des deutschen Sharing-Marktes auf 1,1 Mio. Nutzer bis 2016. Ebenso ambitioniert ist Frankreich, das mit Autolib in Paris noch dieses Jahr durchstarten will: Das 235 Millionen-Euro-Projekt will durch 3.000 rein elektrische Sharing-Autos die CO-2-Bilanz von Paris verbessern [158].



Tab. 16: Fahrprofil Carsharing: Das Fahrzeug muss verfügbar sein, an verschiedenen Orten, nicht an Schnellladesäulen. Kabellos ist komfortabel für den Fahrer, sicher für den Betreiber (KM)

Renault startete bereits 1997 einen ersten Carsharing-Versuchsballon mit dem Stromversorger EDF: die Carsharing-Flotte „Praxitele – la nouvelle liberté de mouvement“ bestand aus 50 elektrisch umgerüsteten Renault Clios, die südlich von Paris kabellos geladen werden konnten [159].

Der Feldversuch wurde vier Jahre später als erfolgreich bewertet: „Elektronisches System und kontaktlose Energieübertragung stellten zufrieden [160].“ Die Nutzer waren begeistert, nur an der Wirtschaftlichkeit müsse man noch feilen, indem man die Autos voll auslaste, heißt es im Transportation Research Record von 2007 [161].

Gerade bei Carsharing-Flotten liefern Elektro-Autos eine sehr gute Total Costs of Ownership-Bilanz: Der Verbrauch ist gering, die Wartungskosten ebenfalls. Die derzeit noch hohen Anschaffungskosten des E-Autos amortisieren sich durch die intensivere Mehrfach-Nutzung schneller.

Die meisten Carsharing-Anbieter haben das erkannt und schaffen Elektro-Autos an. Die Deutsche Bahn und Daimler schreiten am mutigsten voran: DB-e-Flinkster hat dieses Jahr 70 E-Autos in die Flotte integriert, Daimler-Car2Go plant laut Pressemitteilung seinen Rollout mit 600 E-Autos im Herbst in Amsterdam und San Diego. Und auch die Chinesen wollen mit 100 E-Autos an den Start gehen [162].

Noch steckt das E-Carsharing in den Kinderschuhen. Andreas Leo, Projektleiter von Car2Go in Ulm testet das User-Verhalten für Daimler seit August 2011 mit 5 E-Autos in Ulm.

„Wir skalieren die Ergebnisse dann für San Diego und Amsterdam hoch.“

Noch sind die Erfahrungen nicht ausgewertet, die Rahmenbedingungen nicht festgezurrt. Der Strom ist für den Kunden noch bis 2012 kostenlos, wird es aber voraussichtlich nicht bleiben.

Auf die Frage, wie die Kunden mit dem Laden zurechtkommen, antwortete Leo:

„Der Kunde muss ja nicht jedes Mal an die Ladesäule. Bei SOC 20 % sagt das Display im Auto, bitte laden. Das wird dann mit einem Incentive von 20 Minuten Gutschrift belohnt. Der obere Schwellenwert ist 80 %." Die Kunden laden das Auto also nur, wenn sie es sollen.

Das Kabelladen selbst hingegen, soviel steht fest, muss vom Kunden erst geübt werden:

„Um das Laden zu beenden, muss man den Stecker erst aus dem Auto ziehen, dann aus der Ladesäule. Sonst geht es gar nicht. Ein Kunde rief einmal ganz ratlos an", so Leo 163.

Beim berührungslosen Laden entstehen solche Probleme nicht.

„Wenn man Carsharing anbieten will, muss man nicht unbedingt lange nachdenken, um bei dieser Lösung zu landen", weiß Heiko Herchet, Leiter des Kompetenzzentrums Fahrzeugentwicklung beim Fahrzeugentwickler EDAG. Seine Begründung:

„1. Das Carsharing-Fahrzeug muss mit der Infrastruktur verbunden sein. Eine vollständige Netzintegration muss gegeben sein und es muss zuverlässig mit Strom aufgeladen sein

2. Das Auto, das eine maximale Nutzeranzahl haben soll, muss so robust und vandalismussicher wie möglich sein.

3. Bei der Induktion kann kein Kabel verloren gehen und kaum etwas kaputt gehen

4. Der Komfort spielt natürlich auch eine große Rolle. Man stelle sich eine Frau im Abendkleid vor, die ein schweres, schmutziges Ladekabel in die Hand nehmen soll 164."

Abb. 43: EDAG Light Car zeigt den Ladevorgang per Licht-Schriftzug an: das erste für das Carsharing komplett neu entwickelte Fahrzeug lädt kabellos 165

Schon auf dem Genfer Automobil-Salon im Februar 2011 präsentierte EDAG das Kabellos-Laden als Technologie seiner Wahl 166. Obwohl es aktuell noch keinen einzigen Carsharing-Anbieter gibt, der das induktive Laden anwendet, prognostiziert Herchet:

„Mittelfristig, sagen wir 2012 bis 2015, wird es einen Mix aus verschiedenen Konzepten geben. Die Induktion wird sich erst einmal im Premium-Segment durchsetzen (…). Aber durchsetzen wird sie sich, da es einfach das beste Konzept ist. "

Tatsächlich liegen die Vorteile des induktiven Ladens gerade beim Carsharing auf der Hand:

- Keine Incentivierungen mehr nötig zur Steuerung des Ladeverhaltens, wie sie derzeit bei Car2Gos Elektro-Flotte in Ulm angewandt werden, s. o.
- kein Verlust des Ladekabels möglich
- automatische Steuerung des Ladevorgangs
- keine Tiefentladungen der Batterie mehr (wie sie bei Googles Mitarbeiter-Sharing-Flotte GFleet berichtet wurden)
- dadurch längere Lebensdauer der Li-Ionen-Batterie

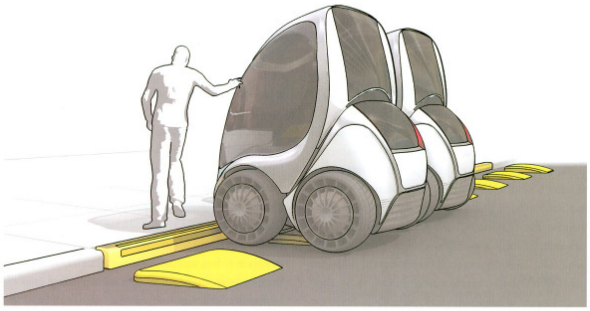
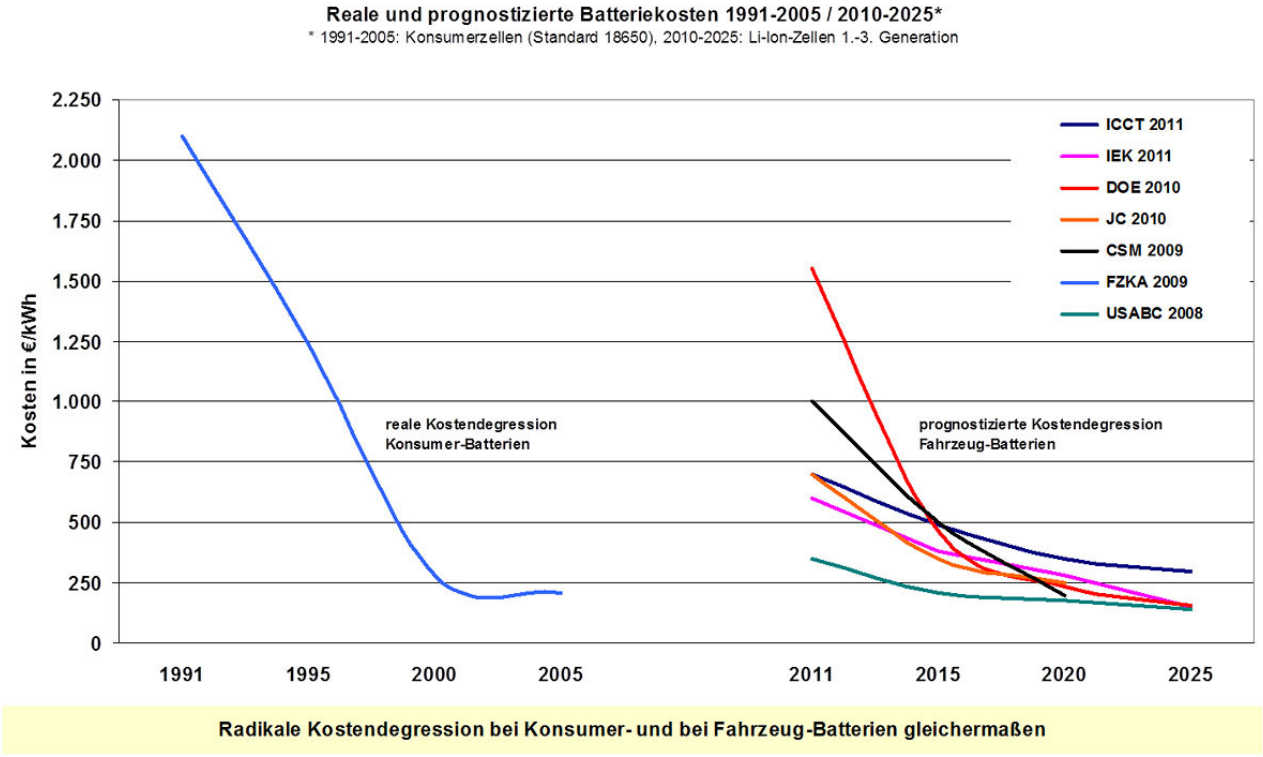


Figure 6.5
On-street parking with smart curbs for inductive charging.

Abb. 44: Das City-Car des MIT verbindet Individualverkehr mit Carsharing: Es lädt induktiv. Die Einspeiseelektronik befindet sich in intelligenten Randsteinen. Das GM EN-V kommt der Vorlage des MIT sehr nahe fährt aber nur auf einer Segway Achse (KM [42])

3.2 Automatisches, batteriefreundliches Laden

3.2.1 Die Geschichte wiederholt sich immer: Plausibilität der Batteriepreisdegression



Tab. 17: Plausibilitätsabfrage mit Retropolation: Warum sollte die Preisdegression bei Fahrzeugbatterien so viel flacher verlaufen als zuvor bei Consumerbatterien, wenn die Stückzahl schon 2015 über der von Consumerbatterien liegen soll?

Korrelation konduktiv – induktiv anhand Batteriepreisdegression:

- Schnell fallende Batteriepreise sind letztendlich Folgen höherer Energiedichte je Bauraum, Gewicht und Kosten. Batteriepreis und Reichweite verhalten sich reziprok proportional. Niedrigere Preise oder höhere Reichweiten verringern die Notwendigkeit von ungesteuertem Laden oder chaotischem Schnellladen.
- Die Batteriepreisdegression bereitet für kostenminimiertes Langsamladen den Boden, weil teure Ladetechnik sich nur mit teurer Batterietechnik bei geringen Reichweiten rechtfertigen lässt. Sobald die Batteriepreise fallen und entsprechend reichlich Batteriereichweite im Fahrzeug verbaut ist, werden alle anderen Formen der Reichweitenbeschaffung aus dem Markt gepreist, z. B. Batteriewechselstationen, Reichweitenverlängerer inkl. Brennstoffzelle und Schnellladetechnik.
- Batterien werden auch dann kein Wegwerfprodukt, wenn sie günstig geworden sind. Dafür rückt der Einsatz von Rohstoffen und Energie bei der Herstellung bis dahin zu sehr in den Fokus. Die Erhaltung der Lebenserwartung bleibt wichtig. Die gesteuerte, batterieschonende Erhaltungsladung des Kabellosladens garantiert am ehesten einen maximalen Batterierestwert für das Zweitleben als stationärer Speicher, was wiederum die Darstellung einer günstigen Erstfinanzierung im Fahrzeugzyklus erlaubt.

Wie schon die Kostendegression der ersten Li-Ion-Batteriezellen belegt [167], die als Baureihe 18650 seit Beginn der 1990er Jahre in Abermillionen Handys, Laptops und Digitalkamaras ihren Dienst meist zuverlässig versehen haben, werden Standardisierung und Massenfertigung auch im Bereich des Fahrzeugbatteriebaus unweigerlich zu Preisstürzen führen. Die Frage ist nur: Wie schnell und wie tief?

Die Antwort ist entscheidend für die Marktfähigkeit von Alternativen zum batterieelektrischen Antrieb, z. B. Reichweitenverlängerer inkl. Brennstoffzelle, Plug-In-Hybride, hocheffiziente Verbrennungsmotoren und emissionsoptimierte Antriebe auf Basis von Biokrafstoffen oder Erdgas. Die Preisdegression der Batterietechnologie definiert aber auch die Marktfähigkeit unterschiedlicher Ladetechnologien, z. B. Schnell- oder Langsamladen aufgrund hoher Leistungs- oder Energiedichte.

Schon jetzt fallen die Kosten für die Batterie - die noch mit Abstand teuerste Komponente in einem Elektroauto - beständig, nach manchen Angaben um etwa 9 % pro Jahr [168], nach anderen von 2008 bis 2010 von Jahr zu Jahr jeweils um die Hälfte (vgl. u. Aussage von Dr. Rudolf Krebs). Bei allen widersprüchlichen oder zumindest abweichenden Detailaussagen ist der Grobtrend um so wichtiger.

Den insgesamt wohl am steilsten kalkulierten Kostensturz prognostizieren das US-Energieministerium (DOE) [169] und das US-Marktforschungsinstitut CSM [170], denen zufolge die Akkukosten von umgerechnet rund 1.000 - 1.500 €/kWh in 2011 bis 2015 auf rund 500 €/kWh (-50 %) und bis 2020 auf rund 200 €/kWh (- 80 %) fallen werden. Damit liegt das DOE selbst mit aktuellsten Zahlen schon bei der Annahme heutiger Preise um rund das Doppelte über dem übrigen Feld. Haben etwa die riesigen Fördersummen des Weißen Hauses die Batteriepreisangaben in den USA inflationiert?

Andererseits hat das DOE aufgrund zahlreicher Förderprojekte einen tiefen Einblick in den Stand der Technik [171]. Nicht nur bei den amerikanischen Herstellern, sondern auch bei den asiatischen, die über zahlreiche Allianzen an den US-Förderprogrammen partizipieren. Gleichzeitig zeigen diese Streuungen wie vage die Angaben sind. Immerhin sprach Nissan bereits 2010 schon von 262 €/kWh [172].

Wie der exemplarische Überblick oben belegt, wird sich diese Entwicklung der Batteriepreisdegression in den kommenden Jahren fortsetzen, wahrscheinlich sogar beschleunigen. Absehbare Marktkrisen, z. B. durch Überproduktion ab 2016, werden dort noch gar nicht berücksichtigt.

Ebenfalls mit einer Halbierung der Batteriekosten, allerdings erst bis 2020, rechnen der International Council on Clean Transportation (ICCT) [173], das US-Marktforschungsinstitut IHS [174], das Jülicher Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK) [175] und der Batteriehersteller Johnson Controls Power Solution [176], wobei letzterer bis 2015 Kosten von 350 €/kWh und bis 2020 von 250 €/kWh erwartet.

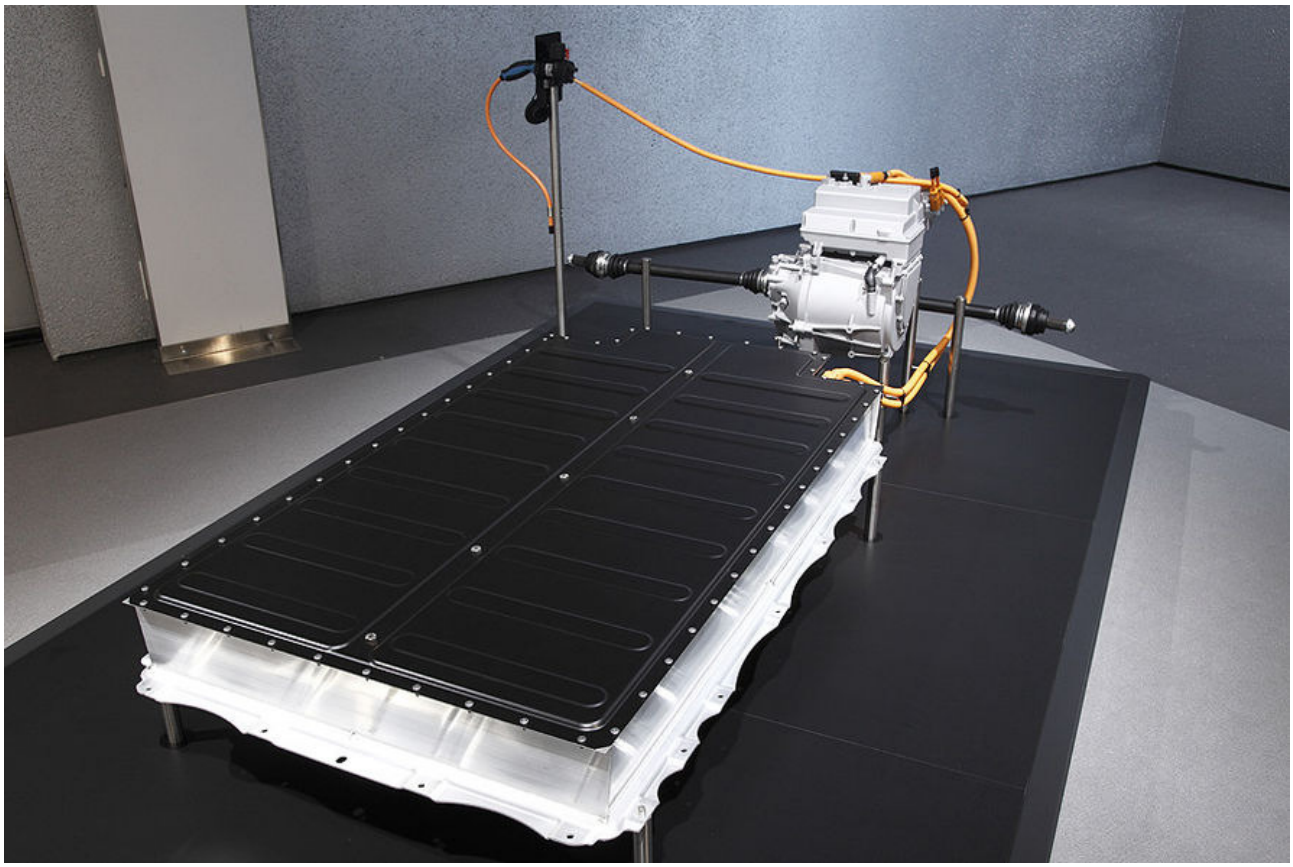
Das United States Advanced Battery Consortium (USABC), ein Zusammenschluss der Fahrzeughersteller General Motors, Ford und Chrysler, hat schon 2008 eine Einschätzung

vorgelegt, nach welcher die Kosten von umgerechnet 350 €/kWh im Jahr 2010, auf 210 €/kWh im Jahr 2015 und auf 175 €/kWh im Jahr 2020 fallen werden [177].

Auch weitere, nicht in den direkten Vergleich einbezogene Quellen bestätigen fallende Batteriekosten und damit wachsende Chancen für die Elektromobilität: Nach Einschätzung der US-Unternehmensberatung Bain & Company [178] werden die Herstellungskosten für Batteriezellen bis 2015 auf 210 bis 290 €/kWh sinken und bis zum Jahr 2020 nur noch mit 140 bis 210 €/kWh zu Buche schlagen.

Mit prognostizierten Werten von 350 €/kWh für 2015 und 230 €/kWh für 2020 reiht sich die Deutsche Bank [179] ebenfalls in die Reihe der Optimisten ein. Deutlich konservativer äußert sich die Schweizer Finanzgruppe Credit Suisse. Die Eidgenossen erwarten für 2015 ein Niveau von 543 €/kWh und für 2020 eine Höhe von 365 €/kWh [180].

3.2.1.1 Perfect Storm: Negative Batteriepreisspirale zeitgleich mit anderen Marktfaktoren ab 2015 im Durchbruchstadium



Tab. 18: Der komplette Antriebstrang eines Elektrofahrzeuges (BMW i3): Batterie, Motor und Umrichter. Viel weniger Teile als bisher und daher potentiell günstiger (BMW)

Abgesehen davon, dass derzeit rund neunzig Prozent aller produzierten Akkus in High-Tech-Geräten der Konsumelektronik verbaut werden [181], ist die industrielle Großserienfertigung von wiederaufladbaren Batterien, die auch für elektrische Kraftfahrzeuge geeignet sind, weltweit noch gar nicht richtig in Gang gekommen. Das bedeutet: Je schneller die Produktion hochläuft und die Batteriekosten fallen können, desto eher wird das Schnellladen aus dem Markt gepreist und das Langsamladen an Wettbewerbsfähigkeit gewinnen.

Dieser Feststellung liegt die Annahme einer negativen Batteriekostenspirale zugrunde, weil die immer preiswerteren Fahrzeugbatterien – folgerichtig kombiniert mit schonenden Langsamladetechniken und günstigerem Langsamladestrom - Elektrofahrzeuge auch für den Normalverbraucher attraktiv machen. Was wiederum die Stückzahlen erhöht. Diese Durchbruchsituation dürfte - im weltweiten Mittel – um 2015 bis 2020 erreicht sein.

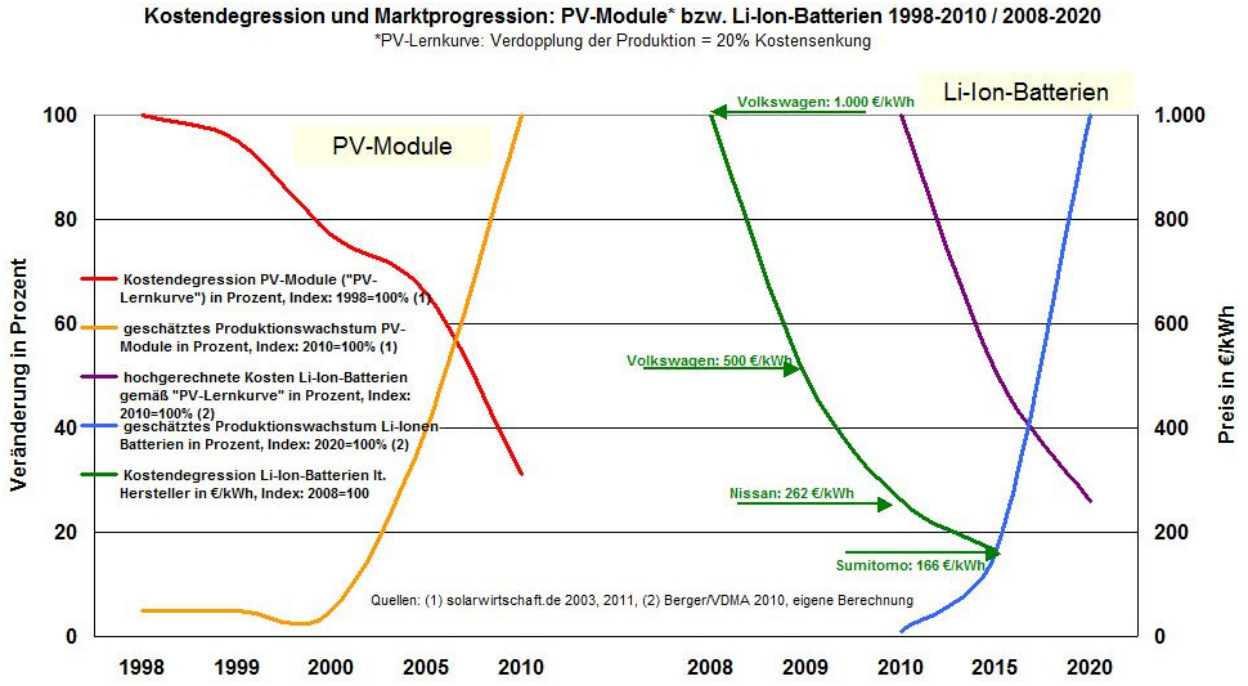
Das ist auch das Zeitfenster, in dem Elektromobilität erst ein Massenmarkt werden kann. Das liegt keineswegs allein daran, dass erst ab 2015 mit einer gewissen Marktfähigkeit von Elektrofahrzeugen und Batterien zu rechnen ist. Sondern weitere wichtige Rahmenbedingungen sind in wichtigen Schlüsselmärkten erst ab diesem Zeitraum gegeben:

- Die Generation der Digital Natives wird zur marktrelevanten Käufergruppe.
- Der Klimawandel wird aufgrund besserer Datenlage und Wahrnehmung der Folgekosten konsequenter bekämpft.

- Die Baugesetzgebung macht Auflagen zur Integration dezentraler Energieerzeugung und Integration von Elektromobilität.
- Die Verkehrskonzepte der Mega-Cities werden unter Gesichtspunkten des Emissionsschutzes und des Energienetzmanagements strikter und marktprägend.
- Drahtloskommunikation, intelligente Energienetze, Gebäudeautomation und Erneuerbare erreichen systemkritische Marktanteile.
- Vollautomatische Parkassistenten mit der integrierten Zusatzfunktion kabelloses Laden erlangen Serienreife und werden in vielen Flotten Standard.
- Überschussstrommengen in den Verteilnetzen, nicht übertragbare Leistungen in den Übertragungsnetzen, Bedarf für negative Regelleistung und Energiespeicher, dezentrale Erzeugung und virtuelle Kraftwerke schaffen Geschäftsmodelle, welche eine Nachfrage für automatisch am Netz verfügbare Elektrofahrzeugflotten nutzen und diese stromkostenfrei stellen.
- Arbeitgeber können mit der „sogenannten“ Netzparität [182] den Strom vom eigenen Firmendach günstiger beziehen als vom Energieversorger und diesen, vor allem in Überschusszeiten, für einen Gegenwert von bis zu 44 Euro im Monat als steuerfreien Sachbezug an die Mitarbeiter verschenken, womit teures Schnellladen auch für Laternenparker uninteressant wird. So gibt es in Bangalore, der Stadt mit bisher der höchsten Dichte und längsten Geschichte von Elektrofahrzeugen, keine öffentliche Infrastruktur, dafür aber heute schon standardmäßig Lademöglichkeiten auf Firmenparkplätzen [183].
- Eigenheimbesitzer können mit der „sogenannten“ Netzparität den Strom vom eigenen Hausdach günstiger beziehen als vom Energieversorger und diesen, vor allem in Überschusszeiten, letztendlich kostenfrei laden, da er ansonsten oft verworfen werden müsste, womit wiederum teures Schnellladen uninteressanter wird.

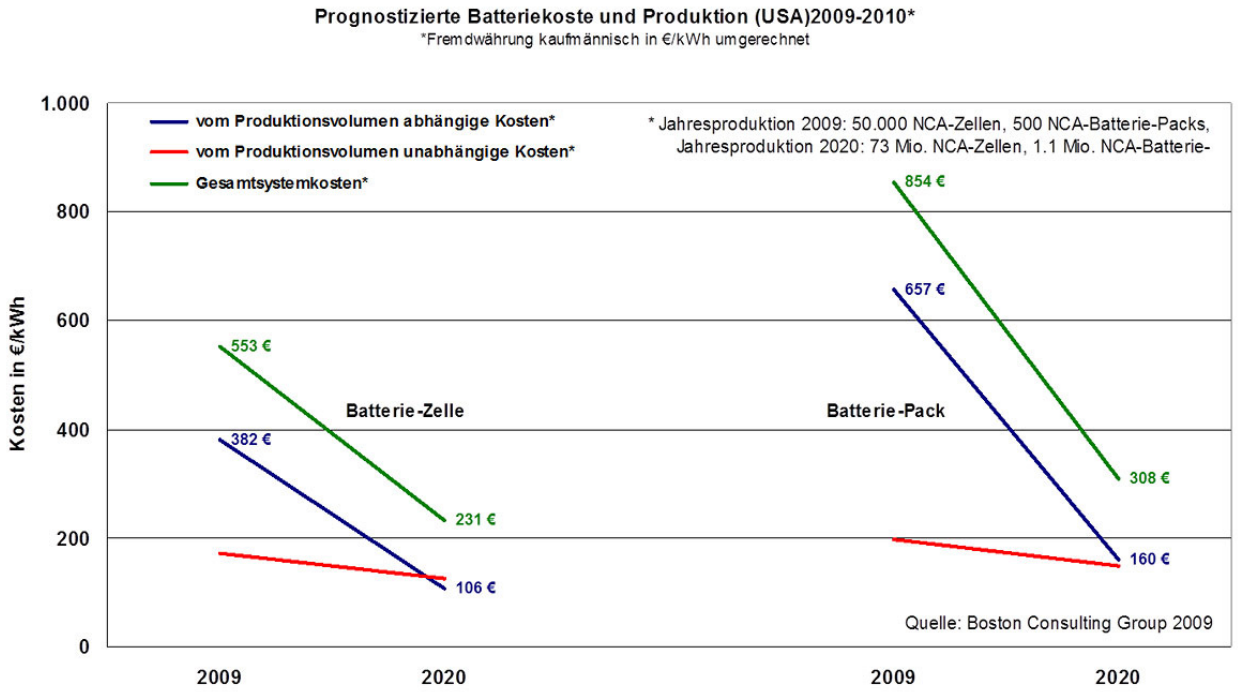
Unter Marketingleuten und Marktforschern spricht man bei einem solchen Zusammentreffen von so vielen sich gegenseitig verstärkenden Vorgaben, Strömungen, Trends und Tendenzen von einem „Perfect Storm“. Diese Marktfaktoren sind die eigentlichen Treiber des kabellosen Ladens.

3.2.1.2 Automation der Batteriemontage als Schlüssel zur Kostensenkung in der Elektromobilität



PV-Lernkurve der letzten 10 Jahre lässt entsprechende Kostendegression auch bei Fahrzeug-Batterien bis 2020 erwarten

Tab. 19: Plausibilitätsabfrage zu Batteriepreisdegression anhand von PV-Modulen: Vergleichbares Stückzahlwachstum, vergleichbarer Montageaufwand, vergleichbares Degressionspotential



Höheres Automatisationspotenzial führt bei Batterie-Packs zu stärkerer Kostendegression als bei Batterie-Zellen

Tab. 20: Plausibilitätsabfrage zu Batteriepreisdegression anhand von Montageaufwand: Wie lange bleibt Handarbeit Kalkulationsgrundlage einer Schlüsseltechnologie?

Was an Preisdegressionen bei Fahrzeugbatterien noch erwartet werden kann, bzw. wie wahrscheinlich sie sind, zeigt ein Vergleich mit PV-Modulen, einer ähnlich komplexen Technologie wie Li-Ion-Batteriemodule. So ist es in der Produktion von Photovoltaikmodulen seit Ende der 90er Jahre bis heute durch Fortschritte in der Fertigungstechnik bereits zu mehreren markanten Produktionssprüngen und Preisrückgängen gekommen.

Während die Produktion von PV-Modulen zwischen 2000 und 2010 von 287 MWp auf 27.293 MWp um das Hundertfache stieg [184], erreichte der durchschnittliche Preis für Photovoltaikmodule in Europa im Sommer 2011 ein Niveau von 1,20 €/W, womit er um rund 70 % unter den Kosten von 2000 (4,20 €/W) lag [185]. Dabei brachte jeweils eine Verdoppelung des Produktionsvolumens eine Kostenreduktion von etwa 20 % mit sich. Es ist kein Abflachen der Degression erkennbar. Im Gegenteil: Von Juni 2010 bis Juni 2011 sind die PV-Modulpreise in Deutschland um 25 % zurückgegangen [186].

Nur, weil man das so schnell überliest: Das bedeutet z. B., dass sich die Modulpreise ab Werk zwischen Juni 2009 und September 2011 ziemlich genau halbiert haben [187]. Eine Halbierung der Batteriepreise innerhalb von 2 Jahren ist also durchaus plausibel. Dennoch macht man sich die Dimension der damit verbundenen, weitreichenden Veränderungen nur selten klar.

Obwohl es an Referenzen nicht mangelt: Das sind Preisrückgänge wie man sie auch in der Computerindustrie kennt. Bill Gates hat das 2008 einmal recht prägnant formuliert: "Wenn die Autoindustrie mit der Technologie so mitgehalten hätte, wie die Computerindustrie, dann würden Autos heute 25 Dollar kosten und ein 0,04 L-Auto sein [188]."

Es kann daher als gesichert gelten, dass die Kostenentwicklung der Batterien der Lernkurve folgt. Als Lernfaktor wird die erreichbare Kostenreduktion bei Verdopplung der kumulierten Produktionsmenge bezeichnet. Bei Produktionsgütern ist ein exponentieller Zusammenhang zwischen den Produktkosten und der kumulierten Produktionsmenge empirisch nachgewiesen. Der langfristige Lernfaktor für PV-Module wird bei 15 bis 20 % angegeben [189].

Einer Studie zufolge, die im Sommer 2011 gemeinsam von der Unternehmensberatung Roland Berger Strategy Consultants und dem Verband des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus (VDMA) veröffentlicht wurde, soll die Produktion von Li-Ion-Batterien von aktuell 1,6 Mio. kWh bis 2020 auf eine Größenordnung von rund 130 Mio. kWh anwachsen [190]. Das würde wieder annähernd auf den Faktor 100 in 10 Jahren hinauslaufen. Wie bei den PV-Modulen im letzten Jahrzehnt.

Rechnet man also Preise für die Zukunft nach den Regeln der "PV-Lernkurve" prognostisch hoch und wählt dabei einen Ausgangswert von 1.000 €/kWh (2009), ist bei Batterien ein radikaler Rückgang der Preise auf unter 300 Euro bis 2020 zu erwarten. Eine Entwicklung, die um so mehr als plausibel erscheint, weil sie von Fahrzeug- und Batterieherstellern wie Volkswagen, Nissan oder Toyota bereits vorweggenommen worden ist.

Mit einem Preis von umgerechnet 262 €/kWh [191] hat sich der japanische Autobauer Nissan bereits 2010 zum Serienstart des Leaf an die Spitze der Kostenreduzierer gesetzt. Nissan erreicht dieses Kostenziel durch Verzicht auf jede Art von Overengineering. Entscheidend ist dabei eine temperaturstabile Zellchemie, die ohne Luft- oder gar Flüssigkühlung auskommt. Das Batteriegehäuse bleibt hermetisch geschlossen. Auch im Second Life, was dort wiederum weitere

Kosten spart. Der Design-to-Cost-Ansatz von Nissan „bau mir eine Batterie, die ohne Kühlung auskommt“ wurde von GM vehement angegriffen, ansonsten aber weitgehend in seiner Tragweite nicht erkannt. Damit waren schon 2010 die ansonsten meist genannten Preise Makulatur.

Aber auch im Fahrzeugbau ist eine beeindruckende Preisdegression angekommen: „Schon 2008“ – so Dr. Rudolf Krebs, Konzernbevollmächtigter für Elektrotraktion bei Volkswagen, im Frühjahr 2011 – „haben alle davon gesprochen, das die Batterie etwa 1.000 Euro pro Kilowattstunde kostet, ein Jahr später hatte sich der Preis bereits auf 500 Euro halbiert. Ich halte daher 200 Euro für realistisch 192.“

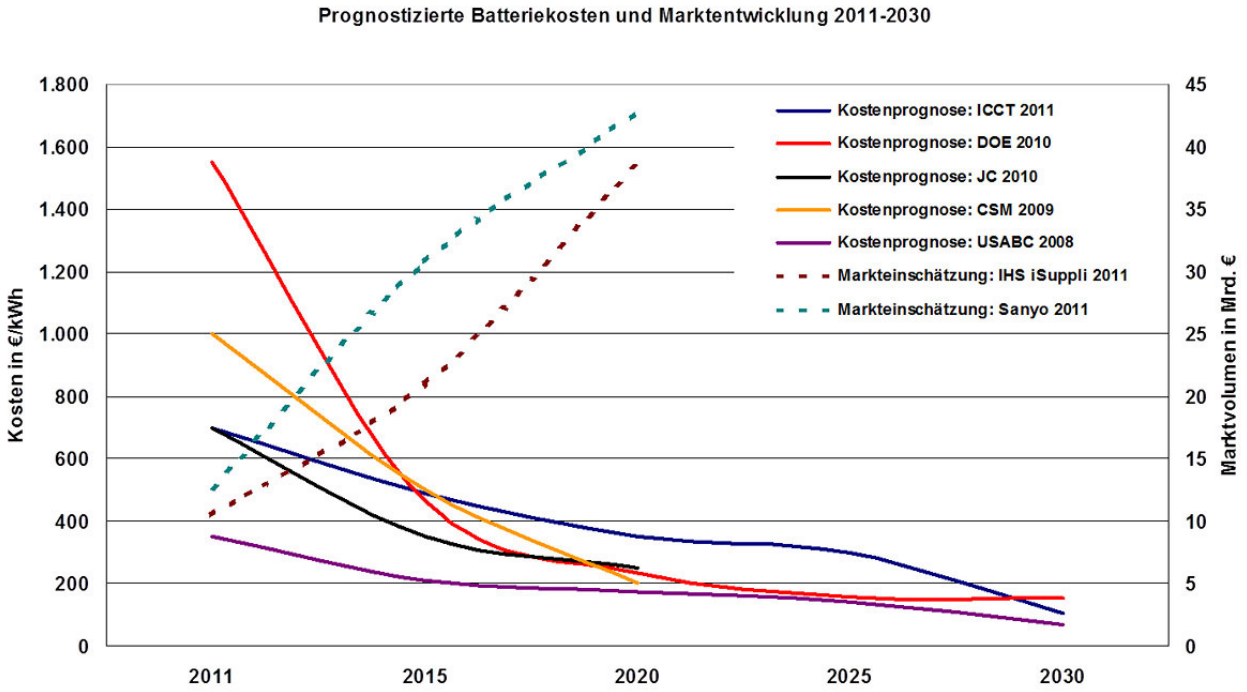
Bedenkt man, dass rund 50 Prozent der Batteriekosten in der nicht selten noch manuellen Montage entstehen, wird deutlich, dass derzeit noch große Optimierungs- und Kostensenkungspotentiale erschlossen werden können. Intelligente Produktionstechnologien, die zu einer höheren Produktivität und einer geringen Ausschussrate führen, üben zweifellos eine Hebelwirkungen aus.

Andererseits zeigt die einfache Herstellbarkeit von Toyotas Feststoffbatterie, dass die Veränderung von Zellchemien oder die Substitution bzw. das Einsparen von eingesetzten Rohmaterialien ebenfalls riesige Kostensprünge erlauben. Wobei das Automationspotential durch Standardisierung und Mechanisierung bei der Produktion von Batteriepacks wiederum deutlich höher ist, als bei der Herstellung von Batteriezellen 193.

Dennoch können gerade die Marktteilnehmer, die am lautesten über die Batteriepreise klagen und demnach den höchsten Nutzen von einer Standardisierung hätten, sich am wenigsten auf eine Harmonisierung einigen. Unter Automobilherstellern z. B., gibt es weder eine Vereinbarung zu einheitlichen Batteriespannungen noch –abmessungen. Wobei letztere sogar noch wirkungsvoller wären.

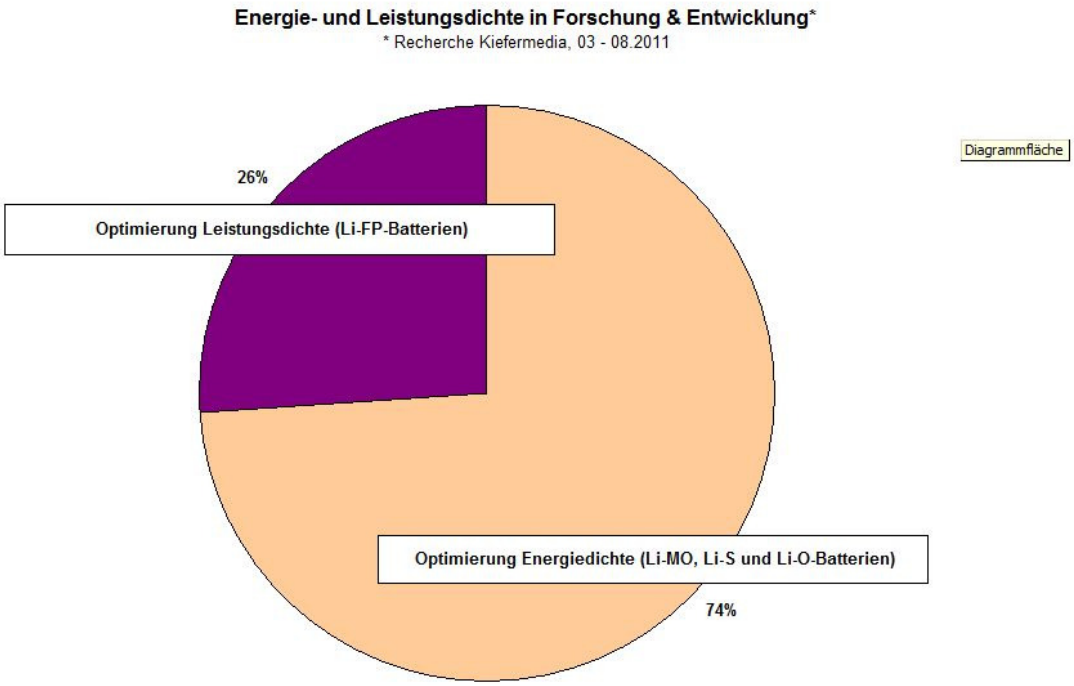
So stellt die Boston Consulting Group in einer für die Jahre 2009 bis 2020 erstellten Hochrechnung fest, dass sich - ein entsprechendes Hochfahren der Massenfertigung vorausgesetzt - die vom Produktionsvolumen abhängigen Kosten bei der Zellproduktion lediglich halbieren lassen, während sie bei der Batteriemontage um gut zwei Drittel reduziert werden können 194.

3.2.1.3 Wachstum aus 3 Wachstumsmärkten: Elektrochemische Speicher als Querschnittsspeichermedium für Energienetze, mobile Geräte - und Elektrofahrzeuge



Kostendegression durch Massenmarkt führt zu höherer Batteriekapazität und weniger Schnellladen

Tab. 21: Plausibilitätsabfrage zu Batteriepreisdegression anhand der Stückzahlentwicklung über Marktgrenzen hinweg: Kommt der Preisverfall auch ohne Elektrofahrzeugboom?



Verhältnis von 3 : 1 zwischen Entwicklungen für Energiedichte und Leistungsdichte

Tab. 22: Nur auf Leistungsdichte optimierte Batterien können Schnellladen ohne großen Schaden nutzen, Rekuperation bedeutet hingegen nur kurzzeitiges Schnellladen (KM)

Getrieben von Prognosen, die ein rasantes Marktwachstum voraussagen, schließen sich Batterieproduzenten, Fahrzeughersteller und Zulieferer zu Interessensallianzen zusammen. Während beispielsweise Bosch mit dem koreanischen Hersteller Samsung das Gemeinschaftsunternehmen SB Limotive betreibt, hat Daimler mit dem Essener Spezialchemiehersteller Evonik die Töchter Li-Tec und Deutsche Accumotive gegründet, die sowohl Zellen als auch Batteriesätze produzieren [195].

Ursache der Zuversicht sind Studien, die bis 2020 ein immenses, weltweites Marktwachstum bei mobilen Li-Ion-Speichern vorhersagen: So prognostiziert der japanische Batteriehersteller Sanyo - ausgehend von 9,3 Mrd. Euro in 2011 - ein Wachstum bis 2015 auf umgerechnet 30,8 Mrd. Euro und bis 2020 auf 42,7 Mrd. Euro [196].

Was die Einschätzung aus Sicht von Analysten der Deutschen Bank so robust macht, ist die Verteilung auf die 3 Märkte Energienetze, mobile Geräte und Elektrofahrzeuge, wobei die stationären Speicher im Energiemarkt das Hauptwachstum übernehmen. Davon profitieren dann aber auch wieder die Stückkosten bei Zellen für Elektrofahrzeuge, selbst wenn dort das Wachstum nicht so stark ausfallen sollte.

Die Abhängigkeit von einer einzelnen Branchenkonjunktur verringert sich also. Dabei ist die aufsteigende Robotik von den Deutschbankern noch gar nicht erfasst (ebenso wenig wie kaum jemand in Deutschland die führende Rolle würdigt, die Toyota, Honda und Nissan auf auf dem Robotermarkt einnehmen, obwohl sich erst mit dessen Technologiekonvergenzeffekten die Elektromobilitätsstrategie der Japaner erschließt).

Der branchenübergreifende Einsatz von Batterien verspricht die besten Economies of Scale und somit die steilste Preisdegression. Dazu können die Zellchemien dann aber nicht mehr allein für den Automotive-Einsatz optimiert und spezifiziert sein. Daher ist es denkbar, dass sich bei der Auslegung der Parameter der kleinste gemeinsame Nenner durchsetzt. Ein Fokus auf die Schnellladefähigkeit ist in diesem Szenario eher unwahrscheinlich.

Teslas Philosophie war es von Anfang an, die Consumerbatterien von Panasonic als Querschnittsspeichermedium mit höchsten Synergieeffekten einzusetzen. Toyota beschrieb den Kostenvorteil dieses Ansatzes gegenüber speziellen Automotivebatterien im Januar 2011 mit über 60 % [197]. VW sprach im Sommer 2010 immerhin noch von 30 % [198] und Daimler hat nach dem Bezug von Tesla-Batterien für den Smart ED und die A-Klasse E-Cell dem US-Startup den Auftrag für einen Komplettantriebsstrang eines neuen Elektrofahrzeuges gegeben [199]. Der Tesla-Ansatz ist keineswegs tot. Eine Technologiesackgasse sieht anders aus.

Das US-Marktforschungsunternehmen IHS ISuppli veranschlagt den Batteriemarktzuwachs auf 21 Mrd. Euro bzw. 38,5 Mrd. Euro [200]. Kosten Li-Ion-Zellen derzeit noch das etwa Dreifache wie vergleichbare Speichertechnologien auf Blei-Säure-, Natrium-Schwefel- oder Nickel-Metallhydrid-Basis, werden sie den Prognosen zufolge bis 2015 die Kostenparität erreichen und 2020 die preiswerteste Alternative bei wiederaufladbaren Batterien sein - also die 1. Wahl für Hersteller von Elektro- und Hybridfahrzeugen [201] – falls bis dahin nicht schon andere Materialkombinationen die Kostenführerschaft übernommen haben.

Einer Studie der Roland Berger Strategy Consultants zufolge werden mit AESC, LG Chem, Panasonic/Sanyo, A123 und SB LiMotive lediglich fünf Konsortien bis 2015 die ersten 80 % des Weltmarktes für wiederaufladbare Batterien unter sich aufteilen [202].

3.2.1.4 Kostendruck durch Überproduktion

Interessanterweise ist laut Roland Berger schon jetzt der Aufbau von Überkapazitäten abzusehen, der den Druck auf die Margen weiter steigert und die Produzenten noch stärker zwingt, ihre Kosten zu optimieren, das heisst, weitere Preissenkungen bei Batteriezellen und -packs zu realisieren. Wer aber nicht spätestens im Jahr 2015 einen jährlichen Umsatz von umgerechnet mindestens 600 Mio. Euro erwirtschaften könne, drohe mittelfristig vom Markt verdrängt zu werden, so die Analysen [203].

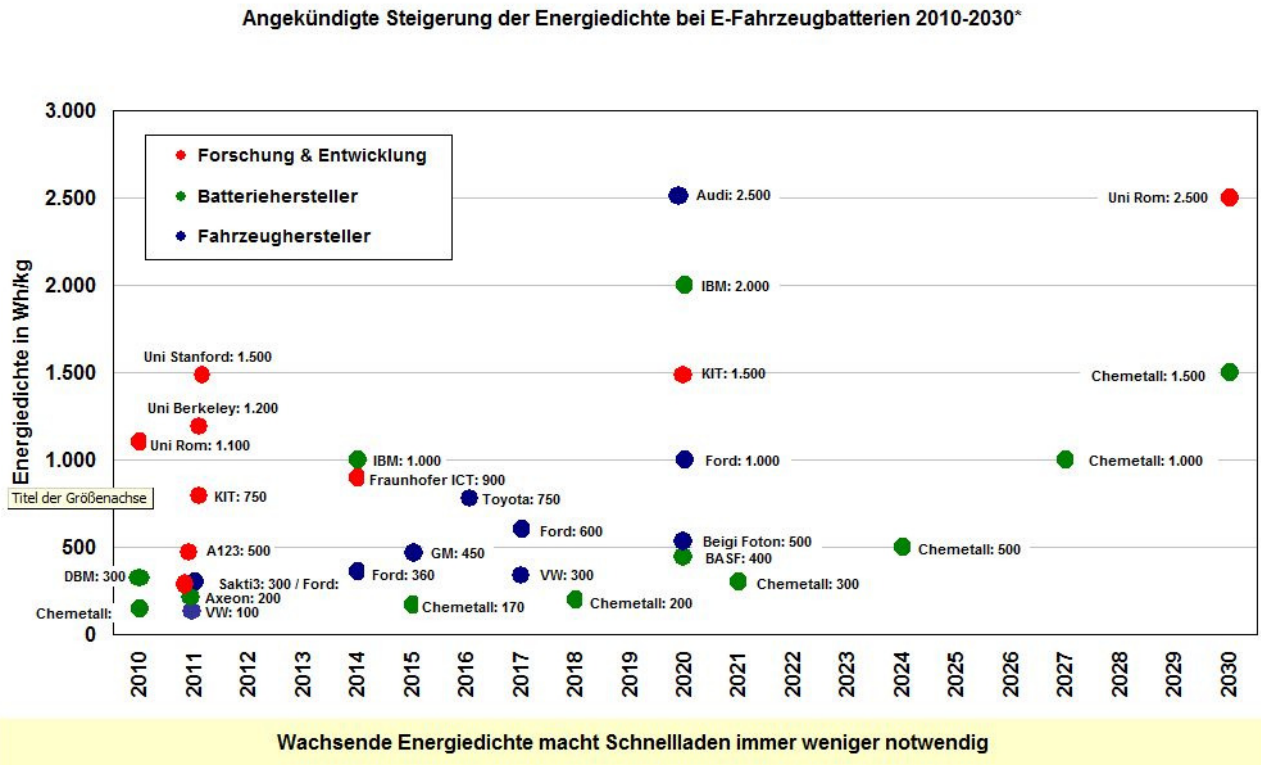
Nach Erkenntnissen des Finanzinformationsdienstes Bloomberg New Energy Finance sei bereits jetzt vorhersehbar, dass die weltweit entstehenden Produktionskapazitäten bei Li-Ion-Batterien den tatsächlichen Bedarf bei weitem übersteigen werden, es sei denn, dass die Fahrzeughersteller ihre angekündigten Plansollzahlen kurzfristig erheblich steigern.

Den Angaben zufolge sollen in den kommenden zwei Jahren bis zu 839.000 Elektroautos produziert werden, nach gerade einmal 124.000 anvisierten Einheiten in 2011. Der Bedarf an mobilen Speichern werde sich den Schätzungen zufolge bis 2013 versiebenfachen und eine Größenordnung von 18 GWh nach 2.4 GWh in 2011 erreichen. Dagegen werde der Umfang der derzeit geplanten oder im Aufbau begriffenen Produktionskapazitäten auf 35 GWh, das heißt auf das Doppelte des Benötigten, anwachsen [204].

Auch das Marktforschungsinstitut LuxResearch geht davon aus, dass die Produktion von Batterien für elektrische Fahrzeuge die Nachfrage danach schon in den kommenden Jahren weit übertreffen wird [205].

Insgesamt lässt die aus mehreren Wachstumsmärkten und Phänomenen wie der Überproduktion getriebene Entwicklung erahnen wie schnell die Batterie zur Massenware wird. Die damit verbundene Preissensibilität wird nur noch ähnlich kostenoptimierte und massenmarktfähige Ladetechnologien im Wettbewerb bestehen lassen. Das resonante Induktionsladen nach der deutschen Anwendungsregel ist eine der wenigen Ladetechnologien, die aus heutiger Sicht ein entsprechendes Kostendegressionspotential aufweist.

3.2.1.5 Die größte Revolution seit der Digitalisierung: die Batterieparität kommt – und verändert alles



Tab. 23: Auch ohne Kurve zeigt die Punktewolke einen klaren Trend: Die Battery Parity kommt früher als gemeinhin angenommen, wobei wichtigste Hersteller fehlen, weil sie nichts ankündigen (KM)

Von Brutto-Batterieparität sprechen wir, wenn die Kosten der Fahrzeugbatterie so weit gesunken sind, dass sich damit ein batterieelektrischer Antriebstrang aufbauen lässt, der bei Bauraum, Gewicht, Kosten und Reichweite einem vergleichbaren verbrennungsmotorischen nicht mehr unterlegen ist, z. B. Smart ED für 16.000 Euro netto ab Frühjahr 2012 zzgl. Batterieleasing, allerdings noch mit Abstrichen bei der Reichweite 206.

Die Netto-Batterieparität ist erreicht, wenn die Energiedichte der Batteriezellen der von Dieselkraftstoff (11.800 Wh/kg 207) entspricht. Derzeit ist dieser noch fast um Faktor 100 besser.

Neben den Kosten für die Batterie ist die Reichweite (Energiedichte) das wichtigste Kriterium für die Akzeptanz und damit den Erfolg von Elektromobilität. Bislang bewegen sich die Werte von Li-Ion-Fahrzeugbatterien um 150 Wh/kg 208 bzw. um Fahrleistungen zwischen durchschnittlich 150 und 200 Kilometern.

Entsprechend betreibt die Branche derzeit die Entwicklung serienreifer Lithium-Schwefel (Li-S)- und Lithium-Luft-Batterien (Li-O), die mit (theoretisch) möglichen Energiehöchstdichten von 3.300 Wh/kg 209 und 11.000 Wh/kg 210 die Akkus der Vorgängerversion bei weitem übertreffen sollen und damit an den Dieselkraftstoff heranreichen würden.

Mit Zielvorgaben von 2.500 Wh/kg bis 2030 beziehungsweise von 1.000 Wh/kg bis 2020 haben die Universität von Rom 211 und IBM 212 die für Forschung & Entwicklung aktuell relevanten

Benchmarks gesetzt. Mit auf Protoyp-Basis erreichten Energiedichten von 1.000 Wh/kg bzw. 750 Wh/kg haben auch die Universität Berkeley 213 und das Karlsruhe Institute of Technology (KIT) 214 ihre Ambitionen auf die Technologieführerschaft unterstrichen.

Dagegen ist die übrige Branche, die mit Zurückhaltung auf die ambitionierten Ankündigen reagiert, offensichtlich froh, wenn sie bis Ende 2020 wenigstens eine Energiedichte von 250-400 Wh/kg erreichen kann - wie sie hinter vorgehaltener Hand zugibt:

Auf die vom KIT auf der IAA vorgestellte Batterietechnologie mit Speicherdichte Faktor 5 angesprochen, meint Dr. Uwe Köhler, Director Global Product Safety & Reliability, Advanced Power Solutions bei Johnson Controls: „Die Benchmarks dazu liegt im Moment bei 150 Wh/kg. Bei 250 Wh/kg ist meiner Meinung nach aber dann Schluss“ 215.

Für Gerhard Baum, Vice President Automotive Industry Europe bei IBM ist eine Steigerung der Energiedichte von 150 Wh/kg auf 750Wh/kg nicht möglich – „eine Verdopplung ja, eine Verfünffachung nein“ 216.

Dr. Markus Hölzle General Manager Battery Materials bei BASF vertritt die Auffassung, dass es bis 2016/18 lediglich die doppelte Energiedichte (300 Wh/kg) geben werde. Faktor 5 bei der Energiedichte gehe nur mit ganz neuen Systemen, dann aber ausschließlich auf Basis von Lithium-Luft 217.

Dr. Joachim Fetzer, Executive Vice President bei SB Li-Motive (Samsung-Bosch), kann sich unter Zuhilfenahme aller Phantasie immerhin noch einen Energiegehalt von 400 Wh/kg vorstellen. Hiernach könne man auf Grundlage der alten Technik einfach keine weiteren Ionen mehr einlagern 218.

In bisherigen Laborversuchen haben Prototypen auf Lithium-Schwefel-Basis mit über 600 Wh/kg zwar eine deutliche höhere Kapazität als bislang üblich nachgewiesen, aber bei Ladevorgängen jeweils erheblich Dendrite abgeschieden und daher noch keine zufriedenstellende Zyklenstabilität entwickelt [219].

Mit Werten von über 11.000 Wh/kg stellen Lithium-Luft-Aggregate derzeit wohl das Optimum an Energiedichte dar, die ein mobiler Energiespeicher erreichen kann, konfrontieren den Betreiber aber über das Problem mit den Dendriten hinaus mit erheblichen Sicherheitsrisiken. Denn bauartbedingt ist die mit Lithium beschichtete Anode den Wasser- und Sauerstoffteilchen der Umgebungsluft ausgesetzt, was zu einem heftigen, durchaus explosiven Verhalten des reaktionsfreudigen Metalls führen kann [220].

Bis es vielleicht Mitte des kommenden Jahrzehntes zur Serienreife und Markteinführung von bezahlbaren Lithium-Schwefel- und Lithium-Luft-Batterien der 4. Generation kommt, werden sich Forschung & Entwicklung zunächst auf die Weiterentwicklung und Optimierung der bereits heute verfügbaren Technologien auf Basis von Lithium-Eisen-Phosphat (Li-FP) bzw. Lithium-Metall-Oxiden (Li-MO) konzentrieren müssen.

Fast alle der nahezu unzähligen Variationen von Li-Ion-Batterien auf Metalloxydbasis mit flüssigem oder (halb-)festem Elektrolyt, die von Forschung & Entwicklung bislang realisiert wurden, haben ihre Verlässlichkeit in Sachen Energiedichte, Eigensicherheit und Zyklenzahl in Testumgebungen unter Laborbedingungen bereits hinlänglich bewiesen, nicht jedoch ihre unbedingte Eignung für das Schnellladen.

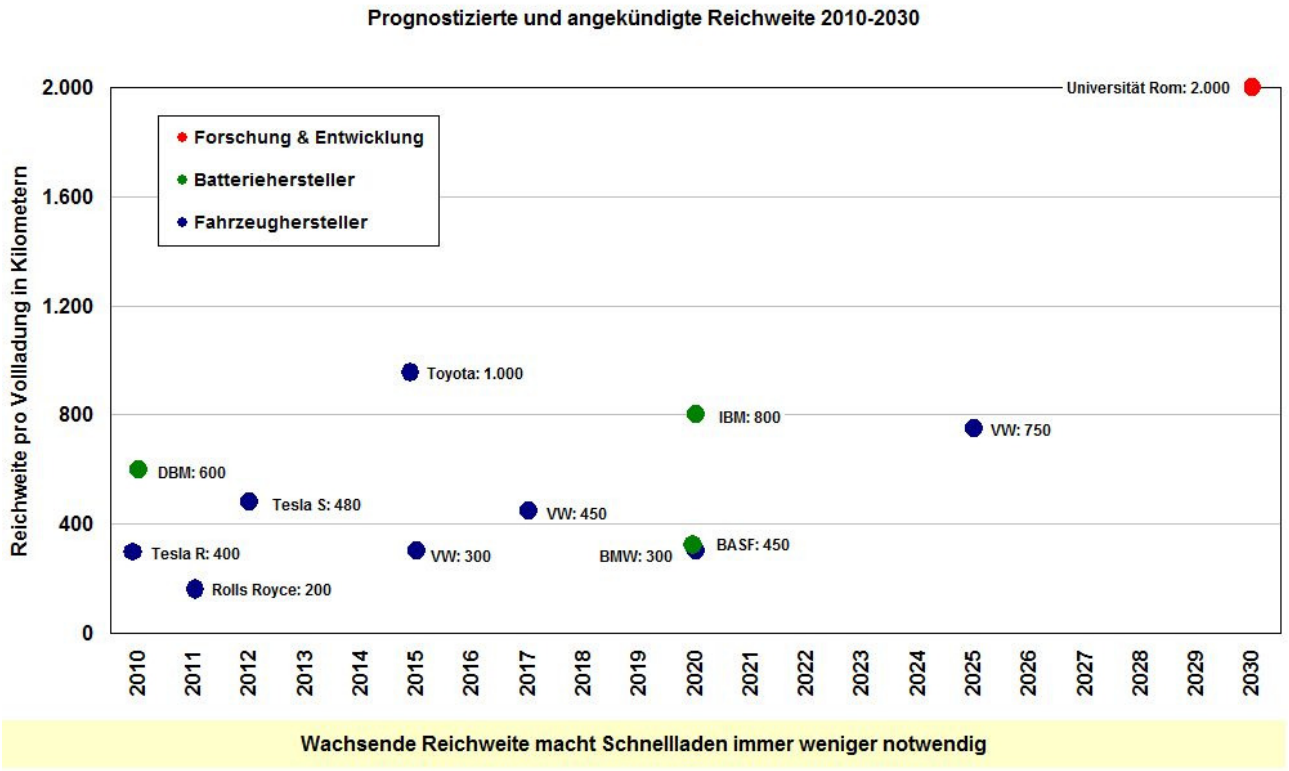
Ganz im Unterschied zu den bereits länger auf dem Markt erhältlichen Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien. Diese gleichzeitig leistungs- und energiestark einzustufenden Akkus vertragen offenbar sowohl langsames als auch schnelles Laden, ohne dabei von übermäßigen Degradationen befallen zu werden [221].

Auch in diesem Bereich wird in Deutschland intensiv an neuen Lösungen, vor allem in Form von nanotechnolgischen Ansätzen, gearbeitet um die Eigenschaften dieser Speichertechnik zu verbessern. Allerdings in einem weit geringeren Umfang, als es bei den Li-Ion-Batterien auf Metalloxydbasis der Fall ist. Für Grundstoffe, Zwischenerzeugnisse und Endprodukte (Batterien) auf Basis von Lithiumeisenphosphat ist eine gewisse "Marktenge" jedoch schon heute absehbar:

Die weltweite Produktion des begehrten Materials wird derzeit von einem exklusiven Konsortium an Rechteinhabern - darunter die deutsche Südchemie AG - kontrolliert, das Produktionslizenzen nur unter strengen Auflagen erteilt und hierfür jeweils hohe Gebühren erhebt.

Gemeinsam mit ihrer kanadischen Tochter Phostech Lithium Inc will Südchemie ab Jahresbeginn 2012 die kommerzielle Produktion von Lithium-Eisen-Phosphat in einer Größenordnung von jährlich 2.500 Tonnen beginnen, womit Batterien für etwa 50.000 vollelektrische oder hybridangetriebene Kraftfahrzeuge hergestellt werden können [222].

3.2.1.5.1 Mehr Energiedichte bedeutet in Zukunft nicht mehr Reichweite, sondern kleinere, leichtere und günstigere Batterien



Tab. 24: Die Reichweiten von BEVs werden mit Verbrennern schneller gleichziehen können als gedacht: Reichweitenangaben hängen immer vom Fahrzeug ab (KM)

Die Reichweitenangst, oder die Befürchtung liegen zu blieben, ist eine der Urängste des kraftfahrenden Menschen. Fast jeder Autobesitzer kennt das Gefühl, das unweigerlich entsteht, wenn sich bei bedrohlich niedrigem Benzinstand weit und weit breit keine rettende Tankstelle finden lässt. Nicht Wenige kennen auch die mehr als unangenehmen Umstände, die entstehen, wenn man tatsächlich "auf dem Trockenen" zu sitzen kommt.

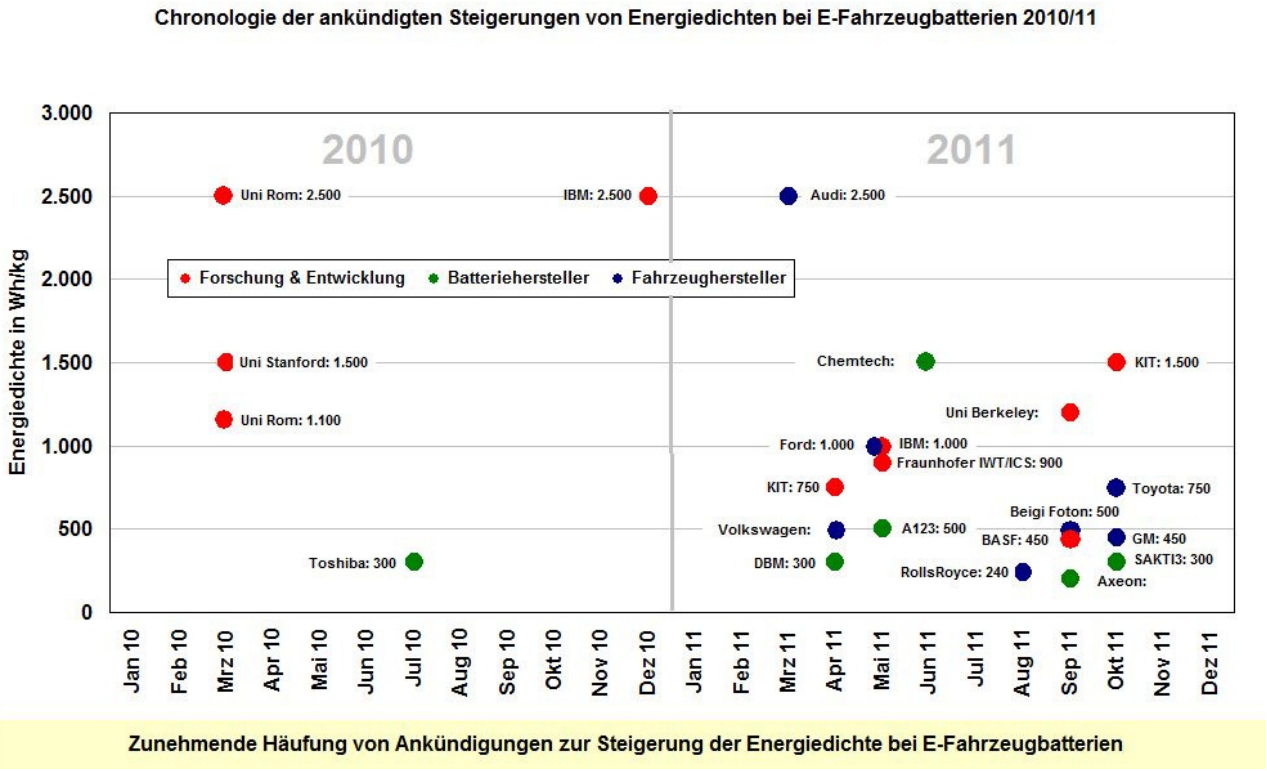
Wenn also Hersteller und Netzbetreiber schon jetzt Schnellladeoptionen bzw. Schnellladevorrichtungen anbieten, dann in erster Linie, um potenzielle Kunden zu ermutigen, vorhandene Hemmungen gegenüber der Elektromobilität zu überwinden. Tatsächlich zeigten sich Teilnehmer in bereits veröffentlichten Studien zum Thema um so weniger ängstlich, je mehr sie das Gefühl bzw. die Gewähr hatten, sich im Ernstfall immer und überall auf das Vorhandensein von Schnellademöglichkeiten verlassen zu können. Vor allem eben, weil sie noch von vergleichsweise geringen Reichweiten von nur 100 bis 150 Kilometern ausgehen mussten [223].

Machen Batteriehersteller und Fahrzeugproduzenten ihre Ankündigungen wahr und steigern die Reichweite in naher Zukunft auf massentaugliche 500 Kilometer und mehr, sollten Zutrauen in die neue Technik und später vielleicht sogar Begeisterung die noch spürbare Zurückhaltung dauerhaft verdrängen können [224].

Falls die hohen Reichweiten tatsächlich schon 2015 in Serie gehen sollten, wird die Dringlichkeit für das Schnellladen um diese Zeit schon wieder abklingen. Laternenparker werden

um diese Zeit das von den Arbeitgebern immer öfter angebotene Laden auf dem Firmenparkplatz nutzen können wie heute schon in skandinavischen Ländern, in Bangalore oder LA üblich.

3.2.1.5.2 Toyotas Sakichi-Batterie und die Reichweitenspirale in 2011



Tab. 25: Immer häufigere Ankündigungen zu höheren Energiedichten: Nach Gesichtspunkten der Trendforschung ein schulbuchmäßiges Bild für den Durchbruch zum Megatrend

Insgesamt lässt sich beobachten, dass immer mehr Ankündigungen zu immer größeren Batteriereichweiten an die Öffentlichkeit gelangen. Als jüngstes Beispiel sei ein Nikkei-Bericht von Mitte Oktober 2011 erwähnt, wonach Toyota bereits über einen Prototypen der lange angekündigten 3D-LiIo-Feststoffbatterie verfüge und damit bereits ab 2015 Reichweiten von 1.000 km in industriellem Maßstab realisieren könne [225].

Auch Sakti3 kündigte im Oktober 2011 eine Feststoffbatterie mit doppelter Reichweite im Vergleich zum Status Quo und erste Prototypen noch in diesem Jahr an [226]. In der selben Woche machte auch das KIT aus Karlsruhe mit einer Verzehnfachung der Energiedichte auf Basis von Flur-Ionen auf sich aufmerksam [227], nachdem das Institut erst im April zuvor eine Verfünffachung der Energiedichte von LiIo-Batterien zusammen mit einer Kostenhalbierung bis 2018 auf Eisen-Kohlenstoff-Basis proklamiert hatte [228].

Wenige Tage vor Sakti3 sprach sogar GM von Feststoffbatterien mit 300 % höherer Energiedichte zu halbem Preis bereits in 5 Jahren. Hintergrund war die Ankündigung eines entsprechenden Produktionsstarts bei Planar Energy, einem Spin Off der National Renewable Energy Laboratories in den USA. Das Start Up aus Orlando hat bereits einen Rolle-zu-Rolle-Produktionsprozess entwickelt und baut die erste Produktionsanlage bereits im nächsten Jahr auf [229].

Rolle-zu-Rolle-Prozesse gelten beispielsweise auch in der PV-Dünnschichttechnologie als ultimative Kostenkiller. Ein Trägermaterial wird in einer Bahn von einer Rolle abgewickelt, beschichtet und von einer zweiten Rolle wieder aufgewickelt. Das wird in vielen anderen

Anwendungen sogar mit fliegendem Rollenwechsel, also endlos, beherrscht. Dadurch ist die Bandtransportgeschwindigkeit in der Beschichtungsanlage immer – ununterbrochen – gleich. Dies gilt im Anlagenbau als Voraussetzung für höchst stabile, stetig gleichbleibende Qualität und geringste Kosten gleichermaßen. Toyota spricht bei der Feststoffbatterie daher nicht ohne Grund davon, dass das Material gewickelt werden kann. An so einer Bemerkung hängt gewissermaßen schon gleich ein entsprechendes Preisschild.

Zur technischen Einschätzung der Toyota-Feststoffbatterie können ebenfalls nur entsprechende Indizien herangezogen werden: Toyota hat auffälligerweise nie auf die flüssige Li-Ionen-Zellchemie gesetzt und ist beim Prius bis zuletzt bei Nickel-Metallhydrid geblieben. Erst die Plug-In Variante bekam eine Li-Io-Batterie und das allerdings auch nur zusammen mit expliziten Kommentaren von Toyota, wonach man von dieser Zellchemie nicht überzeugt sei 230.

In einer Zeit, in der die Flüssigelektrolyttechnologie vor allem in den von der Aufholjagd geprägten Ländern wie der heilige Gral der Elektromobilität gehandelt wurde, hat man das offenkundige Desinteresse von Toyota jedoch nicht als Ansporn genutzt, sich gleich um die nächste, wohl eher relevante Technologiegattung zu bemühen 231.

Zur Plausibilitätskontrolle von Toyotas Angaben zur Feststoffbatterie gehört auch eine kürzlich erfolgte Publikation des Magazins Nature. Kamayoa et al. berichten dort, von der Fachwelt weitgehend unbemerkt, dass die Leitfähigkeit der dreidimensionalen Gitterstruktur die höchste von Feststoffen bisher bekannte und sogar höher als die von flüssigen organischen Elektrolyten sei.

Mit diesen Feststoffeigenschaften sind weitere Vorteile verbunden, wie höchste Eigensicherheit, da nicht brennbar, einfache Herstellbarkeit, da einfach zylindrisch in Schichten wickelbar, hohe Zyklenstabilität, da ohne irreversible Vorgänge, ferner hohe Leistungsdichte, also Schnellladefähigkeit, aufgrund der hohen Leitfähigkeit 232.

War das der Grund für Toyotas späten Beitritt zum TEPCO-Schnellladestandard Chademo? Oder nutzt man den mit der hohen Leitfähigkeit verbundenen geringen Innenwiderstand für einen Aufbau ohne Kühlung, also für geringste Batteriesystemkosten bei gleichzeitig höchster – lebenserwartung zusammen mit langsamem Laden? Wofür entscheidet man sich wohl, wenn man als Hersteller und Leasinggeber das Risiko für den Batterierestwert 233 selbst trägt und nicht auf den Endkunden abwälzen kann?

Sollte Toyota mit der Distanzierung von Flüssigelektrolyten tatsächlich den wichtigsten Technologiewandel seit Erfindung des Automobils verpasst haben? Oder arbeitete der größte Automobilbauer tatsächlich schon die ganze Zeit an der nächsten Batteriegeneration, die Reichweiten wie ein mit Dieselkraftstoff betriebenes Fahrzeug erlaubt?

Das Lastenheft dafür wurde jedenfalls vom Gründer des Unternehmens, Sakichi Toyoda, im Jahr 1925 geschrieben. Seither spricht man von der Sakichi-Batterie. Für die Lösung der Aufgabe lobte er damals schon 1 Million Yen aus. Die selbe Summe setzte er dann auch als Startkapital für den heutigen Weltkonzern ein. Seither heißt es bei Toyota, dass die Sakichi-Batterie den Unternehmenswert aufwiegen würde. Oder ihn eben verdoppeln.

Ganz so weit ist Toyota noch nicht. Der Nikkei-Bericht gibt eine Verfünffachung der gegenwärtigen Energiedichte im industriellen Stadium ab 2015 an. Legt man konservativ für den Status Quo 160 Wh/kg zu Grunde, so kommt man auf 800 Wh/kg. Ab 2015.

Bleibt noch anzumerken, dass Japans New Energy and Industrial Technology Development Organization im Zusammenhang mit Toyotas Ankündigung eine Batteriepreisdegression auf ein Fünftel bis ein Zehntel ausgehend vom heutigen Niveau bis 2020 ansagen konnte 234. Damit ist diese Feststoffbatterie also bereits eine Angelegenheit der offiziellen Industriepolitik Japans.

Und die Industriepolitik Deutschlands? Wenn man als direkten Vergleich die Aussagen im zweiten NPE-Bericht vom Mai 2011 zur Batteriepreisdegression heranzieht, dann ist alles klar: Dort stehen unter „Leuchtturm Batterie“ 800 Wh/kg für den Zeitraum der 4. Batteriegeneration. Ab 2025. Japans verlorenes Jahrzehnt? 235

3.2.1.5.3 Toyota und Tesla positionieren sich gegen das Schnellladen:

G-Station Specifications

	Type A	Type B
Photo		
Model	TM-GSEV2A0081	TM-GSEV2B0081
Output voltage	Rated: Single-phase AC200 V 50 Hz/60 Hz	
Continuous rated current	15 A	
Charging connector & cable length	Approx. 7 M with connector	Approx. 7 M cord reel with connector
Weight	45 kg	55 kg
Width/depth/height)	220 mm/400 mm/1,400 mm	330 mm/480 mm/1,400 mm
Compatible vehicles	All PHV and EV models in Japan compatible with domestic charging methods currently proposed (G-Station charges using Mode 3, and is compatible with modes 1 and 2*1)	
Other	- Communications-network compatible*2 (LAN connection, WiMAX, CDMA) - FeliCa*3 authentication - Year round, 24-hour support	- Communications-network compatible*2 (LAN connection, WiMAX, CDMA) - FeliCa*3 authentication - Motion sensor - Voice operations guidance - Visual display - Year round, 24-hour support
Manufacturer's suggested retail price*4	280,000 yen	448,000 yen

*1Under conductive charging standards set by the International Electrotechnical Commission, standard charging for EVs and PHVs is split into three modes. Mode 1 (AC): Slow charging from a standard household-type socket-outlet; Mode 2 (AC): Slow charging from a standard household-type socket-outlet with an in-cable protection device; Mode 3 (AC): Slow or fast charging using a specific EV socket-outlet and plug with control and protection function permanently installed; *2Separate communications module required; *3A Sony Corporation's e-money system; *4Not including consumption taxes, installation fees and service fees.

Abb. 45: 3 kW-Ladesäulen von Toyota mit Internetanbindung auf Basis der Cloud

3 kW-Ladesäulen von Toyota vom Juni 2011 mit Internetanbindung auf Basis der Cloud-Lösung Microsoft Azur: Slow Charging als ausdrücklicher Bestandteil des Produktdesigns, nicht als Mangel, konzipiert für den öffentlichen und halböffentlichen Raum.

Auffällig war für Beobachter schon immer, dass Toyota erst recht spät zum Chademo-Konsortium beigetreten und dort nie richtig aktiv geworden ist. Es gibt bis heute keine Ladetechnik oder Auto von Toyota für Chademo. Toyota hat übrigens bis Mitte 2012 noch gar kein Elektrofahrzeug, ferner derzeit keine externen Batterieallianzen wie die anderen Automobilhersteller.

Stattdessen hat Toyota zusammen mit Microsoft erst im Juni 2011 ein eigenes Ladesäulenprogramm vorgestellt. Leistung bei beiden Modellen: 3,3 kW. Die dahinter stehende Internetplattform erlaubt die Einbindung der Säulen in das Netzmanagement. Ein klares

Bekenntnis zum langsamen, netzfreundlichen, gesteuerten Laden. Und das – wohlgemerkt – bei Ladesäulen für den öffentlichen und halböffentlichen Raum [236].

Letztendlich erhöht jeder Trend hin zu langsamem, netzfreundlichem, gesteuertem Laden die Wettbewerbsfähigkeit von kabellosem Laden nach der deutschen Anwendungsregel. Daher verdienen alle entsprechenden Indikatoren Beachtung, selbst wenn sie sich zunächst naturgemäß nur auf kabelgebundene Lösungen beziehen können.

Wenn darüber hinaus Toyota die erste eigene Ladesäule explizit auf Slow Charging auslegt, und das genau zu der Zeit, in der in Deutschland der Hype um das Schnellladen kulminiert, dann verdient das besondere Beachtung. Was haben sich die Japaner dabei gedacht? Ist das letztendlich eher eine Ladesäule für Plug-In-Hybride?

Sind PHEVs denn eigentlich nichts weiter als aufgebohrte Start-Stopp-Systeme und als solche mittelfristig nicht besser mit einem Supercap bedient? Wären solche Kondensatoren dann aber nicht wie ansonsten auch sogar noch besser für das Schnellladen geschaffen?

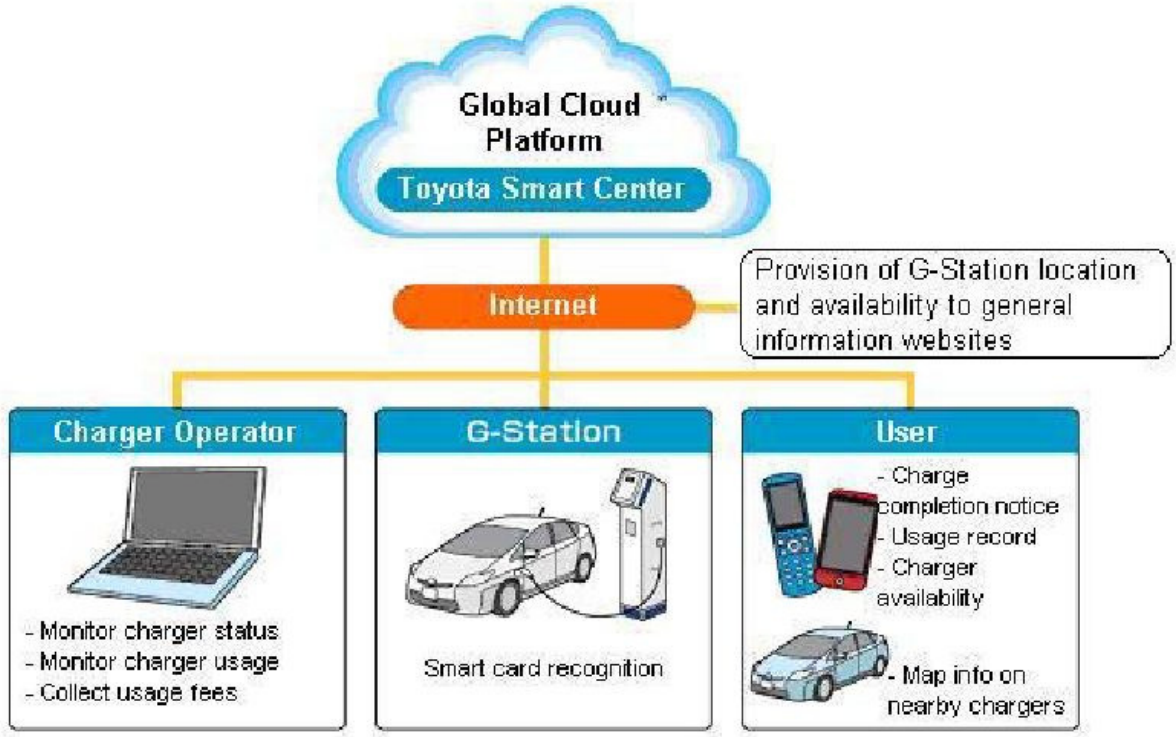
Man erkennt hier einmal mehr, dass ein bestimmtes Ladekonzept auf einem entsprechend bestimmten Batteriekonzept beruht. Toyota hat als einziger Batteriehersteller weltweit eine eigene große Batterieforschung, unabhängig von den hauseigenen Keiretsu-Beteiligungen an Panasonic, Sanyo und Subaru.

Daher kann man aus der Ladephilosophie der G-Station rückfolgern auf die Batterieplanung des Hauses: Was für ein Ladeszenario, was für einen Batterietyp hat Toyota vor Augen, wenn nun plötzlich wieder 3 kW genügen sollen, selbst an öffentlichen Ladepunkten, selbst im Mode 3, der ja eigentlich für höhere Leistungen ausgelegt ist? Warum nimmt sich Toyota vom Mode 3 die Kommunikationsfähigkeit aber nicht die Leistungssteigerung?

Verfechter der Schnellladung vermuten ja gerne, dass gerade der Trend zu höheren Energiedichten, Reichweiten und Kapazitäten in der Batterietechnologie eine um so schnellere Ladung erfordert, weil es ja ansonsten viel zu lange dauern würde, die vielen kWh nachzuladen. Toyotas G-Station bestärkt die Gegner dieser Hypothese in ihrer entgegengesetzten Argumentation:

- Höhere Energiedichten und Reichweiten bedeuten nicht, dass Fahrleistungen pro Tag und pro Strecke zunehmen. Im Gegenteil: laut statistischem Trend ist die Kilometerleistung seit Jahren rückläufig [237].
- Höhere Energiedichten bedeuten nicht, dass damit bei selbem Bauraum, Gewicht und Kostenansatz wie bisher entsprechend mehr Reichweite angestrebt wird, sondern dass ein großer Teil dieses Energiedichtezugewinns verwendet wird, um Bauraum, Gewicht und Kosten zu reduzieren. So haben z. B. Toyota und KIT in den letzten Wochen mit auffälliger Übereinstimmung eine Verzehnfachung der Energiedichte zusammen mit einer Reduzierung der Kosten auf ein Zehntel kommuniziert. Dabei erschien ersteres als die Basis, letzteres als das Ziel der Entwicklung.
- Höhere Reichweiten bedeuten nicht, dass entsprechend weniger häufig mit hoher Ladetiefe geladen wird. Reva [238], Nissan [239], Mitsubishi [240]und Tesla [241] empfehlen in ihren Bedienungsanleitungen, die Batterie jede Nacht aufzuladen, um sich möglichst hohe Batterierestwerte [242] zu sichern.

- Außerdem sind wichtige Zentren der Elektromobilität wie Los Angeles, Shenzen [243] und Bangalore von einer Elektrizitätsinfrastruktur geprägt, die keinerlei Reserven für zusätzliche Spitzenlasten aufweist [244], so dass auch die Behörden bereits heute entsprechende Auflagen machen, z. B. der E 9 Tarif in Kalifornien, der für Elektrofahrzeuge zwingend ist und tagsüber laden mit hohen Aufpreisen abstraft [245].
- Nicht zu unterschätzen ist aber auch der Umstand, dass in China und Indien als wichtigsten Wachstumsmärkten für Elektroautos die Nutzer in der Regel vom Umgang mit Elektrozweirädern geprägt sind und somit das allabendliche Laden längst gelernt haben [246].
- Außerdem wird das Fahrzeug nicht nur für das Laden, sondern auch zur Klimatisierung angehängt [247], worauf auch Toyota fokussiert [248].
- Schnelles Laden mit hohen Ladetiefen findet also in der Realität wohl kaum statt, weil es für Netzbetreiber, Batteriehersteller und Fahrzeugnutzer teurer käme [249]. Daher die Auslegung der G-Station auf 3 kW und Netzmanagement. Letztendlich bereitet dieses Produktdesign auch den Boden für das netz- und batteriefreundliche, kabellose Laden mit 3 kW.



Diese Meldung und weitere Informationen rund um Toyota finden Sie auch unter:
www.toyota-media.de
Ihr Ansprechpartner bei redaktionellen Rückfragen:
Dirk Breuer, Tel. (02234) 102-2225, Fax (02234) 102-99-2225
dirk.breuer@toyota.de

Abb. 46: Toyota Smart Center auf Cloud-Basis von Microsoft Azure zur Steuerung von Ladesäulen und Fahrzeugen, ähnlich wie die weltweite Nissan Carwings Leitwarte auf Basis von Hitachi-Telematik und Airbiquity-IT

Mit der Ankündigung seiner beiden ersten Elektrofahrzeuge für 2012 setzt sich Toyota noch weiter vom Mainstream ab, in dem das Schnellladen dafür bereits Mitte 2011 ausdrücklich

abgekündigt wurde 250. Dies mag beim elektrischen RAV4 dem Tesla-Batteriepaket geschuldet sein, welches sich wiederum auf den Zell-Lieferanten Panasonic stützt, einer Keiretsu-Tochter von Toyota, die zuletzt mit Sanyo einen weiteren wichtigen Batterielieferanten übernommen hat.

Die Bedeutung des Vorgangs liegt in der industriellen Logik: Die Batterien von Panasonic, letztendlich Consumer-Batterien, passen zu der Philosophie von Tesla, wonach Schnellladen ebenso überflüssig ist wie öffentliche Ladesäulen. Das Beispiel Panasonic-Tesla zeigt einmal mehr: Die Batterie definiert das Laden.

Die Gesellschafterstrukturen folgen in Japan dem Technologiepfad: Der Anteil von Panasonic an Tesla 251 ist etwas niedriger als der von Toyota selbst 252. Industriegeschichtlich wird das ganze Engagement angesichts der Feststoffbatterie wohl eher eine Fußnote abgeben, aber ohne Toyota und Panasonic im Rücken hätte Tesla wohl niemals einen hauseigenen Ladestecker für das nächste Modell, den Tesla S, beibehalten. Völlig inkompatibel mit allen internationalen Normen von SAE und ISO/IEC.

Während das DC-Schnellladen die US-Medien beherrscht, verliert Tesla beim neuen Modell S kein einziges Wort darüber. Stattdessen wird empfohlen, jede Nacht zuhause zu laden, bei 220 V. Am besten mit PV-Strom vom Hausdach 253. Haushaltssteckdose genügt. Damit ist das Ladekonzept genau so radikal wie das Fahrzeugkonzept. Radikal anders. Man erkennt, dass Apple-Gründer Steve Jobs für Tesla-Gründer Elon Musk immer ein Vorbild war.

Ähnlich wie bei Toyota schwingt bei Tesla das Pendel schon wieder vom Schnellladen zurück, war dies doch noch beim früheren Roadster noch eine Zusatzausstattung und anfänglich sogar noch für das Modell S geplant 254. Wenn der Elektromobilitätspionier Tesla diesen Kurs nun korrigiert, dann ist das ein deutlicher Hinweis auf eine entsprechende Lernkurve. Der Trendsetter leitet auch gleich selbst wieder eine Trendumkehr ein.

Dabei erlaubt es sich Tesla als Start-Up-Unternehmen auch, die geschätzte Kundschaft ein wenig zu erziehen 255. Bei einem Technologiesprung wie der Elektromobilität bedarf die Erwartungshaltung der Verbraucher einer korrigierenden Aufklärung. Tesla liefert nicht unbedingt, wonach die Kunden fragen. Niemand hatte 2006 nach einem elektrischen Roadster gefragt. Heute ist er ausverkauft, genau wie die gesamte Produktion des Tesla S für das ganze Jahr 2012.

Daher wird Tesla auch oft mit Apple verglichen. Apples Erfolg als heute wertvollstes Unternehmen der Welt gründete auf der Einführung des grafischen Benutzerinterfaces. Bis dahin hatte jeder kryptischen Quellcode in weißen oder sogar grünen Schriftzeichen auf schwarze Bildschirm getrommelt. Niemand hatte dabei eine Maus, einen Mauszeiger und das Verschieben oder Kopieren mit Drag and Drop vermisst. Niemand hat danach gefragt.

"Wenn ich die Menschen gefragt hätte, was sie wollen, hätten sie gesagt, schnellere Pferde“, soll Henry Ford gesagt haben. Er hat den Technologiebruch konsequent vollzogen und aus Automobilität Massenmobilität gemacht. Gottlieb Daimler hat hingegen noch die ersten Verbrennungsmotoren in Pferdekutschen eingebaut, IBM die ersten Displays zur Textverarbeitung in Schreibmaschinen.

Es ist immer der Versuch, die alte Welt der neuen aufzuzwängen bzw. die neue mit einer Brücke aus der alten zugänglich zu machen. Schnellladesäulen als Brückentechnologie? Wird man

eine Schnellladesäule in einigen Jahren als ähnlich inkonsequenten Umbau einer fossilen Tanksäule einordnen [256]?

Anegawa hat der Welt die Schnellladesäule gebracht, aber er hat nicht an das Schnellladen geglaubt [257], sondern nur an den „psychologischen Effekt“ [258]. Viele Nachahmer kopieren ihn jetzt aber nur oberflächlich, indem sie meinen, begriffen zu haben, die Schnellladesäule sei tatsächlich ein Geschäftsmodell zum Stromverkauf. Stattdessen aber ist die Schnellladesäule ein Geschäftsmodell zum Verkauf von Elektrofahrzeugen – und zwar japanischen. Das zeigt – bei genauerem Hinsehen - die Versuchsbeschreibung von Anegawa schon ganz genau [259].

Spätestens seit Nissan die Schnellladesäulen nun auch noch zu hunderten verschenkt [260] – bei einem Stückpreis von zuletzt etwa 20.000 Euro – sollte dieses Trojanische Pferd auch als solches begriffen worden sein.

So mag eine gewisse Lücke für die Chademo-Nachahmer darin liegen, dass sich nur Ingenieure die Anegawa Vorlage angeschaut haben, aber keine Marketingexperten. Die eigentliche Botschaft ging dabei komplett verloren: Der Chademo-Standard ist ein industriepolitisch flankiertes Vertriebsinstrument für eine bestimmte Art von japanischen Elektrofahrzeugen [261], nicht für eine bestimmte Ladetechnik.

Chademo-Säulen funktionieren in erster Linie wie Litfaß-Säulen, und erst in zweiter wie Ladesäulen: aus Marketingsicht sind das Wegmarken, abgesteckte Claims auf Vertriebsgebiete, Markenbotschafter, buchstäbliche High-Tech-Verkaufsmaschinen. Allerdings eben nicht für Strom, sondern für Chademo-Elektroautos [262]. Der Ladestrom macht diese Marketinginstrumente lediglich etwas authentischer. Ansonsten könnten sie genau so gut Kaffee kochen. Oder natürlich noch besser: japanischen Grüntee [263].

Die weltweite Verbreitung von Chademo-Ladesäulen ist ein Kaufgrund für die entsprechend kompatiblen Fahrzeuge [264], selbst wenn diese oft ein Fahrzeugleben lang gar nicht schnell geladen werden. Vom Schnellladen selbst haben sich Chademo-Mitglieder wie Nissan, Mitsubishi [265] und Toyota in verschiedener Form von Anfang an distanziert. Arglistige Täuschung kann man den Japanern nicht vorwerfen. Eigentlich hätte das Missverständnis gar nicht aufkommen müssen.

Stattdessen gibt es unter den Chademo-Nachahmern aber tatsächlich mittlerweile eine wachsende Fraktion, die das Schnellladen obendrein auch noch mit einer fiktiven Nachfrage des Kunden nach dem Tankvorgang rechtfertigt. Der Kunde sei das schnelle Tanken nach 100 Jahren Umgang mit fossilen Kraftstoffen eben so gewohnt und wolle auf diesen „Komfort“ nicht verzichten.

Dabei wird das Kundenverhalten aber nicht hinter-fragt so wie es Apple, Tesla und Anegawa gemacht haben. Stattdessen macht man – ganz im Gegensatz zu Anegawa - aus überkommenen Verhaltensmustern einen Business Plan [266]. Frei nach Henry Ford: „Wenn ich die Menschen gefragt hätte, was sie wollen, hätten sie gesagt, schnellere Tanksäulen.“

Neben Toyota sitzt heute auch Daimler im Aufsichtsrat von Tesla. Oder sitzen dort beide auf der Schulbank? Bei der Ankündigung des Tesla Roadsters sagte die ganze Automobilwelt noch, das ist unmöglich. Zur Slow Charging Kultur des Tesla S gab es dagegen kein Wort der Kritik mehr. Im Gegenteil: Toyota begründete den Einstieg bei Tesla im Mai 2010 ganz offiziell damit, von dem Startup etwas lernen zu wollen [267]. Nichts ist unmöglich.

Toyota ist aber nicht nur über Panasonic/Sanyo sehr stark im Batteriegeschäft engagiert, sondern auch über Fujitsu Subaru. Dieser Zukauf hat 2006 viele Interpretationen wegen einer Subaru Fabrik in den USA nach sich gezogen. Tatsächlich ging es Toyota wohl kaum um noch mehr Überkapazität, sondern um etwas ganz anderes: Subaru hatte zu diesem Zeitpunkt als einziges Unternehmen weltweit eine eigene Lithium-Vanadium-Batterie entwickelt, die der von Panasonic überlegen war [268].

So erlangte der Automobilhersteller einmal mehr eine weite Vorausschau auf die Vorentwicklung im Batteriesegment und konnte es sich aufgrund dessen ohne weiteres leisten, das DC-Schnellladen und TEPCOs Chademo Konsortium über ein Jahr lang zu ignorieren, zumal man über Subaru ohnehin am Tisch saß: In Erwartung einer Feststoffbatterie mit 1.000 km Reichweite war das Schnellladen für Toyota tot, bevor es geboren war.

Konsequenterweise hat Toyota Ende Oktober 2011 für den Prius Plug In Hybrid eine eigene Wallbox als Preisbrecher auf den amerikanischen Markt gebracht. Für 240 Volt-Hausanschlüsse genau wie Tesla. Das bedeutet: nachts, zuhause und langsam laden. Netz- und batteriefreundlich genau wie Tesla. Für 999 US-Dollar. Inklusive Installation. Pauschal, völlig unabhängig von den Bedingungen vor Ort. Und das, obwohl in den USA die elektrische Infrastruktur oft eher einem Schwellenland als einem Industrieland entspricht und Leaf- ebenso wie Volt-Kunden allein für die Wallbox-Installation zwischen zwei- und viertausend Dollar zu bezahlen gewohnt sind. Das Angebot ist eine Kampfansage an alle überteuerten Overengineering-Ansätze.

Das Verbraucherportal consumerreports.org spricht von einem Durchbruch. Diese Installationen werden wohl kaum zu den ersten Elektrofahrzeugen, die Toyota 2012 einführen will, inkompatibel sein. Diese Ladetechnik passt zur Panasonic-Zelltechnik. Und wohl auch zur Feststoffbatterie ab 2015. Genau wie Tesla verliert Toyota kein Wort über das Schnellladen oder Chademo [269].

3.2.1.5.3.1 Fazit zu Korrelation konduktiv – induktiv:

Genau für dieses Anforderungsprofil (Hausanschluss, langsam, nachts, zuhause laden) ist das kabellose Laden im Allgemeinen und in der Variante der deutschen Anwendungsregel im Besonderen ausgelegt. Jeder Trendindikator, der auf Wachstum und Akzeptanz in diesem Marktsegment zeigt, ist gleichzeitig ein Trendindikator für das kabellose Laden.

3.2.1.5.4 Aus der Reichweitenspirale der Batterien wird eine umgekehrte Gewichtsspirale: die selbe Reichweite mit weniger Gewicht

Unabhängig von der Zielerreichung der oben beschriebenen Batterieenergiedichten im Einzelnen: Mit Batteriereichweiten dieser Größenordnung zeichnet sich ein Technologiesprung ab, der von grundlegender Bedeutung für viele andere Technologiebausteine der Elektromobilität sein wird, so z. B. für Reichweitenverlängerer inklusive Brennstoffzelle, für Plug In Hybride und andere Ausprägungen effizienter Antriebe und eben auch für Ladetechnologien.

Die Batterietechnologie entscheidet aufgrund ihrer kapitalintensiven Entwicklung über die Ladetechnologie und eben nicht umgekehrt. Daran muss vor allem in einem Land erinnert werden, das offenbar eher in der Ladetechnik als in der Batterietechnik eine industrielle Basis hat.

Die derzeit noch recht lebhafte Vorstellung von der Notwendigkeit einer stets in Reichweite befindlichen Schnellladesäule wird der Erkenntnis weichen, dass man nicht alle im fossilen Zeitalter gelernten Verhaltensmuster auf die Elektromobilität übertragen sollte. Bzw. kann. Oder darf. Der mit der Elektromobilität einhergehende höhere Organisationsgrad des Verkehrsgeschehens, des Netz- und Zeitmanagements ist augenscheinlich noch nicht überall gelernt.

Reichen beim Nutzen des Fahrzeugs in Zukunft größere, organisierte Lade-Zeitfenster aus, um dessen alltäglichen Betrieb sicherzustellen, steigen die Chancen, dass sich das Langsamladen als Standard auf Dauer durchsetzen kann. Die Fortschritte in der Batterietechnologie zeigen in diese Richtung.

Es mehren sich jedoch auch Hinweise, dass höhere Energiedichten von Herstellern wie Nissan nicht allein für die Realisierung höherer Reichweite verwendet werden, sondern für die Herstellung kleinerer, leichterer und vor allem preisgünstigerer Batteriepakete.

Laut Allan Paterson, Chefingenieur beim schottischen Batterieproduzenten Axeon 270, lässt sich mit der um 35 % höheren Energiedichte einer neuen Zellchemie seines Hauses die selbe Reichweite bei halbem Bauraum und einem Drittel des Gewichtes erreichen. Das ist die neue Währung des Batteriebaus. So herum werden jetzt die Ziele in den Lastenheften definiert. Man stellt nicht mehr den ganzen Energiedichtenzuwachs als Reichweitenzuwachs dar.

3.2.1.5.5 Aus der Reichweitenspirale der Batterien wird eine umgekehrte Preisspirale: die selbe Reichweite mit weniger Kosten

Was die Kunden - zumindest in der ersten Phase der Verbreitung von Elektromobilität - laut Pitt Moos, zuständiger Product Managers Smart Electric Drive bei Daimler Benz, brauchen, sei nicht noch mehr Reichweite, sondern eine preiswertere Batterie [271].

Rechnet man die für die nähere und fernere Zukunft erwarteten und angekündigten Energiedichten einmal hypothetisch auf das Batterievolumen und -gewicht des Nissan Leaf hoch, dürfte der jetzt schon günstige Preis weiter sinken. Sollte die Energiedichte - wie vom multinationalen Spezialchemieanbieter Chemetall prognostiziert - von durchschnittlich 150 Wh/kg in 2010, auf 300 Wh/kg in 2021, auf 500 Wh/kg in 2024, auf 1.000 Wh/kg in 2027 und 1.500 Wh/kg in 2030 steigen, müsste der Preis für einen kompletten Nissan-Batteriesatz nach Abzug eines Sockelbetrags für den Materialeinsatz umgekehrt proportional sinken. Also auf ein Zehntel in 20 Jahren.

Das gilt auch für die Ladetechnik. Was End- und Industriekunden beim Batteriepreis über die Jahre erfahren, wollen sie auch bei der Ladetechnik sehen. Viele der derzeit erprobten Ladetechnologien weisen dieses Kostendegressionspotential aber gar nicht auf [272]. Allein das Ladekabel treibt als Verschleißteil mit jedem Austausch die Betriebskosten wieder nach oben.

Japans New Energy and Industrial Technology Development Organization erwartet dieses Batteriepreisniveau von einem Zehntel aufgrund der Ankündigung von Toyotas Feststoffbatterie wie oben beschrieben bereits 2020.

Je nach Bezugsgröße würde damit diese Zielgröße 15 Jahre früher eintreffen als von Chemetall erwartet. Man kann diesen Zeitversatz auch als einen Anhaltspunkt für den Entwicklungsvorsprung der Japaner nehmen. Er würde demnach zwischen 10 und 15 Jahren liegen.

Das entspricht ziemlich genau dem Zeitfenster zwischen 1990 und 2005, in dem die elektrochemische Forschung in Deutschland nicht stattfand. Vor diesem Hintergrund entbehrt es nicht einer gewissen Ironie, dass in westlichen Medien die 90er als Japans verlorenes Jahrzehnt mit wirtschaftlichem Stillstand dargestellt werden. Trotz aller Deflation wurden dort offenbar stillschweigend und kontinuierlich jenseits aller Finanzkennzahlen substanzielle Werte geschaffen, die wohl erst in diesem oder im nächsten Jahrzehnt richtig sichtbar werden [273].

3.2.1.5.6 Der Verbraucher lernt schnell und macht sich seine eigenen Gedanken: niemals die Rechnung ohne den Wirt machen

Die Reichweitenangst ist wohl ein sehr flüchtiges Phänomen. Auf jeden Fall aber keine verlässliche Grundlage für einen Geschäftsplan. Von der tatsächlich benötigten Reichweite hat der Verbraucher recht schnell einen genauen Begriff. Darüber hinaus ist der Elektrofahrzeugfahrer der frühen Stunde eben nicht der Otto-Normal-Verbraucher [274].

Diesen Schluss legen auch eine gemeinsam mit dem Fahrzeughersteller Nissan durchgeführte Studie des US-amerikanischen Energieministeriums aus dem Oktober 2011 [275], sowie andere konventionelle Untersuchungen nahe. Sie haben ergeben, dass offenbar 95 % aller Fahrzeuge in den USA weniger als 160 Kilometer und 72 % aller Fahrzeuge weniger als 60 Kilometer pro Tag bewegt werden.

Wie Mark Perry, Produkt- und Strategiemanager bei Nissan Nordamerika ausführt, halte die überwältigende Mehrheit der Fahrer eines Nissan Leaf eine Reichweite von unter 200 Kilometern für vollkommen ausreichend. Weil die Batterie von den Nutzern jeweils nur bis zur Hälfte der Kapazität heruntergefahren werde, bevor sie wieder vollgeladen würde, nehme ihre Wiederbefüllung – einen Level-II-Charger (240V) vorausgesetzt - nur zwischen zwei und drei Stunden in Anspruch. Das selbe Fazit zogen im Mai die Autoren einer Studie zum Elektrofahrzeugpotential in LA [276].

Besonders auffällig, so Perry, sei es jedoch, dass trotz des Vorhandenseins eines konventionellen Verbrennungsfahrzeugs im Haushalt, das Elektroauto als Erstwagen genutzt werde, der auch zu gut 90 % zuhause wieder aufgeladen werde. Sowohl der Zweitwagenaspekt als auch das fast ausnahmslose zuhause Laden stimmen mit der hohen Potentialeinschätzung für Haushalte mit mehreren Fahrzeugen überein, die sich im Mai aus einer Umfrage in LA ergab [277].

Voller Vertrauen in die Eigenschaften ihres Fahrzeugs und weitgehend frei von Ängsten, unterwegs liegen zu bleiben, lüden nicht wenige Besitzer ihre Fahrzeuge sogar nur alle zwei bis drei Tage auf.

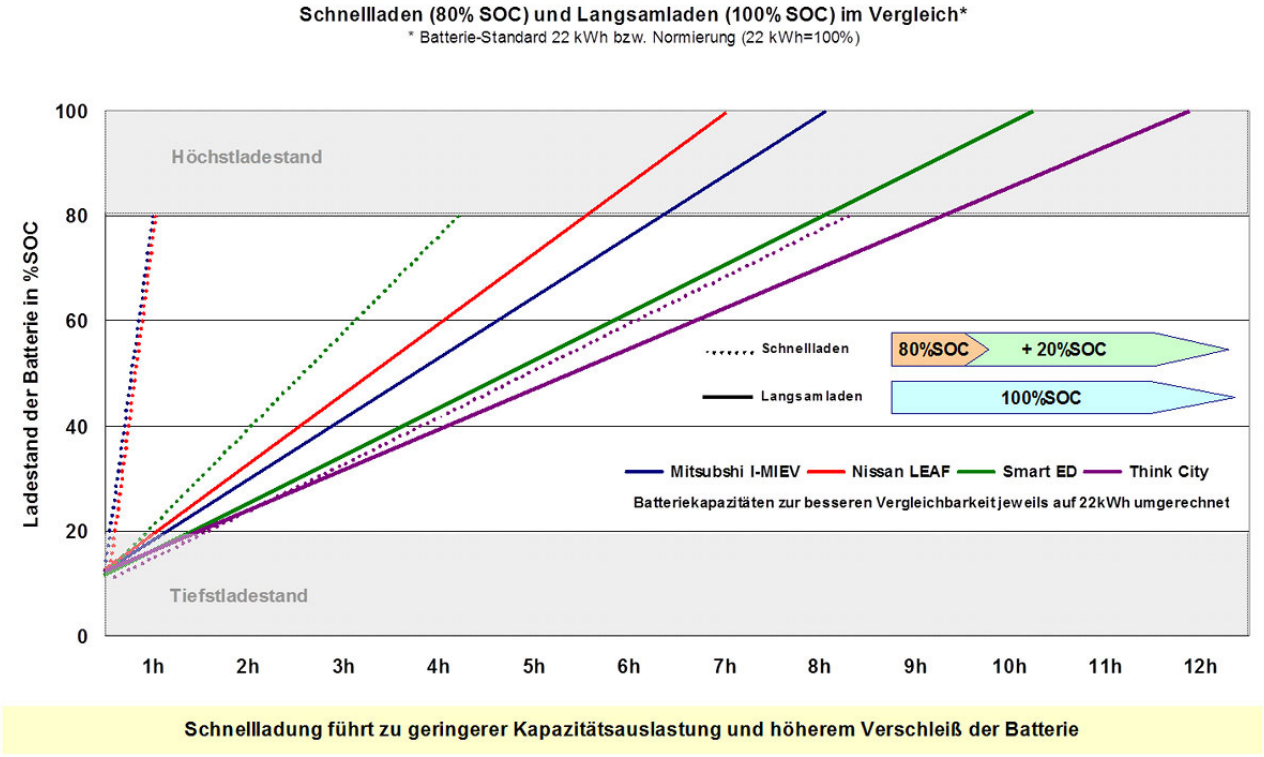
Seit dem Verkaufsstart des Erfolgsmodells vor 10 Monaten seien nur knapp ein Dutzend Fälle bekannt geworden, in denen ein Nissan Leaf wegen Strommangels ungewollt gestreikt habe [278] - bei insgesamt 7.500 Leaf-Fahrzeugen auf amerikanischen Straßen.

Eine Verbraucherbefragung des Instituts für sozial-ökologische Forschung, ISOE, in Frankfurt am Main ergab im Sommer 2011, dass selbst eine Erhöhung der Reichweite von 160 auf 300 km nur 6 % der Kleinwagenkäufer zum Elektroauto zusätzlich wechseln lassen würde und eine Reichweite von 500 km sogar nur 10 % [279].

Der Verbraucher hat also offenbar von seinem Reichweitenbedarf mittlerweile eine sehr viel genauere Vorstellung als die Gegner der Batterietraktion es gerne darstellen. Auch darin stimmen die Nissan- und die LA-Studie überein. Reichweitenverlängerer, darunter auch die Brennstoffzelle, erscheinen vor diesem Hintergrund in einem anderen Licht. Entsprechend darf man in diesem Kontext annehmen, dass der kundige Konsument – und somit der typischer Käufer in den ersten 10 Jahren der Elektromobilität – sehr schnell die Vorzüge des langsamen Ladens zuhause zu schätzen und zu nutzen weiß. Zuvorderst zu nennen sind die vielfältigen Kostenvorteile [280].

Gemäß den genannten Daten werden Lernprozesse auf Dauer dem Langsamladen – und somit auch dem resonanten Induktionsladen nach der deutschen Anwendungsregel – immer mehr Akzeptanz verschaffen, während umgekehrt das Verständnis für das Schnellladen zusammen mit dem akuten Bedarf sinkt.

3.2.2 Schnell laden erreicht niemals 100 % SOC bzw. erreicht 100 % niemals schnell - und ist niemals schnell genug



Tab. 26: Mit Schnellladen ist die Batterie zwar schnell geladen, aber immer nur zu 80 %: die letzten 20 % dauern etwa viermal länger, was den Zeitvorsprung gegenüber Langsamladen minimiert

Der schnellste Ladevorgang ist der, welcher überhaupt nicht stattfindet. Jede andere Art der Fahrtunterbrechung kommt ungelegen. Es kann gar nicht schnell genug gehen [281]. Nie. Das ergab auch eine jüngste Studie: Die Verbraucherbefragung des Instituts für sozial-ökologische Forschung, ISOE, in Frankfurt am Main ergab im Sommer 2011, dass selbst eine Verkürzung der Ladedauer von 7,5 Stunden auf 5 Minuten nur 7 % der Kleinwagenkäufer vom Plug-In-Hybrid zusätzlich zum Elektroauto wechseln lassen würde und sogar nur 2 % vom Verbrenner [282].

Offenbar lässt sich der Verbraucher von der Industrie einen Bedarf wie das Schnellladen nicht so leicht einreden. „Der Konsument ist nicht dumm. Er ist Ihre Ehefrau“, hat dazu schon in der Mitte des letzten Jahrhunderts Marketinglegende David Ogilvy doziert. Der frühe Elektrofahrzeugfahrer gehört zu einer Verbraucherkategorie (gebildet, höheres Einkommen, aufgeschlossen, gut informiert), die sehr gut untersucht ist.

Diese Käuferschicht lässt sich offenbar nicht vormachen, dass Batterietraktionsfahrzeuge eine ähnlich teure Tankstelleninfrastruktur brauchen sollen wie Brennstoffzellenfahrzeuge oder die

bisherigen Verbrenner. Die potentiellen Elektrofahrzeugfahrer der ersten Generation haben sich der Studie zufolge alle schon klar gemacht, was Elektrofahrzeuge auszeichnet: Nämlich dass sie eben keine Tanksäulen, keine Sonderfahrten zur Tankstelle und kein gesondertes Tanken erfordern. Höchstens eben kurz einstecken beim Parken. Oder eben einfach nur Parken?

3.2.2.1 Was beim Schnellladen in der Batterie vorgeht – und warum es selbst bei idealer Zellchemie immer nur die zweitbeste Ladevariante für die Batterie sein kann

Bei einer Schnellladung wird in einer kurzen Zeit mit hohen Stromdichten geladen, aber der Zeitvorteil gegenüber der Langsamladung wird auf Kosten einer nicht vollständig aufgeladenen Batterie und einer sehr hohen Beanspruchung des Energiespeichers realisiert. Vergleichsweise geringen Ladezeiten – meistens zwischen ca. 30 Minuten und 1 Stunde für 80 % SOC - stehen eine um 20 % verminderte Fahrstrommenge bzw. Reichweite, ein um 10 % reduzierter Batterierestwert 283 und viermal höhere Strompreise 284 gegenüber. Alles jeweils mindestens.

Je schneller Zellen geladen werden, desto weniger Elektrizität und chemische Energie nehmen sie auf. Durch die hohen Stromstärken kommt es beim Laden zu steigenden Innenwiderständen in den Zellen und in deren Folge zu einer starken Wärmeentwicklung. Der erhöhte Widerstand beschleunigt wiederum die Erhitzung 285. Die beim Starkstromladen entstehende thermische Energie löst die Entstehung von Dendriten aus, die irreversibel sind, weil sie die Poren der Elektroden verschließen und damit deren Funktionalität mindern.

Eine Schnellladung wird bei Erreichen eines Füllstandes von 80 % der Kapazität automatisch abgebrochen, um die Batterie vor der Gefahr einer Überhitzung zu schützen 286, was bedeutet, dass eine schnelle Vollladung auf 100 % Kapazität überhaupt nicht möglich ist.

Daher wird versucht, das Schnellladen in einem unkritischen Bereich zu betreiben. Dieser liegt meist im Fenster zwischen 20 % und 80 % der maximal möglichen Batterieladung. Allerdings ist dann mit einem Hub von 60 % nur noch etwas mehr als die halbe Kapazität nutzbar 287.

Das Schnellladen als separat notwendiger Tankvorgang lohnt sich kaufmännisch aber für den Tankstellenbetreiber und den Fahrer erst, wenn eine Größenordnung von 50 % der Kapazität getankt wird. Für 10 bis 20 % rentiert sich der ganze Aufwand dagegen gar nicht. Genau diese kleinen Zwischenladungen aber sind die batteriefreundlichsten 288.

Sie werden vom kabellosen Laden als Zwischendurch-Gelegenheitsladung prinzipbedingt gefördert, vom Schnellladen umgekehrt genau so systemisch verhindert. Daher ist die hohe Ladetiefe neben der hohen Ladeleistung die zweite Komponente des Schnellladens mit potentiell batterieschädigender Wirkung.

Regelmäßige Vollzyklen (ab ca. 60 % Ladetiefe) reduzieren die Speicherkapazität und verkürzen bei den meisten Zellchemien die Lebensdauer, die sich derzeit über 1.500 bis 3.000 Vollzyklen erstreckt, was einer Gesamtfahrleistung von etwa 150.000 Kilometern bzw. einer Haltbarkeit von etwa acht Kalenderjahren entspricht 289.

Selbst wenn es Zellen gibt, die weniger unter hoher Ladetiefe und –leistung leiden, so werden sie sich kaum als flächendeckender Standard etablieren. Dagegen spricht, dass

- diese Eigenschaften in den anderen Batteriemärkten (stationäre Speicher, Mobilgeräte) nicht gefragt sind und ohne branchenübergreifende Cross-Selling-Effekte die maximale Stückzahl bzw. Kostenreduktion nicht erreicht werden kann
- selbst wenn es keine Batterieprobleme gäbe, dann immer noch die Netze, vor allem im Ausland, schon heute am Limit sind
- selbst wenn die Batterieprobleme beherrschbar wären, dies nicht ohne Mehrkosten erreicht werden kann, z. B. wegen dem Kühlbedarf
- Schnellladefähigkeit tendenziell nicht nur die Fahrzeugbatterie, sondern auch die Infrastruktur teurer macht
- Geschäftsmodelle für schnelle Ladesäulen noch weniger tragen als für einfache 290
- schon heute dreimal mehr Batterieentwicklungsprojekte auf Energiedichte als auf Leistungsdichte fokussieren, s. o. Tabelle

Die thermische und chemische Beanspruchung des Speichers durch die Schnellladung beschleunigt nicht nur den Verschleiß 291, sondern verschlechtert auch den Ladewirkungsgrad, das heißt das Verhältnis zwischen dem aus dem Netz entnommenen Strom und der anschließend tatsächlich in der Batterie vorhandenen Energie 292.

Der Wirkungsgrad ist bei Chademo mit 90 % spezifiziert. In der Praxis dürfte sich dieser Wert als ambitioniert erweisen. Immerhin müssen die beim Schnellladen anfallenden, hohen Wärmemengen in der Batterie durch erhebliche aktive Kühlleistung abgeführt werden. Diese Kühlung kann dann zwar eine unzulässige Überhitzung der Batterie verhindern, aber eben nicht die gleichzeitig entsprechend hohen Ladeverluste.

Aus diesem Grund ist Schnellladen auch weniger verträglich mit hohen Umgebungstemperaturen 293. Diese erhöhen den Kühlaufwand zusätzlich. Letztendlich sind alle Batteriealterungserscheinungen eine unmittelbare Folge der Erwärmung und nur mittelbar der hohen Ladeleistung.

Daher wirkt sich auch die Rekuperation, also die Bremsenergierückgewinnung, trotz hoher Rückspeiseleistung in der Regel nicht so schädlich aus. Die hohen Rekuperierladeströme, die der Motor dabei in die Batterie zurückspeist, treten typischerweise nur für wenige Sekunden auf. Dabei erwärmt sich die Batterie kaum. Ohne Erwärmung wiederum steigt auch ihr Innenwiderstand nicht an.

Selbst mit großer Kühlleistung lässt sich diese Spirale von mehr Wärme und Widerstand nur für wenige Minuten dämpfen. Dann muss zwingend der Strom heruntergefahren werden. Dies geschieht über die Ladekennlinie in der Steuerung des Ladegerätes. Der Ladevorgang ist nur solange sicher wie Steuerung und verschiedene Notaus-Einrichtungen funktionieren. Daher kann er auch nicht als eigensicher bezeichnet werden.

Daher ist Schnellladen mit Blick auf ökonomische und ökologische Aspekte der Batterie nur in Ausnahmefällen vertretbar 294. Hinzu kommt der Reichweitenverlust durch die Begrenzung auf 80 % SOC. Bei einer typischen Reichweitenangabe von 160 km im Datenblatt des Elektrofahrzeuges bedeutet das dann effektive 130 km im Alltagsbetrieb mit Schnellladen. Daher wird diskutiert, entsprechend mehr Batteriekapazität in das Fahrzeug zu packen. Ein weiteres Beispiel für die Kostentreibereffekte des Schnellladens 295.

3.2.2.2 Das Chademo Paradoxon: Das Schnellladen ist ein Erfolg - solange es nicht stattfindet

Diese Zusammenhänge rund um Batterieerwärmung und –innenwiderstand beschreibt auch schon der Erfinder von Chademo, Takafumi Anegawa, bei seinen ersten Versuchsberichten aus 2008 ganz genau. Ihm waren die Degradationseffekte durch die Batterieerwärmung sehr wohl bewusst. Daher betont er auch so ausdrücklich, dass die von ihm mitten auf dem Fuhrparkhof von TEPCO aufgestellte Schnellladestation überhaupt nicht zu häufigeren Schnellladevorgängen geführt hatte. Die Elektrofahrzeuge wurden aber dennoch intensiver genutzt, dabei jedoch wie zuvor über Nacht an ihren Parkplätzen langsam geladen 296.

Eigentlich paradox. Offenbar hatten die TEPCO-Mitarbeiter schon damals entsprechende Anweisungen oder sie haben von sich aus darauf geachtet, die Batterielebensdauer nicht ohne Not zu verkürzen. Es gibt aber noch eine andere Erklärung für dieses Chademo-Paradoxon und auch dafür liefert Anegawa in seinem Bericht ausführliche Anhaltspunkte: Der Mensch ist einfach bequem. Auch der Mitarbeiter in Japan.

Anegawa beschreibt, dass eine vor seinem Versuch bereits bestehende Schnellladestation überhaupt nicht frequentiert wurde, u. a. weil sie auf der anderen Seite des Bürogebäudes, also etwas weiter weg vom Parkplatz, installiert war. Offenbar war dieser kleine Umweg schon zu viel. Eher hat man die Fahrzeuge nach der Frühschicht auf ihren regulären Parkplätzen – in einem einzigen Vorgang – gleichzeitig geparkt und langsam geladen. Und ist am Nachmittag sicherheitshalber mit Verbrennern auf die Tour gegangen.

Anegawa beschreibt aber nicht nur die Bequemlichkeit des Menschen. Er weist auch deutlich auf die mangelnde Sichtbarkeit der ersten Ladestation hin. Nach dem Motto „aus den Augen, aus dem Sinn“ hat die abgelegene Ladesäule die gefühlte Reichweite der Fahrzeuge nicht erhöhen können. Sie wurden in der Regel bei über 50 % SOC wieder angehängt und für den Rest des Tages nicht mehr benutzt.

Ganz anders die zweite Ladestation, deutlich sichtbar mitten auf dem Parkplatz: Diese optische Präsenz hat die gefühlte Reichweite für die Mitarbeiter deutlich erhöht. Die Fahrzeuge wurden auch am Nachmittag genutzt und erst am Abend geladen. Jetzt durchweg bei einem SOC unter 50 %. Das Gefühl „gut zu wissen, dass man könnte“ hat das Nutzerverhalten geändert. Offenbar ungestützt, also ohne Anweisungen des Unternehmens. Anegawa spricht von einem „psychologischen Effekt“.

Warum ist dieser Versuch so bedeutsam? Nicht nur, weil auf Basis dieser einzigen, sehr kleinen Erprobung eine weltweite Ladeinfrastruktur mit Milliardeninvestitionen aufgebaut wird. Immerhin hat allein Nissan über 100 Staatsverträge auf Basis des Pakets „Leaf + Chademo“ abgeschlossen – und damit zumindest in der Anfangssphase den Batterieentwicklungsrückstand gegenüber Toyota ausgeglichen. Nicht nur, weil nun weltweit die Berater unisono den Stadtvätern die deutlich exponierte Installation von Schnellladestationen empfehlen.

Wohlgemerkt: Das alles aufgrund eines Mini-Feldtests, der ansonsten keinem Markt- und Verhaltensforscher eine ausreichende Grundgesamtheit dargestellt hätte - weder hinsichtlich der Anzahl der Installationen und Mitarbeiter, noch hinsichtlich des Aufstellortes im halböffentlichen Bereich, noch hinsichtlich der zeitlichen Ausdehnung. Das alles bedeutet eine erhebliche

Verzerrungsgefahr. Vielleicht haben die Mitarbeiter in japanischem Corps-Geist die zweite Ladesäuleninstallation auch als einen Wink mit dem Zaunpfahl seitens der Unternehmensleitung verstanden?

Als wichtigste, dauerhafte Erkenntnis aus dem Anegawa Versuch bleibt dennoch das Chademo-Paradoxon. Denn dieses war in der Versuchsplanung keineswegs so vorgesehen, sondern eine echte Überraschung von historischer Bedeutung. Immerhin wurde – tatsächlich - auch die zweite Ladesäule nicht genutzt. Die Mitarbeiter haben sie buchstäblich links liegen lassen. Hochglanzinstallation oder Wink mit dem Zaunpfahl hin oder her.

Offenbar war auch dieser kleinste Umweg immer noch zu lang, ebenso wie die kurze Wartezeit. Man hat weiterhin und hinsichtlich des Ladeorts unverändert da geladen, wo man ohnehin parkt. Der Mensch hat eben eine sehr ausgeprägte Sensorik für vermeidbare Arbeitsvorgänge: Einmal, statt zweimal anhalten ist ein Unterschied. Einmal, statt zweimal aussteigen ist ein Unterschied.

Daher bestätigt der Anegawa-Versuch paradoxerweise eben gerade nicht die Marktfähigkeit vom Schnellladen, sondern eben genau umgekehrt die vom Langsamladen. Diese Schlussfolgerung ist – in der westlichen Hemisphäre - durchaus noch nicht weit verbreitet. Die japanischen Autobauer hingegen haben den Zusammenhang von Anfang an genau verfolgt, verstanden und bis hin zu ihrer Produkthaftung und den Kundenbriefings alles darauf ausgelegt wie im folgenden Kapitel anhand einiger Beispiele belegt wird.

3.2.2.3 In der Praxis entscheidet das Kleingedruckte: Schnellladen ganz ohne Hype

Dem neutralen Beobachter gegenüber zeigen sich Batterie- und Fahrzeughersteller in der Diskussion um das schnelle und langsame Laden bzw. um das Voll- und Teillladen höchst uneins und vertreten gegensätzliche Auffassungen. Einerseits bekräftigen Produzenten wie Johnson Controls, SB-LiMotive, Nissan, Mitsubishi, GM, Ford 297 oder Toyota die Beobachtung, dass eine Schnellladung bzw. Vollladung Batteriezellen schneller altern lässt, andere wie Subaru, Toshiba, KIT, IBM der BYD versuchen aber auch, den Gegenbeweis anzutreten.

Stellvertretend für einen vorherrschenden Meinungstrend in der Branche bestätigt Johnson Controls eine explizit höhere Lebensdauer von Batterien bei häufigeren, kleineren Ladevorgängen. Wie Dr. Uwe Köhler, Director Global Product Safety & Reliability bei Johnson Controls-Saft bekräftigt, "können Batterien durch häufiges Schnellladen wegen der Wärmeentwicklung, die damit verbunden ist, schneller altern. Man sollte nicht zu häufig und mit zu hohen Ladungen schnell laden. Alle Zellchemien degradieren bei Schnellladung mit Starkstrom (400 V), wobei nickelbasierte Zellchemien die längste, Lithium-Eisenphosphat- und Lithium-Metall-Oxyd-Kombinationen die geringste Lebensdauer entwickeln“ 298 - eine Auffassung der sich auch Dr. Ing. Joachim Fetzer, Executive Vice President SB Li-Motive (Samsung-Bosch) uneingeschränkt anschließt 299.

Dagegen ist für Dr. Andreas Gutsch, Competence E Koordinator am Karlsruhe Institute of Technologie (KIT) eine Vollladung auf 100 % kein Problem, sofern eine qualitativ hochwertige „ordentliche Zelle“, z.B. eine von Li-Tec, eingebaut wird 300.

Dipl. Ing. Gerhard Baum, Vice President Automotive Industry Europe bei IBM, ist davon überzeugt, dass der Ladehub ohnehin einen viel stärkeren Einfluss auf die Degradation ausübt, als

ab und zu schnell laden [301]. Nach Aussagen von Jens Ziniel, Abteilung Research & Development beim Wind- und Solarenergieprojektierer Juwi, "altert die Zelle nahe an 100 % oder an 0 % Ladezustand schneller, das ist richtig. Aber wenn man das Fahrzeug zeitnah wieder (lädt oder) entlädt ist es nicht so schlimm [302]".

Nach Aussagen von Dr. Detlev Repenning, geschäftsführender Gesellschafter beim Batteriehersteller OMT, lassen sich Batterien auf Basis von Lithium-Titanat und Lithium-Eisenphosphat schnell laden, ohne dass die Lebenserwartung darunter massiv leidet. Strenggenommen sei die Zyklenfestigkeit bei Schnellladung immer geringer als beim Langsamladen, aber bei den genannten Zellchemien bleibe sie immer noch im akzeptablen Bereich [303].

Als einer der ersten Autobauer gesteht Nissan nach entsprechenden Erfahrungen mit seinem Erfolgsmodell LEAF in den USA weniger Batterielebensdauer bzw. -restwert durch das Schnellladen ein. So empfiehlt der Hersteller seinen US-Kunden, Kapazitäts- und Laufzeitverluste von rund 10 % einzukalkulieren, wenn die Fahrzeuge vermehrt mit 480 Volt (US-Level3) statt mit 220 Volt (US-Level2) geladen werden [304].

Der US-Autobauer GM hegt so starke Vorbehalte gegenüber der Schnellladung, dass er seine Modellreihe Chevrolet Volt gar nicht erst mit einem Anschluss für das Schnellladen ausgestattet hat. Dem Problem einer vorzeitigen Ermüdung versucht der Produzent außerdem mit dem (mehr oder weniger originellen) Konzept zu begegnen, die Fahrzeuge mit einer stillen Reservebatteriekapazität zu bestücken. Das Batteriemanagement soll jeweils nur Teile der Batterie nacheinander freischalten bzw. stilllegen, um dem Nutzer eine längere Lebensdauer bzw. uneingeschränkte Reichweite erlebbar zu machen. Ein solches Over-Sizing steigert die Mehrkosten gegenüber einem konventionellen Benzinfahrzeug, die jetzt schon erheblich sind [305].

Eine gegenüber dem Schnellladen ähnlich konsequente Einstellung vertritt der weltweit größte Fahrzeugbauer Toyota. Eigenen Aussagen zufolge will der Hersteller für seine ersten beiden Elektroautos, die sich derzeit in der Pipeline befinden, zumindest für die USA schon gar kein Schnellladen mehr anbieten. So sollen die gemeinsam mit Tesla entwickelte Elektroversion des Geländefahrzeugs RAV4 SUV und das batteriegetriebene Stadtfahrzeug Scion iQ ledlich mit Anschlüssen für Level 2- und Level 1-Ladevorrichtungen ausgerüstet werden [306].

Auch die im Sommer dieses Jahres gemeldete Aufstockung des Engagements von Toyota beim Elektromobilpionier Tesla kann als Votum für das Langsamladen gewertet werden [307]. Auch wenn der "Sonderweg", nicht schnellladefähige, wohl aber um rund 30 % preiswertere Konsumerzellen zu verbauen, seine dauerhafte Massenmarktfähigkeit erst noch beweisen muss.

Dagegen zeigt sich der chinesische Autobauer BYD nach einem Anfang dieses Jahres abgeschlossenen Großversuch mit Elektroautos aus eigener Produktion davon überzeugt, das Schnellladen seinen Batterien offenbar nicht schadet [308]. Ob der Flottenversuch in der Großstadt Shenzen mit seinen immerhin fast 3 Millionen zurücklegten Erfahrungskilometern als nachhaltiges Argument für das Schnellladen herangezogen werden kann, muss die Zukunft erweisen.

Denn noch gibt es keine überzeugende Antwort auf die Frage, ob Schnellladen möglicherweise dann sinnvoll sein kann, wenn unter den Bedingungen eines eng definierten Einsatzzweckes (wie

z.B. der Betrieb von Taxis) die zu erwartenden betriebswirtschaftlichen Vorteile eine höhere Beanspruchung und damit eine schnellere Alterung der Batterie rechtfertigen.

Eine öffentliche Schnellladesäule regelt nach Erreichen eines Ladestands von 80 % SOC den Stromzufluss ab, weil die Batterie sonst zu heiß wird, weil das Fahrzeug die Ladevorrichtung nicht über Gebühr gegenüber anderen Kunden blockieren soll und der Ladesäulenbetreiber „richtig" Geld nur mit der Bereitstellung von Starkstrom verdient.

Während für die Energiewirtschaft beim Public Charging vor allem das Leistungsspektrum zwischen 11KW und 22 KW geschäftlich attraktiv ist, macht Home Charging nach Einschätzung des VDE nur unter der Bedingung des Langsamladens, das heißt, nur bei einer Leistungsbegrenzung der Steckdose auf maximal 3,7 KW, Sinn 309.

Während die Ladedauer für eine Schnellladung (80 % SOC) bzw. für eine Langsamladung (100 % SOC) für fast jedes erhältliche Elektrofahrzeug bekannt sind, schuldet die Branche noch Auskünfte darüber, wie lange jeweils eine Nach- bzw. Restladung (20 % SOC) nach einer vorherigen Schnelladung dauert.

Wie Steffen Kümmel vom Technology Monitoring bei IAV GmbH sagt, dauere es etwa 30 Minuten eine Batterie zwischen 20 % und 80 % voll zu laden, der Rest aber dauere 2 Stunden oder länger, da man dann nur noch mit geringen Strömen laden könne. Da das Schnellladen eigentlich nur in einem kleinen Teilhub der Batteriekapazität möglich sei, mache es wenig Sinn, sie damit auf 100 % vollzuladen 310.

Ein Grund für das bis auf Ausnahmen wie oben beharrliche Schweigen von Herstellern und Anbietern mag die Vermutung sein, dass ein solches Nach- oder Restladen – in den eigenen vier Wänden praktiziert – ein in der Regel Vielfaches der Zeit einer vorangegangenen Schnellladung erfordert und dabei höhere Energiekosten provoziert.

So lädt der Leaf in einer Stunde auf 80 %, aber in rund sechs Stunden langsam auf 100 %. Bei kombiniertem Schnell- und Langsamladen kommt er auf überschlägige 4 Stunden. Diese Zeitspanne für 100 % rückt schon sehr nahe an die für das Langsamladen heran. Das rechtfertigt kaum je die höheren Kosten für Schnelllade-Wallbox, Schnellladestrom und Batterierestwertminderung.

Dem Nutzer, der sein Fahrzeug, wie die meisten Studien bewiesen haben, in der Regel über Nacht auflädt, werden diese Zusammenhänge mutmaßlich erst dann deutlich werden, wenn er sich mit einer dauerhaft höheren Stromrechnung, einem höheren Batterieverschleiß und periodischen Versorgungsengpässen konfrontiert sieht. Seine Enttäuschung, das heißt schneller sterbende Batterien und Netzstabilitätsprobleme, könnte sowohl Elektrofahrzeuge als auch die Elektrofahrzeuge insgesamt in Verruf bringen.

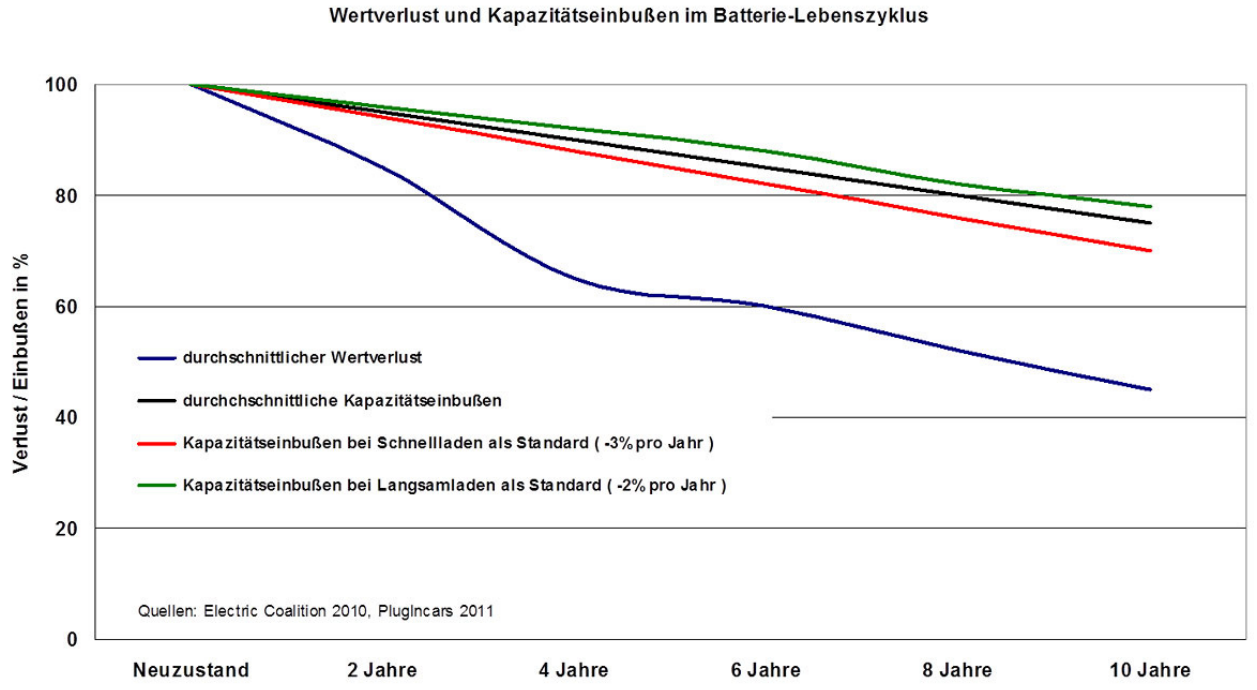
Auch bei nur wenigen Präzedenzfällen dürfte es außerordentlich schwer werden und Jahre dauern, den entstandenen Imageschaden wieder zu reparieren. Vor allem wenn er bemerkt, dass er für seine scheinbar preiswerte Bequemlichkeit in Wahrheit einen unverhältnismäßigen Preis gezahlt hat .

Auch wenn der Hersteller Chademo mit seinem Bestand an über 100 Vertragspartnern und Lizenznehmern bereits einen weltweiten Quasi-Standard 311 gesetzt hat, ist seine Schnellladetechnologie gegenüber dem Langsamladen darüber hinaus nicht entscheidend im Vorteil, weil sie ferner nur einen Wirkungsgrad von 90 % erreicht.

Eine einseitige Fokussierung auf das Schnellladen stellt auch das von Audi, BMW, Daimler, Porsche und Volkswagen gemeinsam mit Ford und General Motors entwickelte universelle Ladesystem Combined Charging System in Frage, das erstmals auf dem 15. Internationalen VDI-Kongress „Elektronik im Kraft-fahrzeug" vorgestellt wurde.

Wenn in Zukunft nur noch eine einzige Ladeschnittstelle am Fahrzeug ausreicht 312, also der Kunde die Batterie des Fahrzeugs auf verschiedene Weise jeweils nach gerade vorhandener Ladevorrichtung befüllen kann, er dafür aber immer das schwerste und starrste Kabel mit dem schwersten und größten Stecker verwenden muss, dann stellt sich die Frage: Wird durch diesen Umstand nicht das konduktive Laden insgesamt belastet? Kann angesichts solcher Beschwerlichkeiten das Schnellladen noch als komfortabel empfunden werden? Wird dadurch nicht erst der kabellosen Alternative der Weg geebnet, sich als das eigentliche Standard-Laden zu etablieren?

3.2.3 Batteriefreundlich laden bringt nach 10 Jahren mindestens 10 % mehr Restkapazität und -wert



Tab. 27: Auf dem Gebrauchtwagenmarkt spricht man von checkheftgepflegten Garagenautos, auf dem Second-Life-Batteriemarkt wird man von langsam geladenen Garagenbatterien sprechen

Weil entsprechende Erfahrungen fehlen und ausreichendes statistisches Zahlenmaterial nicht vorliegt, kann der Einfluss des Schnellladens auf die Batterie größtenteils noch nicht abschließend

bewertet werden [313]. Der Mangel an genauer Kenntnis über das Langzeitverhalten der neuartigen Fahrzeugbatterien macht es schwer, in die Zukunft gerichtete Vermutungen über die vom Hersteller garantierten Eigenschaften von Elektrofahrzeugen anzustellen [314].

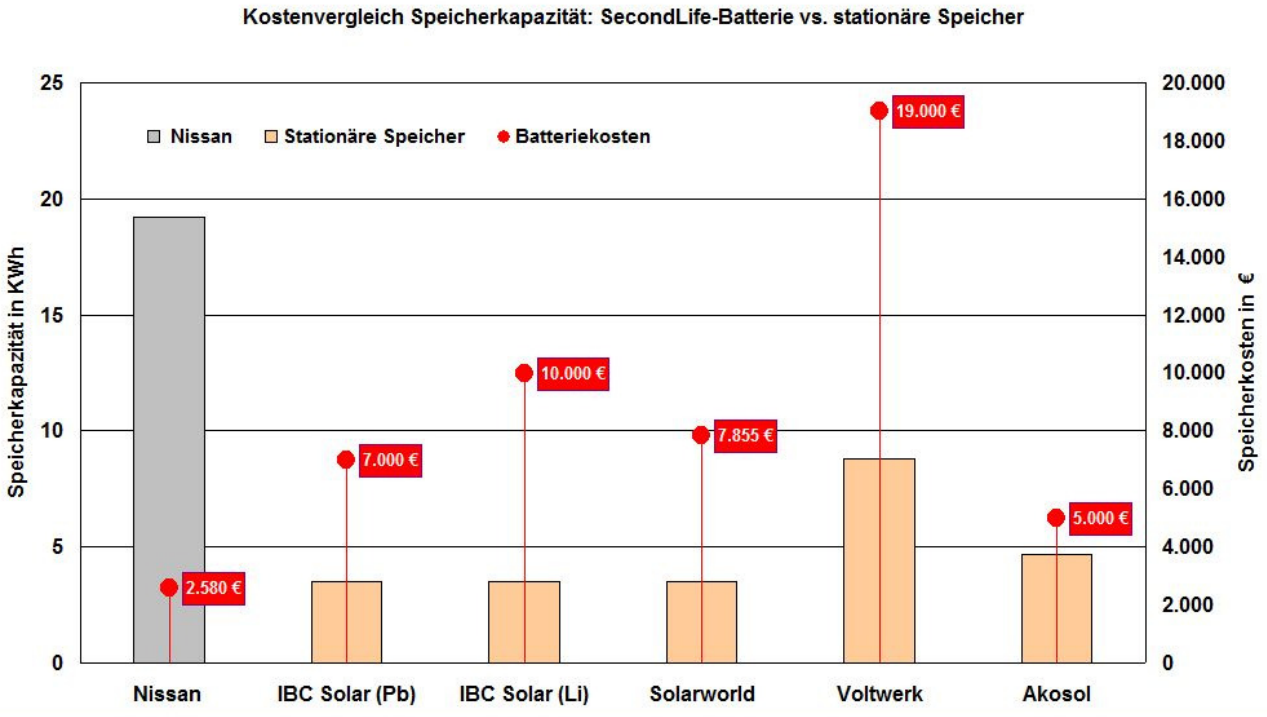
Einen immerhin ersten Anhaltspunkt liefert die auf der US-Diskussionsplattform Plugincars veröffentlichte Modellannahme, welche die Verluste bei permanentem Schnellladen auf jährlich 3 % der Batteriekapazität, das heißt auf eine Restkapazität von 70 % nach 10 Jahren, beziffert [315]. Werde dagegen über den gleichen Zeitraum durchgängig langsam geladen, reduzierten sich die Verluste auf jährlich 2 % beziehungsweise und auf 20 % (Restkapazität 80 %) insgesamt.

Demnach würde sich permanentes Schnellladen also nur mit einer um 10 % geringeren Kapazität auswirken. In Ermangelung von Langzeiterfahrungen stellt sich die Frage nach der Plausibilität dieser Aussage. In diesem Zusammenhang sollte die zunächst plakative Aussage von Mitsubishi, wonach die Batterie täglich ohne Schaden schnell geladen werden kann, als Indikator herangezogen werden.

Auf Nachfrage hat Bryan Arnett, verantwortlich für die Elektrofahrzeugstrategie von Mitsubishi in den USA, dann nämlich eingeschränkt, dass Mitsubishi bei dieser Behauptung selbstverständlich davon ausgehe, das Fahrzeug würde nachts vollgeladen werden und bräuchte tagsüber höchstens eine kleine Zwischenladung. Nur dieses „Topping Up“ um wenige Prozent in wenigen Minuten schadet also nicht, selbst wenn man es täglich praktiziert: "It would be bad if the battery were to be quick-charged every time".

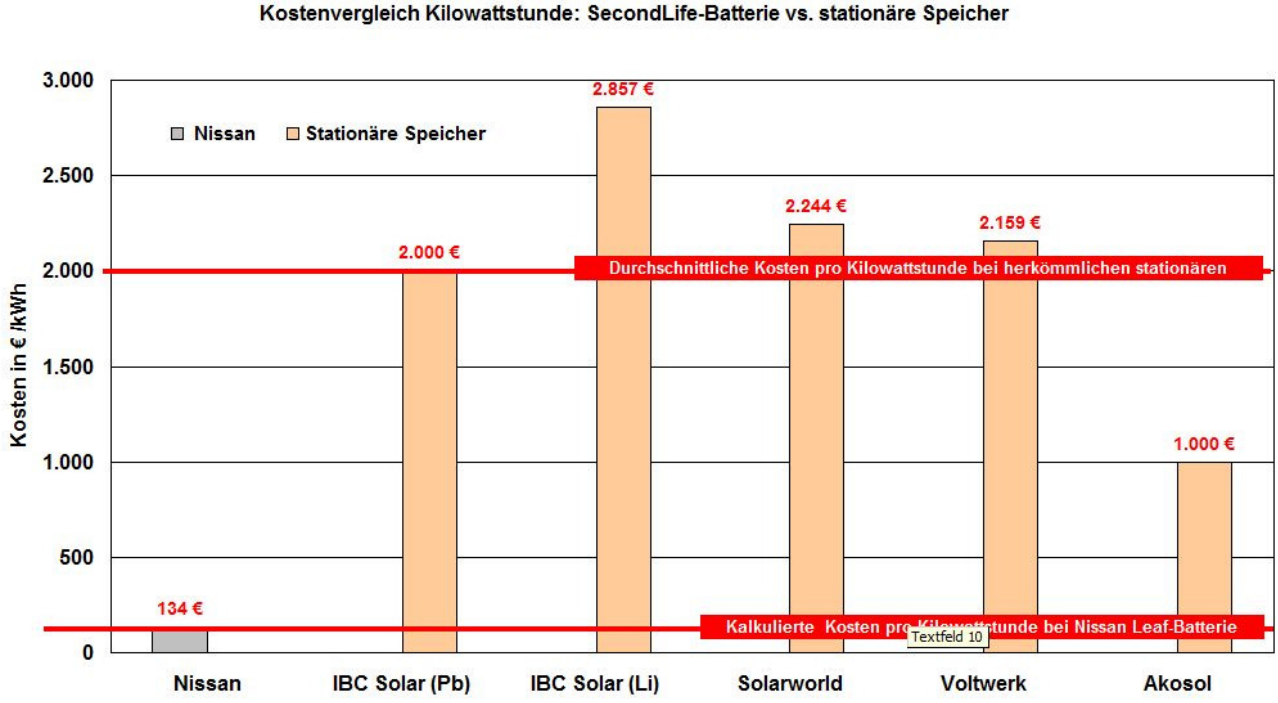
Ansonsten machte die amerikanische Blogosphäre anlässlich der Mitusbishi-Verlautbarung sehr wohl deutlich, dass gerade auch Nissan ausdrücklich von regelmäßigem Schnellladen abrät. So sehen die Versprechungen zum Schnellladen dann in der Praxis aus [316]. Ansonsten betreibt Mitsubishi mittlerweile beim i-MiEV eine ähnlich restriktive Informationspolitik wie bei der hauseigenen Produktgruppe der Atomkraftwerke: Verbindliche Unterlagen wie die Bedienungsanleitung sind über das Internet nur gegen vorherige Preisgabe der persönlichen Daten und gegen Bezahlung zu bekommen. Dazu empfiehlt Mitsubishi dann auch gleich ein Jahresabonnement für 300 Euro [317].

3.2.4 Das Zweitleben der Batterie ist ihr eigentliches Leben: Je höher der Restwert, desto geringer die Leasingrate im Fahrzeug



Eine Leaf-Batterie im Second Life bringt immer noch viermal mehr Kapazität als derzeit übliche stationäre Speicher

Tab. 28: Nissan, Toyota und Mitsubishi sind in Japan längst in den Smart Home-Markt eingestiegen: Die Autobatterie bringt 5 mal mehr Kapazität bei einem bei 50 bis 14 % der Wettbewerbspreise



Second-Life-Batterien steigern preisgünstig den Eigenverbrauch des Stroms vom Solardach und die PV-Rendite

Abb. 47: Mit Second Life Batterien ließe sich der Eigenanteil von PV-Strom entscheidend erhöhen: der von Nissan darstellbare Zielpreis liegt um Faktor 10 bis 20 unter heutigen Speicherpreisen (KM)

Wenn es demnach also offenbar möglich ist, die Laufzeit und die Leistungsfähigkeit der Fahrzeugbatterie durch das eigene Verhalten günstig zu beeinflussen, dann wird ein entsprechend batteriefreundliches Verhalten auch belohnt. Akkus noch lange über ihren Einsatz in Kraftfahrzeugen hinaus der Energiespeicherung dienen, wenn sie im Fahrzeug schonend geladen werden. Aber eben nur dann.

Dieser Zusammenhang bleibt für die Akzeptanz der Elektromobilität nicht ohne Konsequenzen. Es geht nicht nur um die Kosten von Flottenbetreibern und Endverbrauchen. Der CO2-Fußabdruck einer Batterie verhält sich grundsätzlich umgekehrt proportional zu ihrer Lebensdauer. Angesichts ihrer rohstoff- und energieintensiven Herstellung wird dieser Zusammenhang noch näher zu betrachten sein, sobald konkrete Zahlen vorliegen.

So beruht zum Beispiel das Geschäftsmodell Second Life auf der Kalkulation, dass Batterien im Moment ihres Eintritts in das „Gebrauchtstadium“ nach 8 bis 10 Jahren Einsatzzeit zwar etwa 50 % ihres finanziellen Neuwertes verloren haben, aber noch über etwa 80 % ihrer ursprünglichen Lade- und Entladekapazität verfügen. Bei Schnellladen wären dies wie oben dargestellt nur noch 70 %. Das klingt zunächst harmlos.

Aus Sicht der Leasinggeber sieht die Rechnung aber anders aus: In Bezug auf den nominellen Restwert der Batterie von 50 % bedeutet ein tatsächlich höherer Sachwert von 70 oder 80 % einen Zugewinn von 30 oder 60 % (plus 20 % entspricht 30 % von 50 %, plus 30 % entspricht 60 % von 50 %). Das sind die Kalkulationen, die am Ende über Märkte entscheiden. Nicht solche wie „80 % in 30 Minuten“.

Während der finanzielle Wertverlust also schon innerhalb weniger Jahre eine Größenordnung von 50 % und mehr erreichen kann, halten sich die Kapazitätseinbußen in Grenzen 318. Mit anderen Worten: Die Zweitverwertung der höheren Restkapazität eröffnet Chancen, den finanziellen Verlust aus dem geringeren Restwert zu minimieren. Insbesondere wenn die Batterie schonend behandelt, das heißt überwiegend langsam geladen wird.

Was wiederum bedeutet, dass die Akkus noch viele Jahre, nach Einschätzung von ABB und GM sogar bis zu 15 Jahre 319, als stationäre Speicher ihren Dienst versehen können – bei hervorragenden Margen sogar zu einem Bruchteil der Preise, die Produzenten konventioneller stationärer Speicher hierfür bisher verlangen.

Werden Batterien wie zum Beispiel bei Renault-Nissan 320 oder wie demnächst auch bei Daimler Benz 321 nicht in Einheit mit dem gesamten Fahrzeug verkauft, sondern mit Rücknahmegarantie nur für einen bestimmten Zeitraum vermietet, entbindet dies nicht nur den Kunden von einer finanziell schwer zu tragenden Last, sondern vermindert auch das Risiko für den Händler.

Sofern entsprechend gut erhalten, muss der nur wenige Jahre gebrauchte Akku nicht stereotyp dem Recyling zugeführt werden, sondern kann wiederverkauft, also zweitverwertet werden. Beispielhafte Modellrechnung von Kiefermedia für den Second Life Geschäftsplan des Nissan LEAF:

Batterie Kapazität 80 % von neu (kWh)	19,2
Batterie Neupreis im Fahrzeug	5.030,40 €
Neupreis pro kWh in Euro im Leaf	262
Monatliche Leasingrate	80 €
Branchenübliche Leasinglaufzeit	36
Leasingaufkommen in 3 Jahren	2.880 €
Kalkulatorischer Restwert	2.150,40 €
Kalkulatorischer Zielgewinn (+ 20 %)	430,08 €
Neupreis Batterie SecondLife	2.580,48 €
Preis pro kWh gemäß Zielgewinn	134,40 €

Tab. 29: Mit komfortabel eingestelltem Zielpreis von 134 € / kWh kann Nissan den stationären Speichermarkt nach Belieben aufrollen oder im Second Life erheblich bessere Renditen erzielen als im Fahrzeugbau oder die Fahrzeugbatterie beliebig subventionieren

Damit liegt der Preis pro kWh, den Nissan gemäß dieser Beispielkalkulation profitabel ansetzen kann, um mehr als Faktor 10 unter den heute im stationären Speichermarkt üblichen. Daher sieht man in jüngeren Analystenpräsentationen von Nissan auch mehr Häuser als Autos. In Japan ist das alles nicht so weit hergeholt. Immerhin baut allein Toyota pro Jahr 5.000 Häuser. So wird aus der Batterietechnologie eine branchenübergreifende Querschnittstechnologie. Ohne diese Sicht auf das Gesamtbild entzieht sich das Engagement der japanischen Automobilhersteller für die Elektromobilität jeglicher industrieller Logik.

Weil sich Batterie- und/oder Fahrzeugherstellern jenseits bekannter Konzepte bei der Verwertung von ausgedienten Alt-Batterien zunehmend neue Geschäftsmodelle (z.B. Second Life) eröffnen werden, müssen Produzenten schon allein aus ureigensten Interessen heraus drauf drängen, eine schonende Behandlung ihrer Produkte, also eine lange Lebensdauer ihrer Batterien durch Langsamladen als Ladestandard, sicherzustellen.

So beschäftigen sich Nissan und Sumitomo schon seit Ende 2009 mit einer "Second-Life“-Sparte für gebrauchte Elektroautobatterien 322. Und der Autobauer GM hat gemeinsam mit dem Technologiekonzern ABB damit begonnen, Batterien für Elektrofahrzeuge auf ihre Tauglichkeit als stationäre Speicher zu testen 323. Prinzipiell ist gemäß den Geschäftsplänen der Joint Venture von Nissan-Sumitomo und GM-ABB die Batterie schon heute darauf ausgelegt, das Fahrzeugleben zu überdauern - ein Paradigmenwechsel für den Fahrzeugbau.

Die Energiespeicherung und –versorgung im Rahmen von Second Life gewinnt um so mehr Charme, je mehr man bedenkt, dass die Fahrzeugbatterien im Zuge der fortschreitenden Entwicklung der Batterietechnik unweigerlich immer energiehaltiger und zyklenfester, das heißt immer geeigneter für langjährige stationäre Anwendungen, werden. Insbesondere, wenn Hersteller künftig schon bei der Entwicklung, beim Design und bei der Herstellung von kompletten Batteriesätzen deren späteren Einsatz als stationäre Speicher konstruktiv berücksichtigen. Das wiederum kann nur auf das Langsamladen hinauslaufen.

3.3 Automatisches, nutzerfreundliches Laden

Abb. 48: Audi präsentiert kabelloses laden auf der IAA 2011 als Technologiehighligt (SEW)

Während sich derzeit weltweit etwa 100.000 [324] Erstanwender damit anfreunden, Stromkabel in ihr Elektroauto zu stecken, statt Zapfhähne in ihren Benziner, sind die Entwicklungsabteilungen der Automobilindustrie bereits einen Schritt weiter: Audi, Toyota, Mitsubishi, Nissan und andere Global Player treiben die Optimierung des kabellosen Ladens von Elektroautos mit großen Schritten voran.

Audi stellte das Wireless Charging 2011 erstmals auf der IAA in der Technik-Studie „Urban Concept“ vor, Daimler bei seiner Studie F 125. Für Michael Dick, Vorstand der Technischen Entwicklung bei der Audi AG, liegen die Vorzüge des induktiven Ladens auf der Hand: „Komfort, Verfügbarkeit und Automation [325].“

Für die Marktchancen einer Technologie ist auch die Wahrnehmung durch den Benutzer ausschlaggebend. Dieser erfährt kabelloses Laden aufgrund der Amortisationsmöglichkeit über automatische Systemdienstleistungen im Smart Grid und der kostendämpfenden Wirkung über den höheren Batterierestwert wie in den beiden vorigen Kapiteln beschrieben insgesamt nicht unbedingt als kostensteigernd. Entsprechende Geschäftsmodelle können ihm das Auto auch komplett stromkostenfrei „hinstellen“.

Neben der Kostensituation nimmt der Verbraucher den Bedienerkomfort und die gefühlte Sicherheit wahr. Der Bedienerkomfort ist immens und dürfte in einer Anfangsphase sogar gewisse Premiumaufschläge für das kabellose Laden am Markt durchsetzbar machen. Der Sicherheitsvorteil ist nur so lange rein gefühlt wie es keine Nachrichten zu Unfällen mit Kabel und

Stecker gibt. Falls es aber nur ein einziges Mal irgendwo auf der Welt zu einem schwerwiegenden Unfall mit dem konduktiven Laden kommt, steigt das Kabellosladen sofort in der Gunst der Verbraucher, völlig unabhängig davon wie gerechtfertigt das bei näherer Prüfung des Einzelfalls sein mag.

Angesichts dieses erheblichen Reputationsrisikos des Kabelladens kann es an sich schon als nicht nachhaltig eingestuft werden. Hierbei ist mit Nachhaltigkeit nicht die ökologische Sicht, sondern die des Risikomanagements gemeint. Das Risiko, dass ein einziger Unfall die gesamte konduktive Ladetechnik und damit die Elektrofahrzeuge insgesamt annähernd unverkäuflich macht, ist nicht von der Hand zu weisen. Eigentlich sind Automobilhersteller in Fragen des Riskmanagements sehr gut aufgestellt.

Konsumenten ebenso: Im Gegensatz nämlich zu vielen anderen Technologien, bei denen der Verbraucher Restrisiken notgedrungen mangels Alternativen in Kauf nimmt, gibt es zum Elektrofahrzeug auf absehbare Zeit noch sehr wohl Alternativen. Die einfachste wäre schon einmal die Kaufzurückhaltung.

3.3.1 Korrelation konduktiv – induktiv anhand Nutzerfreundlichkeit

Resonantes Induktionsladen in der eigensicheren, kostenminimierten Ausgestaltung der deutschen Anwendungsregel ist von Anfang an auf die Nutzerwahrnehmung ausgelegt. Sicherheit und Kostenminimierung wurden im deutschen Vorschlag für die internationale Normung z. B. durch den Verzicht auf bewegliche Teile und eine große Ladefläche ohne Überwachungsbedarf ausgeprägt. Ferner wurden strengste Kriterien hinsichtlich gesundheitlicher Unbedenklichkeit von magnetischen Feldern freiwillig herangezogen. Die gesamte Auslegung erlaubt Zielkosten, die im Massenmarkt auf keinen Fall über einer heimischen Wallbox mit Ladekabel liegen. Eher sogar darunter. Man hat den zahlenden Endkunden also von Anfang an fest im Blick gehabt.

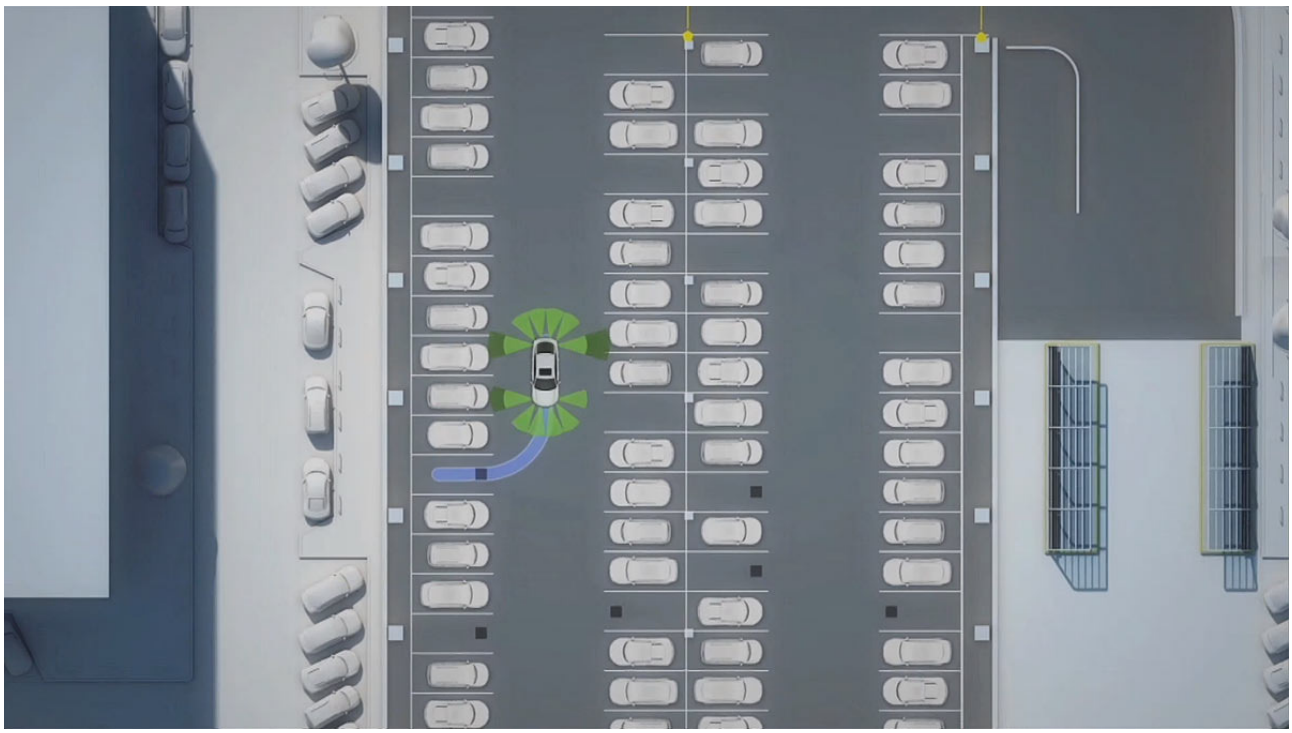


Abb. 49: Audi Vision von fahrerlosem Fahrzeug, das auf Parkdeck autonom auf freien Parkplatz fährt, präsentiert auf der IAA 2011: Auch eine Form der Nutzerfreundlichkeit (Audi PR)

Der Komfortaspekt gewinnt angesichts von Systemen für das fahrerlose Wegparken von Fahrzeugen erheblich an Bedeutung. Diese Lösungen wären sinnlos, wenn nach Beendigung des Parkvorganges wieder zum Auto gehen und das Ladekabel einstecken müsste [326]. Das Kabellosladen ist also auch eine Befähigungstechnologie für diese Assistenzfunktion und verleiht daher der Marktdurchdringung von Assistenzsystemen im Allgemeinen deutlich Vorschub. Das Wiederum erhöht die Wertschöpfung der Automobilhersteller.

Die Unsichtbarkeit des induktiven Ladens ist von einem ästhetischen Mehrwert gegenüber einer Ladesäule, der sehr wohl wahrnehmbar ist. Der Komfortgewinn durch das Weglassen von Bedienerschritten wird als extrem markenprägend erlebt.

Fahrerassistenz-Systeme werden immer gefragter, besonders in Westeuropa und den USA. Die Entwicklung geht immer mehr hin zum Auto-Piloten beim Pkw: General Motors arbeitet an selbst fahrenden Elektroautos. Und Volvo lässt seine Limousinen bereits im geregelten Kolonnenverkehr allein entscheiden [327].

Vielversprechend ist das autonome, d.h. fahrerlose Einparken, das besonders in Großstädten mit wenig Parkraum sinnvoll ist. Kooperationen wie die von Mitsubishi, IHI und Witricity sind Indikatoren dafür, wohin der Trend führen könnte: Eine urbane Parkinfrastruktur, in der der Nutzer dem Auto das lästige Parken & Laden komplett überlässt [328].

Wie der Marktführer für Park-Assistenten Valeo auf der IAA 2011 eindrucksvoll demonstriert hat [329], ist das Einparken ohne Insassen bereits heute technisch möglich. Gesteuert wird das Einparken bei Park4U® Remote via Smartphone. Bis Ende dieses Jahres wird Valeo 38 Modelle für etwa ein Dutzend Marken auf drei Kontinenten mit der halbautomatischen Variante dieses Systems ausrüsten [330].

In Japan [331] und im US-Staat Nevada ist fahrerloses Fahren bereits erlaubt, in manchen Staaten mit Einschränkungen: In Europa gibt es zur Marktdurchdringung lediglich ein Hindernis: eine gesetzliche Novellierung der Wiener Straßenverkehrskonvention. Dieser internationale Vertrag stammt aus dem Jahr 1968 und besagt, dass der Fahrer den Wagen «dauernd und unter allen Umständen zu kontrollieren» hat [332].

Mit der notwendigen politischen Gestaltungskraft können diese veralteten Bestimmungen den Notwendigkeiten und Möglichkeiten des Zeitalters der Elektromobilität angepasst werden. Das Beispiel zeigt einmal mehr, dass die Politik sehr viel für die Elektromobilität tun kann, ohne Bargeld auf die Motorhaube zu legen.

Die Sicherheit von fahrerlosem Parken wird vom Anlagenbau in der Intralogistik in tausenden von Fabrikhallen mit vergleichbaren Bewegungen von Flurtransportsystemen seit Ende der 80er des letzten Jahrhunderts bewiesen.

Folgerichtig aufgebaute Elektrofahrzeuge haben ihre DNA weniger aus dem klassischen Automobilbau als vielmehr aus der Farbrikautomation. Dort gibt es vollautomatische, fahrerlose Transportsysteme, die sich die Verkehrsfläche mit Fußgängern selbstorganisierend teilen – übrigens mittlerweile bevorzugt mit induktiver Energieversorgung. Dafür liegen die ersten Referenzen nun auch schon über 10 Jahre zurück.

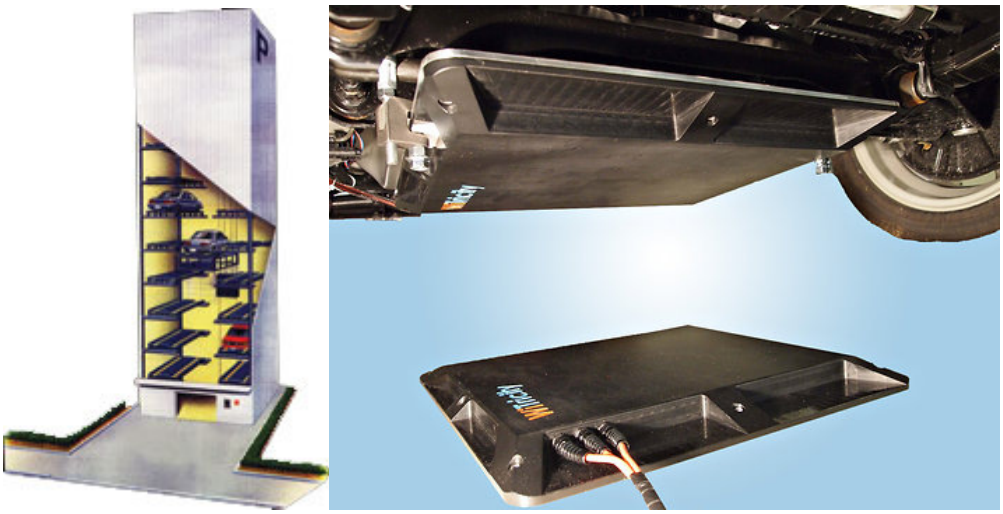


Abb. 50: IHI-Parkturm mit Transportbändern (li.), Witricity-Ladesystem [333]: Ein Auto an ein Parkregalsystem zu übergeben ist nur sinnvoll, wenn es dann nicht noch eingesteckt werden muss

3.3.2 Strukturkomponenten induktiver und konduktiver Systeme

Einer der wichtigsten Faktoren beim Kostenvergleich der beiden Ladetechnologien ist der Aufwand für die Herstellung der Systeme. Um diese vergleiche zu können, wurden die Grundstrukturen der Ladesysteme analysiert und die Komponenten entsprechend ihrer Funktionalität klassifiziert. Im nachfolgenden Schema sind diese Strukturen dargestellt.

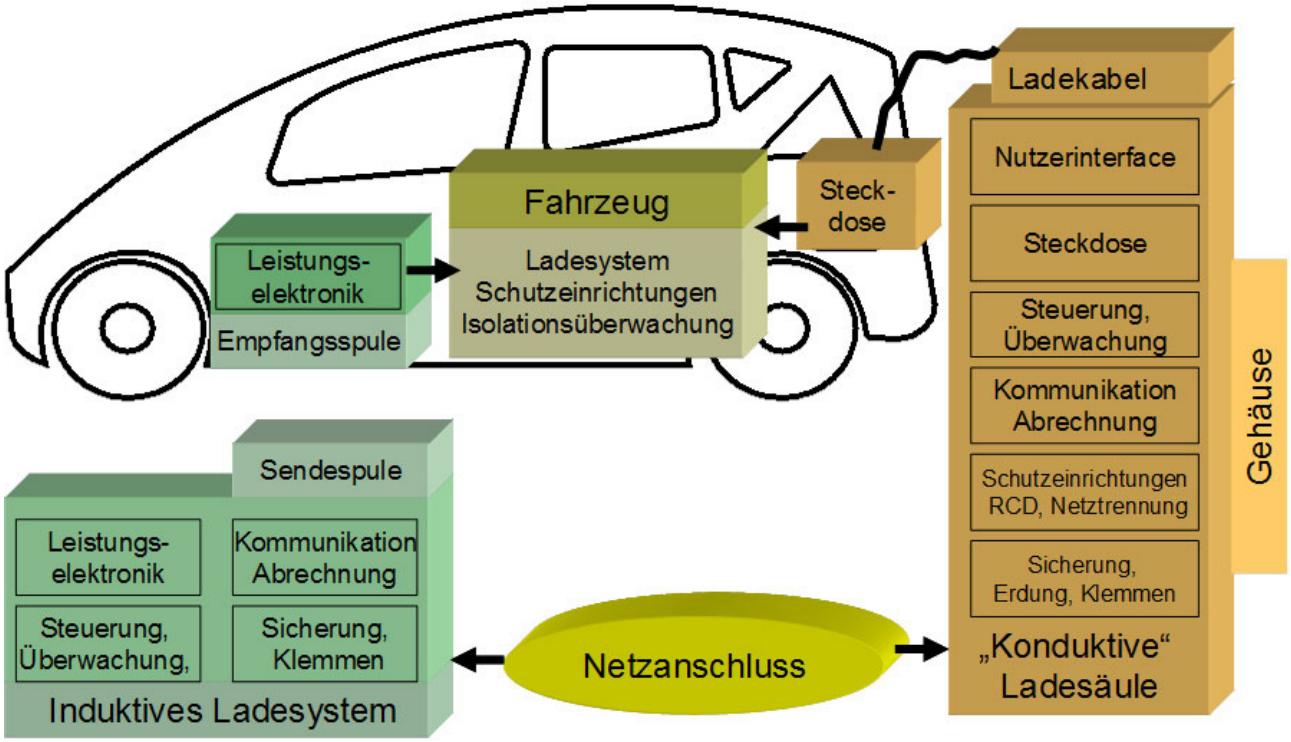


Abb. 51: Strukturkomponenten induktiver und konduktiver Systeme (ifak)

Beim Vergleich der beiden Technologien konnte festgestellt werden, dass die Anzahl der erforderlichen Komponenten in induktiven und konduktiven Systemen annähernd gleich ist.

Während konduktive Systeme typischerweise eine Zusammenfügung bekannter elektrotechnischer Komponenten in im Allgemeinen hochwertiges Gehäuse und somit ein geringes Kostensenkungspotential durch weitere Entwicklungsprozesse aufweisen, sind induktive Systeme kompakte leistungselektronische Komponenten und Spulensysteme in einem relativ einfachen Gehäuse (vgl. auch Abbildung Einzelkomponenten eines kabellosen Energieübertragungssystems).

Induktive Systeme können relativ leicht im Boden eingelassen werden und somit fast unsichtbar im Parkraum integriert werden. Auch besitzen sie noch ein relativ hohes Kostensenkungspotential durch weitere Entwicklungsprozesse, da die Technologie sich noch in der Anfangsphase ihrer Entwicklung befindet.

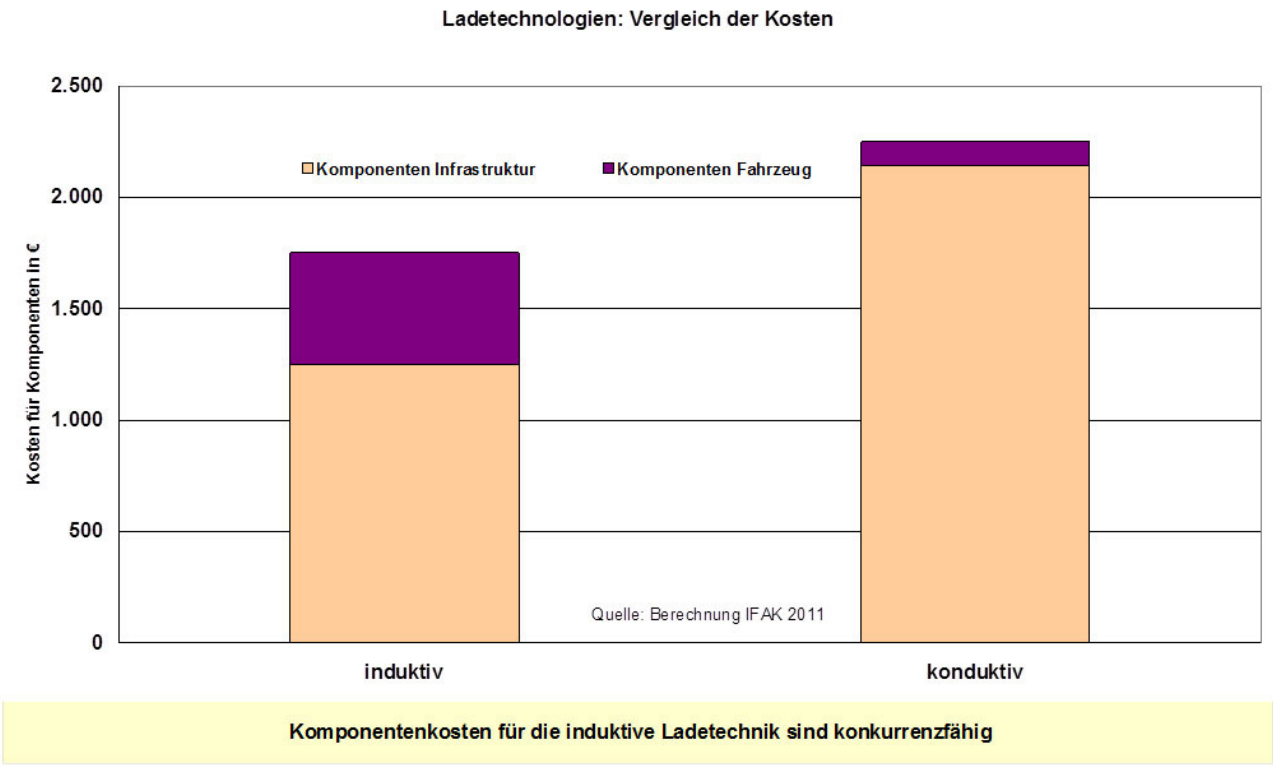
Beim nachfolgenden direkten Vergleich der Herstellungskosten wurden nur die Komponenten recherchiert und verglichen, die nicht in beiden Systemen vorhanden sind. Beispielsweise kann hier auf die typischen Netzanschlusskomponenten wie Zähler und Sicherung verzichtet werden. Dieser Ansatz wurde auch aufgrund geringer bzw. gar nicht vorhandener Daten, insbesondere für induktive Systeme gewählt. Der ursprünglich vorgesehene Analogieansatz aus industriellen Anwendung lässt sich hier nicht verwenden, da bisherige kontaktlose induktive Systeme nicht mit den Anforderungen eines Ladesystem vergleichbar sind.

3.3.2.1 Vergleich der Komponentenkosten

Als Preisbasis (Materialpreise) dienten zum einen typische Listenpreise der Elektrotechnik und Aussagen von Herstellern von Ladesäulen für die konduktiven Systeme und zum anderen Abschätzungen von Komponentenpreisen aus den bisherigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des ifak sowie Ergebnisse aus den durchgeführten Interviews.

	induktiv	Kosten	konduktiv	Kosten
Komponenten infrastruktur-seitig	primäre Leistungselektronik (Sendeseite)		RCD (FI Schutzschalter, fernsteuerbar)	400 €
	Sendespule (prototypisch 1500 €, in Serie 750 €)	750 €	Steckdose an Ladestation (inkl. elektromechanische Verriegelung)	110 €
			Isolationswächter	100 €
	Gehäuse	150 €	Steuerungs- und Überwachungsmodul	250 €
			Gehäuse (ca. 15-25% des Gesamtaufwandes, Durchschnittspreis: ca. 3000€/Ladesäule)	600 €
			Leistungsschütz	80 €
			Ladekabel (inkl. 2 x Stecker)	300 €
	Positionsbestimmung/-überwachung	200 €	Eingabesysteme/Bedienelemente	50 €
	Fahrzeugidentifikation	150 €	Ausgabesysteme/Visualisierung	250 €
fahrzeugseitig	Empfangsspule HF-Energiewandlung (prototypisch 1000 €, in Serie 500 €)	500 €	Steckdose am Fahrzeug	110 €
	Summe	1.750 €	Summe	2.250 €

Tab. 30: Auflistung der Komponentenkosten (ifak)



Tab. 31: Darstellung der Kostenunterschiede (ifak)

Die Auflistung der Preisunterschiede auf der Basis der aktuellen Daten und deren Auswertung lässt die Einschätzung zu, dass induktive Systeme schon jetzt preislich den konduktiven gleichgestellt sind und bei höheren Stückzahlen sogar günstiger sein können.

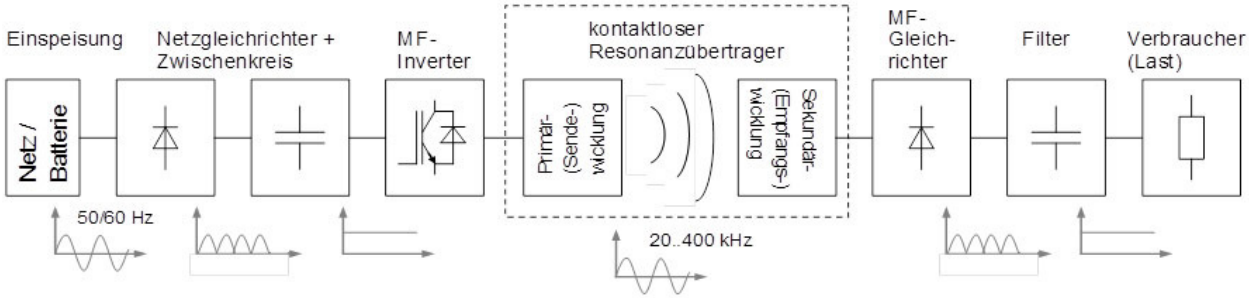


Abb. 52: Einzelkomponenten eines kabellosen Energieübertragungssystems (ifak)

Weitere für den Kostenvergleich zu berücksichtigende Aspekte sind:

- Der Bodeneinbau induktiver Systeme kann Kostenvorteile erzeugen (weniger Aufwand für Berührungsschutz, kein hochwertiges Gehäuse erforderlich …).
- Montageaufwand bei der Produktion von Ladesäulen ist bedingt durch die Verkabelung sehr hoch (Automatisierung schwierig)
- Der Kupferanteil kann in beiden Systemen als etwa gleich eingeschätzt werden. Das Gewicht der Spulen für induktive Systeme (als Vergleich diente ein 3,6 kW–Testsystem im ifak) beträgt ca. 1300 g. Ein in den Normentwürfen beschriebenes Ladekabel (5adrig 4-6 mm²) wiegt im Kupferanteil je Meter ca. 300 g und bei einer Länge von ca. 4m dann ca. 1200 g. Die erforderliche Verkabelung der Komponenten in der Ladesäule ist nicht berücksichtigt.

3.3.2.2 Wartungs- und Instandhaltungskosten

Im Vergleich der Wartungs- und Instandhaltungskosten erlaubt die derzeitige Datenlage keinen direkten Vergleich von Kosten. Zum einen gibt es noch keine induktiven Systeme in ausreichender Anzahl und zum anderen sind die Ergebnisse der ersten Feldversuche mit Elektrofahrzeugen und den entsprechenden konduktiven Systemen mit einem ausreichenden Zeithorizont zur Beurteilung dieser Frage noch nicht ausreichend.

In diesem Fall wurde versucht, mit Hilfe von Analogievergleichen aus der Industrie - Hersteller und Betreiber induktiver Energieübertragungssysteme - ausreichende Aussagen zu erhalten. Dazu wurden Interviews mit verschieden Unternehmen, wie z. B. Produzenten von kontaktlosen Transportsystemen, von Lösungen aus den Bereichen Medizintechnik, Verpackungsmaschinen, Luftfahrt und Haushaltgeräten sowie mit Anwendern und Instandhaltern von kontaktlosen induktiven Systemen aus dem Bereich der Automobilmontage (vgl. auch Anhang) durchgeführt und ausgewertet.

Dabei zeigte sich deutlich, dass der Aufwand für Wartung und Instandhaltung im industriellen Bereich bei induktiven Systemen deutlich geringer ausfällt als bei vergleichbaren konduktiven Systemen. So wenden industrielle Anwender zur Erreichung einer Systemverfügbarkeit von 99 % für induktive Systeme nur ein Drittel der Kosten für Wartung und Instandhaltung auf als bei konduktiven Systemen. Die bei Anschaffung entstehenden Mehrkosten sowie der wirkungsgradbedingte Mehrbedarf werden im Allgemeinen in den ersten beiden Betriebsjahren amortisiert.

Weitere ausgewählte Kernaussagen aus den Interviews waren:

- Der geringere Wirkungsgrad induktiver Systeme wird akzeptiert.
- Induktive Systeme ermöglichen eine Barrierefreiheit.
- Induktive Systeme kosten ca. 25 % mehr als vergleichbare konduktive Systeme
- Die Ausfälle durch Störungen und Wartung/Instandhaltung bei induktiven Systemen sind sehr gering.
- Es sind derzeit keine bekannten EMV-Einflüsse auf andere Anlagenteile bekannt.
- Induktive Systeme lassen sich deutlich einfacher zu montieren.
- Bei bodengeführten Systemen existieren keine Alternativen zu induktiven Systemen.

3.3.2.3 Zusammenfassung

Die im Rahmen der Projektarbeit erzielten Ergebnisse verdeutlichen im Vergleich zu konduktiven Ladetechnologien die grundsätzliche Konkurrenzfähigkeit induktiver Systeme. Im Bereich der Wartungs- und Instandhaltungskosten werden die Vorteile induktiver Systeme mehr als deutlich. Mit weitaus geringeren Kosten kann hier eine hohe Verfügbarkeit erreicht werden.

3.3.3 Verschleißfreies Laden mit geringeren Ausfallzeiten und Ersatzteilkosten

Ein entscheidender Faktor für die Akzeptanz einer Ladetechnologie ist der Aufwand für den Verschleiß an Systemkomponenten und der damit verbundenen Verfügbarkeit des Gesamtsystems. In der durchgeführten Analyse der jeweiligen Verschleißkomponenten basierend auf den Grundstrukturen der Technologien und der Auswertung der Interviews mit Anwendern und

Produzenten induktiver Energieübertragungssysteme im industriellen Bereich konnte festgestellt werden, dass die Hauptverschleißkomponenten bei konduktiven Systemen das Ladekabel und die Steckverbindungen sind.

Bei induktiven Systemen kann von einer prinzipbedingten Verschleißfreiheit ausgegangen werden. Dies konnte auch durch die Auswertung der mehrjährigen Erfahrungen von Betreibern induktiver Systemen, hauptsächlich im Automobilmontagebereich bestätigt werden.

Es ist zu erwarten, dass ein Ladekabel während der geplanten Lebensdauer eines Elektrofahrzeuges aufgrund von Verschleiß und möglichen mechanischen Schäden des Kabels und der Steckkontakte zur Sicherstellung der elektrischen Sicherheit bis zu mehrere Male erneuert werden muss und somit einen nicht unbedeutenden Kostenfaktor darstellen wird.

Ein weiterer wichtiger Kostenfaktor ist der Aufwand zur Prüfung der elektrischen Sicherheit.
Das regelmäßige Prüfen ortsfester und ortsveränderlicher elektrischer Anlagen und Betriebsmittel ist entsprechend der nach DIN VDE 0701-0702, 0100-600, 0105-100, der BGV A3 und der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) vorgeschrieben.

Eine konduktives Ladesystem setzt sich danach aus ortsfesten (Ladesäule) und ortsveränderlichen (Ladekabel) Betriebsmitteln zusammen. Bei induktiven Systemen sind nur ortsfeste Betriebsmittel (Primärteil der induktiven Ladestation) vorhanden.

Das Elektrofahrzeug, aus elektrischer Sicht ein ortsfestes Betriebsmittel, wird hier nicht weiter betrachtet, da es bei beiden Systemen vorhanden ist. In der Betrachtung der entstehenden zyklischen Prüfkosten beschränken sich diese für induktive Systeme auf die Kosten für zyklische Prüfung (4 Jahre) als ortsfeste Anlage. Die entstehenden Prüfkosten für konduktive Stationen umfassen:

- Kosten für zyklische Prüfung auf ordnungsgemäßen Zustand (4 Jahre) als ortsfeste Anlage
- Kosten für die zyklische Prüfung (typisch alle 6 Monate) auf einwandfreie Funktion durch Betätigen der Prüfeinrichtung des Fehlerstrom-Schutzschalters (RCD)
- Kosten für die zyklische Prüfung (unter den zu erwartenden Bedingungen – 1 Jahr) des Ladekabels (Anschlussleitungen mit Stecker) auf ordnungsgemäßen Zustand

Ein weiteres Verschleißpotential ergibt sich für konduktive Systeme, insbesondere für die Ladekabel, in Form von Bissschäden durch Nagetiere (hauptsächlich Marder). Für diese Schlussfolgerung wurde aufgrund der nicht vorhanden Datenlage für Schäden im Bereich der Elektrofahrzeuge Daten aus dem Bereich des klassischen Automobilbereiches herangezogen. Dabei wurde deutlich, dass die Schadenshöhen und die Anzahl der Schadensfälle bzw. Pannen nicht unerheblich sind (siehe auch Kapitel „Vandalismus durch Tiere“)
Auch im Bereich der Nutzung von offenen Kabeln für die Verteilung von Energie und Daten ist der Anteil der durch Nagetier verursachten Schäden erstaunlich hoch. So wurden 17 % der Netzausfälle 2011 bei der US-Telecom durch Nagetiere verursacht.

Diese Zahlen sind zwar nicht direkt auf den Anwendungsfall „Laden von Elektrofahrzeugen“ anwendbar, veranschaulichen aber sehr deutlich das Potential der konduktiven Technologie für Mehraufwendungen durch solche Schadensereignisse, welches für induktiven Technik nicht sichtbar ist.

Zusammenfassend ist in den betrachten Bereichen deutlich erkennbar, dass für die induktive Technologie deutliche Vorteile bezüglich Verschleiß und den damit verbunden Kosten bestehen. Es kann somit eine hohe Verfügbarkeit bei geringeren Kosten erzielt werden.

3.3.4 Kommunikation

Für die Steuerung, die Überwachung und auch für die Abrechnung des Ladevorganges bei Elektrofahrzeugen ist unabhängig von der Ladetechnologie eine Datenkommunikation erforderlich. Im Rahmen der Projektarbeit wurde hierzu der aktuelle Stand der Technik analysiert und bewertet. Weiterhin flossen die aktuellen Aktivitäten der Normungs- und Standarisierungsarbeiten auf diesem Gebiet mit in die Auswertung ein.

Bei konduktiven Ladetechnologien kann der erforderliche Datenaustausch über das Ladekabel erfolgen. Jedoch ist hier bisher kein Standard, der für eine hohe Akzeptanz und Verbreitung erforderlich ist, deutlich erkennbar. Alternativ bieten sich hier natürlich auch bekannte Wireless-Technologien, wie Bluetooth, WLAN usw. an. Hier bestehen klare Vorteile hinsichtlich der vorhandenen Standardisierung und des hohen Verbreitungsgrades. Von Nachteil ist aber hierbei die Möglichkeit der Manipulationen aufgrund der relativ hohen Reichweite und der bekannten offenen Protokolle. Die Realisierung eines sicheren Datenverkehrs erfordert hier entsprechende Aufwendungen.

Im Bereich der induktiven Systeme ist eine Umsetzung der Kommunikation über die Nutzung der kontaktlosen Übertragungstechnologie möglich. Sie basiert grundsätzlich auf dem gleichen Prinzip wie die Energieübertragung, aber mit Unterschieden bei der Ausführung der Wicklung für die Daten und der Nutzung einer höheren Frequenz, typischerweise im MHz-Bereich. Die bisherigen Ergebnisse der Tätigkeit des ifak auf diesem Gebiet lassen die Schlussfolgerungen zu, dass eine induktive Datenübertragung im Vergleich zu herkömmlichen Wireless-Technologien:

- eine relativ geringer Reichweite hat und damit eine hohe Manipulationssicherheit aufweist,
- aufgrund des technisch erforderlichen Resonanzbetriebes eine gute Störsicherheit und geringe Störabstrahlung besitzt
- sowie sehr robust unter rauen Umweltbedingungen funktioniert.

Diese Technologie kann aufgrund der Integrationsmöglichkeit in die Energieübertragungsstrecke kostentechnisch günstiger als kapazitive, optische, akustische oder Funklösungen sein. Einen weiteren Vorteil stellt die geringe Beeinflussung anderer gleichartiger Kommunikationsstrecken aufgrund der geringen Reichweite dar.

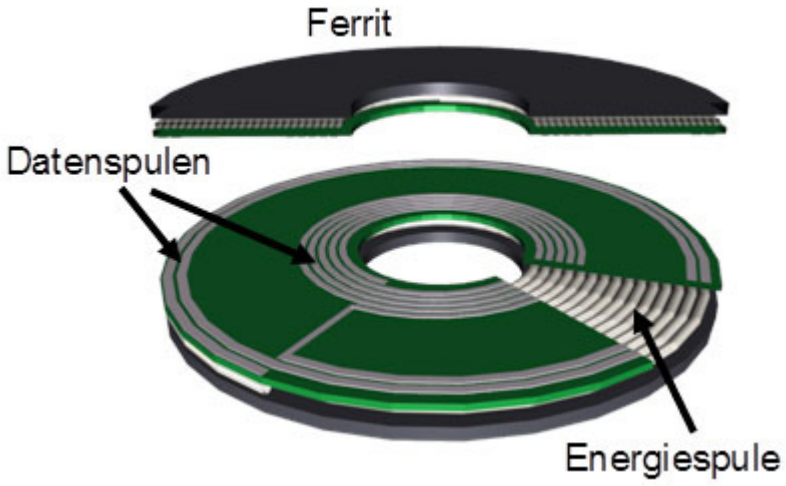


Abb. 53: Schematische Darstellung der kombinierten induktiven Energie- und Datenübertragung (ifak)

Aktuelle Arbeiten aus dem DKE AK 353.0.1 „Berührungsloses Laden von Elektrofahrzeugen“ zeigen, dass die auf einem ähnlichen Funktionsprinzip basierende Nahfeldkommunikation (Near Field Communication-NFC) für den Bereich der induktiven Ladetechnologien eine wahrscheinlich bessere technische Lösung darstellt.

NFC bietet neben einer geringen Reichweite als Technologien aus dem Standard IEEE 802.15.4 und ist im Vergleich hierzu abhörsicher, störsicher, erfordert weniger Schaltungsaufwand und ermöglicht Datenraten bis 10 MBit/s. Im Vergleich zur zuvor beschrieben induktiven Datenübertragung kann die NFC auf entsprechende Standards und somit auf eine bessere Verbreitungsmöglichkeit und Akzeptanz verweisen.

In der Zusammenfassung der Projektergebnisse wird deutlich, dass die erforderliche Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur gemäß der aktuellen Normungsaktivitäten und der in der Projektarbeit durchgeführten Recherchen voraussichtlich bei beiden Ladetechnologien auf der Basis bekannter Wireless-Lösungen erfolgen wird.

Dies begründet sich hauptsächlich in dem hohen Verbreitungsgrad der Technologien und auch den damit verbundenen Kostenvorteilen und weniger in technischen Vorteilen. Prinzipiell ist für eine zusätzliche Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladesäule bei induktiven Systemen das sehr störsichere NFC-System denkbar.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Bereich der Kommunikation keine deutlichen Unterschiede zwischen induktiven und konduktiven Systemen bestehen werden. Somit kann derzeit keine Wirkung diesen Untersuchungsbereiches auf die möglichen Betriebs- und Lebenszykluskosten dargestellt werden.

3.3.5 Wirkungsgraddifferenz

Als ein Teil der Betriebs- und Lebenszykluskosten kommt dem Energiekostenanteil beim Vergleich der beiden Ladetechnologien eine hohe Bedeutung zu. Insbesondere die induktive Technologie besitzt hier einen prinzipbedingten Nachteil. Die Verluste durch die verschiedenen Stufen der Energiewandlung und der nicht immer optimalen magnetischen Kopplung bewirken einen im Vergleich zum konduktiven System geringeren Wirkungsgrad.

In der Projektarbeit wurden die erreichbaren Wirkungsgrade der beiden Technologien recherchiert und an einem Szenarienbeispiel hinsichtlich der absoluten Energiekosten verglichen. Dieser Vergleich stellt eine Momentaufnahme der aktuellen Situation dar und kann aufgrund der Integration in das Modell den jeweiligen Änderungen der Datenlage angepasst werden.

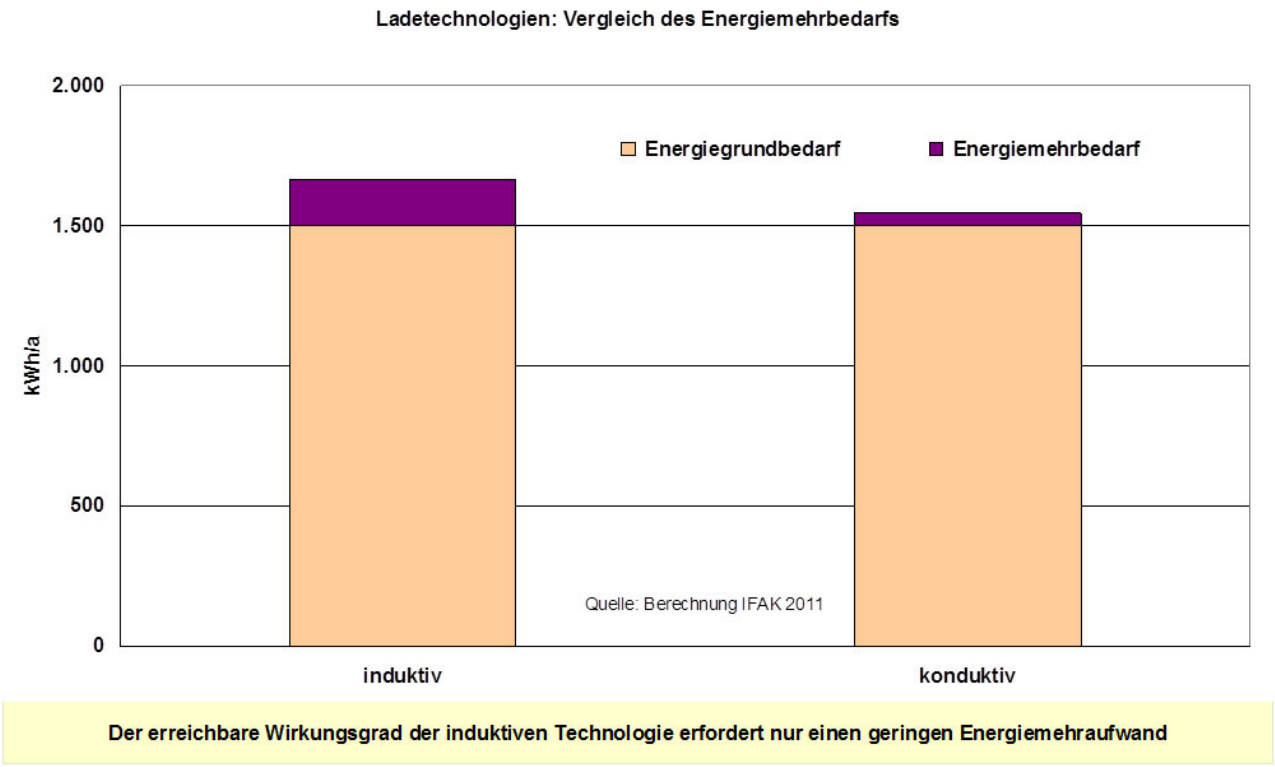
Der durchschnittliche Wirkungsgrad induktiver Systeme wurde anhand der aktuell verfügbaren Angaben der verschiedenen Anbieter, Forschungsvorhaben und vergleichbarer industrieller Systeme mit 90 % bestimmt. Der durchschnittliche Wirkungsgrad konduktiver Systeme wurde aufgrund der Verluste in der Energieführung in Ladesäule, im Ladekabel und an den Steckkontakten mit 97 % angenommen.

Die nachfolgende Berechnung des Energiemehrbedarfs der beiden Ladesysteme durch die verschiedenen Verluste erfolgte unter nachfolgenden Randbedingungen:

- typischer Energiebedarf eines Pendlerfahrzeuges von ca. 1500 kWh / Jahr
- Fahrleistung von ca. 7500 km
- aktueller Energiepreis: 0,23 €/kWh – (zeitliche Preissteigerung kann im Modell berücksichtigt werden)

Dabei ergibt sich ein Energiemehrbedarf für eine konduktive Station unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades von ca. 46 kWh/a. Bei einer induktiven Ladestation ergibt sich ein Mehrbedarf von ca. 166 kWh/a. Unter Berücksichtigung des aktuellen Strompreis bedeutet das für die induktiven Systeme einen finanziellen Mehraufwand von ca. 27 € im Jahr.

Zusammenfassend kann hier festgestellt werden, dass induktives Laden geringe Energiemehrkosten durch den prinzipbedingten verringerten Wirkungsgrad verursacht. In der gesamten Betrachtung der Vorteile der induktiven Technologie und unter Berücksichtigung des noch vorhandenen Entwicklungspotentials dieser Technik hinsichtlich des erreichbaren Wirkungsgrades kann dieser Nachteil durch schonendes Laden, der damit verbundenen Verlängerung der Batterielebensdauer und der Erhöhung des Batterierestwertes mehr als ausgeglichen werden.



Tab. 32: Vergleich des Energiemehrbedarfs im vorgestellten Szenario (ifak)

3.3.6 EMV/-EMF-Differenz

3.3.6.1 Elektromagnetische Verträglichkeit

Im Allgemeinen wird durch die elektromagnetische Verträglichkeit der Zustand beschrieben, bei dem sich technische Geräte nicht wechselseitig durch elektrische oder elektromagnetische Effekte störend beeinflussen. Prinzipiell wird hier zwischen der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) – dem störungsfreien Zusammenspiel der Geräte und Anlagen – und der Elektromagnetischen Verträglichkeit zur Umwelt (EMVU) bzw. elektromagnetische Felder (EMF) – der physiologischen Wirkung elektromagnetische Felder – unterschieden.

Während die EMV die Störemissionen und die Störfestigkeit der Geräte umfasst, werden in der EMVU die Wirkungen der elektromagnetischen Felder auf Organismen (Personenschutz) und Technik betrachtet. Die Beurteilung der Wirkung der elektromagnetischen Felder, die abhängig von Frequenz und Stärke des einwirkenden Feldes ist, nimmt in zunehmendem Maß an Bedeutung zu.

Die entsprechenden Grenzwerte in Abhängigkeit von der Expositionsdauer sind in verschiedenen nationalen und internationalen Richtlinien bzw. Normen festgelegt und unterliegen derzeit einer umfangreichen Diskussion. Somit kann es zu uneinheitlichen Grenzwertregelungen im der EU und weltweit kommen.

Zum Vergleich der beiden Technologien hinsichtlich der EMV/EMVU wurde sich auf das Gebiet der Störaussendung beschränkt. Die Fragestellungen der Störfestigkeit betreffen grundlegend beide Systeme gleichermaßen und werden bis auf eine Ausnahme hier nicht weiter betrachtet.

Untersucht wurden die Technologien hinsichtlich folgender Emissionen:

- Leitungsgeführte Störaussendung (netzseitige Komponenten)
- Leitungsgeführte Störaussendung (fahrzeugseitige Komponenten)
- Gestrahlte Störaussendung (netzseitige Komponenten)
- Gestrahlte Störaussendung (fahrzeugseitige Komponenten)
- Gestrahlte Störaussendung (magnetischer Übertrager)
- Emission niederfrequenter Magnetfelder und die Wirkung auf die Umwelt (EMVU)
- Emission niederfrequenter Magnetfelder und die Wirkung auf Geräte (EMVG)

Kontaktlose Übertragungssysteme bieten den Vorteil des Verzichts auf elektrische Schleifkontakte oder Steckverbindungen und können somit die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Energieversorgungsbaugruppen in vielen Anwendungsgebieten (z. B. im Maschinenbau, bei Fertigungsanlagen, bei Wechselwerkzeugen, in der Medizintechnik, in der Halbleiterindustrie, im Automobilbau oder im Haushalts- und Bürobereich) erhöhen.

Derartige kontaktlos induktive Übertragungssysteme bestehen zum einen aus dem (linearen oder rotatorischen) luftspaltbehafteten Übertrager und zum anderen aus leistungselektronischen Komponenten (vgl. nachfolgende Abbildung).

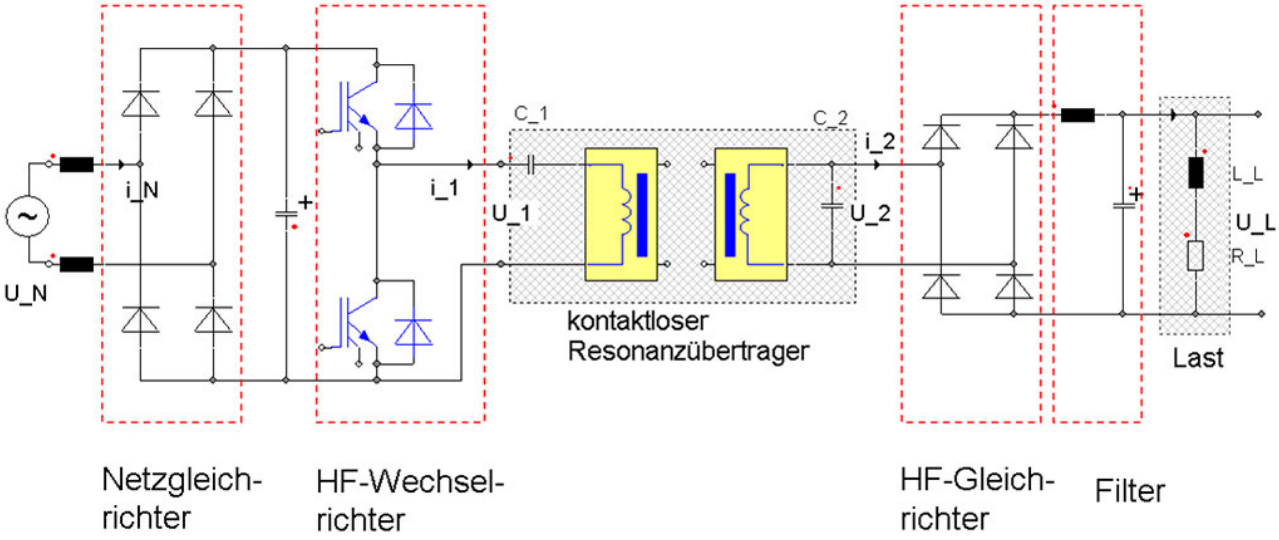


Abb. 54: Komponenten eines kontaktlosen Übertragungssystems (ifak)

Während der Entwicklung der Ladesysteme müssen applikationsspezifisch sowohl Aspekte der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) als auch der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit (EMVU) in Form gestrahlter und geleiteter Emissionen berücksichtigt werden. Eine wichtige Form der Störaussendung kontaktloser Energieübertragungssysteme stellt die leitungsgebundene Störemission der primärseitigen leistungselektronischen Komponenten dar.

Eine weitere Form der Störausbreitung luftspaltbehafteter Energieübertragungseinrichtungen stellt das magnetische Streufeld dar. Diese Art der gestrahlten Emission besitzt neben der technischen EMV auch Relevanz bezüglich der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit (EMVU).

Prinzipiell kann eingeschätzt werden, dass gestrahlte Emissionen wegen der hochfrequent schaltenden Leistungshalbleiter und einer möglichen ungeschirmter Zuleitung zwischen Einspeiseinverter und Sendespule höher ist als beim konduktiven Laden. Auch die leitungsgeführte Emissionen wegen der erforderlichen netzseitigen Einspeiseinverter mit den hohen Schaltfrequenzen sind höher als beim konduktiven Laden. Zu berücksichtigen ist aber auch, dass

eine induktive Anlage prinzipbedingt mit einem hohen Grundwellenanteil in der Energieübertragung geringe Störungen emittiert.

Diese beiden Effekte sind aber nach dem Stand der Technik, wie Netzfilter, Schirmungen usw., gut beherrschbar und erfordern im Allgemeinen einen nur geringen Mehraufwand bei der Entwicklung und der Herstellung. Es muss aber auch erwähnt werden, dass die beschrieben Emissionen auch im Bereich der konduktiven Systeme zu finden sind. Elektronische Komponenten in der Ladesäule und im Fahrzeug sind hierfür die Ursache und erfordern entsprechende Maßnahmen. Insbesondere das Ladekabel kann aufgrund seiner Länge eine entsprechende Antennenwirkung aufweisen.

Die Wirkungen des Magnetfeldes bei induktiven Systemen stellt für diese eine besondere Herausforderung im EMV-Bereich dar. Dabei muss zwischen dem Streufeld und dem Feld im Luftspalt unterschieden werden. Die Auswertung eigener Forschungsarbeiten im ifak und die Auswertung der Ergebnisse der aktuellen Forschungsprojekte zum induktiven Laden zeigen deutlich, dass durch eine optimale Auslegung der Spulensysteme und die Berücksichtigung der Anwendungsregel des DKE-AK 353.0.1

„Berührungsloses Laden von Elektrofahrzeugen“ es jederzeit möglich ist, die derzeitigen Grenzwerte einzuhalten. Berechnungen im genannten Arbeitskreis zeigen, dass unter anderem aufgrund des geringen Frequenzbereiches und der speziellen Antennengeometrie (Ringspulen) bei induktiven Übertragungsanordnungen nur mit ca. 10 µW Abstrahlungsleistung zu rechnen ist. Das ist ca. Faktor 10000 geringer als bei derzeit üblichen Mobilfunkeinrichtungen (Handy).

Die im Luftspalt auftretenden Magnetfelder sind prinzipbedingt deutlich höher als im Randbereich. Zum Schutz von Menschen und auch Tieren ist es erforderlich, entsprechende Schutzeinrichtung zur Erkennung der jeweiligen Situation und Abschaltung zu verwenden. Dieser dabei entstehende Mehraufwand ist durch die Einbindung bereits bestehender Sensorik im Fahrzeug (Einparkhilfe usw.) kompensierbar bzw. reduzierbar.

In der Auswertung der verschiedenen Interviews mit Betreibern und Verantwortlichen für die Wartung und Instandhaltung für kontaktlose Anlagen im Automobilbau konnte festgestellt werden, dass im Betrieb und in den Fragen der Wartung und Instandhaltung derzeit keine besonderen Problemfälle bei der EMV bekannt sind. Die Technologie kann kompatibel in industriellen Anlagen betrieben werden.

Aus Sicht des TÜV SÜD (Interview) sind konduktive und induktive Systeme als gleich sicher einzustufen. Es werden derzeit keine gesundheitsschädlichen Folgen durch Induktion erwartet. Ebenso wenig wie schädliche Wirkungen auf Fahrerassistenz-Systeme und Handys. Der Interviewpartner kommt zu der Einschätzung, dass die Systeme unter allen denkbaren Bedingungen sicher sind und nun zur Marktreife entwickelt werden können.

Trotz der Unbedenklichkeit verfügen die geprüften Systeme über ein Abschaltsystem, bei dem über Sensoren der Energiefluss unterbrochen wird, wenn beispielsweise ein Haustier zwischen Ladeplatte und Fahrzeug geraten sollte.

Weiterhin gehen die Hersteller (Befragung auf der IAA 2011) davon aus, dass bezüglich des Magnetfeldes, insbesondere im Luftspalt, es durch entsprechende Maßnahmen (Sensorik, Formgebung der Spule usw.) zu keiner Gefährdung kommt.

3.3.6.2 Aspekte der Störfestigkeit

Neben den Aspekten der Störaussendung müssen unter bestimmten Bedingungen Aspekte der Störfestigkeit von Elektrofahrzeuge berücksichtigt werden. Nach den bisherigen Recherchen werden typischerweise Elektrofahrzeuge und die konduktive Ladetechnik getrennt hinsichtlich der EMV-Konformität beurteilt. Aufgrund der Verbindung des E Fahrzeuges mit dem Netz (vgl. auch Niederspannungsrichtlinie, Richtlinie 2006/95/EG) während des Ladevorganges muss das Fahrzeug hinsichtlich seiner Wirkung auf das Netz und auf seine Festigkeit gegenüber Störungen aus dem Netz z.B. auf die Fahrzeugelektronik beurteilt werden.

Dieser gesamtheitliche Ansatz kann aufgrund der direkten galvanischen Verbindung bei konduktiven Systemen einen erhöhten Aufwand bei der Erreichung der Normwerte bedeuten. Die induktive Ladevariante ist hier insbesondere vorteilhaft, da netzseitige Störungen wegen nicht vorhandener galvanischer Trennung erschwert auf das Fahrzeugnetz propagieren können.

3.3.6.3 Zusammenfassung EMV

In der Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse des Vergleiches konduktiver und induktiver Systeme hinsichtlich der Elektromagnetischen Verträglichkeit ergibt sich:

- Beiden Ladetechnologien haben hinsichtlich EMV ihre spezifischen Herausforderungen. Keine Technologie zeigt herausragende Schwächen.
- Bei induktivem System bestehen Herausforderungen hinsichtlich höherer Störaussendung wegen der zusätzlichen Leistungselektronik.
- Bei konduktiven Systemen können diese in der höheren Störaussendung wegen dem als Antenne wirkendem Ladekabel zu finden sein.
- Bei induktivem System liegt ein beherrschbares Gefahrpotential im niederfrequenten Magnetfeld zwischen den Spulen. Die Einhaltung aller Grenzwerte neben dem Fahrzeug ist unproblematisch.

Aufgrund der aktuellen Fundlage kann ein Mehr- oder Minderaufwand für die Erreichung der EMV-Konformität nicht festgelegt werden. Auch aus den aktuellen Projekten zum induktiven Laden sind derzeit keine verwertbaren Aussagen erfassbar. Es ist aber zu erwarten, dass mit den ersten produktnahen Entwicklungsergebnissen entsprechende Aussagen vorliegen werden. Es gilt die allgemeine Einschätzung, dass induktive Systeme, mit entsprechenden Schutz- und Überwachungsfunktionen versehen, einen sicheren Betrieb gewährleisten.

3.3.7 Laden ohne Berührkontakt: Hinsichtlich Berührschutz eigensicheres Laden

Ein Auszug aus der Nissan Leaf Bedienungsanleitung macht deutlich, um was es geht:
"... Make sure there is no water or foreign materials in the charge port, charge connector or electrical plug, and that they are not damaged or affected by rust or corrosion. If any of these conditions are noticeable, do not charge the Li-ion battery. This may result in a short circuit or electric shock and could cause a fire which may result in serious personal injury or death.
...

To avoid serious personal injury or death when the Li-ion battery is charging, be aware of the following precautions: - Do not touch the metal contacts of the charge port, charge connector or electrical plug.

...

Do not plug in or unplug the plug with wet hands and do not stand in water, liquid or snow. This may cause an electric shock which may result in serious personal injury or death

...

If the charge port is frozen, melt the ice using a hair drier.

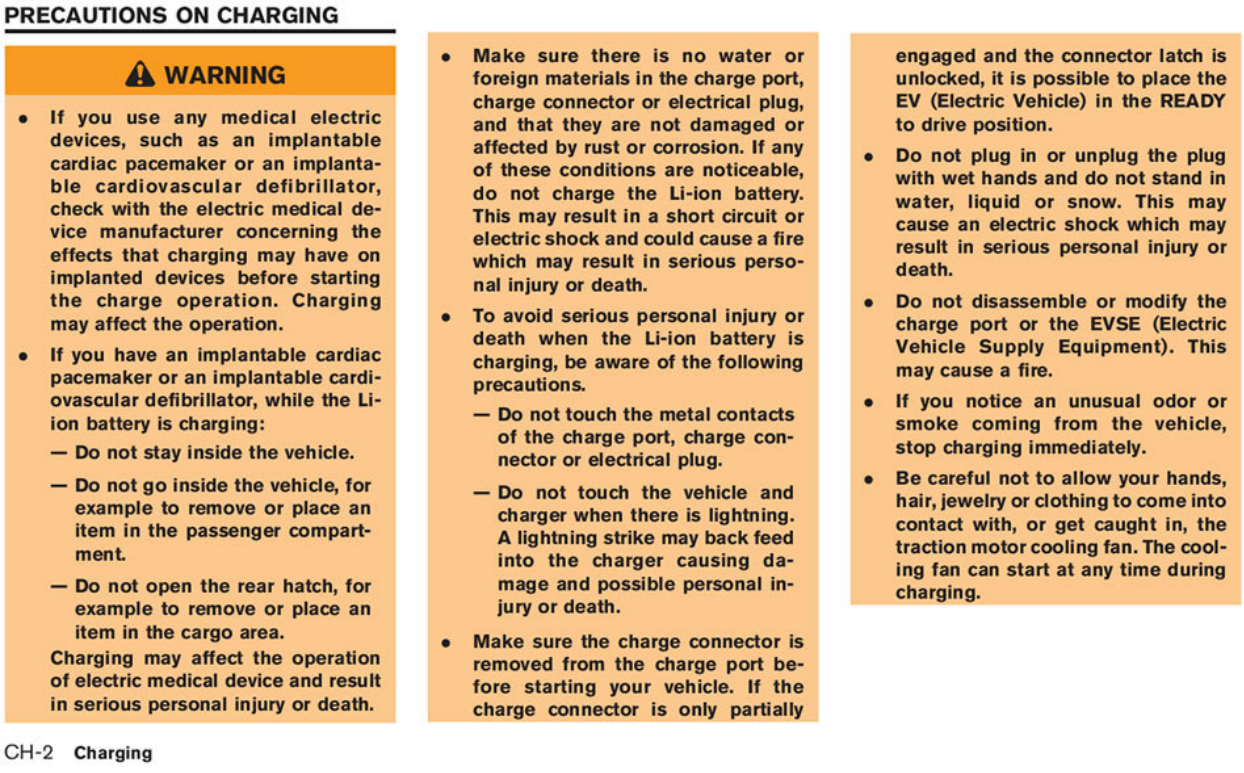
...

There is a hole on the charge port for water drainage. If the water drainage hole becomes blocked, or if water gets trapped inside the charge port, do not charge.

...

If the electrical socket generates an abnormal amount of heat, this may cause a fire. ...”

Nissan Leaf USA, Bedienungsanleitung, „2011 Leaf Owner´s Manual“, S. 50 ff
http://www.nissan-techinfo.com/refgh0v/og/leaf/2011-nissan-leaf.pdf
(letzter Aufruf 11.11.2011)



PRECAUTIONS ON CHARGING

⚠ WARNING

- If you use any medical electric devices, such as an implantable cardiac pacemaker or an implantable cardiovascular defibrillator, check with the electric medical device manufacturer concerning the effects that charging may have on implanted devices before starting the charge operation. Charging may affect the operation.
- If you have an implantable cardiac pacemaker or an implantable cardiovascular defibrillator, while the Li-ion battery is charging:
  - — Do not stay inside the vehicle.
  - — Do not go inside the vehicle, for example to remove or place an item in the passenger compartment.
  - — Do not open the rear hatch, for example to remove or place an item in the cargo area.

  Charging may affect the operation of electric medical device and result in serious personal injury or death.
- Make sure there is no water or foreign materials in the charge port, charge connector or electrical plug, and that they are not damaged or affected by rust or corrosion. If any of these conditions are noticeable, do not charge the Li-ion battery. This may result in a short circuit or electric shock and could cause a fire which may result in serious personal injury or death.
- To avoid serious personal injury or death when the Li-ion battery is charging, be aware of the following precautions.
  - — Do not touch the metal contacts of the charge port, charge connector or electrical plug.
  - — Do not touch the vehicle and charger when there is lightning. A lightning strike may back feed into the charger causing damage and possible personal injury or death.
- Make sure the charge connector is removed from the charge port before starting your vehicle. If the charge connector is only partially engaged and the connector latch is unlocked, it is possible to place the EV (Electric Vehicle) in the READY to drive position.
- Do not plug in or unplug the plug with wet hands and do not stand in water, liquid or snow. This may cause an electric shock which may result in serious personal injury or death.
- Do not disassemble or modify the charge port or the EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment). This may cause a fire.
- If you notice an unusual odor or smoke coming from the vehicle, stop charging immediately.
- Be careful not to allow your hands, hair, jewelry or clothing to come into contact with, or get caught in, the traction motor cooling fan. The cooling fan can start at any time during charging.

CH-2 **Charging**

Abb. 55: Nissan Leaf USA, Bedienungsanleitung, 2011, S. 50 ff

Dem bleibt kaum noch etwas hinzuzufügen. Es gibt Studien, es gibt Verkaufsprospekte und es gibt Bedienungsanleitungen. Am Ende zählen nur letztere, wenn es um wirklich belastbare Aussagen zu den Produkteigenschaften geht. Sie sind geschrieben nach den Regeln des Versicherungsmarktes und des Produkthaftungsgesetzes. Daher muss in der Bedienungsanleitung Klartext stehen. Gerichtsfest. Die Sicherheitshinweise zum kabelgebundenen Laden machen deutlich, dass die Sicherheitsvorteile des kabellosen Ladens kein Luxus sind.

3.3.7.1 Berührschutz eigensicheres Laden

Der Umgang mit haushaltüblichen elektrischen Kabeln und Steckverbindern stellt normalerweise keine Besonderheit mehr dar. Doch beinhaltet der Umgang mit elektrischem Energie und Geräten ein entsprechendes Gefahrenpotential. Die im Fall der Aufladung von Elektrofahrzeugen angestrebten Spannungs- und Leistungsebenen erhöhen dieses Potential. Damit steigt auch der Aufwand für die erforderliche Schutz- und Sicherheitstechnik, auch für die Gewährleistung sicherer Trenn- und Kopplungsvorgänge. Dazu sind insbesondere erforderlich:

- robuste und strapazierfähige Leitungen und Kabel, ähnlich denen für Bau- und Montagestellen (BGI 608)
- robuste, verschleißfeste Steckverbindungen
- Fehlerstrom- und Isolationsüberwachung
- Steuer- und Überwachungstechnik

Diese Technik verursacht neben dem den entsprechenden Herstellkosten auch einen entsprechenden Prüf- und Überwachungsaufwand. Hervorzuheben sind hierzu beispielsweise die zyklischen Prüfkosten für das Ladekabel als ortsveränderliches Betriebsmittel oder für den Fehlerstromschutzschalter (RCD).

Im Vergleich dazu bieten induktive Systeme eine prinzipbedingte höhere Sicherheit, da hier keine offenen elektrischen Kontakte verwendet werden. Die notwendigen Schutzeinrichtungen können im Allgemeinen auf eine entsprechende Isolierung reduziert werden. Dies konnte auch in den Interviews mit Anwendern und Instandhaltungsverantwortlichen aus dem Bereich des Automobilbaus als typischen Anwendungsbereich kontaktlos-induktiver Energieübertragungssysteme bestätigt werden.

Prinzipiell kann hier zusammengefasst werden, dass beide Technologien aus Sicht der elektrischen Sicherheit zuverlässig funktionieren können, aber der Aufwand zur Erreichung dieser Sicherheit bei induktiven Systemen geringer ist. Beim konduktiven System liegt ein Gefahrpotential beim Ladekabel, deren Steckern und Kontakten (Nässe/Schnee/Schmutz, Kabelbruch, Vergessen des Trennens der Verbindung, …).

3.3.8 Akustikdifferenz

Die Deutsche Kommission Elektrotechnik (DKE) hat im Arbeitskreis für berührungsloses Laden von Elektrofahrzeugen [334] in seiner Anwendungsregel eine Frequenz zwischen 120 und 190 kHz vorgeschlagen. Von dieser hochfrequenten Schallabstrahlung sind nur Fledermäuse betroffen.

Wenn Strom mit einer bestimmten Frequenz fließt, werden nur Schallwellen erzeugt, wenn Teilchen eines Mediums in Schwingung geraten.

Während beim Kabelladen keinerlei Hörbarkeits-Konflikte zu erwarten sind, hat Kiefermedia mögliche Hörbarkeitskonflikte bei induktiver Energieübertragung untersucht. Die entsprechenden Messungen an der biologischen Fakultät der RWTH Aachen lassen kein signifikantes Überschreiten der Hörbarkeitsschwelle oder gar Schmerzschelle erwarten, wenn die Eckpunkte der deutschen Anwendungsregel eingehalten werden.

Obwohl Fledermäuse vom Aussterben bedroht sind [335] und 2011 von den Vereinten Nationen zum internationalen Jahr der Fledermaus erklärt wurde, gibt es nur eine Handvoll Wissenschaftler,

die sich mit den Sinnen von Fledermäusen näher befasst haben. Über die Auswirkungen von Ultraschallemissionen auf Fledermäuse ist noch relativ wenig bekannt.

Drei von fünf durch KM befragte Fledermaus-Experten gaben an, für diese kein Problem durch eventuelle Hörbarkeit zu erwarten. Zwei hielten Auswirkungen zumindest für „denkbar."

Die Untersuchungen durch die Goethe-Universität Frankfurt am Main und die RWTH Aachen waren zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch nicht ganz abgeschlossen.

3.3.8.1 Dr. Karl-Heinz-Esser, Tierärztliche Hochschule Hannover

"In der (…) beschriebenen Parkplatz-bzw. Carport-Situation sehe ich daher, bei Vorliegen eines unbeeinträchtigten Gehörsinns, kein Problem 336."

3.3.8.2 Dr. Klemen Koselj, Max-Planck-Institut für Ornithologie Seewiesen, Post doc in der Forschergruppe Siemers

"In den höheren Frequenzen um die 140 kHz sind nur noch Fledermäuse betroffen. Das Risiko, deren Gehör zu schädigen oder sie aus ihrem Habitat zu vertreiben, besteht vielleicht nicht so stark. Aber es kann sein, dass die Geräusche der Beutetiere, wie z.B. Insekten oder Mäuse von den Induktions-Geräuschen maskiert werden. Höhere Frequenzen sind vorzuziehen, da ihre atmosphärische Abpufferung größer ist 337."

3.3.8.3 Dr. Björn Siemers, Max-Planck-Institut für Ornithologie Seewiesen, Forschungsgruppenleiter Sinnes-Ökologie

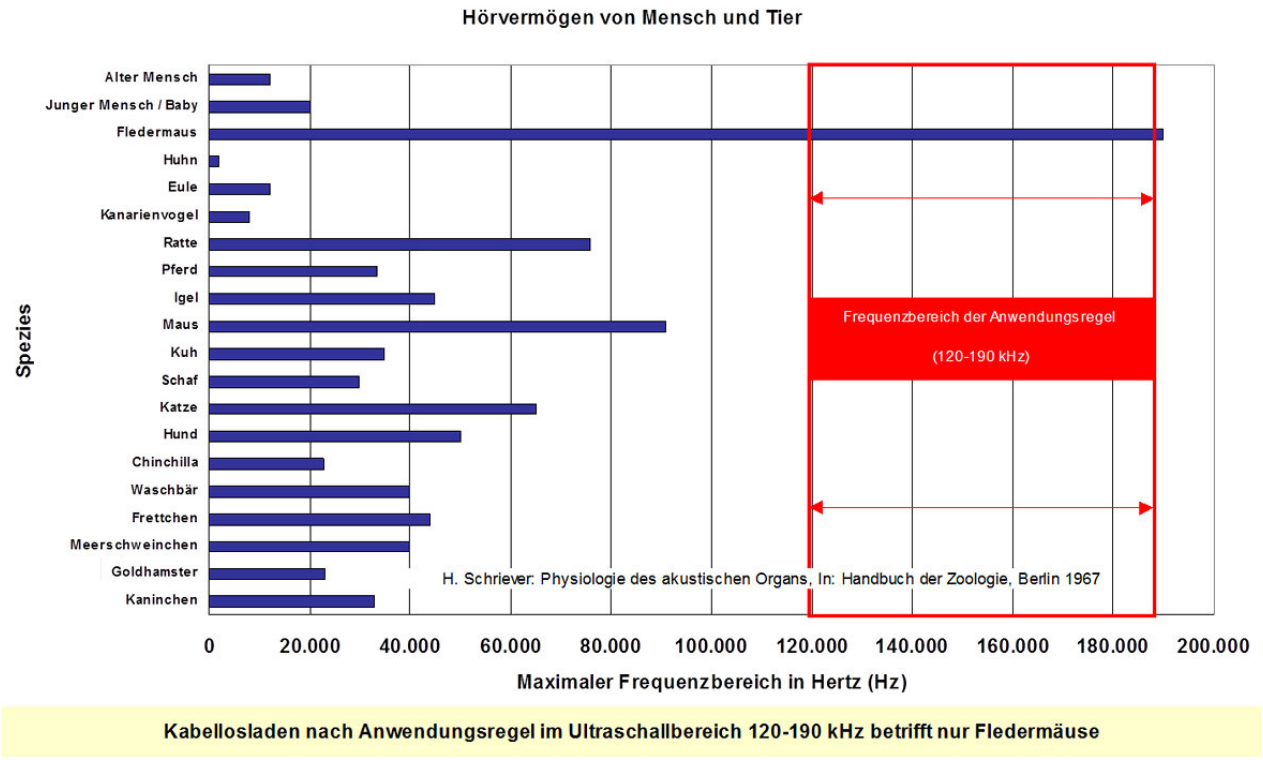
"Da die Ladestationen wohl nicht direkt in guten Fledermaus-Jagdgebieten stehen werden, erwarte ich auf den ersten Blick keine starken Beeinträchtigungen. Und ja, je höher die Frequenz, desto geringer die Reichweite des ("Stör"-)Schalles 338."

3.3.8.4 Professor Elisabeth Kalko, Universität Ulm, Leiterin am Institut für Experimental-Ökologie

"Die von Ihnen im kHz angegebenen Frequenzen können in der Tat für Fledermäuse problematisch sein, denn sie liegen direkt im Bereich ihrer Ultraschalllaute. Wichtige Informationen wären, mit welchem Schalldruckpegel die Schallereignisse abgegeben werden, dann könnte man die Dämpfung ausrechnen, die bei hohen Frequenzen dazu führt, dass diese nur eine kurze Reichweite haben und dann von den Fledermäusen nicht mehr wahrgenommen werden können 339."

3.3.8.5 Dr. Peter Thalau, Zoologisches Institut der Goethe-Universität Frankfurt am Main

„Bei Fledermäusen sind im Bereich bis zu 150 kHz allerdings sehr wohl Auswirkungen auf das Hören, i.e. die Echoortung, denkbar. Unsere einheimischen Hufeisennasen haben z.B. bei 130 kHz eine sehr relevante Frequenz. Der Frequenzbereich von 140 kHz wird übrigens bereits technisch genutzt, z.B. als Reinigungssystem für Schwimmbäder (Ultraschallschwinger) 340.



Tab. 33: Hörbereiche von Menschen und Tieren (KM)

3.3.9 Analyse des Ladeverhaltens der Nutzer

3.3.9.1 Untersuchungsgegenstand und Methode

3.3.9.1.1 Die Ausgangssituation

Der überwiegende Teil der heutigen Straßenfahrzeuge wird durch Verbrennungsmotoren angetrieben, die fossile Kraftstoffe verbrauchen. Laut Statistiken des Kraftfahrtbundesamtes werden in Deutschland 2011 rund 72,1 % der Kraftfahrzeuge mit Benzin angetrieben. Die zunehmende Nachfrage und steigende Mobilität der Bevölkerung lassen einen jährlichen Zuwachs des Bestandes an Personenkraftwagen verzeichnen [341].

Elektrofahrzeuge (EFZ) nehmen am Gesamtfahrzeugbestand nur einen sehr geringen Teil ein. Im Jahr 2011 gibt es in Deutschland knapp 40.000 Fahrzeuge, die mit Hybrid- oder Elektro-Antrieben fahren. Davon sind nur etwas über 2.300 Elektroautos. Dies entspricht lediglich 0,005 % des gesamten Fahrzeugbestands [342].

Von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung des Elektroautomarktes ist die Akzeptanz der Nutzer. Elektroautos besitzen zahlreiche Vorteile gegenüber den konventionellen KFZ. Durch die Nutzung erneuerbarer Energien lassen sie sich annähernd emissionsfrei betreiben.

Desweiteren sind der leise Betrieb und auch eine voraussichtliche Kosteneinsparung für den Endnutzer durch den Strombetrieb als Vorteile zu nennen [343]. Die Nutzerakzeptanz wird durch eine Reihe von Faktoren bestimmt, die Anschaffungs- und Betriebskosten, die erreichbaren Wirkungsgrade und Reichweiten der EFZ, die Umweltfreundlichkeit und natürlich auch der Komfort beim Ladevorgang [344].

Um aus heutiger Sicht eine belastbare Akzeptanzprognose abgeben zu können, muss vor allem auch das Verbraucherverhalten prädiziert werden. Ein wesentlicher Unterschied im Verbraucherverhalten im Vergleich zum Kraftstofffahrzeug zeigt sich in der täglichen Ladung des EFZ, statt wie bisher sein Fahrzeug nur ein- bis zweimal im Monat zu betanken. Daher stellt der Ladekomfort einen wesentlichen Faktor für die Akzeptanz von EFZ dar [345].

3.3.9.1.2 Konduktive und Induktive Ladevorgänge

Der heutige Stand der Ladetechnik beim EFZ zeichnet sich hauptsächlich durch zwei Methoden aus, zum einen den konduktiven und zum anderen den induktiven Ladevorgang. Als konduktiver Ladevorgang wird die konventionelle Art des Ladens, bei der die Energieübertragung mittels Kabel, Stecker und Buchse in das EFZ erfolgt, bezeichnet.

Dazu muss der Nutzer das Ladekabel aus dem Fahrzeug entnehmen und anschließen, die Ladestation bedienen, abschließend die Kabelverbindung trennen und das Ladekabel wieder im Fahrzeug verstauen. Diesen Vorgang müssen die Nutzer täglich (zur besseren Batteriepflege auch mehrmals täglich) durchführen.

Neben dem konventionellen Laden mit Kabel und Stecker wird auch das induktive, kabellose Laden diskutiert. Dabei muss das EFZ über einer Induktionsspule geparkt werden, wodurch der gesamte Ladevorgang automatisiert und ohne direkten elektrischen Kontakt zwischen der Ladestation und dem Anwendungsteil abläuft.

Solch eine Ladestation kann beispielsweise unterflurig auf der Fahrbahn oder auf öffentlichen Parkflächen installiert sein. Dies würde sich aber auch, analog zu den Ladesäulen für den privaten Gebrauch, in Garagen oder Carports anbieten [346]. Das Prinzip der induktiven Ladung ist dem Nutzer auch im Haushalt durch die Aufladung der elektrischen Zahnbürste bekannt [347].

Viele Hersteller, wie die Vahle GmbH & Co KG, SEW-Eurodrive GmbH & Co KG oder Conductix-Wampfler AG, behaupten, dass die kontaktlose und eingriffsfreie Energieübertragung - im Vergleich zur konventionellen Methode - die Akzeptanz von EFZ verbessert [348].

Die Bereitschaft potentieller Nutzer, mehr Geld für die induktive Ladung auszugeben, hängt somit von deren Einstellung ab bzw. vom Mehrwert, den sie in der induktiven Art des Ladens sehen [349].

Die konduktive Ladetechnik hat den entscheidenden Vorteil, dass die Nutzer die Art der Ladetechnik kennen und verstehen. Die dafür benötigte Infrastruktur ist bereits in Ansätzen vorhanden und die erforderliche Technik bereits weit entwickelt. Dem gegenüber stehen aber auch Nachteile, die sich besonders im mangelnden Ladekomfort bei widrigen Wetterverhältnissen, wie Regen oder Schnee, zeigen [350].

Gerade kurze Parkzeiten erscheinen dem Nutzer ungeeignet für das konduktive Laden, da das Ein- und Ausstecken an einer Ladesäule für lediglich wenige Minuten Parkdauer als zu aufwändig eingeschätzt werden. Gleichzeitig wird auch die Sicherheit dieser Lademethode kritisiert, die beispielsweise bei feuchten Händen in Verbindung mit offenen Starkstromanlagen oder Kriechströmen über Nässefilme, als gefährdet wahrgenommen wird [351].

Bei der induktiven Ladung entfällt dagegen die Handhabung von Kabel und Stecker. Das EFZ wird auch bei kurzen Standzeiten automatisch geladen. Durch häufigere, kleinere Ladungen wird zudem die Lebensdauer der Batterie verlängert [352].

Desweiteren bietet die induktive Ladetechnik Schutz vor Vandalismus, Verschleiß und Witterungseinflüssen. Nachteile können durch einen geringeren Wirkungsgrad entstehen, wenn die Spulen nicht optimal positioniert werden. Auch Beeinträchtigungen durch funktionsbedingt auftretende elektromagnetische Felder können nach manchen Quellen nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Letztendlich dürfen die nach manchen Quellen höheren Anschaffungskosten nicht vernachlässigt werden [353].

3.3.9.1.3 Die Vorgehensweise

Für einen Vorgang wie das konventionelle Laden von EFZ mit Kabel und Stecker gibt es relativ wenig direkte Referenzwerte. Zur besseren Abschätzung des Nutzerverhaltens können aber auch vergleichbare regelmäßige Routinevorgänge, wie der Technikumgang im Privatbereich mit allgemein bekannten, elektrischen Gebrauchsgegenständen, wie z. B. Mobiltelefon oder Laptop, herangezogen werden. Diese werden auf ihre Parallelen und Abweichungen im Vergleich zum Laden von EFZ mit Kabel untersucht.

Da, wie oben angeführt, zum Umgang mit einer Zukunftstechnologie, wie dem induktiven Laden von EFZ, noch wenig Referenzwerte existieren, muss zur Abschätzung des Nutzerverhaltens – nach der Vorstellung von Technik und möglichen Nutzerszenarios – auf Befragungsergebnisse zurückgegriffen werden.

Da es sich bei der Elektromobilität um einen Massenmarkt handeln und gleichzeitig mehrmals täglich ein disziplinierter Bedienungsablauf erforderlich sein wird, muss mit den Werkzeugen der Verhaltensforschung und Verhaltenspsychologie eine Näherung zum tatsächlichen Praxisalltag gefunden werden. Ansonsten besteht die Gefahr, dass dem Verbraucher zu viel zugemutet wird.

Ausgehend von einer Literaturrecherche zu durchgeführten Studien des Verbraucherverhaltens beim Umgang mit EFZ, insbesondere beim Laden, wird die Bedienung konduktiver Ladetechnik im Alltag der EFZ-Nutzer näher betrachtet. Zur Bewertung der Bedienung konduktiver Ladetechnik im Alltag wurden in Deutschland führende Hersteller von Ladekabeln und Steckern befragt. Die gefundenen Ergebnisse werden durch zwei Fragebogenstudien zum Nutzerverhalten, einmal über das Internet verbreitet und zum anderen in direkten Interviews mit Besuchern einer themenbezogenen Industriemesse ergänzt.

Das Laden von EFZ erfolgt üblicherweise in den Nutzungspausen. Mögliche Zusammenhänge bzw. Synergien zwischen der Ausstattung von Fahrzeugen mit Systemen, welche den Parkvorgang unterstützen oder gänzlich automatisieren und dem induktiven Laden von EFZ werden in einer Literaturstudie und ergänzenden Experteninterviews untersucht. Befragt wurden Experten sowohl aus der Forschung als auch von Automobilherstellern und Automobilzulieferern.

Bei der Entscheidung, ob das kabellose Laden von EFZ auf die Flotte hochgerechnet effizienter als die konduktive Ladetechnologie ist, muss ausgehend von einigen Grundannahmen eine Reihe von Fragen untersucht werden:

Kabelloses Laden bedeutet automatisiertes Laden. Häufig wiederkehrende Routinetätigkeiten entfallen völlig oder werden von der Technik übernommen. Beim Umgang mit Kabel und Stecker ist aber letztendlich der Faktor Mensch entscheidend:
Wie sieht die Ergonomiebetrachtung beider Ladetechnologien aus? Mit welchem Nutzerverhalten ist mit Hilfe der vergleichenden Forschung unter Gesichtspunkten der Verbraucherpsychologie zu rechnen?

Bei der Kraftfahrzeugnutzung muss der Autofahrer durchschnittlich einmal im Monat tanken. Nicht so beim Elektroauto. Hier stehen die Handhabung des Ladekabels und der Bedienvorgang an der Ladesäule nun täglich an – unter Umständen sogar mehrmals täglich, wenn es nach dem Optimum für die Batterie geht. Oder aber nur alle paar Tage ein Mal, wenn man die menschliche Komponente realistisch einbezieht. Die Fahrzeugbatterie würde im zweiten Fall regelmäßig tiefentladen:
Welche Folgen haben die Ergonomienachteile von Kabel und Stecker für die Regelmäßigkeit des Ladens unter verhaltenspsychologischen Gesichtspunkten?

Es ist anzunehmen, dass auf das Tiefentladen vermutlich oftmals das Schnellladen folgt. Das Schnellladen jedoch verkürzt die Lebenserwartung der Fahrzeugbatterien. Je umständlicher der Ladevorgang ist, desto häufiger werden Tiefentladungen vorkommen. Das Induktionsladen ist dagegen typischerweise ein Nebenherladen, ein sogenanntes Gelegenheitsladen. Fachleute sprechen auch gerne von „Schonladen“, weil Induktionsladen die Batterie schone oder „Erhaltungsladen“, weil sie die Batterielebensdauer erhalte:
Entspricht das automatisierte Laden per Induktion mehr dem typischen Lebensalltag mit all seiner Eile und Hetze?

Aufgrund wegfallender Benutzereingriffe erhöht das kabellose Laden die flächendeckende Verfügbarkeit der Rückeinspeisung, die netzseitige Steuerbarkeit des Ladens bzw. Entladens und trägt somit zur Gesamtökobilanz sowie Kosteneffizienz der Elektromobilität bei:
Erweist sich das Induktionsladen folglich auf die Flotte und den Netzbetrieb hochgerechnet als umweltfreundlicher und für die Gewährträger als wirtschaftlicher gegenüber dem kabelbasierten Laden? Wie sieht die Gegenüberstellung aus Sicht der Flotten- und Netzmanager aus?

3.3.9.2 Literaturrecherche zu Studien zur Verhaltensforschung

Fahrer von Pkw mit alternativen Antrieben denken weniger an die Umwelt als an den eigenen Geldbeutel. Sie entscheiden sich aus Gründen der Kostenersparnis für ein Fahrzeug mit alternativer Antriebstechnik und nehmen die Schonung der Umwelt als positive Begleiterscheinung gerne in Kauf. Das ist das Ergebnis einer Studie des Kompetenzzentrums „Frau und Auto“ an der Hochschule Niederrhein.

So erstellten die Studierenden des Kurses „Strategisches Marketing“ von Prof. Doris Kortus-Schultes bis Mitte Dezember 2010 Nutzerprofile von Fahrern, die Autos mit alternativen Antriebstechniken besitzen [354]. Sie befragten für die Studie 16 Fahrer von Autos mit alternativer Antriebstechnik. Die individuellen Vorlieben und Erfahrungen dieser „Autopioniere“, die in Fokusgruppen-Interviews erhoben wurden, sollen der Industrie Hinweise für ihre Entwicklerarbeit und zielgruppengenaue Ansprache potenzieller Kunden liefern.

Nach diesen Fokusgruppen-Interviews machten die Studierenden vier verschiedene Motivationsstränge bei den Befragten aus: die bereits genannte Kostenersparnis („die rational Orientierten“), die Schonung der Umwelt („die ökologisch Interessierten“), die Begeisterung für moderne Technik („die Innovativen“) und das Interesse an Dynamik und Sportlichkeit („die junge Zielgruppe“).

Weiteres Ergebnis der Studie: Die Hybrid-Technik, die auf dem Zusammenspiel von konventionellen Verbrennungsmotoren und Kraftstofftank sowie einem Elektromotor und zugehöriger Batterie beruht, wurde von den befragten Fahrern eher negativ bewertet. Wer kostengünstig fahren möchte und dafür keine Einschränkungen in punkto Reichweite oder Geschwindigkeit in Kauf nehmen möchte, steigt auf Gasantrieb um. Vorausgesetzt, die vorherige Kosten-Nutzen-Analyse hat dies nahe gelegt. Wie die Studie zeigt, sind Fahrer von Autos mit alternativer Antriebstechnik vor allem rational orientiert [354].

In Berlin wurde unter der Leitung von Prof. Dr. Josef Krems (Psychologie, TU Chemnitz) das Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien EFZ – MINI E 1.0; Teilprojekt: MINIEVatt Berlin – Freude am umweltgerechten Fahren bearbeitet.

Seit Februar 2010 lief in Berlin die zweite Testphase, an der 40 private Nutzer teilnahmen. Das Projekt der BMW Group und Vattenfall Europe wurde für zwei Jahre vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert 355.

Die Berliner Feldstudie war in zwei Nutzungszeiträume mit jeweils sechs Monaten Dauer aufgeteilt. Der Privatnutzerkontext war der Hauptuntersuchungskontext. Hier fuhren pro Nutzungszeitraum jeweils 40 Personen mit EFZ und wurden zu je drei Zeitpunkten befragt. Einmal vor der Fahrzeugübergabe, einmal nach drei Monaten und bei Rückgabe des Fahrzeugs nach insgesamt sechs Monaten.

Die Auswahlkriterien für die Teilnehmer an der Feldstudie betrafen zum Einen die erwartete Fahrleistung in sechs Monaten (Vielfahrer vs. Wenigfahrer) und zum Anderen den Haushaltstyp (Elektro- vs. Hybridhaushalt). Als Voraussetzung für eine Teilnahme musste ein eigener Stellplatz oder eine Garage vorhanden sein, was die Installation einer Stromladebox ermöglichte.

Teilnehmer im ersten Nutzungszeitraum:

- 40 ausgewählte Studienteilnehmer
- zum überwiegenden Teil männlich (83 %)
- durchschnittlich 48 Jahre alt
- sehr gut ausgebildet
- lebten meist in Zweipersonenhaushalten
- hatten ein überdurchschnittlich hohes Einkommen.

Als Grund für ihre Bewerbung gaben die meisten Teilnehmer an, dass für sie vor allem die Erfahrung einer neuen nachhaltigen und sauberen Technologie ausschlaggebend war. Sie wollten einen Beitrag zum Umweltschutz leisten und die stärkere Unabhängigkeit von Erdöl befördern. Weniger wichtig war für die Bewerber eine Kostenreduktion der täglichen Mobilität. Der scheinbare Widerspruch zu den Ergebnissen der Studie der Hochschule Niederrhein lässt sich eventuell

dadurch erklären, dass es hier um die Teilnahme an einer Feldstudie und noch nicht um die private Investition - EFZ-Kauf - ging.

Teilnehmer im zweiten Nutzungszeitraum:

- 40 ausgewählte Studienteilnehmer
- die Mehrheit der Studienteilnehmer war männlich (83 %)
- durchschnittlich 48 Jahre alt
- sehr gut ausgebildet
- lebte meist in Zweipersonenhaushalten
- hatte ein überdurchschnittlich hohes Einkommen

Ausschlaggebend für die Bewerbung am Projekt war vor allem die Möglichkeit, die Entwicklung neuer Technologien zu unterstützen. Es reizte die Bewerber, etwas Neuartiges und Innovatives selbst zu testen und herauszufinden, ob der Elektroantrieb auf dem derzeitigen Stand der Entwicklung eine Alternative zu konventionellen Fahrzeugen darstellt. Wie bereits bei den Teilnehmern an der ersten Studie wurde die Kostenreduktion für die tägliche Mobilität als eher unbedeutend eingestuft 356.

Im Verlauf der Berliner Feldstudie wurden Telefoninterviews durchgeführt und die Nutzer wurden vor der technischen Einweisung per Fragebogen befragt. Nach dem Interview absolvierten die Studienteilnehmer ihre erste Probefahrt, während der sie gebeten wurden „laut zu denken“. Nach der Probefahrt konnten die Fahrer ihre ersten Eindrücke und Erfahrungen in einem Nachinterview zum Ausdruck bringen.

Die Fragen im Fragebogen bezogen sich auf fünf Themenbereiche:

1. Akzeptanz
2. Mobilität
3. Laden (z. B. Ladeverhalten, gesteuertes Laden)
4. Ökologische Relevanz (z. B. Umweltbewusstsein, Umweltverhalten)
5. Elektrofahrzeugspezifische Aspekte (z. B. Reichweite, Rekuperation)

Während der Nutzung wurden Wegetagebuch und Ladetagebuch ausgefüllt. In den Ladetagebüchern wurden in einem Zeitraum von einer Woche alle Ladevorgänge sowie die Anzeigenstände zu Beginn und zu Ende eines Ladevorgangs protokolliert. Zudem war die Erfassung des jeweiligen Anlasses für einen Ladevorgang möglich. So erhielt man Einblicke in die Lademotivation. Anhand der Erfassung des Ladeverhaltens durch das Ladetagebuch konnten direkte Schlüsse auf das Potential von innovativen Ladekonzepten abgeleitet werden. So konnten z. B. mögliche subjektive Barrieren für das Gesteuerte Laden bestimmt werden. Im Laufe des zweiten Nutzungszeitraums wurde die Zeitspanne für das Ausfüllen des Ladetagebuchs auf zwei Wochen ausgeweitet, um Aussagen über eine größere Anzahl von Ladevorgängen zu generieren. Dadurch konnte die Datenqualität weiter verbessert werden 357.

Nachfolgend sind wesentliche Ergebnisse des Forschungsvorhabens Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien EFZ – MINI E 1.0; Teilprojekt: MINIEVatt Berlin – Freude am umweltgerechten Fahren zusammengestellt 358:

3.3.9.2.1 Die Einstellung zur Elektromobilität allgemein

Zum Thema Akzeptanz von EFZ gibt es in der Forschungsliteratur bisher nur wenige Studien. In den vorhandenen Veröffentlichungen wurde die Akzeptanz meist anhand von Einstellungsmessungen und/oder der Kaufbereitschaft erfasst. Auch die Berliner Feldstudie verwendete eine Einstellungsskala und die Kaufbereitschaft für die Einschätzung der Akzeptanz. Es wurde angenommen, dass die Akzeptanz steigt, nachdem das EFZ über einige Zeit in der täglichen Benutzung war.

Die Akzeptanz bei den Teilnehmern, bezogen auf die Einstellungen gegenüber EFZ, war bereits zu Beginn der Studie hoch. Die Nutzer waren generell sehr interessiert an EFZ. Zu Beginn der Studie hatten 46 % der Befragten eine positive bis sehr positive Einstellung zu EFZ.

Der Prozentsatz der Befragten, die „positiv" bis „sehr positiv" eingestellt waren, stieg mit zunehmender Erfahrung mit dem MINI E stark an. Nach sechs Monaten lag er bei 78 %. Die Erfahrung mit dem MINI E führte demzufolge bei den schon im Vorfeld sehr positiv gestimmten Projektteilnehmern zu einer weiteren Verstärkung der positiven Einstellung.

Die Bereitschaft, nach der Studie ein EFZ zu kaufen, war ebenfalls sehr hoch. Mehr als 70 % der Nutzer gaben nach drei und sechs Monaten an, dass sie ernsthaft planen, nach der Studienteilnahme ein EFZ zu erwerben. Generell sind die Nutzer bereit, im Vergleich zu einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor für ein EFZ mehr Geld zu bezahlen.

Der Aussage, dass die Nutzer für ein EFZ ein Drittel des Preises eines vergleichbaren konventionellen Fahrzeugs mehr ausgeben würden, stimmten 62 % der angehenden MINI E-Fahrer zu. Nach drei Monaten Nutzung des MINI E gaben 54 % der Nutzer an, dass sie für ein EFZ ein Drittel des Preises eines vergleichbaren konventionellen Fahrzeugs mehr ausgeben würden. Nach sechs Monaten war der Anteil der Nutzer, die dieser Aussage zustimmten wieder fast so groß wie am Anfang der Nutzungsphase (61 %).

Zu allen Zeitpunkten der Befragung war jedoch der Preis das bestimmende Merkmal für die Kaufentscheidung. Die Ladedauer spielte bei der Kaufentscheidung generell eine untergeordnete Rolle und sank im Laufe der Nutzungszeit in ihrer Bedeutung für die Kaufentscheidung noch weiter.

Die Privatnutzer wurden zusätzlich direkt gefragt, was geändert werden müsste, damit die Kaufbereitschaft bei ihnen höher ausfällt. Diese Frage wurde vor der Fahrzeugübergabe und nach drei Monaten gestellt, um Veränderungen in der Einschätzung zu erkennen.

Die Ergebnisse sind mit nach unten abnehmender Bedeutung:

- die Haltbarkeit der Batterien
- die Reichweite des EFZ
- der Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur (Netzabdeckung)
- der Anschaffungspreis
- das Platzangebot
- die Ladedauer
- die Kosten im Betrieb
- der Preis von Kraftstoffen
- die Förderung durch die Politik.

Die Ladeprozedur und der damit einhergehende Komfort werden in diesem Zusammenhang nicht erwähnt. Insgesamt zeigen aber die Studienergebnisse der Chemnitzer Forscher, dass die Nutzerperspektive ein bedeutender Aspekt für eine erfolgreiche Verbreitung von EFZ ist [359].

3.3.9.2.2 Zur Akzeptanz und zur Mobilität

Zwei Drittel der Nutzer fühlten sich mit dem MINI E genauso flexibel wie mit einem herkömmlichen Kraftfahrzeug. Lediglich 14 % der geplanten Fahrten konnten die Studienteilnehmer nicht antreten.

In 54 Prozent dieser Fälle war der vorhandene Stauraum zu gering, denn dieser wird durch die 260 Kilogramm schwere Lithium-Ionen-Batterie stark eingeschränkt.

28 Prozent der Fahrten, die nicht durchgeführt werden konnten, scheiterten an der begrenzten Passagieranzahl, in 14 Prozent der Fälle war die Reichweite des Fahrzeuges nicht ausreichend und lediglich vier Prozent konnten nicht angetreten werden, weil die Batterie nicht ausreichend geladen war.

"Die Ergebnisse zeigen, dass die Fahrer des MINI E sich keineswegs eingeschränkt sondern ganz normal verhalten haben", sagt Krems.

Als angenehm empfanden die Probanden die Geräuschlosigkeit des MINI E. Hatten 55 Prozent der Nutzer anfangs Probleme aufgrund der fehlenden Motorgeräusche befürchtet, berichteten 94 Prozent, dass solche Schwierigkeiten kaum auftraten.

"Was den Schadstoffausstoß betrifft, wird der MINI E als umweltschonend wahrgenommen. Viele Fahrer beschrieben, dass sie durch die Nutzung des MINI E mehr Spaß beim Fahren hatten", sagt Krems.

"In der Zielgruppe - also bei der Großstadtbevölkerung mit Kleinwagen - ist die Nutzung eines MINI E mit der eines konventionellen Fahrzeuges vergleichbar", folgert Krems aus den Zwischenergebnissen der Studie [360].

3.3.9.2.3 Die Einstellung zur Ladeart (konduktiv)

Zum Ladevorgang wurden die Nutzer bereits nach der Probefahrt bei der Fahrzeugübergabe befragt. Der konduktive Ladevorgang wurde von fast allen als einfach eingeschätzt. Allerdings zeigten sich im Rahmen des Ladevorganges auch einige Probleme, denn ein Drittel der Befragten schätzte die Handhabung des Ladekabels als umständlich ein.

Bei der nächsten Befragung zum Ladevorgang nach drei Monaten war dieser Anteil bereits auf über die Hälfte (57 %) angewachsen. Die MINI E-Fahrer sahen hier den größten Verbesserungsbedarf. Die von den Nutzern berichteten Probleme betrafen das Gewicht des Kabels, das hohe Verschmutzungspotential, die schlechten Verstaumöglichkeiten und die fehlende Sicherung des Kabels an Fahrzeug und Ladesäule [361].

3.3.9.2.4 Sicherheit beim konduktiven Laden

Hier wurde u. a. gefragt, ob Sicherheitsbedenken bezüglich der hohen elektrischen Spannung oder des Umgangs mit Elektrizität bei Regen bestehen. Die Ergebnisse dazu sind in der Tabelle 1 dargestellt. Deutlich ist der Anstieg der Bedenken bezüglich des Umgangs mit Elektrizität bei Regen.

Als Schlussfolgerung zum Themenbereich Sicherheit kann aber festgehalten werden, dass Sicherheitsbedenken im Allgemeinen keine schwerwiegende Barriere für die Akzeptanz des konduktiven Ladens darstellten.

Sicherheitsbedenken hinsichtlich…	Anteil der Nutzer, die Bedenken genannt haben (in %)	
	Vor der Fahrzeugübergabe	Nach drei Monaten
	Nutzungszeitraum 2	Nutzungszeitraum 2
...der hohen elektrischen Spannung	15	15
...des Umgangs mit Elektrizität bei Regen	0	15

Tab. 34: Sicherheitsbedenken beim konduktiven Laden (Quell Studie Krems, Josef F., Technische Universität Chemnitz, Tabelle 10, S. 85, Auszug)

3.3.9.2.5 Laden im Winter

Winterliche Temperaturen stellen für aktuelle EFZ ein bedeutsames Problem dar. Auch in der Berliner Feldstudie wurden Probleme bezüglich der Systemzuverlässigkeit (besonders Lade- und Startprobleme) und der Systemperformanz (besonders Reichweite) festgestellt.

Die Nutzer wurden gefragt: „Jetzt haben Sie ja den MINI E auch im Winter testen können. Gab es Veränderungen im Vergleich zur Nutzung im Sommer?“. Es hatten alle Nutzer Veränderungen bemerkt.

Interessant war die Reaktion der Nutzer auf die Wintereinflüsse. 58 % änderten ihr Ladeverhalten, indem sie das Fahrzeug häufiger und länger und dabei mit geringeren Ladeströmen (an der SCHUKO®-Steckdose) mit dem Stromnetz verbanden. Dies sollte der Aufrechterhaltung einer für die Inbetriebnahme nötigen Batterietemperatur dienen [362].

3.3.9.2.6 Ladeort und Ladefrequenz

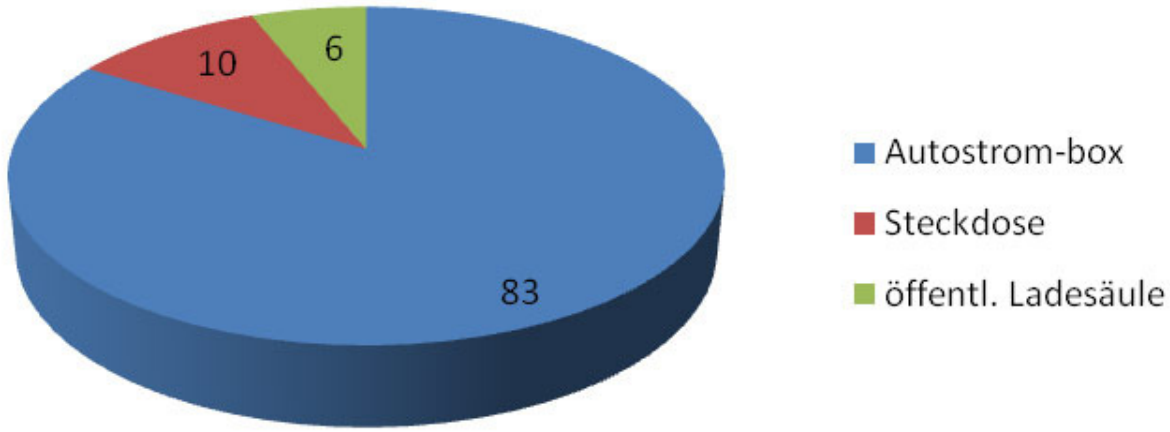
Wo luden die Nutzer?

Über alle dokumentierten Ladevorgänge zeigte sich in der Studie folgende Verteilung:

83 % der Ladevorgänge an der Autostrombox

10 % an einer normalen Steckdose

6 % an öffentlichen Ladesäulen ([363], S. 68)



Tab. 35: Wo luden die Nutzer?

Im zweiten Nutzungszeitraum wurde in der Befragung nach sechs Monaten noch einmal detailliert nach dem Ort des Ladens gefragt. Die Ergebnisse entsprachen den Eintragungen im Ladetagebuch.

- 64 % an der Autostrombox am primären Wohnort,
- 21 % an der Autostrombox an einem anderen Ort (meist beim Arbeitgeber),
- knapp 10 % an SCHUKO®-Steckdosen (6 % am Wohnort, 3 %an einem anderen Ort),
- 6 % an öffentlichen Ladestationen.

Die öffentlichen Ladesäulen wurden von etwa 50 % der Privatnutzer (67 % der Fuhrparknutzer, 74 % der Carsharingnutzer) nicht genutzt. Dennoch hielten 67 % der Fahrer im Privatnutzerkontext (79 % der Fuhrparknutzer, 90 % der Carsharingnutzer) nach Abschluss der Studie öffentliche Ladesäulen für erforderlich.

Als Grund für die Nichtnutzung von öffentlichen Ladesäulen gaben nach drei Monaten der Mini E Nutzung 94 % der Privatnutzer an, dass ihnen die Autostrombox ausreicht.

Eine Grundvoraussetzung für das gesteuerte Laden ist, das EFZ mit dem Stromnetz zu verbinden. In beiden Nutzungszeiträumen wurden die Teilnehmer gebeten, anzugeben, weshalb sie es unterließen, das Elektroauto mit dem Stromnetz zu verbinden (mit Mehrfachnennungen).

- 88 % - wenn noch genügend Reichweite zur Verfügung stand
- 39 % - Zeitmangel
- 39 % - Unwissenheit (den Teilnehmern war nicht bewusst, dass sie durch das sofortige Anstecken die optimale Nutzung erneuerbarer Energien unterstützen)
- 33 % - die Absicht, die Batterie zu schonen
- 7 % - das Ladekabel bereitete im Winter noch mehr Probleme.

Es wird deutlich, dass die Studienteilnehmer die Anweisungen, das EFZ bei Nichtgebrauch immer mit dem Stromnetz zu verbinden, nicht konsequent befolgten. Die Einträge in die Ladetagebücher zeigen das abweichende Ladeverhalten der Studienteilnehmer.

Zur Vereinheitlichung der Datengrundlage für jedes Fahrzeug wurde von den Chemnitzer Forschern durch Filterung von Einträgen eine Referenzperiode von sieben Tagen für jeden Nutzer hergestellt, bei einzelnen Nutzern auch längere Ausfüllzeiträume.

- 49 % der Fahrzeuge hatten in diesem Referenzzeitraum weniger als vier Ladevorgänge
- 11 % der Fahrzeuge hatten mehr als fünf Ladevorgänge in sieben Tagen

Dies ergibt einen Mittelwert von 3,7 Ladevorgängen in sieben Tagen, wobei die Abstände zwischen den Ladevorgängen zwischen null und fünf Tagen liegen. Es lässt sich schlussfolgern, dass die EFZ annähernd jeden zweiten Tag geladen wurden, wenn man von einer gleichmäßigen Verteilung der Ladevorgänge auf die sieben Tage ausgeht.

85 % der Ladevorgänge in den Datensätzen mit mehr als einer Ladung in der Woche haben einen Abstand von maximal 2 Tagen. Der Mittelwert des Abstands zwischen den Ladevorgängen liegt bei 1,5 Tagen [364].

3.3.9.2.7 Restladung und Ladehub

Mit welchen Energiereserven starteten die Nutzer einen Ladevorgang?

- im Mittel begannen die Ladevorgänge mit 47 % Ladestand
- in nur 4 % der Fälle war der Ladestand bei Beginn der Ladung unter 5 %
- 12 % der Ladevorgänge starteten mit einem Ladestand unter 20 %
- 82 % der Ladevorgänge führten zu einer Vollladung (d. h. >97 % Ladestand)
- der Hub des Ladestands lag im Mittel bei 48 Prozentpunkten

Aus den Ladetagebüchern ließen sich auch die Ladevorgänge mit geringem Ladestandhub erfassen.

- Ladevorgänge mit einem Hub unter 5 Prozentpunkten machten 3 % aller Ladevorgänge aus
- bei 10 Prozentpunkten waren es schon 5 % aller Ladungen
- bei 15 Prozentpunkten waren es 8 %,
- bei 20 Prozentpunkten waren es 12 % [365]

3.3.9.2.8 Auslöser für den Ladevorgang

Aus den Eintragungen ins Ladetagebuch lässt sich auch die Motivation für die Auslösung der Ladevorgänge erfassen. Die Nutzer wurden nach dem prozentualen Anteil verschiedener Aspekte zum Auslösen eines Ladevorgangs befragt.

- im Mittel 39 % - „Es bietet sich gerade an“
- 26 % „Der Ladestand ist zu niedrig“
- 11 % „Ich plane für die nächste Fahrt eine lange Strecke“
- 16 % „Ich möchte das gesteuerte Laden unterstützen“
- 13 % Sonstige Gründe (offenes Feld) - Kommentare wie, „Batterie soll möglichst immer voll sein“, „Nachtladen“, „kostenloser Parkplatz“, „will Auto voll übergeben“ oder „Routine“

Beim Vergleich der Motivation von Ladevorgängen an der Autostrombox mit Ladevorgängen an öffentlichen Ladesäulen zeigt sich, dass die Ladesäule im Mittel eher genutzt wurde, weil es sich gerade anbot (Ladesäule: 51 %, Autostrombox: 36 %), oder sonstige Gründe ausschlaggebend

waren (Ladesäule: 24 %, Autostrombox: 12 %), wie die Verfügbarkeit eines Parkplatzes. Auch hier sind wieder die geringen Fallzahlen bei den Ladevorgängen an öffentlichen Ladesäulen zu beachten.

Die Aussagen der Studienteilnehmer nach sechs Monaten decken sich mit den Angaben im Ladetagebuch.

Für 65 % der Nutzer ist das Laden zur täglichen Routine geworden, was aber nicht bedeutete, dass sie täglich luden.

Besonders typische Auslöser für das Starten eines Ladevorgangs waren:

- 86 % - „der Ladezustand war unter ein bestimmtes Niveau abgesunken“
- 84 % - eine bestimmte Reservereichweite war unterschritten, die die Nutzer immer in der Batterie haben wollten

Andere Kriterien mit hoher Zustimmung waren die günstige Gelegenheit zum Laden oder eine leere Batterie.

Dieses Ladeverhalten ist für das Ausnutzen des Potentials des gesteuerten Ladens ungünstig. Es widerspricht auch der Intention der Nutzer, denn 92 % der Befragten befürworteten das gesteuerte Laden und 80 % wollten es unterstützen, indem sie ihr Fahrzeug mit dem Stromnetz verbinden, sobald dies nicht genutzt wird [366].

3.3.9.2.9 Weitere empirische Ergebnisse zum Ladeverhalten

Nach Weber (2010) ergibt sich vor allen Dingen nachts das größte Potential für gesteuertes Laden (siehe Bild 2 links). So waren im Rahmen der „MINI E Studie“ tagsüber durchschnittlich drei Fahrzeuge angeschlossen, während nachts im Mittel neun Fahrzeuge geladen wurden. Eine wesentliche Beobachtung in dieser Untersuchung war aber auch, dass das Ladeverhalten relativ großen Schwankungen unterlag [367].

Wesentlich für die Generalisierung der Ergebnisse ist, dass eine andere Feldstudie, die von Kurani et al. (2009) im US-amerikanischen Raum durchgeführt wurde, zu sehr ähnlichen Ergebnissen kommt (siehe Bild 2 rechts) [368].

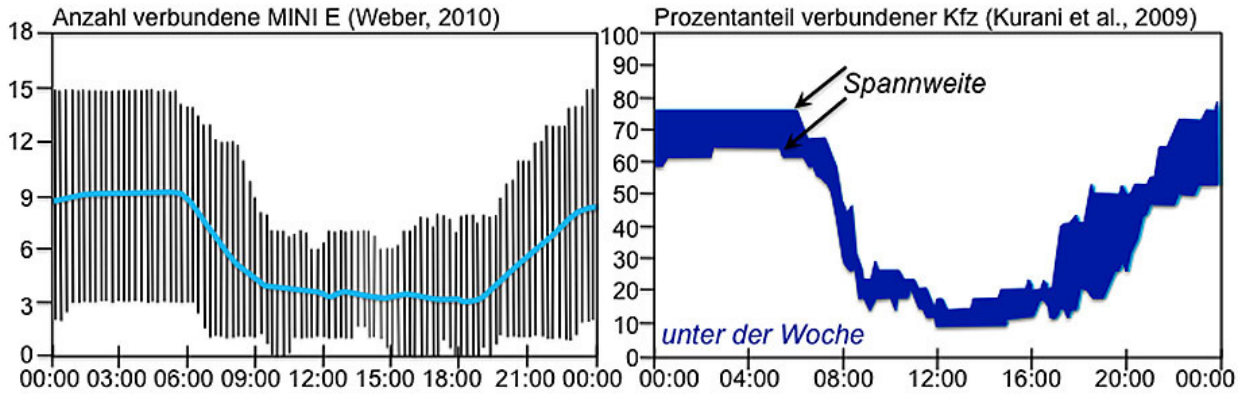


Abb. 56: Ladeverhalten in Abhängigkeit der Tageszeit (Weber, E. (2010). Flottenversuch MINI E Berlin, Kurani, K. S. et. al. (2010). Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV) Demonstration)

Weiterhin wurde in beiden Studien gezielt untersucht, ob sich das Ladeverhalten in Abhängigkeit der Wochentage verändert (siehe Bild 3). Die Studie von Weber et al. (2010) ergab in dem Zusammenhang, dass insbesondere in der Nacht von Montag auf Dienstag am häufigsten

geladen wurde, während in der Nacht von Samstag auf Sonntag die wenigsten Fahrzeuge angeschlossen waren [369].

Wiederum zeigt sich ein ähnliches Bild in der Studie von Kurani et al. (2009): Auch wenn am Wochenende tagsüber zwar punktuell mehr geladen wurde, blieb die mittlere Ladezeit doch hinter den Werktagen zurück [370].

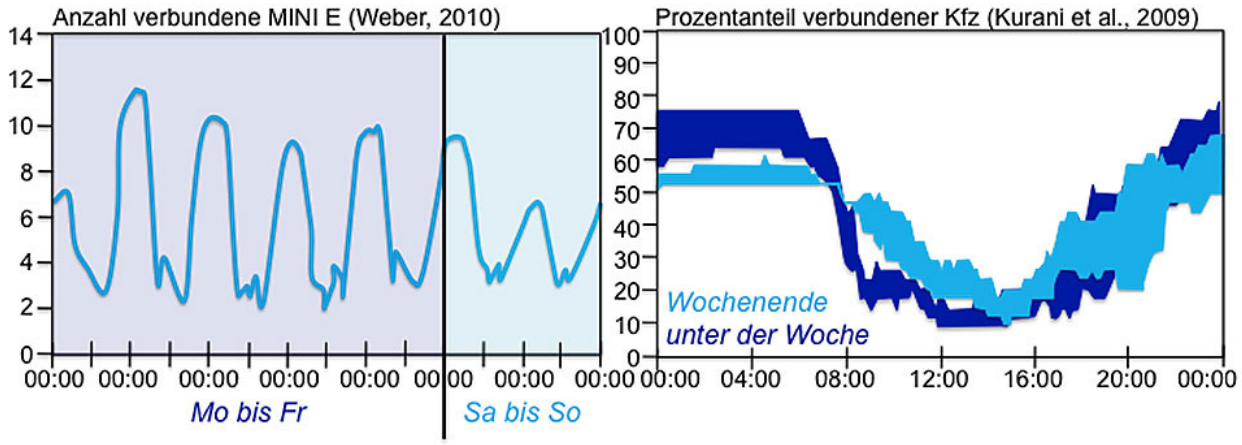


Abb. 57: Ladeverhalten in Abhängigkeit der Wochentage (Weber, E. (2010). Flottenversuch MINI E Berlin, Kurani, K. S. et. al. (2010). Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV) Demonstration)

Kurani et al. (2009) haben zudem die tägliche Ladehäufigkeit ausgewertet (siehe Bild 4). Dabei zeigte sich deutlich, dass eher selten geladen wird und die Mehrheit der Untersuchungsteilnehmer das Fahrzeug im Durchschnitt maximal einmal täglich angeschlossen hat. In Übereinstimmung mit den anderen Ergebnissen wurde auch dieses Verhalten am Wochenende sogar noch weniger.

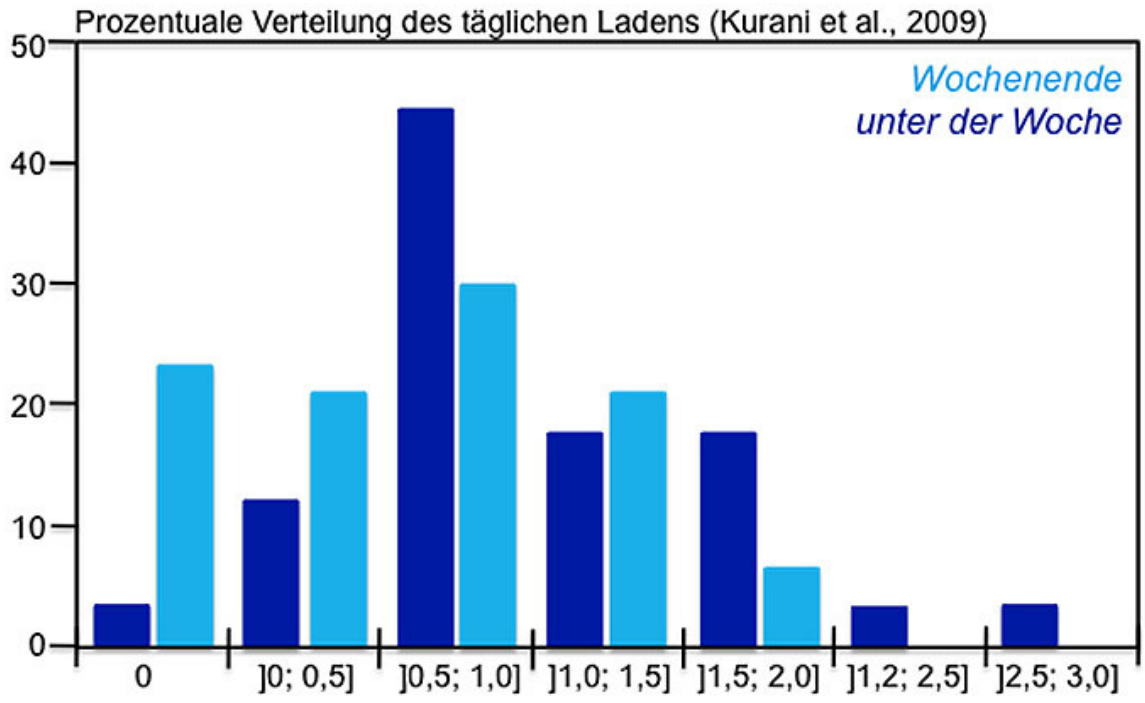


Abb. 58: Tägliche Ladehäufigkeit (Kurani, K. S. et. al. (2010). Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV) Demonstration)

Die Studie von Kang und Recker (2009) stellt in dem Zusammenhang eine interessante Ergänzung dar: Abhängig von der Untersuchungsbedingung wurden die Probanden instruiert, zu bestimmten Zeiten zu laden. Die Ergebnisse sind in Bild 5 zusammengefasst, wobei auf der Abszisse die Uhrzeit protokolliert ist und auf der Ordinate der Verbrauch an Kilowattstunden 371.

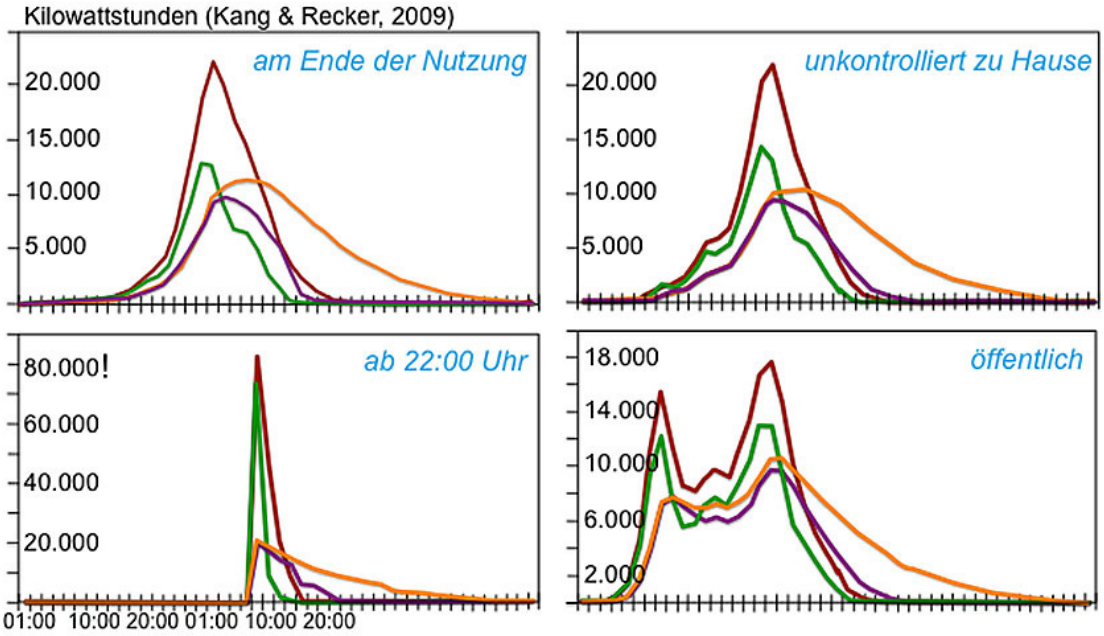


Abb. 59: Auswirkungen unterschiedlicher Ladestrategien (Kang und Recker [371])

Auswirkungen unterschiedlicher Ladestrategien, wobei ■ Reichweite: 20 Meilen, Ladestromkreis: 120 V, 15 A, ■ Reichweite: 20 Meilen, Ladestromkreis: 240 V, 40 A, ■ Reichweite: 60 Meilen, Ladestromkreis: 120 V, 15 A, ■ Reichweite: 60 Meilen, Ladestromkreis: 240 V, 40 A

3.3.9.2.10 Fazit

Das Fazit aus den Feldstudien zum Nutzerverhalten ist:

- Die tägliche Fahrleistung lag meist weit unter der möglichen Reichweite, sodass diese bei nächtlicher Ladung für die alltäglichen Fahrten bei weitem ausreichte.
- Die Ladedauer spielt bei der Entscheidung für den Kauf eines EFZ eine untergeordnete Rolle.
- Das konduktive Laden des EFZ ist für die Nutzer weitgehend problemlos. Auch die Ladedauer stellt kein Problem dar.
- In den derzeit verfügbaren technischen Lösungen (konduktiv mit Ladekabel) sehen die Nutzer aber Verbesserungsmöglichkeiten.
- Öffentliche Ladesäulen wurden kaum genutzt.
- Für fast alle Nutzer war die private Lademöglichkeit ausreichend. Die meisten Nutzer luden nachts. Somit ergibt sich hier das größte Potential für gesteuertes Laden.
- Die Anweisung, das EFZ bei Nichtgebrauch immer mit dem Stromnetz zu verbinden, wurde nicht konsequent befolgt.
- Es wird eher selten geladen – maximal einmal täglich, durchschnittlich nur jeden zweiten Tag.
- Die Mehrheit (86 %) verbindet das EFZ erst dann mit dem Stromnetz, wenn der Ladezustand unter ein bestimmtes Niveau abgesunken ist.

- Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu EFZ mit konduktiver Ladetechnik ist deshalb zu berücksichtigen, dass diese im Schnitt nur jeden zweiten Tag tatsächlich für gesteuertes Laden zur Verfügung stehen.

3.3.9.3 Die Bedienung konduktiver Ladetechnik im Alltag

Entscheidend für die Verbreitung der Elektromobilität ist der Aufbau einer Lade-Infrastruktur, die das problemlose Aufladen der EFZ sicherstellt.

Wichtigste Voraussetzung hierfür ist beim konduktiven Laden zunächst ein genormter Ladeanschluss, d. h. standardisierte Ladestecker und Ladesteckdosen.

Abb. 60: Ladesteckvorrichtung der Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co KG 372

Die deutschen Automobilhersteller Audi, BMW, Daimler, Porsche und Volkswagen unterstützen gemeinsam ein modulares Stecksystem zum Laden von EFZ. Ein einheitlicher Standard soll sicherstellen, dass die Kunden unabhängig von Fahrzeug und Stromanbieter immer direkten und einfachen Zugang zum Energienetz haben.

Die Entwicklungsleiter der Automobilhersteller haben die Konzeption eines modularen Stecksystems bestehend aus zwei Teilen beschlossen. Der Kern des Stecksystems ist unter der Bezeichnung IEC 62196-2 Typ 2 zur Normierung für ein- bis dreiphasiges Laden mit Wechselspannung eingereicht. Eine Erweiterung für Gleichstrom befindet sich derzeit in der Entwicklungsphase.

Das von namhaften Steckerherstellern in Zusammenarbeit mit der Automobilindustrie entwickelte Fahrzeugladestecksystem soll sowohl im Fahrzeug als auch in der Ladeinfrastruktur zum Einsatz kommen. Durch sein modulares Konzept erfüllt es nicht nur alle aktuellen Anforderungen an Leistung, Sicherheit und Komfort sondern ist auch für die Zukunft gerüstet. Die Steckverbindung ist durch die besondere Auslegung sowohl für das Laden mit einphasigem als auch dreiphasigem Wechselstrom tauglich.

Desweiteren soll mit einer Erweiterungskomponente des Stecksystems das Laden mit Gleichstrom bereits 2013 realisiert werden. Die OEMs verfolgen damit das Ziel, kurzfristig Fahrzeuge und Infrastruktur für schnelles Laden verfügbar zu machen. Auf diese Weise können hohe Gleichstromleistungen und entsprechend kurze Ladezeiten realisiert werden.

Das modulare Stecksystem bestehend aus Kern und Erweiterung ist in allen gängigen Ladeszenarien verwendbar. Das Leistungsspektrum der Grundausbaustufe reicht vom

einphasigen Laden an der normalen Haushalts- SCHUKO®-Steckdose bis zum dreiphasigen Laden an privaten oder öffentlichen Fahrzeugladestationen, die sich gegenwärtig im Aufbau befinden. Mit einer Erweiterung kann analog zu bereits vorhandenen japanischen Systemen an Gleichstromladesäulen geladen werden. Damit ist das System für alle zukünftigen Gleichstromladeklassen bis hin zu Schnellladestationen vorbereitet und bietet auch die Möglichkeit der Kommunikation über CAN oder PLC.

Auch bei Verschmutzung und widrigen Witterungsbedingungen (Regen, Schnee, Eis) ist die Sicherheit des Systems stets gewährleistet. Eine mechanische Verriegelung verhindert wirksam eine unbeabsichtigte oder unbefugte Unterbrechung des Ladevorgangs.

Das Laden an Gleichstromladesäulen stellt eine Herausforderung für alle nationalen und internationalen Stromanbieter und Gremien dar, auch hier einen nachhaltigen Schritt hin zu einem kundenorientierten Angebot zu machen. Beim Gleichstromladen kann sowohl der technische Aufwand im Fahrzeug reduziert als auch die Ladezeit kurz gehalten werden.

Die Automobilindustrie arbeitet an weiteren Schritten der Standardisierung und sucht dazu den Austausch mit allen anderen OEMs, Energieversorgern und Netzbetreibern 373.

3.3.9.3.1 Übersicht Ladekabel

3.3.9.3.1.1 Menneckes-Ladekabel für EFZ

Der VDE hat sein Prüfzeichen für die ersten Ladesteckvorrichtungen für Elektromobilität vergeben. Der Entwickler des internationalen Normentwurfes, die Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co. KG, hat ein Ladekabel sowie die dazugehörige Infrastruktur-Steckdose erfolgreich prüfen lassen.

Aufgrund der Anforderungen der deutschen Automobilhersteller an die schnelle Verfügbarkeit eines normativen Dokuments und weil die Erarbeitung einer entsprechenden IEC-Norm einen längeren Zeitraum beansprucht, wurde bei der DKE (Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE) die VDE-Anwendungsregel VDE-AR-E 2623-2-2 „Stecker, Steckdosen, Fahrzeugsteckvorrichtungen und Fahrzeugstecker - Ladung von EFZ - Teil 2-2: Anforderungen an Hauptmaße für die Austauschbarkeit von Stift- und Buchsensteckvorrichtungen" auf Grundlage des Entwurfes der Firma Mennekes erarbeitet und veröffentlicht 374.

In dieser werden unterschiedliche Anforderungen an Stecker, Steckdosen, Fahrzeugsteckvorrichtungen und Fahrzeugstecker national und international berücksichtigt. Sie wird mit Erscheinen der IEC-Norm zurückgezogen.

Darin definiert sind für die Verbindung zwischen der Energieversorgung und dem EFZ Stecker und Schnittstellen, die ein „Betanken“ mit 20, 32, 63 Ampere (Einphasen- und Drehstrom) und 70 Ampere (nur Einphasenstrom) ermöglichen bei einer Betriebsspannung von maximal 500 Volt und 50 bis 60 Hertz. Durch diese Bandbreite werden die weltweit unterschiedlich festgelegten Stromversorgungssysteme abgedeckt.

Alle physischen Anforderungen, wie Aufbau und Anordnung der Steckersysteme und Kabel, tragen den Sicherheitsaspekten und der Kompatibilität für die unterschiedlichen Ladebetriebsarten gleichermaßen Rechnung.

Diese VDE-Anwendungsregel gilt für Fahrzeugsteckvorrichtungen, die bei einer Umgebungstemperatur zwischen -30°C und +50°C eingesetzt werden.

Gleichzeitig werden mit dem festgelegten Stecker alle Sicherheitsanforderungen auch im Zusammenhang mit den Ladestationen berücksichtigt. Diese Steckvorrichtungen sind nur für den Anschluss an Kabel mit Leitern aus Kupfer oder Kupferlegierungen vorgesehen. Der aus Deutschland stammende Vorschlag für den Ladestecker wurde bei der IEC eingereicht.

Abb. 61: VDE-geprüfte Ladesteckvorrichtungen der Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co KG 375

Auch die internationale Normung wird auf dem deutschen Normentwurf, dem sogenannten Typ 2, basieren.

- Die Vorteile dieses international als Typ 2 bezeichneten Entwurfs von Mennekes:
- Mit einer einzigen Steckergeometrie (nicht grösser als ein 16A-CEE-Stecker) sind alle Ladeleistungen von 16A einphasig (3,7 kW) bis 63A dreiphasig (43,5 kW) abgedeckt.
- Mehrstufige Sicherheitseinrichtungen sichern ab, dass nur dann Strom fließen kann, wenn das Fahrzeug ordnungsgemäß angeschlossen wurde und alle Sicherheitseinrichtungen einwandfrei funktionieren.
- Die Mennekes-Lösung bietet dadurch ein Höchstmaß an Robustheit und Langlebigkeit.
- Das von Mennekes entwickelte System bietet eine durchgängige Lösung sowohl für die Fahrzeug- als auch für die Infrastrukturseite.

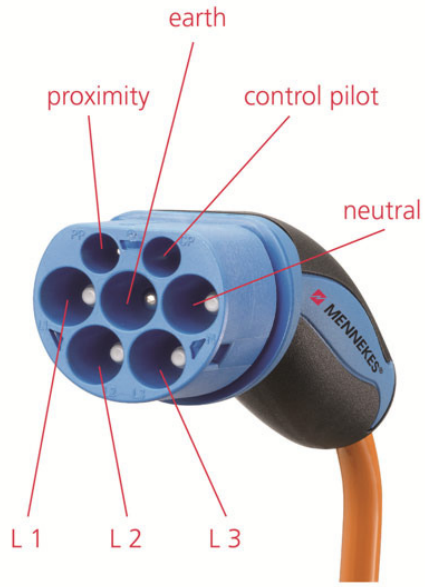


Abb. 62: Ladesteckvorrichtungen von EFZ der Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co. KG (deutscher Normentwurf für die internationale Standardisierung) 376

Wünschenswert wären einheitliche Ladestecker für EFZ. Neben dem Entwurf Typ 2 aus Deutschland gibt es aber noch einen japanischen und einen italienischen Entwurf. Alle drei Typen könnten in der internationalen Norm IEC 62196-2 genormt werden. Dadurch würden regional unterschiedliche Systeme eingesetzt werden. Nach Meinung von Walter Mennekes, dem geschäftsführenden Gesellschafter von Mennekes aus Kirchhundem, gefährden drei parallele Systeme die breite Akzeptanz der Elektromobilität.

Da diese Steckvorrichtungen untereinander nicht kompatibel sind, könnte es problematisch werden, die jeweils passende Ladesäule zu finden. Um dies zu vermeiden, wäre ein zumindest europaweit einheitliches System wünschenswert, denn Steckerwirrwarr verunsichert potentielle Verbraucher." Hierfür setzt sich auch die DKE auf internationaler Ebene ein, da der Typ 2 technisch und wirtschaftlich die ausgewogenste Lösung mit einem hohem Sicherheitsniveau darstellt.

Bei den europäischen Automobilherstellern, Energieversorgern und Netzbetreibern stößt der deutsche Entwurf auf eine hohe Akzeptanz, denn der Normentwurf Typ 2 betrachtet die Ladesysteme für die Elektromobilität ganzheitlich. Dadurch ist der Normentwurf Typ 2 geeignet für alle Ladeströme bis 63 Ampere. Dank einheitlicher Geometrie für ein- bis dreiphasige Anschlüsse reicht eine einzige Ladesteckdosen-Bauform.

Typ 2 Ladesteckvorrichtungen sind bereits für zukünftige Anwendungen wie intelligentes Energiemanagement mit bidirektionaler Energieübertragung geeignet und können EFZ so Teil des intelligenten Stromnetzes „SmartGrid" werden lassen. Dies schafft eine hohe Akzeptanz bei Automobilherstellern und Energieversorgern 377.

3.3.9.3.1.2 Ladesystem für Elektroautos von Lapp und Bals

Die Stuttgarter Lapp-Gruppe hat in Kooperation mit Bals Elektrotechnik aus Nordrhein-Westfalen ein aufeinander abgestimmtes, komplettes und serienreifes Ladesystem für EFZ mit Kabeln und Steckvorrichtungen entwickelt.

Die passende Anschlussleitung Ölflex Charge von Lapp ist ein halogenfreies, flammwidriges und ölbeständiges Spiralkabel, ausgelegt für einen Temperaturbereich von -40 bis +90 Grad. Es eignet sich daher auch für Einsätze mit starker Beanspruchung. Werner Becker, Geschäftsführer der Lapp Systems GmbH, betont, dass die Ladekabel bei jeder Witterung zuverlässig funktionieren müssen. Sie sollten auch nicht unübersichtlich über den Boden schleifen oder gar das EFZ beim Betanken beschädigen. Die Lapp Systems GmbH bietet deshalb dieses Ladesystem kundenspezifisch konfektioniert und vorzugsweise in der speziellen, flexiblen Spiralform an 378.

Abb. 63: Lapp-Ladekabel für EFZ 379

Abb. 64: Lapp-Ladekabel 380

3.3.9.3.1.3 RWE Ladestationen werden mit Standardsteckern von Harting ausgestattet

Auf der RWE Autostrom-Roadshow im Sony Center in Berlin präsentierte die Firma Harting den E-Mobility-Stecker Typ 2 nach IEC 62196-2 Norm, mit dem ab sofort die RWE-Ladesäulen bestückt werden.

Auf einer Pressekonferenz äußerte sich Carolin Reichert, Leiterin E-Mobility bei RWE, zur Zusammenarbeit mit Harting: „Wir gehen davon aus, dass sich der E-Mobility-Stecker Typ 2 Mitte 2011 als internationaler Standard durchsetzen wird. Dann wird sich der Ausbau von Ladeinfrastruktur deutlich beschleunigen. Um hier Lieferengpässe von vornherein zu vermeiden, haben wir mit der Harting Gruppe diese Steckverbindung auf Basis des Defacto-Standards neu entwickelt.

Unsere Ladeinfrastruktursysteme rüsten wir ab sofort auch mit Harting-Produkten aus. Harting liefert hervorragende Qualität. Wir sind mit der Zusammenarbeit sehr zufrieden.“ Dazu Philip Harting, Vorstand Connectivity & Networks bei Harting Technology Group: „In die Zusammenarbeit mit RWE bringen wir unsere bewährte Kompetenz und Innovationsfähigkeit ein. Die Harting Ladekabel für EFZ und die entsprechende Schnittstelle für die Ladesäule überzeugen durch einfache Handhabung, Langlebigkeit und Zuverlässigkeit 381.“

3.3.9.3.1.4 Ladetechnik für EFZ von Delphi

Eine Anschlussmöglichkeit für Ladestationen, die vom Technikzentrum Wuppertal speziell auf die europäischen Belange umgesetzt wurde, präsentierte die Firma Delphi auf der „eCarTec“. Das handliche und benutzerfreundliche Anschlussset sorgt für eine sichere Aufladung der Batterie von EFZ. Das Anschlussset entwickelt Delphi zusammen mit Clipper Creek, einem Hersteller von elektrischen Ladestationen, und wird es mit diesem Partner auch gemeinsam produzieren und vertreiben 382.

3.3.9.3.2 Fragestellungen bezüglich Komfort, Usability und Sicherheit

Zu ausgewählten Fragestellungen bezüglich Komfort, Usability und Sicherheit
beim konduktiven Laden wurden Angaben von Herstellern konduktiver Ladesysteme überprüft bzw. Mitarbeiter dieser Hersteller direkt befragt.
Die Fragen bezogen sich auf:

a) den Aufwand beim Herstellen und Trennen der Steckverbindung,
b) die Wartung und Sicherheitsprüfung von Kabel und Stecker,
c) die Bedienung bei Schlechtwetter (Regen, Schnee, Eis)
d) den Aufwand für Reinigung, Kabelentnahme und Kabelverstau (Lagerung) und
e) den Aufwand für die eventuell erforderliche Tarifwahl an der Ladesäule

3.3.9.3.2.1 Zu a) Aufwand beim Herstellen und Trennen der Steckverbindung

DIN VDE 0620-1 (VDE 0620-1):2010-02 „Stecker und Steckdosen für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke“ definiert unter Allgemeine Anforderungen Nr. 22 die Stecker-Abzugskraft: „Steckvorrichtungen müssen so gebaut sein, dass das leichte Einführen und Herausziehen der Stecker möglich, dass aber das Herausfallen des Steckers im bestimmungsgemäßen Gebrauch verhindert ist.

Für die Zwecke dieser Prüfung gelten Schutzkontakte, unabhängig von ihrer Anzahl, als ein einziger Pol. Verriegelte Steckvorrichtungen werden in entriegeltem Zustand geprüft.

Prüfung: Nur für Steckdosen durch:

– den Nachweis, dass die zum Herausziehen eines Prüfsteckers aus der Steckdose erforderliche maximale Kraft nicht höher ist als in der Tabelle „Größte und kleinste Abzugskraft“ (siehe unten) festgelegt;

– den Nachweis, dass die zum Herausziehen einer einpoligen Lehre aus dem einzelnen Kontaktsatz erforderliche minimale Kraft nicht kleiner ist als in der Tabelle festgelegt 383.“

Bemessungswerte A	Anzahl der Pole	Abzugskräfte	
		Mehrstiftlehre max.	Einstiftlehre min.
bis 10	2	40	2
	3	50	
über 10 bis 16	2	50	2
	3	54	
	mehr als 3	70	
über 16 bis 32	2	80	3
	3	80	
	mehr als 3	100	

Abb. 65: Größte und kleinste Abzugskraft (384, Tabelle 16, Seite 44)

Hinweis: Der Bemessungswert ist der vom Hersteller für die Steckvorrichtung vorgesehene Strom in Ampere.

Die offizielle Prüfung nach DIN erfolgt mit einer Prüfvorrichtung.

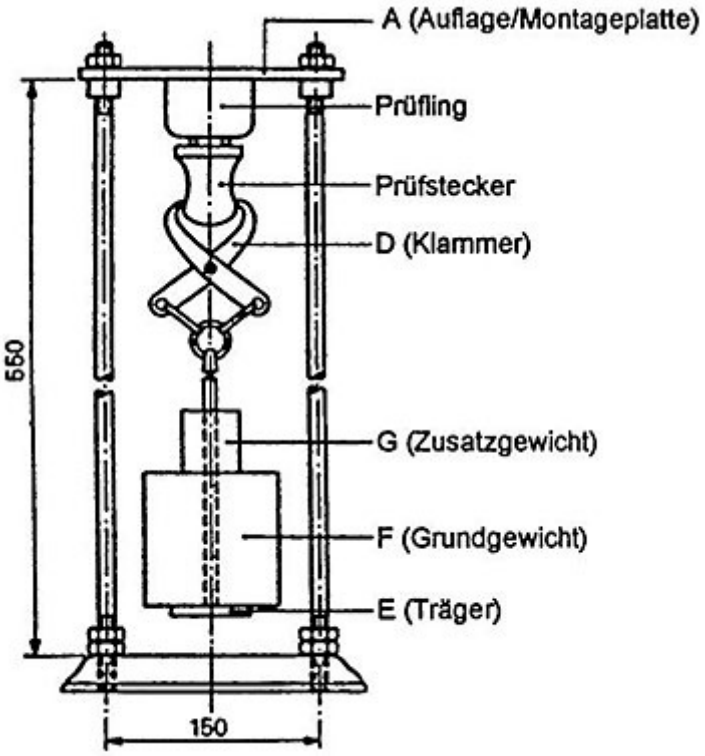


Abb. 66: Vorrichtung für die Prüfung der Abzugskraft (385, Bild 19, Seite 82)

Aussagen des Herstellers zur Stecker-Abzugskraft

Frage:

Gibt es für diese Ladesysteme Vorgaben bzgl. des Kraftaufwands zum Herstellen und Trennen der Steckverbindung

- im Hinblick auf ältere oder leistungsgeminderte Nutzer?

Antwort:

„In allgemeiner Formulierung ja: das Stecken und Ziehen muss leichtgängig sein, damit z. B. auch eine junge Frau mit Kind auf dem Arm problemlos den Ladestecker bedienen kann."

Burkhard Rarbach Leiter / Manager Marketing Services
Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co. KG

3.3.9.3.2.2 Zu b) Wartung und Sicherheitsprüfung von Kabel und Stecker

Nach § 4 des Geräte- und Produktsicherheitsgesetzes darf ein verwendungsfertiges Verbraucher- Produkt nur in den Verkehr gebracht werden, wenn es so beschaffen ist, dass bei bestimmungsgemäßer Verwendung oder vorhersehbarer Fehlanwendung Sicherheit und Gesundheit von Verwendern oder Dritten nicht gefährdet werden.

Pflicht ist die CE-Kennzeichnung als Ausdruck dafür, dass das gekennzeichnete Erzeugnis den EG-Richtlinien mit ihren grundlegenden Sicherheitsanforderungen entspricht.

Aussagen der Hersteller zur Wartung und Sicherheitsprüfung der Kabel

Frage:

Gibt es in diesem Normentwurf Festlegungen zu regelmäßigen Sicherheitsprüfungen der Ladekabel und Stecker

(- vergleichbar mit der (Wiederholungs-)Prüfung ortsveränderlicher Anlagen und Betriebsmittel im gewerblichen Bereich)?

Antwort:

„Nein, momentan nicht. Die Ladekabel sind für eine dauerhafte Nutzung ohne regelmäßige fachmännische Überprüfung ausgelegt."

Burkhard Rarbach Leiter / Manager Marketing Services
Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co. KG

3.3.9.3.2.3 Zu c) Bedienung bei Schlechtwetter (Regen, Schnee, Eis)

Aussagen der Hersteller zur Bedienung bei Schlechtwetter (Regen, Schnee, Eis)

Frage:

Gibt es besondere Einschränkungen bzgl. der sicheren Bedienung bei Schlechtwetter (Regen, Schnee, Eis)?

Antwort 1:

„Nein, im Gegenteil: die Ladesteckvorrichtungen müssen bei jedem Wetter einwandfrei funktionieren."

Burkhard Rarbach Leiter / Manager Marketing Services
Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co. KG

Antwort 2:
„Es gibt keinerlei Einschränkungen bei schlechtem Wetter.
Ein derartiges Kabel muss bei jeder Witterung zuverlässig funktionieren."

Klaus Piepenstock
Technischer Leiter
Bals GmbH

3.3.9.3.2.4 Zu d) Aufwand für Reinigung, Kabelentnahme und Kabelverstau (Lagerung)

Aussagen der Hersteller zur Reinigung und Lagerung

Frage:
Gibt es seitens des Herstellers besondere Hinweise bzgl. Reinigung und Lagerung der Ladekabel im Fahrzeug?

Antwort 1:
„Dies könnte durchaus von Seiten der Fahrzeughersteller der Fall sein, da jedes EFZ serienmäßig mindestens mit einem Ladekabel ausgestattet sein wird."

Burkhard Rarbach Leiter / Manager Marketing Services
Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co. KG

Antwort 2:
„Es gibt keine besonderen Anforderungen an Reinigung bzw. Lagerung der Ladekabel. Diese sind mit der CE-Kennzeichnung versehen und halten somit dem bestimmungsgemäßen Gebrauch im Alltag stand."

Klaus Piepenstock
Technischer Leiter
Bals GmbH

3.3.9.3.3 Übersicht konduktive Ladetechnik

Darüber hinaus arbeiten die Hersteller an kompletten Systemlösungen für Ladestationen
Darüber hinaus arbeiten die Hersteller an kompletten Systemlösungen für Ladestationen, die sowohl im kommerziellen und öffentlichen Bereich als auch im privaten Bereich zum Einsatz kommen.
Je nach Einsatzgebiet werden hier bedarfsgerechte Ladeleistungen mit unterschiedlichen Ladeströmen angeboten.

3.3.9.3.3.1 Mennekes

Auf der Messe „Elektrotechnik“ in Dortmund präsentierte Mennekes die AM-Spot Ladesysteme in verschiedenen Ausführungen für den Einsatz im privaten und nicht- öffentlichen Bereich, zum Beispiel auf Firmenparkplätzen, Betriebshöfen oder Privatgrundstücken 386.

Abb. 67: AM-Spot Ladesäulen 387

Die Energieversorgung der AM-Spot Ladesäulen erfolgt direkt über die lokale Stromversorgung. Sie sind anschlussfertig verdrahtet und sofort nach dem Anschluss ans Stromnetz betriebsbereit. AM-Spot Ladesäulen ermöglichen Ladungen gemäß Mode 3 der IEC 61851 bis 22 kW für Fahrzeuge mit Kommunikationsschnittstelle und über die Steckdose SCHUKO® bis 3 kW für Fahrzeuge ohne Kommunikationsschnittstelle, wie beispielsweise Elektro-Roller oder Elektro-

Fahrräder. Dem Elektrofachmann stehen dabei verschiedene Arten der Autorisierung des Nutzers zur Verfügung [388].

Abb. 68: Home Charger – Die Ladestation für zu Hause [389]

Home Charger heißen die Ladestationen von Mennekes für den Privatbereich.

Genau wie die Ladesäulen für den nicht-öffentlichen Bereich zeichnen sie sich durch intelligente Detaillösungen aus, welche die Bedienung erleichtern und den Ladevorgang komfortabel gestalten. Home Charger werden typischerweise eingesetzt im bzw. am Wohnhaus oder in der Garage. Sie ermöglichen Ladungen gemäß Mode 3 der IEC 61851 bis 16A dreiphasig. Home Charger Premium Metall sind optional auch mit Zähler erhältlich. Die Anbindung an Smart Home Systeme ist vorgesehen und wird in Zukunft interessante Möglichkeiten bieten [390].

3.3.9.3.3.2 Bosch

Bosch bietet für Handelsunternehmen, Hotels, kommunale Behörden, Parkplatzbetreiber, Stadtwerke und andere Elektromobilitätsanbieter eine Komplettladeinfrastruktur an, wie sie das Unternehmen derzeit in Singapur errichtet. Das System mit dem Namen eMobility Starter Package richtet sich vor allem an Stadtwerke und ermöglicht mit der speziellen Softwareinfrastruktur in Form von Internetdiensten als „Software as a Service“ (SaaS) einen schnellen Einstieg in den Elektromobilitätsmarkt. Alle Kernfunktionen einer Ladeinfrastruktur lassen sich komfortabel nutzen, wie beispielsweise die Verwaltung von Ladestationen oder die automatisierte Abrechnung 391.

Abb. 69: Das eMobility Starter Package von BOSCH 392

Das eMobility Starter Package ist so konzipiert, dass die Fahrer von EFZ über moderne User Interfaces, die auch auf mobilen Geräten laufen, sehr einfach die nächstgelegene Ladestation finden. Der Ladevorgang wird automatisch erfasst und optisch ansprechend aufbereitet. Für Fahrer, Betreiber und Stromlieferant ist die Abrechnung transparent und leicht nachvollziehbar.

Desweiteren zeichnet sich das System durch seine besondere Stabilität aus. Auch ein vorübergehender Ausfall des öffentlichen Netzwerks hat keinen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit der Ladeinfrastruktur. Das System wird im Bosch Rechenzentrum hochverfügbar betrieben und trägt somit zur Versorgungssicherheit der Nutzer von EFZ bei.

3.3.9.3.3.3 Schletter

Das Schletter P-CHARGE-System ist eine komplette Bauserie von Ladestationen für EFZ für unterschiedlichste Anforderungen im privaten und öffentlichen Bereich. Von der einfachen Ladesäule für Elektrofahrräder, Roller und Elektroautos über komplette Parkplatzsysteme für Kaufhausketten, kommunale Parkhäuser und Parkplätze bis hin zu kompletten Lade- und Abrechnungssystemen der Zukunft. Das System P-CHARGE wird jeweils auf Kundenwunsch konfiguriert. Die einzelnen Säulen werden je nach Anforderung mit den passenden Stecksystemen ausgerüstet 393.

Von der P-CHARGE StandAlone Ladestation für den öffentlichen und nicht-öffentlichen Bereich konzipiert, wie z. B. öffentliche Parkplätze oder Firmenparkplätze über die P-CHARGE WallBox einer einfachen Bauform der Wandmontage, konzipiert für die Anwendung in Tiefgaragen, Parkhäusern, Parkplätzen oder für die Nutzung durch Privatpersonen bis zum P-CHARGE Master

& Slave Mastersystem vor allem für öffentliche Großparkplätze stehen verschiedene Konfigurationen zur Verfügung [394].

Abb. 70: P-Charge Ladesäule der Schletter GmbH [395]

Damit EFZ erfolgreich eingeführt werden können, ist nicht nur ein ausreichend dichtes Netz an Ladestellen nötig, sondern es müssen auch die Ladevorgänge und deren Abrechnung so unkompliziert und transparent wie möglich sein. Gleichzeitig müssen die Endgeräte überwacht und verwaltet, Kunden- und Fahrzeugdaten zur Abrechnung abgeglichen und verarbeitet werden.

3.3.9.3.3.4 Cirquent

Das IT-Beratungs- und Systemintegrationsunternehmens Cirquent präsentierte auf der Sondershow „Future of Mobility“ im Rahmen der „E-World energy & water“, die vom 8. bis zum 10. Februar 2011 in der Messe Essen stattfand, das Elektroauto-Ladestellensystem Just Plug. Dabei sind die Ladesäulen nur der sichtbare Teil eines umfassenden Lösungskonzepts für die Strombetankung von EFZ und die gesamte Verwaltung eines Ladestellennetzes und seiner Kunden [396].

In dem Ladestellensystem Just Plug, zu dem Cirquent auf Wunsch auch gleich die im Rahmen des Ballade-Projekts entwickelte Ladesäulenhardware liefert, werden die Ladekabel über RFID vom Managementsystem erkannt oder der Kunde lässt eine Kundenkarte einlesen. Nach dem Prinzip „just plug“ - „einfach einstecken“ - sollen alle Vorgänge rund um das Laden bargeldlos und nach Möglichkeit automatisch ablaufen. Damit es der Kunde schon vor dem Laden bequem hat, sieht das System von Cirquent einen Navigationsservice zur nächsten Ladestelle und eine Reservierung von Ladeplätzen vor.

Cirquent ist intensiv damit beschäftigt, die Benutzerfreundlichkeit der Ladestationen und des Aufladungsvorgangs weiter zu erhöhen. Dazu wurden auch die Anwender befragt.

Just Plug dient aber nicht nur dem effizienten und übersichtlichen Betrieb eines Ladestellennetzes. Durch steuerbare Ladezeitpunkte können angeschlossene Fahrzeuge künftig zum Energiespeicher in einem Smart Grid werden und als Teil eines solchen intelligenten Stromnetzes zum Beispiel die Leistungsspitzen aus Windkraftanlagen und Photovoltaik auffangen.

„Wir sind derzeit der einzige Anbieter, der ein so ausgereiftes und bereits erprobtes Ladestellennetz zur Verfügung stellt“, sagt Gerhard Hagenauer, Leiter E-Mobility bei Cirquent. Michael Spreng, Competence Unit Manager bei Cirquent, ergänzt: „In Just Plug fließen Erfahrungen aus Europa und Asien ein. Wir verfolgen mit dieser zukunftsweisenden Technologie einen internationalen Ansatz. Wir stellen unser Know-how aus der Bewältigung komplexer IT- und Management-Aufgaben in den Dienst einer intelligenten, umweltfreundlicheren Nutzung von Energie und Gewährleistung von Mobilität 397.“

3.3.9.3.3.5 Kiekert

Die Kiekert AG aus Heiligenhaus öffnet der Stromversorgung von Elektro-Autos die Tür. Beim „Betanken“ eines EFZ fließen hohe Ladeströme. Für die Sicherheit ist es von größter Bedeutung, dass der Stecker beim Aufladen sicher verriegelt. Die dazu notwendigen Ladesteckerverriegelungen liefert die Kiekert AG heute bereits in Serie. Für zwei Fahrzeugmodelle liefert Kiekert ab 2011 die Verriegelungsantriebe für die Ladestecker.

Dort, wo der Fahrer die Stromkabel zum elektrischen „Betanken“ des Autos anschließt, arretiert die automatisch angetriebene Verriegelung den Stecker und garantiert, dass er sich nicht unfreiwillig löst. „Im Gegensatz zum gewohnten Tanken dauert der elektrische Ladevorgang bis zu acht Stunden. Da muss eine sichere Halterung des Steckers über die gesamte Dauer gewährleistet sein.“ so Kiekerts Entwicklungschef Dr. Ulrich Nass 398.

3.3.9.3.3.6 Ford

Einen weiteren Beitrag zur Benutzerfreundlichkeit beim konduktiven Laden von EFZ liefert FORD. Die Ladesteckdose rückt in eine einfach zu erreichende Position 399.

Abb. 71: Neue Ladesteckdose an EFZ von Ford 400

Der Autohersteller Ford hat bei seinen EFZ Focus Electric und C-MAX Energi für die Position des Ladepunktes den linken, vorderen Kotflügel zwischen Fahrertür und Vorderrad standardisiert. Das Anschließen des Ladekabels soll dadurch intuitiver erfolgen.

„Nach einem Vergleich mit Konkurrenzmodellen fanden wir heraus, dass es keine Kontinuität bei der Anordnung der Ladesteckdose gibt.“ sagt Susan Curry, Ford Electrified Vehicle Technology

Integration Supervisor. „Wir wollen dem EFZ-Nutzer eine Position anbieten, die für ihn den meisten Sinn macht und genauso einfach erscheint, wie das Tanken an einer normalen Tankstelle."

Laut Ford verbinden oder trennen die Besitzer von EFZ ihr Auto bis zu viermal am Tag, oder annähernd 1.500-mal im Jahr. Verglichen mit der wöchentlichen Frequenz des normalen Tankens ist dies eine beachtliche Zahl. Die Ford-Ingenieure untersuchten verschiedene Positionen für die Ladesteckdose des Focus und des C-MAX, um dem Nutzer letztendlich den besten Platz anzubieten.

Der Plan, die Ladesteckdose in die Front- oder Heckpartie des EFZ zu integrieren, wurde verworfen, da diese Bereiche schon bei leichten Unfällen beschädigt werden können. „Durch die Position im linken, vorderen Kotflügel rückt die Ladesteckdose ins Blickfeld des Nutzers, bevor dieser das Fahrzeug besteigt oder nachdem er es wieder verlässt. So wird er leicht daran erinnert, entweder das Kabel abzuziehen oder das EFZ wieder aufzuladen." Sagt Mary Smith, Ford Electrified Vehicle Technology Integration Supervisor.

Der Nutzer weiß auch immer, wann sein EFZ vollständig geladen und bereit zum Losfahren ist. Wird der Stecker des Kabels in die Ladestreckdose gesteckt, wird ein Lichtring aktiviert, der damit die erfolgreiche Verbindung anzeigt. Während des Ladevorgangs blinkt der Lichtring und zeigt somit den Fortgang des Ladens an. Wenn der gesamte Ring dauerhaft leuchtet, ist der Ladevorgang abgeschlossen [401].

3.3.9.3.4 Zeitaufwand für konduktives Laden

Ein entscheidender Faktor für die Nutzerfreundlichkeit beim Laden von EFZ und das daraus resultierende Nutzerverhalten ist neben ergonomischen Teilproblemen, wie der Positionierung der Ladesteckdose am EFZ und dem Kraftaufwand für das Herstellen der Verbindung, auch der Zeitaufwand für den gesamten Handlungsablauf – Verbinden des Fahrzeugs mit dem Stromnetz und Starten des Ladevorgangs.

Dieser Zeitaufwand kann anhand von Beobachtungen abgeschätzt werden. Abweichungen ergeben sich aufgrund verschiedener Gestaltungslösungen für die Kabel und Steckverbindungen sowie verschiedener Kommunikationsanforderungen beim verwendeten Ladesystem. Bei der Anmeldung an einem privaten Ladepunkt (eigene Garage, Carport) könnte z. B. das Identifizieren des Nutzers entfallen. Die Werte haben somit lediglich orientierenden Charakter.

Die Dauer kann aber dennoch entscheidend dafür sein, ob der Nutzer das Fahrzeug zum Laden anschließt oder dies aus Bequemlichkeit oder Eile auf einen späteren Zeitpunkt verschiebt. Der Versuch, anhand von Videosequenzen aus dem Internet den Zeitaufwand abzuschätzen, ergab für diese Handlungsabläufe Zeiten von bis zu einer halben Minute.

Die auf den Videos dargestellten Bedienhandlungen zur Einleitung des konduktiven Ladens fanden unter nahezu optimalen Bedingungen im Parkhaus oder im Freien bei Sonnenschein statt. Bei ungünstigeren Umweltbedingungen könnten sich auch die erforderlichen Zeitaufwendungen erhöhen.

	Ablaufabschnitt	Dauer
	1) aussteigen	2 s
	2) identifizieren an der Ladesäule	3 s
	3) Kabel am Auto einstecken	3 s
	4) kommunizieren an der Ladesäule	9 s
	5) Kabel an die Ladesäule stecken	6 s
	Gesamtdauer	23 s

Tab. 36: Auswertung Videosequenz 1 402

	Ablaufabschnitt	Dauer
	1) aussteigen	2 s
	2) Ladekabel holen	3 s
	3) Kabel am Auto einstecken	3 s
	4) identifizieren an der Ladesäule	9 s
	5) Kabel an die Ladesäule stecken	6 s
	Gesamtdauer	23 s

Tab. 37: Auswertung Videosequenz 2 403

	Ablaufabschnitt	Dauer
	1) aussteigen	3 s
	2) Ladekabel holen	3 s
	3) Kabel am Auto einstecken	3 s
	4) Kabel an die Ladesäule stecken	4 s
	5) identifizieren an der Ladesäule	4 s
	Gesamtdauer	17 s

Tab. 38: Auswertung Videosequenz 3 404

	Ablaufabschnitt	Dauer
	1) aussteigen	4 s
	2) Ladekabel holen	6 s
	3) Kabel an die Ladesäule stecken	5 s
	4) Kabel am Auto einstecken	5 s
	Gesamtdauer	20 s

Tab. 39: Auswertung Videosequenz 4 405

3.3.9.3.5 Fazit

Das Fazit aus der Untersuchung der Bedienung konduktiver Ladetechnik im Alltag ist:

- Der Kraftaufwand beim Herstellen und Trennen der Steckverbindung ist als eher gering einzuschätzen. Auch von EFZ-Nutzern mit geringerer Körperkraft sind diese Bedienhandlungen problemlos auszuführen.
- Der Aufwand für die Wartung und Sicherheitsprüfung von Kabel und Stecker wird von den Herstellern als gering eingeschätzt. Die angebotenen Systeme werden als wartungsarm eingestuft, regelmäßige Sicherheitsprüfungen der Ladekabel und Stecker – vergleichbar mit der (Wiederholungs-)Prüfung ortsveränderlicher Anlagen und Betriebsmittel im gewerblichen Bereich – sind bisher nicht verbindlich.
- Die Bedienung der konduktiven Ladesysteme bei Schlechtwetter (Regen, Schnee, Eis) wird von den Herstellern als absolut sicher eingeschätzt.
- An Reinigung bzw. Lagerung der Ladekabel werden keine besonderen Anforderungen gestellt. Diese sind mit der CE-Kennzeichnung versehen und halten somit dem bestimmungsgemäßen Gebrauch im Alltag stand.
  Für das Verstauen bzw. die Entnahme der Ladekabel im bzw. aus dem Fahrzeug ist die Gestaltungslösung des jeweiligen EFZ-Herstellers verantwortlich. Eine einheitliche Aussage zum damit verbundenen Aufwand gibt es somit nicht.
- Der Aufwand für die eventuell erforderliche Tarifwahl an der Ladesäule kann aufgrund unterschiedlicher Kommunikationsanforderungen beim jeweils verwendeten Ladesystem nicht allgemeingültig beziffert werden.
- Der Zeitaufwand für den gesamten Handlungsablauf – Verbinden des Fahrzeugs mit dem Stromnetz und Starten des Ladevorgangs – schwankt bei den betrachteten Systemen stark. Der für diesen Handlungsablauf abgeschätzte Zeitaufwand liegt bei bis zu einer halben Minute.

3.3.9.4 Fragebogenstudie zum Nutzerverhalten beim Laden von EFZ

In dieser Studie wurde das Verhalten beim Laden von EFZ untersucht, um eine Prognose für das zukünftige Ladeverhalten der EFZ-Nutzer abgeben zu können. Die Ergebnisse basieren auf zwei Befragungen, die insbesondere auf den Vergleich des Ladekomforts bei induktiver und konduktiver Ladetechnik abzielen.

3.3.9.4.1 Die Motivation dieser Studie

Es gibt bisher wenige Studien, die sich mit der Akzeptanz bei der Nutzung von EFZ beschäftigen. Hidrue und Kollegen untersuchten 2011 die Zahlungsbereitschaft der Konsumenten in Bezug auf fünf verschiedene Eigenschaften von EFZ (Reichweite, Ladedauer, Bezinkosteneinsparung, Minderung der Schadstoffbelastung und Fahrverhalten) [406]. Deren Ergebnisse zeigen, dass die Konsumenten besonders für Zeitersparnisse im Laden (bis zu 3250 $ für eine Stunde Zeitersparnis), lange Reichweiten (bis zu 75 $ pro Meile) und Minderungen in der Schadstoffbelastung bereit sind, mehr zu zahlen.

Auf der Basis einer Online-Umfrage des Electric Power Research Institute (EPRI) in Kalifornien wurden 2010 das Interesse und die Erwartung zur Infrastruktur elektrischer Fahrzeuge unter 879 Teilnehmern erfragt [407]. Die Ergebnisse lassen eine Tendenz zur höheren Zahlungsbereitschaft im amerikanischen Markt erkennen.

Ebenfalls führten Krems und Kollegen internationale Feldversuche zur Nutzerakzeptanz von EFZ durch, wobei die Nutzer die EFZ zur Erprobung für einen längeren Zeitraum nutzen konnten [408].

In allen Studien wurde jedoch nicht zwischen konduktiver und induktiver Ladetechnik unterschieden. Daher soll im Rahmen dieser Studie, die Nutzerakzeptanz im deutschen Markt bezüglich konduktiv und induktiv geladener EFZ erhoben werden, um eine Prognose des zukünftigen Ladeverhaltens der EFZ-Fahrer abgeben zu können.

Da der Ladekomfort einen wichtigen Faktor der Nutzerakzeptanz darstellt [409], soll zudem abgefragt werden, ob die Nutzer dem induktiven Ladevorgang einen Mehrwert einräumen. Dazu werden zum einen die Ergebnisse einer Befragung auf der Hannover Messe Industrie (HMI) und zum anderen Ergebnisse einer Internetbefragung zum Nutzerverhalten beim Laden von EFZ vorgestellt.

3.3.9.4.2 Befragungsmethoden

Um einen möglichst repräsentativen und vielschichtigen Nutzerkreis zu befragen und um eine möglichst umfassende Prognose zum Ladeverhalten abgeben zu können, wurden zwei sich ergänzende Befragungsmethoden eingesetzt.

Zum einen wurde eine face-to-face Befragung auf dem Stand des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) auf der HMI durchgeführt. Auf diesem Stand wurden die neuesten Forschungsergebnisse aus dem BMU-Förderprogramm für Elektromobilität vorgestellt. Auf diese Weise nahmen vor allem Personen an der Umfrage teil, die an EFZ

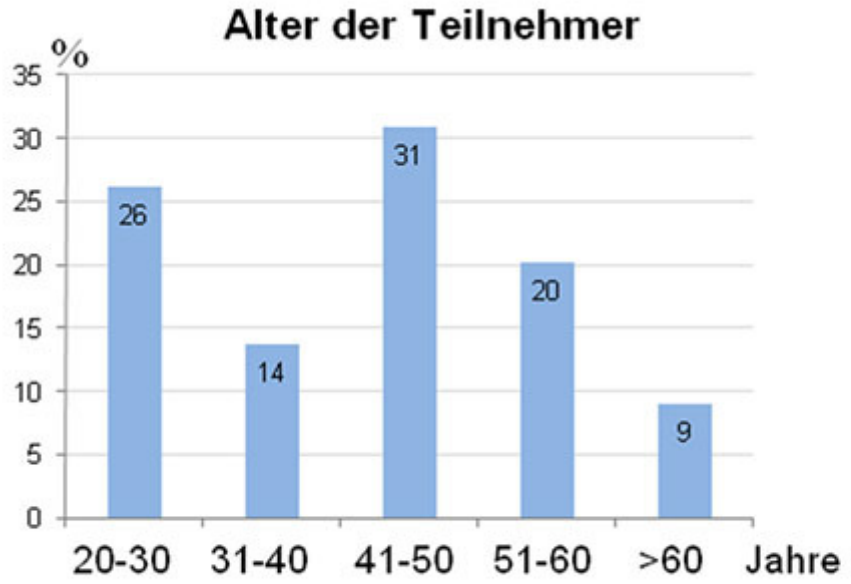
interessiert sind. Zu den Befragten zählten nach eigener Einschätzung interessierte Privatpersonen, darunter Studenten aus einschlägigen Studienrichtungen, Aussteller und branchenspezifische Besucher aus der Industrie.

Zum anderen wurde eine Internetbefragung zum Nutzerverhalten beim Laden von EFZ durchgeführt. Durch die Verbreitung der Umfrage über soziale Netzwerke wurde vor allem die jüngere Generation (mehrheitlich Studenten) erreicht. Diese junge Altersklasse ist für eine Prognose besonders interessant, da sie den zukünftigen Käufer- und Nutzerkreis repräsentiert.

3.3.9.4.3 Beschreibung der Stichproben

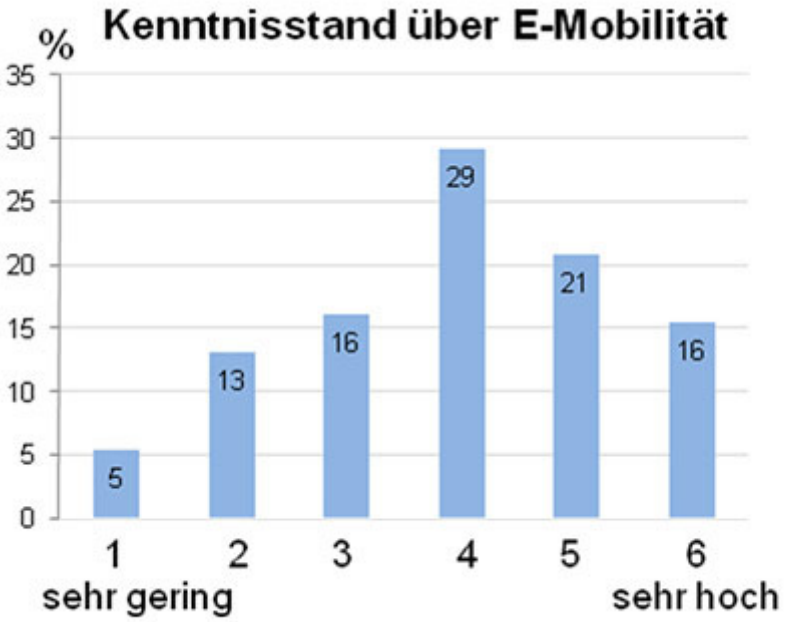
3.3.9.4.3.1 Stichprobe HMI:

Insgesamt nahmen an der Befragung auf der HMI 170 Personen teil, davon 158 Männer und 12 Frauen. Im Bild unten ist die Altersstruktur der Befragungsteilnehmer dargestellt.



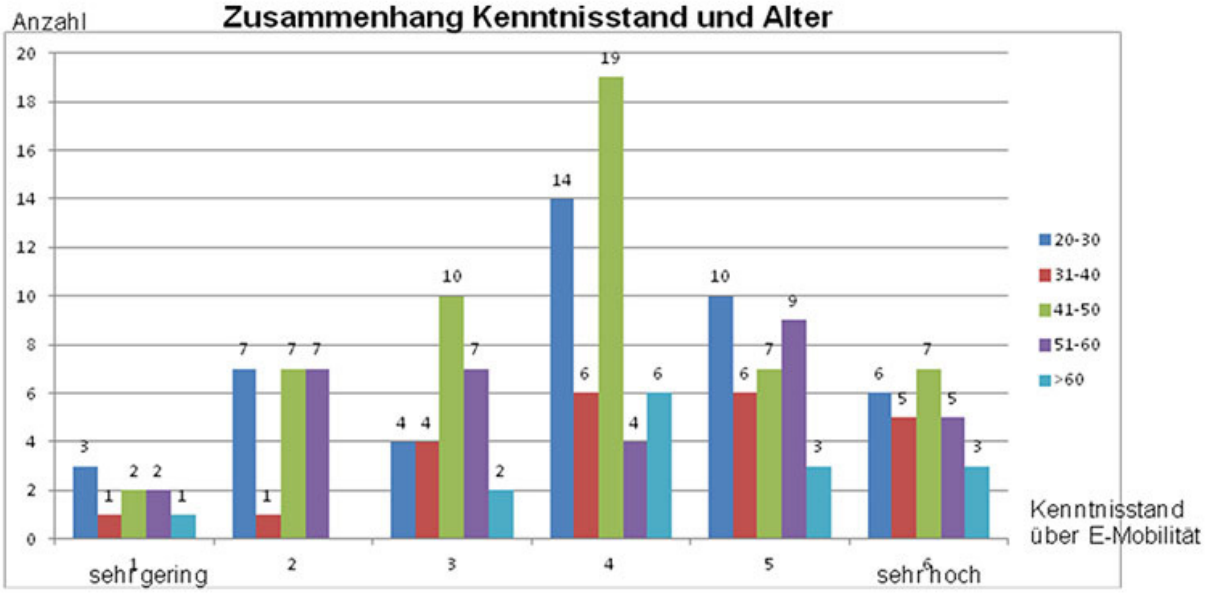
Tab. 40: Altersstruktur der Befragungsteilnehmer – HMI

Es sind alle Altersgruppen vertreten, wobei die größte Gruppe, die 41-50-Jährigen bilden, gefolgt von den 20- bis 30-Jährigen. Der Kenntnisstand bezüglich der Elektromobilität der befragten Personen befindet sich eher im überdurchschnittlichen Bereich (Bild unten).



Tab. 41: Kenntnisstand der Befragten bezüglich Elektromobilität - HMI

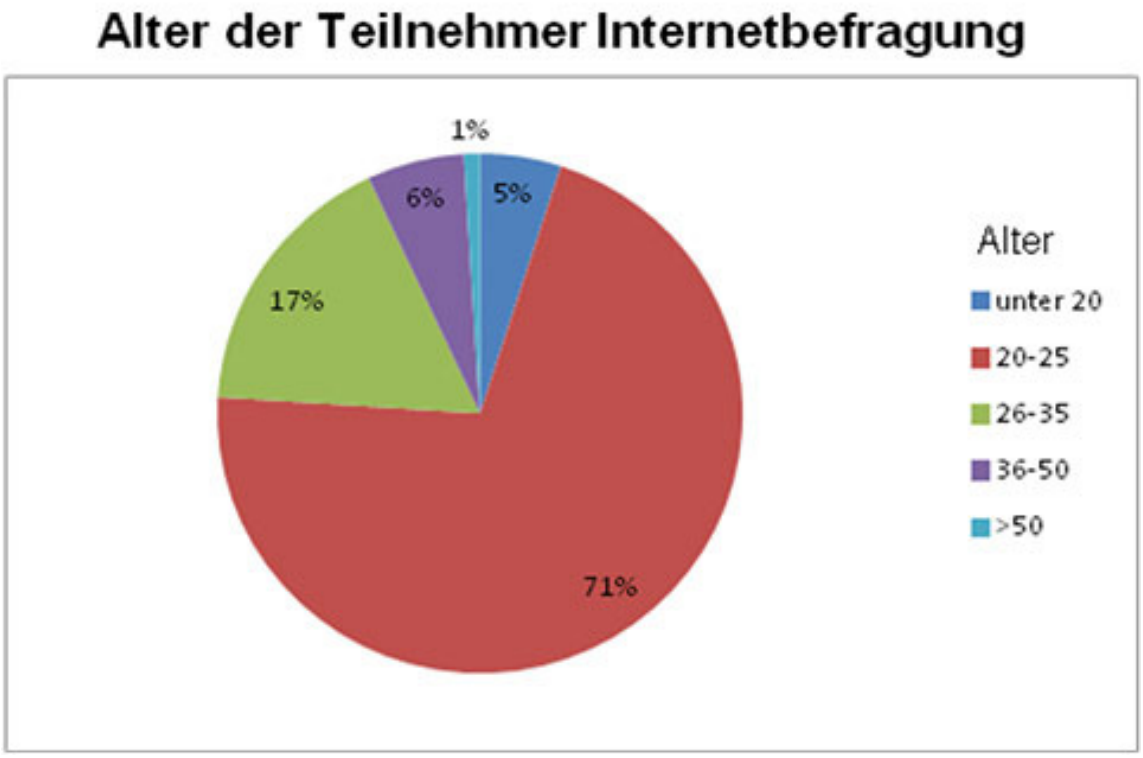
Das Bild unten zeigt die Altersstruktur der Befragungsteilnehmer sortiert nach Expertisegruppen. In jeder Expertisegruppe sind alle Altersgruppen vertreten. Ein direkter Zusammenhang zwischen dem Alter der Befragten und dem selbst eingeschätzten Kenntnisstand bezüglich Elektromobilität ist nicht vorhanden (r = 0,0). So befanden sich unter den Befragten auch jüngere Personen mit hoher Expertise, wie z. B. Studenten einschlägiger Fachrichtungen.



Tab. 42: Altersstruktur der Befragungsteilnehmer sortiert nach Expertisegruppen – HMI

3.3.9.4.3.2 Stichprobe Internetbefragung:

An der Internetumfrage nahmen insgesamt 729 Personen teil, davon 541 Männer und 188 Frauen. Die Altersstruktur ist im Bild unten dargestellt. Es wurde vor allem die jüngere Generation bis 35 Jahre mit einem Anteil von 93 Prozent erreicht.



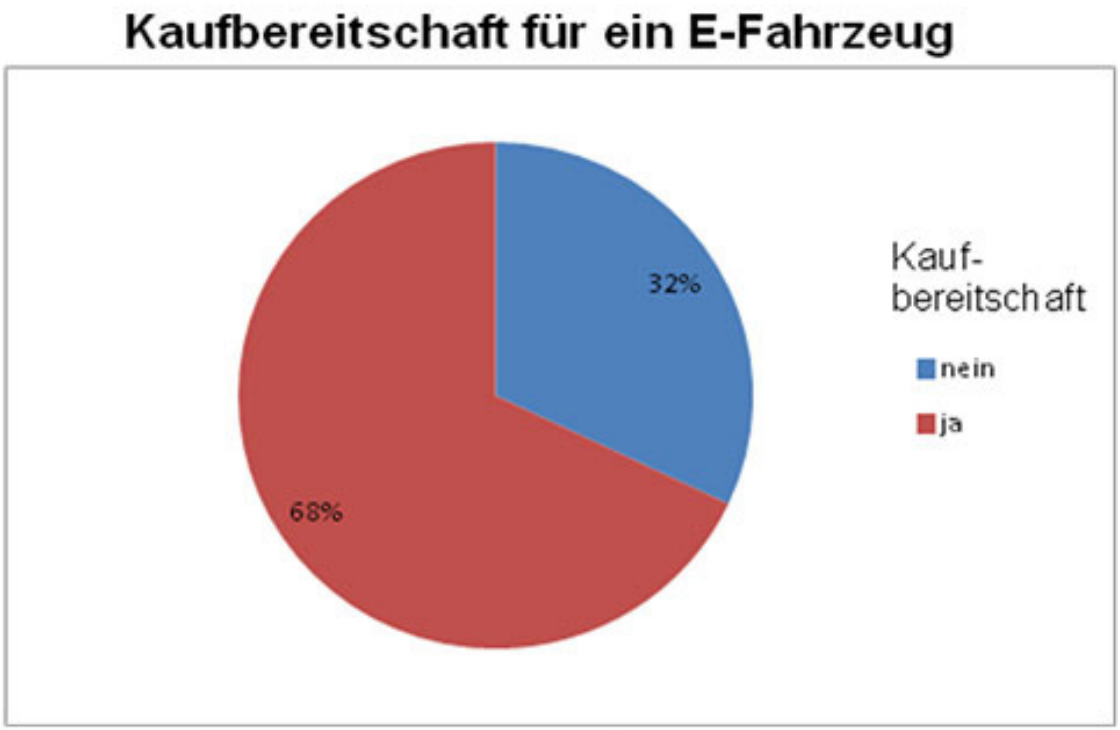
Tab. 43: Altersstruktur der Befragungsteilnehmer - Internetbefragung

3.3.9.4.4 Ergebnisse der Befragungen

3.3.9.4.4.1 Die Einstellung zur Elektromobilität allgemein

78 % der Befragten wären bereit, für die Anschaffung eines EFZ mehr Geld auszugeben als für einen Neuwagen gleicher Kategorie mit Benzinmotor. Auf die Frage nach dem „wie viel mehr die Befragten bereit wären, für ein EFZ zu zahlen“ lag die Antwort bei „durchschnittlich 20 % mehr“. Dabei besteht kein Zusammenhang zwischen der Bereitschaft zu einer höheren Investition für ein EFZ und dem Expertiseniveau der Befragten (r = 0,1).

Das Ergebnis der Internetbefragung weicht nur geringfügig vom Ergebnis der HMI-Befragung ab. Hier gaben fast 68 % der Befragten (466 Personen) an, sie könnten sich vorstellen, bis zum Jahr 2020 ein EFZ zu kaufen. Dazu wurden Gründe für und gegen den Kauf eines EFZ genannt, die in Tabelle 7 dargestellt sind.



Tab. 44: Kaufbereitschaft für ein EFZ - Internetbefragung

Gründe für den Kauf eines EFZ:	Gründe gegen den Kauf eines EFZ:
Umweltfreundlichkeit	noch nicht ausgereifte Technik bzw. Infrastruktur
Erschöpfung der Rohstoffreserven	zu hohe Kosten
steigende Spritkosten	Affinität zu Verbrennungsmotoren (z. B. Akustik)
generelles Technikinteresse	
geräuscharmer Antrieb	

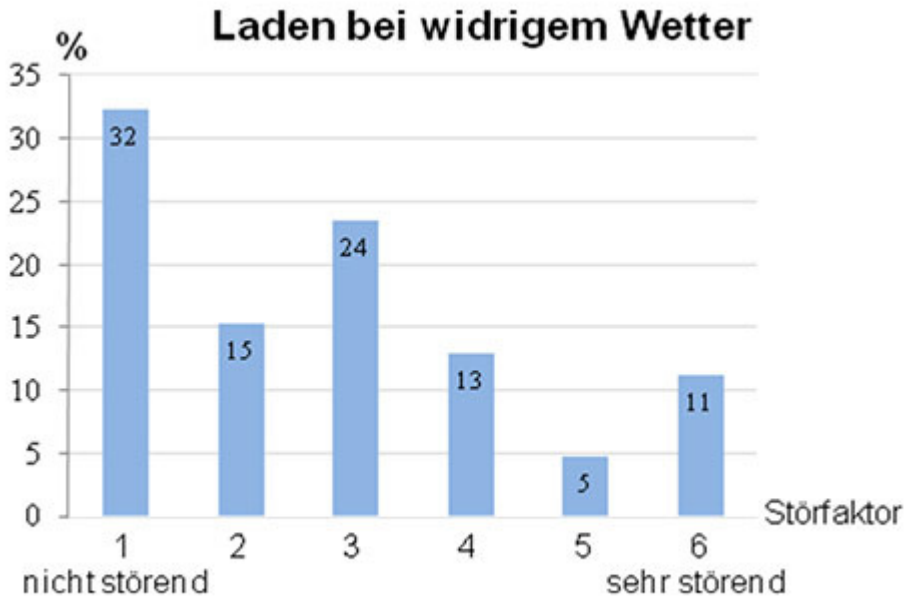
Tab. 45: Gründe für und gegen den Kauf eines EFZ – Internetumfrage

3.3.9.4.4.2 Die Einstellung zur Ladeart (konduktiv/induktiv)

Die Frage, ob das Hantieren mit dem Ladekabel beim konduktiven Laden ein Grund sei, kein EFZ zu kaufen, bejahten nur knapp 14 % der Befragten. Von der überwiegenden Mehrheit (über 86 %) wird das konduktive Laden als „nicht störend“ eingeschätzt.

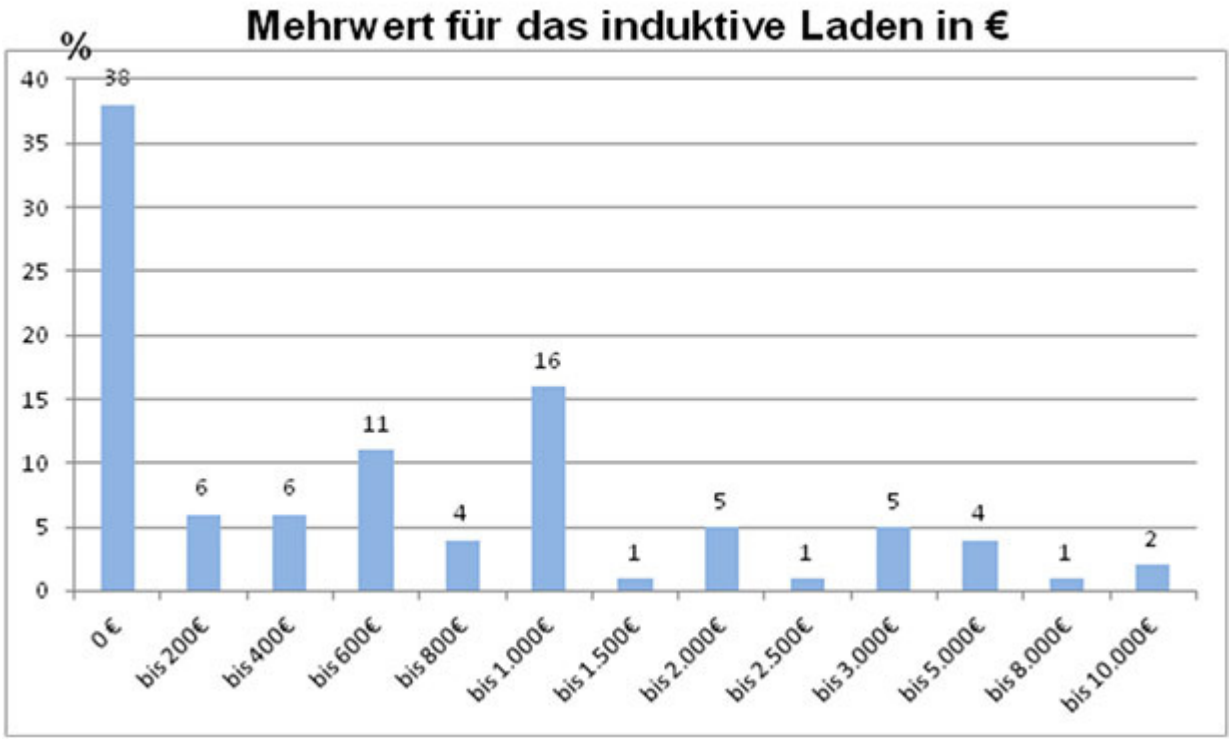
Tab. 46: Konduktives Laden als Grund kein EFZ zu kaufen - HMI

Auch das Laden bei widrigen Wetterverhältnissen würde die Befragten eher nicht stören.



Tab. 47: Störfaktor konduktives Ladens bei widrigen Witterungsverhältnissen - HMI

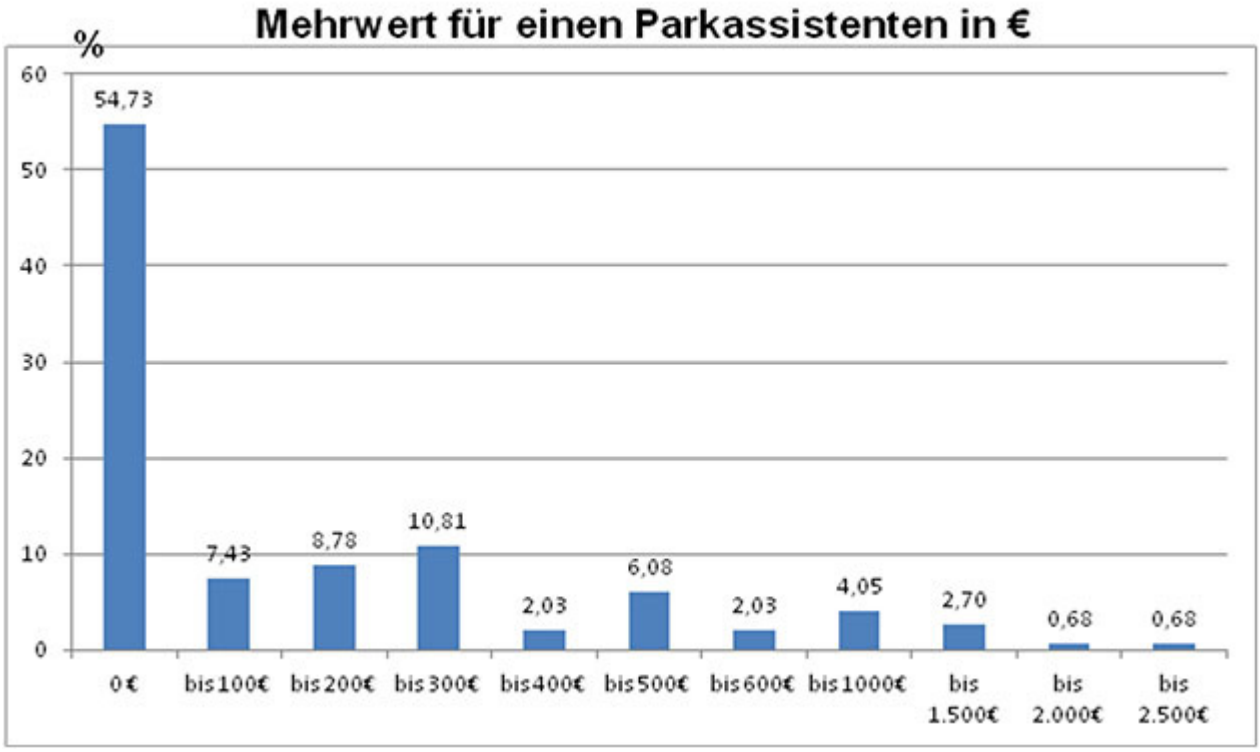
38 % der befragten Personen wären nicht bereit, für den Komfortgewinn durch die induktive Ladetechnik mehr Geld auszugeben (Bild unten). Als Argument wird angeführt, dass die Kosten für ein EFZ schon über denen für ein konventionelles Fahrzeug liegen. Zudem zweifeln einige der Befragten die Wirksamkeit des induktiven Ladens an.



Tab. 48: Mehrwert für den Komfortgewinn des induktiven Ladens - HMI

Bei den verbleibenden 62 % der Befragten, die bereit sind, im Vergleich zum konduktiven Laden mehr zu bezahlen, liegt die eine Hälfte unter und die andere Hälfte über dem Betrag von 1.000 € (Md = 1.000 €). Zwischen dem von den Befragten eingeschätzten Mehrwert des induktiven Ladens und dem Kenntnisstand bezüglich Elektromobilität besteht kein Zusammenhang (r = -0,1).

Um den von den Teilnehmern geschätzten Mehrwert für den Komfortgewinn des induktiven Ladens nicht nur als fiktiven Wert zu betrachten, sollten die Teilnehmer zudem angeben, wie viel sie bereit wären, für einen Parkassistenten zu bezahlen. Diese Belastbarkeitsprobe soll zeigen, ob die geschätzten Preise für die induktive Ladetechnik realistischen Angaben entsprechen, da der Preis für einen Parkassistenten bekannt ist.



Tab. 49: Mehrwert für den Komfortgewinn eines Parkassistenten - HMI

55 % der befragten Personen wären nicht bereit, für den Komfortgewinn durch einen Parkassistenten mehr Geld auszugeben. Als Argument wird angeführt, dass die Befragten ohne technische Hilfen einparken können und diese deshalb nicht brauchen. Bei den verbleibenden 45 % der Befragten, die bereit sind, für einen Parkassistenten mehr zu bezahlen, liegt der Median bei 300 €. Dies entspricht dem tatsächlichen durchschnittlichen Preis für einen Parkassistenten.

3.3.9.4.4.3 Die Einstellung zum Ladeverhalten

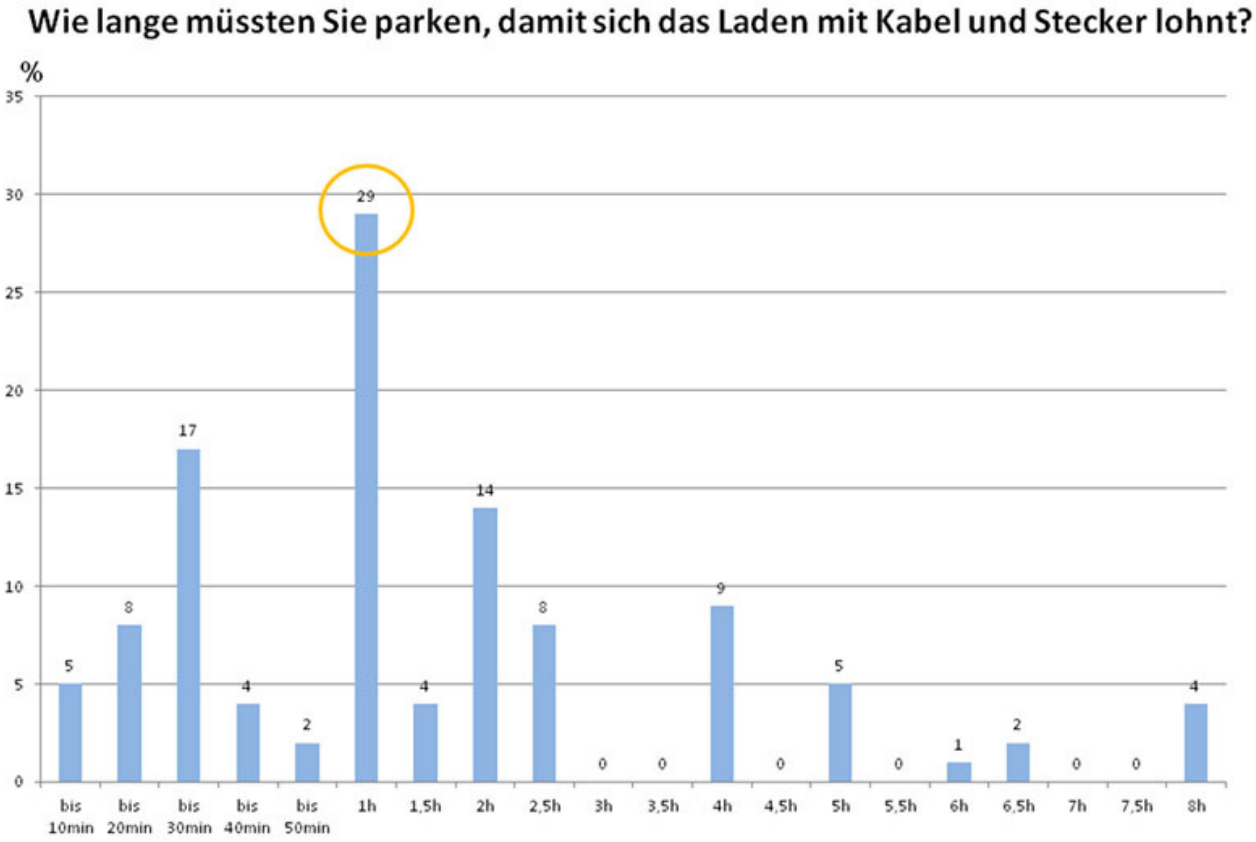
In der Nutzung von räumlichen Lademöglichkeiten für das EFZ zeigt sich, dass ein Kurzaufenthalt, wie beispielsweise an einem Geldautomaten, von kaum einem der Befragten zum Laden mit Stecker und Kabel genutzt werden würde (4 %). Die überwiegende Mehrheit der Befragten würde ihr EFZ zu Hause (98 %) oder beim Arbeitgeber laden (94 %).

Tab. 50: Verteilung der Ladeorte für das EFZ - HMI

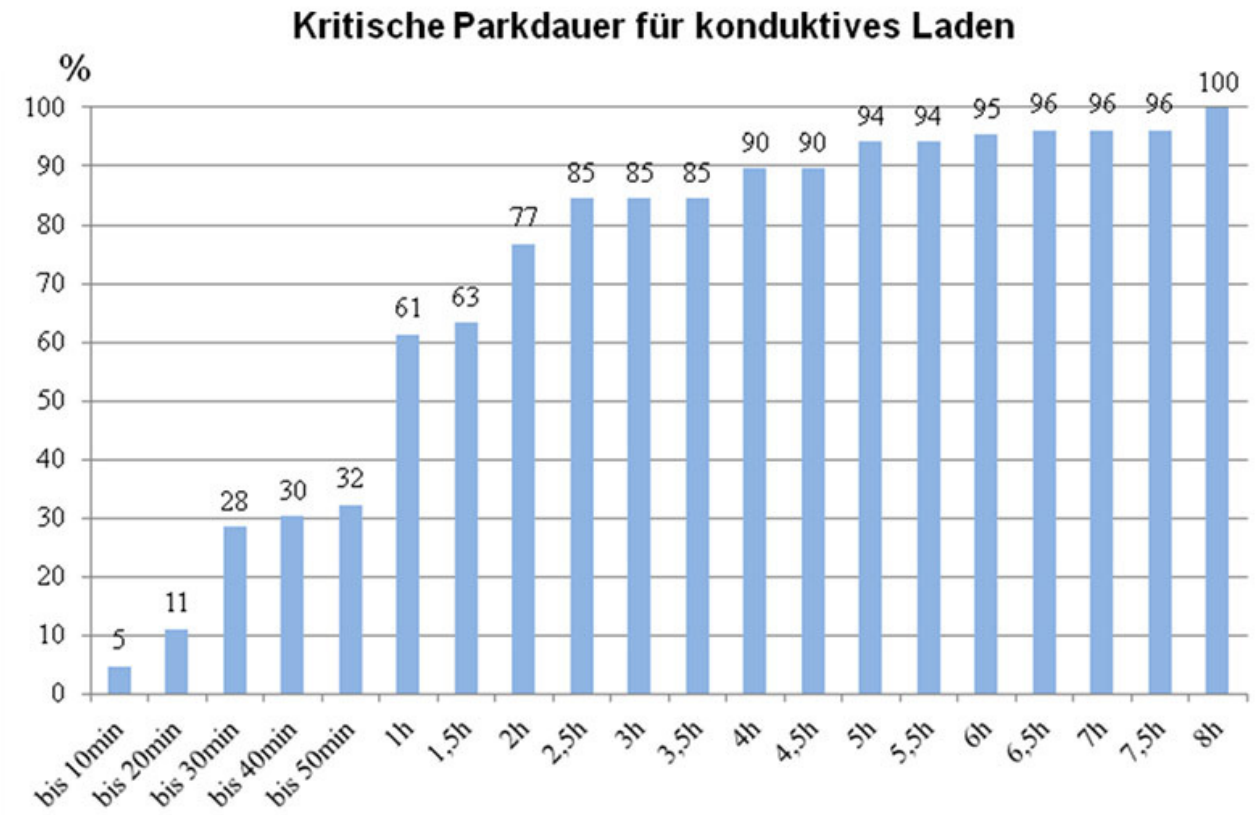
Da alle Antworten zum Ladeverhalten beim EFZ nur Einschätzungen zukünftigen Verhaltens sind, soll es mit dem aktuellen Ladeverhalten beim Mobiltelefon verglichen werden. Daher wurde für die Frage nach dem Ladeort für konduktives Laden, am Ende der Befragung das Ladeverhalten beim Mobiltelefon abgefragt. Hier wird ebenfalls das eigene Heim als meist genutzter Ort zum Aufladen des Mobiltelefons genannt (knapp 95 %), gefolgt vom Arbeitgeber (52 %). Das Auto wird hingegen eher selten zum Aufladen des Mobiltelefons genutzt, egal ob auf Lang- (34 %) oder Kurzstrecken (16 %).

Des Weiteren wurde gefragt, ab welcher Parkdauer sich das Laden mit Kabel und Stecker lohnt. Die Parkdauer von einer Stunde wurde von den meisten Befragten (29 %) angegeben und bildet ebenfalls den Median aller angegebenen Parkdauern (Bild 27).

Im Bild unten ist zu erkennen, dass es ab einer Stunde bzw. zwei Stunden nur noch einen geringen Anstieg der kumulierten Werte gibt und diese Parkdauer als kritische Untergrenzen für das konduktive Laden angesehen werden können.

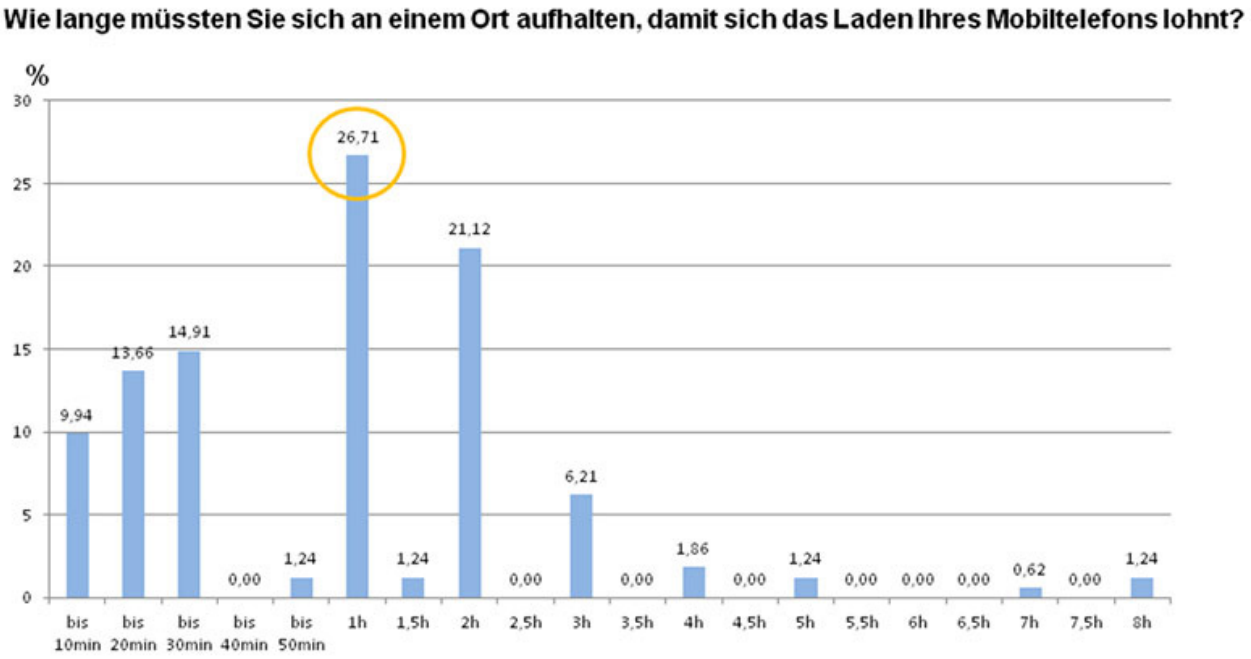


Tab. 51: Verteilung der Parkdauer, ab der sich das konduktive Laden lohnt (absolut) - HMI



Tab. 52: Verteilung der Parkdauer, ab der sich das konduktive Laden lohnt (kumuliert) - HMI

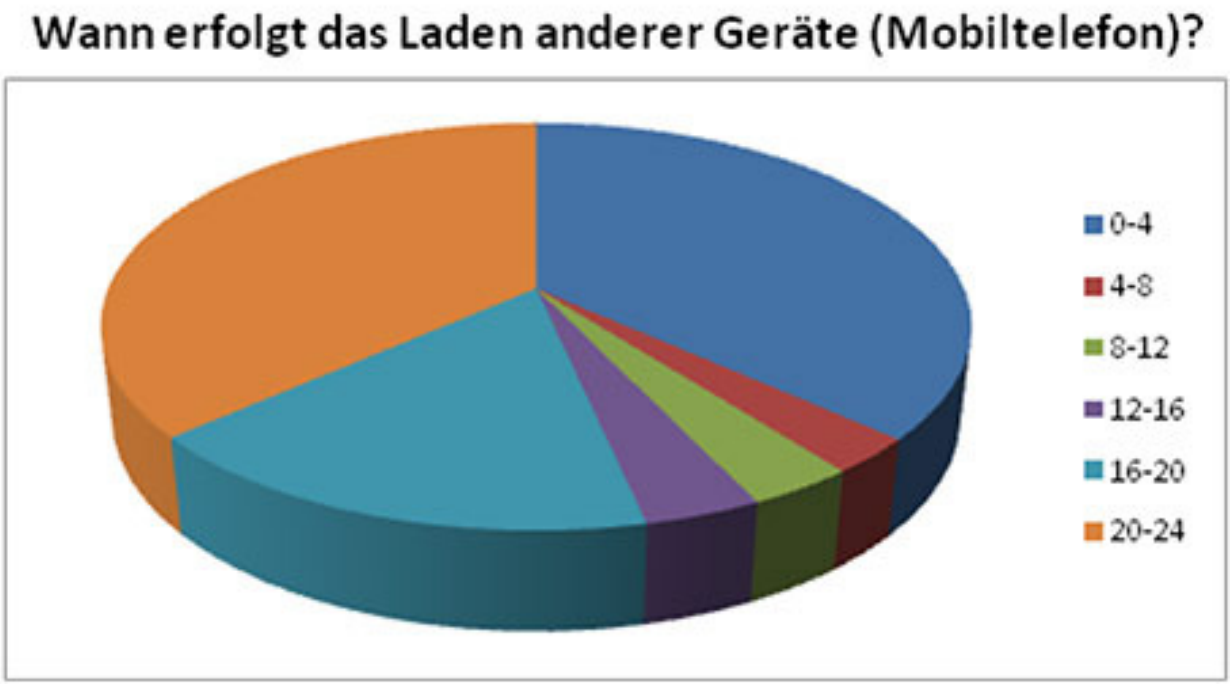
Auch für diese Frage wurde als Belastbarkeitsprobe das Ladeverhalten bei der Nutzung von Mobiltelefonen gegenübergestellt (Bild 29). Ähnlich wie beim EFZ, würden die meisten Befragten (27 %) ihr Mobiltelefon ab einer Stunde Verweildauer an das Energienetz anschließen (Md = 1h).



Tab. 53: Verteilung der Verweildauer, ab der sich das Laden des Mobiltelefons lohnt (absolut) - HMI

Bezüglich der präferierten Ladezeit können wieder die Nutzergewohnheiten beim konduktiven Aufladen anderer Elektrogeräte (z. B. Mobiltelefon) herangezogen werden. Die Ergebnisse aus der Internetbefragung zeigen, dass in der Regel außerhalb der normalen Nutzungszeit geladen wird. Aus den Antworten der 738 Befragten ergab sich folgende Verteilung.

von 0 - 4 Uhr--> 260 (35,23 %)
von 4 -8 Uhr --> 20 (2,71 %)
von 8 – 12 Uhr--> 26 (3,52 %)
von 12 – 16 Uhr --> 26 (3,52 %)
von 16 – 20 Uhr --> 119 (16,12 %)
von 20 – 24 Uhr --> 259 (35,09 %).
Somit laden über 70 % der befragten Nutzer in der Zeit von 20 – 4 Uhr.

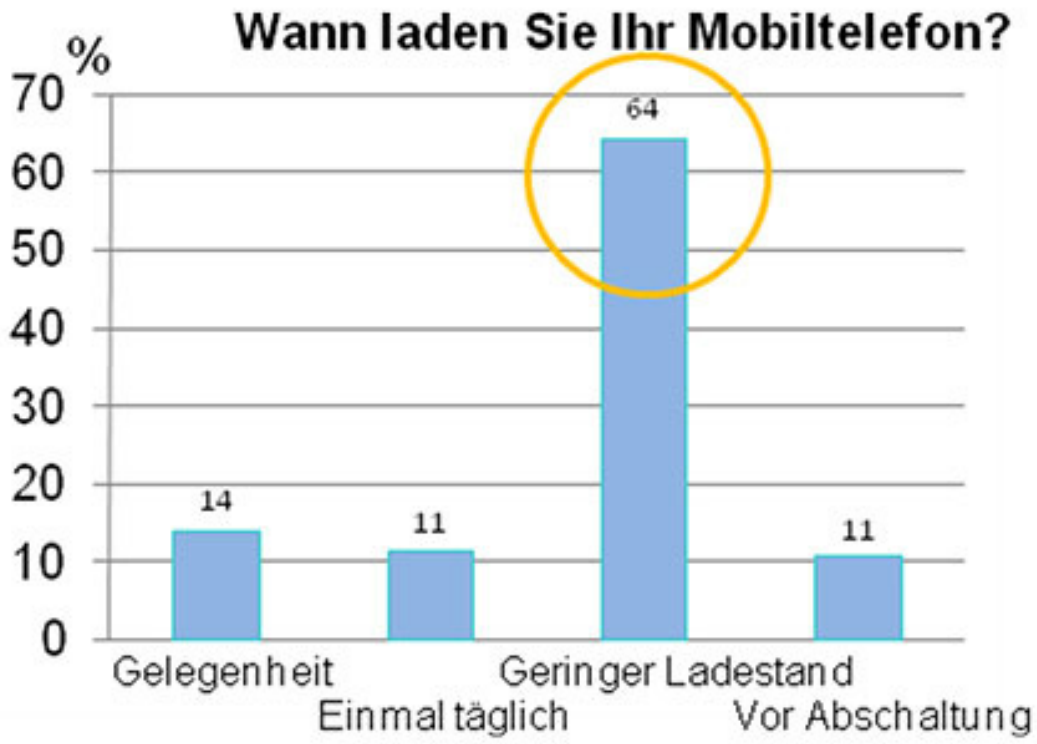


Tab. 54: Verteilung der Ladezeiten über den Tag - Internetbefragung

Auf die Frage nach dem Auslöser für den Ladevorgang, d. h. wann sie ihr EFZ laden würden, antwortete die Mehrheit der Befragten (36,5 %), dass sie jede sich bietende Gelegenheit nutzen würde, um zu laden (Bild 31). 31 % der Befragten gaben an, einmal täglich zu laden. 29 % gaben als Auslöser für den Ladevorgang die Anzeige „Geringer Ladestand der Batterie“ an. Ein Zusammenhang zwischen Expertise und Ladeverhalten lag nicht vor (r = -0,2).

Tab. 55: Verteilung der Auslöser für das Laden des EFZ – HMI

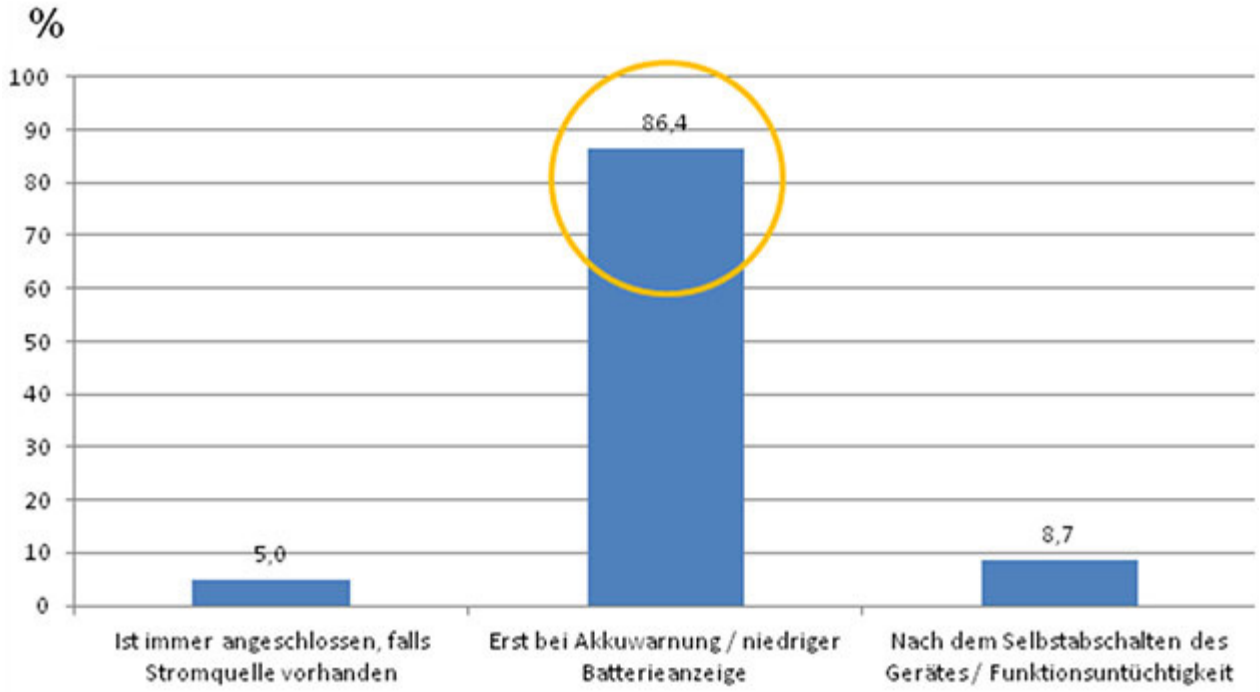
Der Abgleich mit dem Ladeverhalten beim Mobiltelefon zeigt aber ein deutlich anderes Verhalten. Die auf der HMI befragten Nutzer geben mehrheitlich an (64 %) mit dem Laden des Mobiltelefons zu warten, bis die Anzeige „Geringer Ladestand der Batterie“ erscheint (Bild 32).



Tab. 56: Verteilung der Auslöser für das Laden des Mobiltelefons - HMI

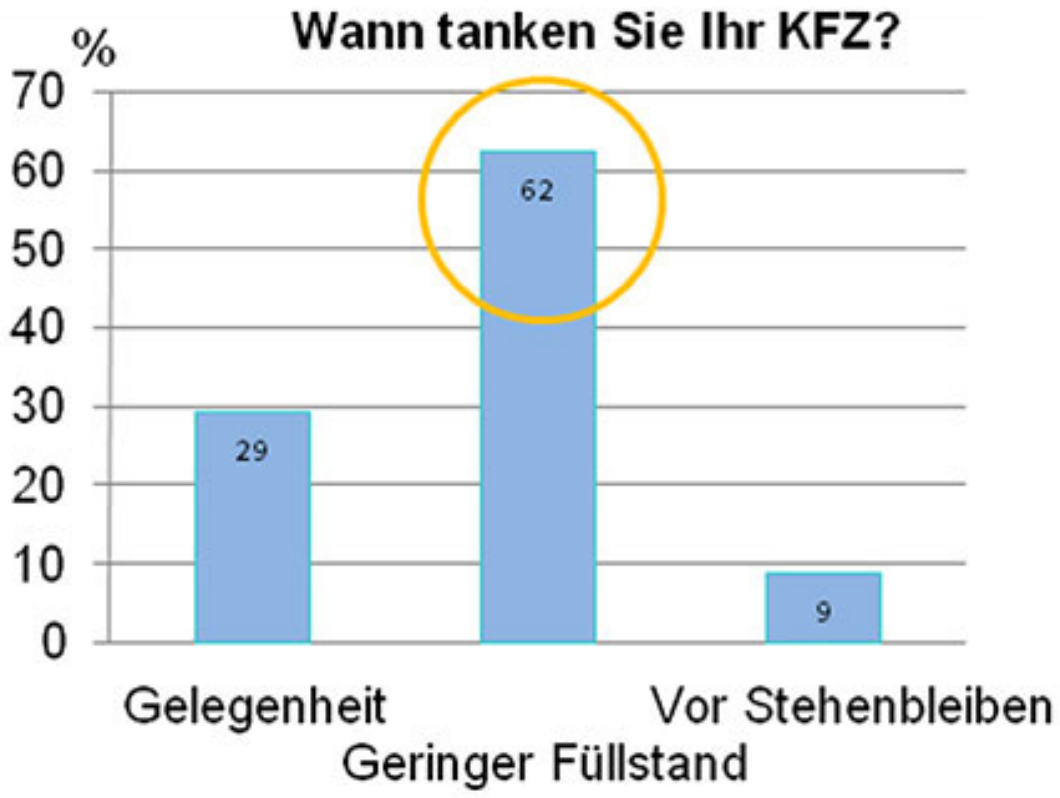
Daher hat bei dem Großteil, der auf der HMI Befragten (81 %), das Mobiltelefon wegen unzureichender Akkuladung (Tiefentladung) schon einmal den Dienst versagt. Allerdings kommt dies verhältnismäßig selten vor.

Das Ergebnis der Internetbefragung ist ähnlich, aber mit noch deutlicherer Ausprägung. Hier geben insgesamt über 86 % der Umfrageteilnehmer an, ihr Mobiltelefon erst bei niedrigem Akkustand zu laden (Bild unten).



Tab. 57: Verteilung der Auslöser für das Laden des Mobiltelefons - Internetbefragung

Auch das Verhalten beim konventionellen Tanken von Vergaser- oder Dieselkraftstoffen ähnelt dem beim Laden des Mobiltelefons. 62 % der Befragten gaben an, erst nach der Anzeige „niedriger Füllstand“ zu tanken (Bild unten).



Tab. 58: Verteilung der Auslöser für das Betanken des KFZ - HMI

3.3.9.4.5 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der HMI- und der Internetumfrage zeigen eine allgemein positive Einstellung gegenüber EFZ. Die Befragten waren generell bereit, im Vergleich zu einem gleichwertigen KFZ, mehr zu bezahlen (M = 20 %). Diesen Trend zeigt auch das Ergebnis der EPRI Studie auf dem US- amerikanischen Markt [410].

In der Studie von Hidrue et al. [411] lag die Zahlungsbereitschaft bei einem EFZ, das alle gewünschten Eigenschaften beinhaltete (lange Reichweiten, kurze Ladedauern, geringe Umweltbelastung), bei einem zusätzlichen Kostenbetrag von bis zu 16.000 $.

Die auf der HMI befragten Personen empfinden das konduktive Laden nicht als störend. Dieses Ergebnis lässt auf eine Analogie zum herkömmlichen Tanken von Kraftstoffen schließen. Der Tankvorgang wird vom Kraftfahrer als normaler und gegebener Vorgang eingeschätzt, der auch bei schlechtem Wetter zu bewältigen ist.

Diese Schlussfolgerung gaben die Befragten auch in ihren Kommentaren wieder: „Das würde mich nicht stören, wenn ich jetzt meinen Diesel betanke, habe ich danach auch oft schmutzige Hände.", „Das ist doch das gleiche wie beim Tanken, wo der Tankrüssel auch mal dreckig und verschmutzt sein kann." oder „Damit habe ich kein Problem, das kennt man doch schon, nur dass man jetzt den Zapfhahn von der Zapfsäule nehmen muss und ins Auto steckt."

Die Akzeptanz des induktiven Ladens lässt sich anhand der Bereitschaft der Nutzer bewerten, für diesen Komfortgewinn mehr Geld zu bezahlen. Da das konduktive Laden von den meisten Befragten als nicht störend eingestuft wurde, ist es auch nicht verwunderlich, dass die Bereitschaft für den Komfortgewinn des induktiven Ladens mehr zu bezahlen, sehr differenziert ausfiel.

62 % wären bereit, mehr zu bezahlen, im Mittel 1.000 € mehr. 38 % wären nicht bereit, mehr Geld auszugeben. Sowohl Befragte, die ihren Kenntnisstand als sehr gering einstuften, als auch solche, die ihren Kenntnisstand als überdurchschnittlich einstuften, wären bereit für ein induktives Ladesystem mehr Geld auszugeben. Die Experten mit dem höchsten Kenntnisstand würden im Mittel am wenigsten ausgeben.

Der Vergleich mit der Zahlungsbereitschaft für einen Parkassistenten zeigt, dass auch hier ein Teil der Befragten nicht bereit ist, mehr zu bezahlen. Beim anderen Teil, der sich für eine Mehrausgabe aussprach, spiegeln die angegebenen Beträge relativ gut den tatsächlichen Preis solcher Systeme wider. Dies unterstreicht die Aussagekraft der Ergebnisse für den Komfortgewinn beim induktiven Laden und die angegebenen Beträge könnten somit als ein Richtwert für akzeptable Preisspannen induktiver Ladesysteme dienen.

Die Ergebnisse bezüglich des Ladeverhaltens deuten daraufhin, dass das entscheidende Kriterium für das konduktive Laden des EFZ weniger der Ort, sondern die Standzeit bzw. Parkdauer des Fahrzeugs ist. Demnach lohnt es sich für EFZ-Fahrer erst ab einer Parkdauer von mindestens einer Stunde, den konduktiven Ladevorgang einzuleiten. Der Vergleich mit dem Mobiltelefon zeigt, dass (obwohl die Fragen mit deutlichem, zeitlichem Abstand gestellt wurden) die gleiche Aufenthaltsdauer von etwa einer Stunde genannt wurde.

Im Gegensatz dazu gaben die Befragten aber an, ihr EFZ bei jeder Gelegenheit laden zu wollen, anstatt wie bei ihrem Mobiltelefon oder KFZ erst nach Anzeige eines niedrigen Lade- bzw.

Benzinstands. Somit scheint der Wunsch nach Sicherheit in Form einer stets ausreichenden Energiereserve in der Batterie beim EFZ ausgeprägter zu sein.

Die Ergebnisse der Studie von Krems und Kollegen zeigen aber deutlich, dass nach längerem Umgang mit dem EFZ und mehr Erfahrung mit der Nutzungsdauer und Reichweite einer Batterieladung, auch das Ladeverhalten bei der Autobatterie in Richtung Mobiltelefon tendiert (siehe Abschnitt 2).

Um bessere Rückschlüsse auf das Nutzungsmuster und die Bedürfnisse zukünftiger EFZ-Fahrer zu erhalten, sind weitere Projekte erforderlich, in denen die Eigenschaften der EFZ über einen längeren Zeitraum erlebt werden, wie beispielsweise in dem Projekt „MINI E Berlin – powered by Vattenfall“ 412.

In zukünftigen Akzeptanzstudien sollte man sich nicht nur auf den Ladekomfort/Nutzerfreundlichkeit beschränken, um eine aussagekräftige Prognose geben zu können. Ebenso spielen Kriterien der Lebensdauer der Batterie, des technischen Standards, der Sicherheit, der Effizienz und des Ressourcenverbrauchs eine wichtige Rolle 413.

Dazu sollte der Grad des Einflusses der einzelnen Faktoren auf die Akzeptanz untersucht werden. Aus vorangegangenen Entwicklungen anderer technischer Bereiche lässt sich aber annehmen, dass die Nutzerfreundlichkeit (in diesem Fall der Ladekomfort) und die Sicherheit, die entscheidenden Faktoren darstellen 414.

3.3.9.4.6 Fazit

Das Fazit aus der Fragebogenstudie zum Nutzerverhalten beim Laden von EFZ ist:

- 62 % der Befragten ist der Komfortgewinn durch das induktive Laden eine Mehrausgabe wert. Sie sind bereit dafür ca. 1.000 € (= Md) mehr auszugeben.
  38 % der Befragten ist der Komfortgewinn durch das induktive Laden nichts wert.
- Als kritische Zeitspanne für das Laden mit Kabel und Stecker kann die Parkdauer von einer Stunde angesehen werden (HMI-Studie).
- Ein Kurzaufenthalt würde von kaum einem der Befragten zum Laden mit Stecker und Kabel genutzt werden.
- Auch ihr Mobiltelefon laden die Befragten erst ab einer Verweildauer von einer Stunde auf (HMI-Studie).
- 628 der befragten Personen geben an (über 86 % der Umfrageteilnehmer), ihr Mobiltelefon erst bei niedrigem Akkustand zu laden (Internet-Studie).
- Die Mehrheit der Befragten gab an, dass ihr Handy schon einmal wegen unzureichender Akkuladung versagt hat.
- Ihre derzeitigen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren betanken über 60 % der Befragten erst nachdem die Anzeige „Geringer Tankinhalt“ erscheint (HMI-Studie).
- Mehrheitlich würde zu Hause geladen werden.
- Über 70 % der befragten Nutzer würden in der Zeit von 20 – 4 Uhr laden.

3.3.10 Parkassistenzsysteme/automatisches Fahren und induktives Laden von EFZ

EFZ werden üblicherweise in den Nutzungspausen geladen. Mögliche Zusammenhänge bzw. Synergien zwischen der Ausstattung von Fahrzeugen mit Systemen, welche den Parkvorgang unterstützen oder gänzlich automatisieren und dem induktiven Laden von EFZ werden in einer Literaturstudie und ergänzenden Experteninterviews untersucht. Befragt wurden Experten sowohl aus der Forschung als auch von Automobilherstellern und Automobilzulieferern.

Mit der ständigen Weiterentwicklung der Fähigkeiten von Sensorik, Mechatronik und Datenverarbeitung können dem Autofahrer zahlreiche Assistenzfunktionen zur Verfügung gestellt werden. Diese machen das Fahren im Straßenverkehr sicherer und komfortabler. Ein erster Schritt zum autonomen/automatischen Fahren sind Fahrerassistenzsysteme, die beim Einparken helfen 415 .

Der elektrische Antrieb macht es einfacher, autonomes Fahren zu realisieren und die heute verfügbare Sensorik ist auf jeden Fall intelligent genug dafür 416.

3.3.10.1 Telefon-Interview mit Prof. Dr. rer. nat. Felix von Hundelshausen

(Institut für Technik autonomer Systeme, Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik an der Universität der Bundeswehr München (durchgeführt am 25.05.2011))

Frage 1: Welche an Fahrzeugen schon vorhandene Sensortechnik könnte für die exakte Positionierung von EFZ über der Ladespule genutzt werden?

Wenn die Strecke vor der Ladestation lang genug ist, funktioniert die Positionierung optisch über das Spurhaltesystem. Der Abstand muss so groß sein, dass es auch ein Mensch schaffen würde einzuparken. Das Kamerasystem ermittelt den Versatz zur angezeigten Spur, welcher vom System ausgeglichen wird (Quersteuerung). Für die Längsführung wäre ein Stoppstrich denkbar, der ebenfalls optisch erfasst wird. Einfacher wäre eine Grobpositionierung des EFZ. Für die Feinjustierung und um eventuelle Unterschiede bei EFZ-Typen auszugleichen, könnte die Spule positionierbar (in 2 Achsen) und eventuell auch noch drehbar sein. Die Positionierung könnte über Kameras oder Laser-Range Scanner erfolgen.

Frage 2: Wann ist mit serienreifen Lösungen für das autonome Parken von Fahrzeugen in Garagen, Carports oder auf anderen Stellplätzen zu rechnen?

Auf absehbare Zeit aus rechtlichen Gründen nicht. Technisch ist es machbar, aber rechtlich problematisch, wenn der Mensch die Steuerung und Kontrolle vollständig abgibt.

3.3.10.2 Telefon-Interview mit Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner

(Inhaber des Lehrstuhls für Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt, Leiter des Fachgebiets Fahrzeugtechnik (fzd) im Fachbereich Maschinenbau der TUD (durchgeführt am 25.05.2011))

Frage 1: Welche an Fahrzeugen schon vorhandene Sensortechnik könnte für die exakte Positionierung von EFZ über der Ladespule genutzt werden?

Sensoren für die Spurhalteunterstützung könnten genutzt werden (Kameras – optisch).
Die Ladespule müsste über ein eindeutiges optisches Merkmal erkennbar sein.
Die Kamera erfasst dieses Merkmal ca. 3 m vor dem Fahrzeug.
Das System rechnet den verbleibenden Weg und positioniert das Fahrzeug mit einer Genauigkeit von 5 cm über der Spule.
Da die Lenksysteme mit E-Servolenkung arbeiten, ist die Ansteuerung kein großes Problem.
Sinnvoll wäre eine Rückkopplung der Ladelogik, die dem Fahrer eine gute Überdeckung mit der Spule meldet.
Spurhaltesysteme sind in ca. 2 Jahren für Nutzfahrzeuge und in ca. 3 Jahren für alle anderen Fahrzeuge eingeführt.
Die Technik für das Parken stellt eher kein Problem dar.
Ein Problem ist die Haftung bei Kollisionen.

Die Aufgabe wird zwischen Mensch und Maschine geteilt. Die komplexere Quersteuerung übernimmt die Maschine, die einfachere Längssteuerung übernimmt der Mensch und sorgt damit für Kollisionsfreiheit.

Frage 2: Wann ist mit serienreifen Lösungen für das autonome Parken von Fahrzeugen in Garagen, Carports oder auf anderen Stellplätzen zu rechnen?

Vollautonomes Parken gibt es noch nicht.

Bei herkömmlichen Systemen erfolgt die Vermessung der Parklücke über Ultraschallsensor (Start beim VW-Touran, jetzt auch beim Ford Focus).

Die Quersteuerung erfolgt über das System und der Fahrer gibt das Tempo vor.

Eine VW-Arbeitsgruppe bearbeitet in Stanford das Programm VAIL. Ziel ist das autonome Parken von Fahrzeugen auf großen Parkflächen ohne Menschen (Fahrer gibt das Fahrzeug ab – das Fahrzeug sucht sich selbständig einen Parkplatz).

Eine Prognose der Marktreife ist grundsätzlich schwer (technisch könnte dies in 3 Jahren beherrschbar sein, die Einführung am Markt ist ein anderes Problem).

3.3.10.3 Telefon-Interview mit Dr.-Ing. Michael Frey, Karlsruher Institut für Technologie

(Institut für Fahrzeugsystemtechnik, Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik (durchgeführt am 01.06.2011))

Frage 1: Welche an Fahrzeugen schon vorhandene Sensortechnik könnte für die exakte Positionierung von EFZ über der Ladespule genutzt werden?

Sensoren für die Spurhalteunterstützung arbeiten meist mit Kameras – also optisch, diese sind für die Positionierung über einer Ladespule nur bedingt geeignet.

Vorhandene Systeme für Parkhilfen auf der Basis von Ultraschallsensoren könnten auch für das Einfahren in Ladeboxen genutzt werden.

Das System scannt im Vorbeifahren mittels Ultraschall die Parklücken und meldet diese bei ausreichender Größe.

Das Lenken beim Einparken übernimmt das System (z. B. BOSCH-System im Mercedes).

Der Fahrer handelt nach Anweisung – Gas geben oder bremsen.

Eine entsprechende Ausstattung der Ladeboxen mit Begrenzungspfosten oder einer Begrenzungsplatte, die vom System erkannt werden, würde relativ genaues Positionieren ermöglichen.

Rein technisch ist das autonome Parken kein Problem – es bleibt aber die Haftungsfrage

Frage 2: Wann ist mit serienreifen Lösungen für das autonome Parken von Fahrzeugen in Garagen, Carports oder auf anderen Stellplätzen zu rechnen?

In naher Zukunft eher nicht.

Autonomes Fahren und autonomes Parken setzt gesetzliche Änderungen voraus.

Nicht einzelne Komponenten von Fahrzeugen müssten zertifiziert werden, sondern vergleichbar mit der Luftfahrt müssten Funktionen zertifiziert werden.

Die Umsetzung dieser Funktionen könnte dann auf verschiedenen Wegen erfolgen.

Das Ganze müsste einheitlich für ganz Europa geregelt sein.
Im Moment bleibt aber die Versicherungsfrage.

Frage 3: Sehen Sie einen Zusammenhang zwischen autonomem Fahren und dem induktiven Laden von EFZ? Beschleunigt das autonome Fahren die Verbreitung der Induktion?

Das Zusammenspiel in Verbindung mit geeigneter Kommunikationstechnik würde das Ganze deutlich vereinfachen.
Es wäre folgendes Szenario denkbar: Vor dem Hotel steigt man aus dem Elektroauto aus. Das Kommunikationssystem ermittelt den nächsten freien Parkplatz mit einer Lademöglichkeit. Das Auto fährt selbständig zu diesem freien Ladeplatz – parkt selbständig ein und beginnt auch selbständig zu Laden.
Dieses Szenario kann nur induktiv funktionieren.
Für die Herstellung einer Steckverbindung mit Kabel wären komplizierte und teure Handhabungssysteme erforderlich.

3.3.10.4 Mail-Antwort zur Expertenbefragung von Dr. Jörn Freyer

(Projektleitung Fahrwerk A0-Reihe, Projektsteuerung/Strategieentwicklung Fahrwerk, Audi AG, I/EF-P, 85045 Ingolstadt (erhalten am 15.06.2011))

Frage 1: Welche an Fahrzeugen schon vorhandene Sensortechnik könnte für die exakte Positionierung von EFZ über der Ladespule genutzt werden?

Geeignete Sensorik könnte sein:
- Ultraschallsensorik
- Laserscanner
- Short Range Radar Sensor
- Car 2 Infrastructure oder
- Kamera mit BV

Frage 2: Wann ist mit serienreifen Lösungen für das autonome Parken von Fahrzeugen in Garagen, Carports oder auf anderen Stellplätzen zu rechnen?

Technisch ist das heute bereits darstellbar.
Die größte Hürde ist hier die Produkthaftung, da formal bei einem automatischen Einparkvorgang die Haftung auf das Fahrzeug (Hersteller) übergehen würde.

3.3.10.5 Mail-Antwort von Dipl.-Ing. Frank Schroven,

(Längs-, Quer- und Parkassistenz,
Fahrerassistenz und integrierte Sicherheit (K-EFFS),Volkswagen AG (erhalten am 07.07.2011))

Frage 1: Welche für andere Fahrerassistenzsysteme schon vorhandene Sensortechnik könnte für die exakte Positionierung des EFZ über einer Ladespule genutzt werden?

Dies hängt von der Beschaffenheit der Ladeposition (Ist sie optisch markiert oder "nur" eine reguläre Parklücke?) und den Anforderungen bezüglich der Positioniergenauigkeit ab.
Für Parksysteme werden unterschiedliche Ultraschallsensoren und zur Schätzung der Fahrzeugbewegung Raddrehzahlsensoren, Beschleunigungssensoren und Lenkwinkelsensoren verwendet.

Frage 2: Wann ist mit serienreifen Lösungen für (semi)automatisches Parken von Fahrzeugen in Garagen, Carports oder auf anderen Stellplätzen zu rechnen?

Semiautomatische Parksysteme für Längs- und Querparklücken sind bereits in Serie von Volkswagen verfügbar.
Zu Parksystemen für Carports und Garagen kann ich keine Aussagen machen.
Vollautomatisches Parken wurde von Volkswagen in der Forschung behandelt, siehe z. B. unter Park-Assistent PAUL („Parkt allein und lenkt“) 417.

Abb. 72: Park-Assistent PAUL 418

Der intelligente Park-Assistent PAUL steuert das Auto völlig selbstständig in Querlücken. Da der Fahrer das Auto vor dem Parkvorgang verlässt, können auch enge Parklücken genutzt werden. Der Fahrer muss hierzu das Fahrzeug lediglich stoppen und den Wählhebel des Doppelkupplungsgetriebes DSG auf P stellen.

Nach dem Aussteigen genügt der Druck auf einen Knopf am Funkschlüssel und das Auto setzt sich selbstständig langsam in Bewegung: zunächst nach links vorne, dann – mit nach rechts eingeschlagenen Rädern – zurück in Richtung Parklücke. Am Ende des Parkvorgangs macht das Assistenzsystem den Motor aus und schließt ab 419.

Derzeit ist PAUL noch in einem Forschungsfahrzeug verbaut und verlässt sich sowohl auf die Serien- und Sonderausstattung als auch auf die eigens für seine Funktion entwickelten Bauteile. Das Erkennen und Vermessen der infrage kommenden Parklücke übernehmen je eine kleine Kamera in den Gehäusen der beiden Außenspiegel.

Eventuelle Hindernisse oder seitliche Begrenzungen werden von Ultraschallsensoren in den Stoßfängern erfasst, die auch im Serien-Fahrzeug vorhanden sind. Daten zu Geschwindigkeiten und Wegstrecken kommen von den Radimpulssensoren. Die Steuerbefehle für DSG, elektromechanische Lenkung und elektronische Parkbremse liefert ein eigens für dieses System programmierter Rechner. Für den Vortrieb reicht die vom Standgas gelieferte Motorkraft 420.

Frage 3: Kann mit der heute vorhandenen Sensortechnik die für das induktive Laden erforderliche Positioniergenauigkeit des EFZ beim Parken über der Ladespule erreicht werden?

Da ich die Positioniergenauigkeit nicht kenne, kann ich dazu leider keine Aussage machen.

Frage 4: Würden sich diese Einparkhilfen förderlich auf die Verbreitung des induktiven Ladens auswirken?

Das klingt nach klassischem Glaskugel-Orakeln – leider nicht meine Disziplin…

3.3.10.6 Telefon-Interview mit Dr.- Ing. Martin Noll

(Robert Bosch GmbH (durchgeführt am 20.07.2011))

Frage 1: Welche für andere Fahrerassistenz- oder Parksysteme schon vorhandene Sensortechnik könnte für die exakte Positionierung des EFZ über einer Ladespule genutzt werden?

Mit den heute vorhandenen Sensoren ist die Positionierung durchaus möglich.
Vorteil der bereits vorhandenen Ultraschallsensoren: bereits in großer Anzahl vorhanden, komplett erprobt und auch kostengünstig.
Voraussetzung ist, dass sich das Parksystem und das Ladesystem nicht gegenseitig stören.
Sie sollten nicht in gleichen Frequenzbereichen arbeiten bzw. das Ladesystem sollte erst nach Abschluss des Parkvorgangs starten.
Für den Parkvorgang sollten entsprechende Hindernisse in die Park-/Ladeinfrastruktur eingefügt werden, die das Parksystem detektieren kann.
Hindernisse ausreichend groß und senkrecht zu Sensor, um gute Reflexion sicher zu stellen.
Am Eingang der Ladestation musste der Fahrzeugtyp und die entsprechende Lage der EFZ-Spule erkannt werden, damit das System ausrechnen kann, wie weit des EFZ bis zur Überdeckung fahren muss (Längsrichtung).
Analog dazu funktioniert dann auch die Positionierung in Querrichtung

Frage 2: Wann ist mit serienreifen Lösungen für (semi)automatisches Parken von Fahrzeugen in Garagen, Carports oder auf anderen Stellplätzen zu rechnen?

Der Begriff automatisch ist in diesem Zusammenhang unglücklich gewählt.
Es sind reine Assistenzsysteme, der Mensch bleibt weiterhin verantwortlich für die Positionierung – wird also lediglich unterstützt.

Frage 3: Kann mit der heute vorhandenen Sensortechnik die für das induktive Laden erforderliche Positioniergenauigkeit des EFZ (ca. 5 cm) beim Parken über der Ladespule erreicht werden?
Würden sich diese Einparkhilfen förderlich auf die Verbreitung des induktiven Ladens auswirken?

Die erforderliche Genauigkeit wird von vorhandenen Sensoren erreicht.

Frage 4: Wie entwickelt sich die Zahl der Neuwagen in Deutschland, die mit einer Einparkhilfe ausgestattet sind?

1992 Markteinführung beim BMW 7er.
1993 Mercedes Benz S-Klasse.
Heute sind in 50 % der Fahrzeuge Parkassistenten verbaut (gemittelt über alle Fahrzeugklassen).
In der Mittel- und Oberklasse sind nahezu 100 % erreicht.

3.3.10.7 Telefon-Interview mit Prof. Dr.-Ing. Christoph Stiller

(Institutsleiter, Institut für Mess- und Regelungstechnik Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (durchgeführt am 26.07.2011))

Frage 1: Welche für andere Fahrerassistenz- oder Parksysteme schon vorhandene Sensortechnik könnte für die exakte Positionierung des EFZ über einer Ladespule genutzt werden?

Grundsätzlich kann dies mit vorhandenen Ultraschallsensoren hoher Genauigkeit erreicht werden.
Voraussetzung ist eine gute Reflexion des Ultraschallsignals durch möglichst senkrechte Begrenzungen der Parkfläche, d. h. die Ladespulstationen müssen senkrechte Wände vorn und mindestens an einer Seite haben.

Frage 2: Wann ist mit serienreifen Lösungen für (semi)automatisches Parken von Fahrzeugen in Garagen, Carports oder auf anderen Stellplätzen zu rechnen?

Für den VW Touran ist ein Parksystem verfügbar, das automatisch lenkt und auch automatisch fährt (sehr langsam).
Auch das Problem der Haftung ist gelöst.

Frage 3: Kann mit der heute vorhandenen Sensortechnik die für das induktive Laden erforderliche Positioniergenauigkeit des EFZ (ca. 5 cm) beim Parken über der Ladespule erreicht werden?

Würden sich diese Einparkhilfen förderlich auf die Verbreitung des induktiven Ladens auswirken?

Auf jeden Fall.
Es geht auch schon zentimetergenau.
Voraussetzung ist eine gute Reflexion des Ultraschallsignals durch möglichst senkrechte Begrenzungen der Parkfläche.

Frage 4: Wie entwickelt sich die Zahl der Neuwagen in Deutschland, die mit einer Einparkhilfe ausgestattet sind?

Hierzu können die Marketingabteilungen der Hersteller Aussagen bzgl. der Marktdurchdringung treffen.

3.3.10.8 Interview mit Markus Strand

(Abteilungsleiter Technisch-kognitive Assistenz-Systeme (TKS) am Forschungszentrum Informatik Karlsruhe (FZI) (durchgeführt am 25.05.2011))

Frage 1. Sehen Sie einen Zusammenhang zwischen Autonomem Fahren und Induktions-Laden von E-Fahrzeugen? Wird das autonome Fahren die Verbreitung der Induktion nach sich ziehen?

Ich sehe auf jeden Fall einen Zusammenhang zwischen automatisch parken und induktiv laden:
Es ist einfacher, ein autonom parkendes Fahrzeug über einer Induktionsspule zu platzieren, als ein autonom fahrendes Fahrzeug zu einem Kabel zu steuern. Den Stecker zu treffen wird schwierig.

3.3.10.9 Telefon-Interview mit Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora

(Head of Department Information Technology, Head of Steinbeis Transfer Center & Steinbeis Innovation Center (durchgeführt am 04.07.2011))

Frage 1: Fahrer-Assistenz-Systeme nehmen immer mehr zu. In Nevada ist seit Juni 2011 das fahrerlose Fahren per Gesetz erlaubt. Wo stehen wir in dieser Entwicklung?

Wir bewegen uns auf jeden Fall in mehreren Schritten auf das vollautonome Fahren zu.
1. Parkassistenten sind aus meiner Sicht der erste Schritt in diese Richtung.
Das funktioniert mit Ultraschall und Radar. Kameras sind dazu nicht zwingend notwendig.

2. Dann kommen, leicht zeitversetzt, die Fahrbahnassistenten/Lane-Keeping-Assist-Systeme, die ab 2013 Pflicht in allen LKW werden.

3. Die Adaptive Cruise Control (ACC) ist ein Tempomat mit Geschwindigkeitsanpassung, der bewegte oder statische Hindernisse wahrnimmt.

4. Der letzte Schritt ist das vollautonome Fahren. Hier gibt es verschiedene Szenarien:

a) Auf der Autobahn haben wir im Normalfall eine sehr übersichtliche Situation,

b) Innenstadt oder Landstraße sind wesentlich komplexer.

Frage 2: Technisch ist vieles bereits jetzt machbar, das vollautomatische Fahren scheint eher rechtlich schwierig zu werden…

Ein 100 %-iges, fahrerloses Fahren, das alle Seiten zufriedenstellt, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt technisch noch nicht möglich.

Nicht für den Alltagseinsatz jedenfalls.

Wenn man zu seinem Auto sagt: Fahr jetzt mal schön flüssig durch den Feierabend-Verkehr, das klappt nicht.

Oder fahr mal schön sportlich Richtung Schauinsland.

Frage 3: Wenn Park-Assist-Systeme einem schon das Einparken abnehmen, welche Technologie erscheint Ihnen für EFZ logischer: kabelgebundenes oder induktives laden?

Beide Systeme haben Vor- und Nachteile. Wir basteln gerade zusammen mit Conductix-Wampfler an einem Assistenz-System für eine induktive Ladestation.

Wenn ich zuhause laden würde, wäre ich nicht bereit, den Wirkungsgrad-Verlust hinzunehmen.

Ein Wirkungsgrad von 94 % ist im Augenblick realistisch.

Das ist so, als würde ich 100 Liter in mein Auto tanken und sechs Liter danebenschütten.

Das ist inhärent, zu verlustbehaftet.

Vielleicht läuft es ja auf eine Kombination von beidem hinaus.

Dass zum Beispiel in der Kommunikation zwischen Ladestation und Auto der Kunde die Entscheidung trifft – Kabel oder nicht.

Frage 4: VW macht Versuche, das Kabel mit einem Roboterarm einzustecken…

Roboter-Arm oder nicht, das ist für mich nur ein Detail. Ein gewisser Aufwand steckt schon dahinter, das stimmt. Zuerst einmal muss natürlich auch die Standardisierung der Kabel gelingen.

Frage 5: Sie haben vorhin den Faktor Mensch angesprochen. Die Nissan-Leaf-Nutzer bekommen im Moment Ratschläge von ihrem Auto, wann es zu laden ist. Menschen sind aber wie Studien zeigen, auf Dauer zu bequem, ständig ein Kabel einzustecken, wenn das Energie-Management es ihnen rät.

Das muss man sehen, inwieweit man den Tankvorgang automatisieren kann.

Ich stelle mir vor, dass es eine ganze Weile lang noch Kabel und Stecker geben wird.

Beim Benzin-Tanken klappt das Hantieren mit dem Kabel doch auch.

Vielleicht setzt sich die Induktion aber auch irgendwann aufgrund ihres hohen Komforts durch.

Wenn man zum Beispiel nebenbei, beim An-der-Ampel-Stehen laden könnte.

3.3.10.10 Interview auf der IAA mit Thomas Knoll, Vice President Corporate Communications

(Sustainability Media (durchgeführt am 13.9.2011))

Frage 1: Welche an Fahrzeugen schon vorhandene Sensortechnik könnte für die exakte Positionierung von EFZ über der Ladespule genutzt werden?

Magnetfeldsensor, Ultraschallsensoren. So genannte „Parktaschen“ mit Randelementen, dann würde Ultraschall reichen.

Frage 2: Wann ist mit serienreifen Lösungen für das autonome Parken von Fahrzeugen in Garagen, Carports oder auf anderen Stellplätzen zu rechnen?

Die Technik für semiautonomes Einparken bieten wir heute schon an.
Mit vollautomatischem Einparken rechnen wir in den nächsten 3-4 Jahren.
Herr Kraus von Bosch wendet ein: Eine serienreife Lösung gibt es im Moment nicht. Halbautonomes Einparken kann schon jetzt Standard werden. Vollautonomes in 2-3 Jahren.
Der DARPA-Wettbewerb ist da ein gutes Barometer für vollautonomes Fahren.
Die nächsten 5 Jahre wird es wohl keine großen Schritte zum vollautonomen Fahren geben, im nächsten Jahrzehnt schon eher.
Das vollautonome Fahren wird es wohl irgendwann zwischen 2020 und 2030 geben.
Das Wiener Weltabkommen von 1968 steht da aber noch im Weg.
Das sollte man fahrzeugseitig regeln. Magnetfeldstärkesensoren und optische Marker, am besten zwei übereinander.

Frage 3: Wie genau kann man Ihrer Meinung nach mit heutigen Einpark-Assistenten ein Auto über einer Ladespule positionieren? (1 cm, 5 cm oder zehn Zentimeter?)

k. A.

Frage 4: Wie entwickelt sich die Zahl der Neuwagen in Deutschland, die mit einer Einparkhilfe ausgestattet sind?

In Europa würde ich von einer Marktdurchdringung bei Einparksystemen von 30 % sprechen, bei Fahrerassistenzsystemen bewegt sich das abhängig von der Komplexität der jeweiligen Funktion zwischen vier und 20 %.

Frage 5: Standardisierung von Park-Assistenten

Das meiste Geld verdienen OEM mit Zubehör, warum sollten sie das als Serienausstattung, also als Standard anbieten, wenn sie damit zusätzliches Geld verdienen können?

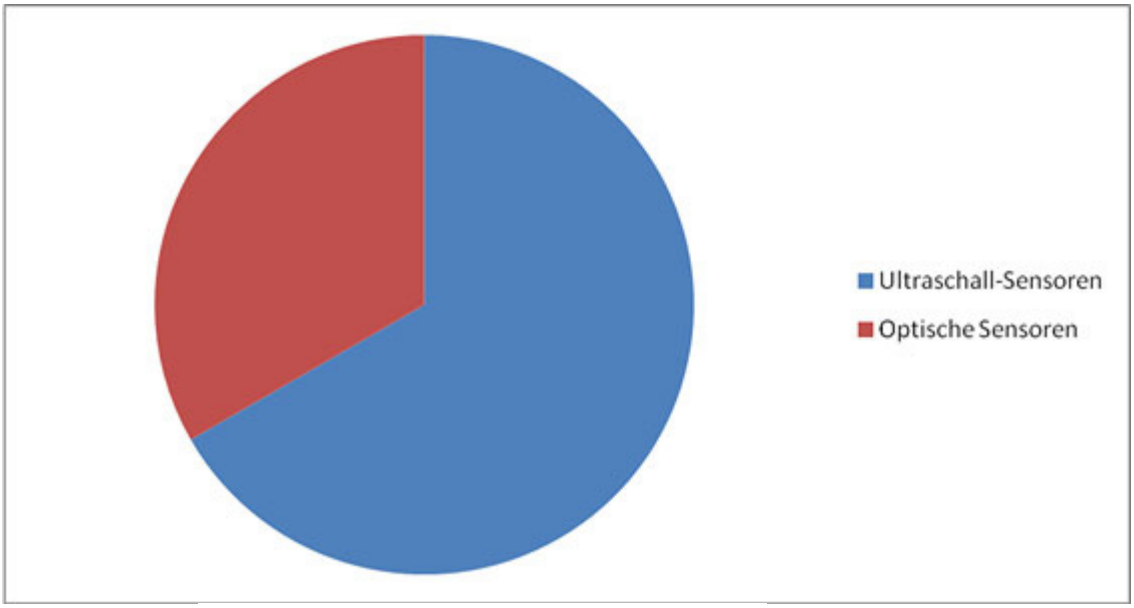
3.3.10.11 Fazit aus der Expertenbefragung zu Parkassistenzsystemen/automatischem Fahren und induktivem Laden von EFZ

Es wurden Experten aus folgenden Einrichtungen befragt:

- Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Fahrzeugsystemtechnik, Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Mess- und Regelungstechnik
- Robert Bosch GmbH
- TU Darmstadt, Fahrzeugtechnik (fzd) im Fachbereich Maschinenbau
- Universität der Bundeswehr München, Institut für Technik autonomer Systeme, Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik
- Volkswagen AG, Abteilung Längs-, Quer- und Parkassistenz, Fahrerassistenz und integrierte Sicherheit (K-EFFS)

1. Schon vorhandene Sensortechnik zur exakten Positionierung von EFZ über der Ladespule:

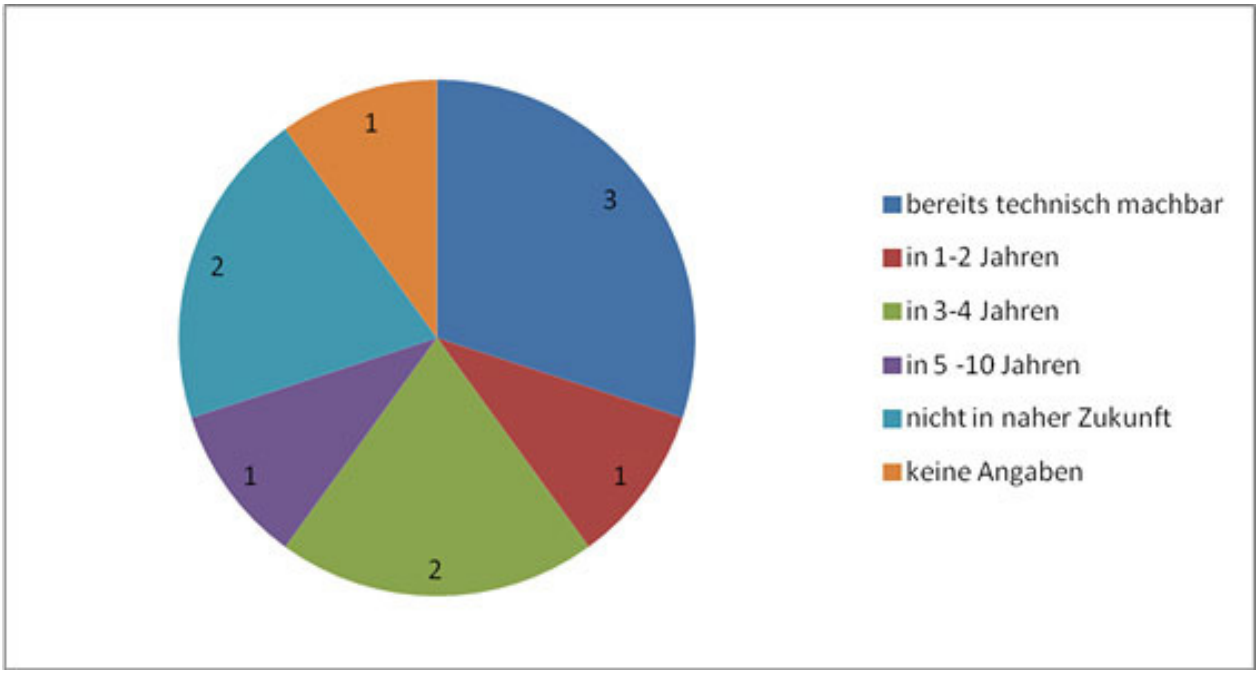
Zwei Drittel der Befragten Experten favorisieren die Ultraschallsensoren für die Positionierung der EFZ über der Ladespule.



Tab. 59: Auswertung Expertenbefragung - Sensortechnik

2. Einführung serienreifer Lösungen für das autonome Parken:

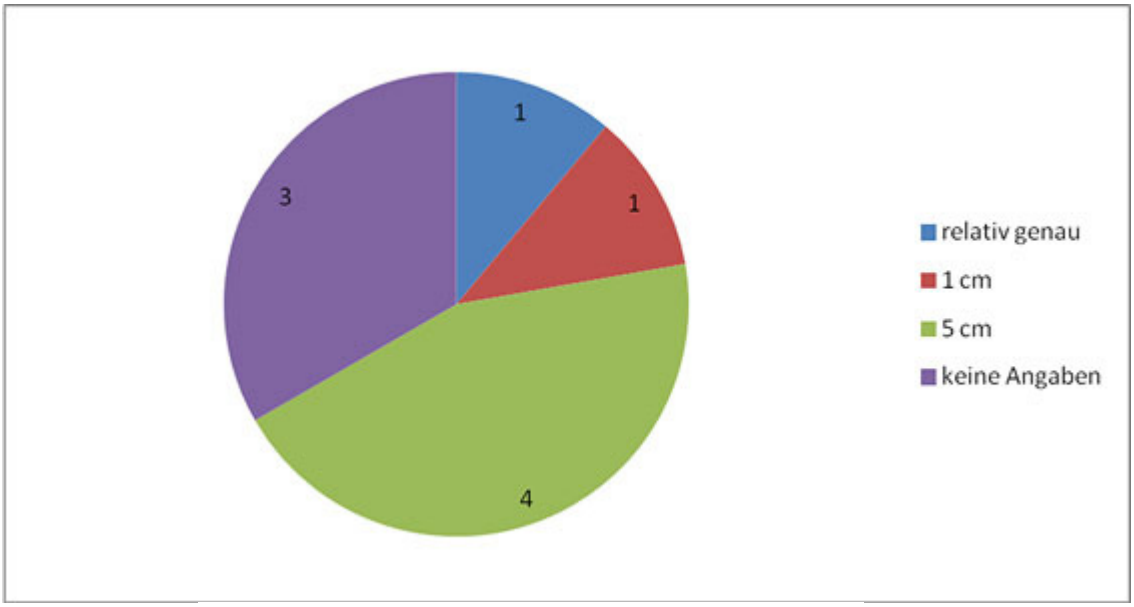
Die Antworten, wann mit serienreifen Lösungen für das autonome Parken zu rechnen ist, streuen etwas stärker.
60 % der Befragten rechnen aber innerhalb der nächsten 4 Jahre mit der Einführung.



Tab. 60: Auswertung Expertenbefragung – Markteinführung

3. Erreichbare Positioniergenauigkeit des EFZ beim Parken über der Ladespule:

Zwei Drittel der Befragten Experten rechnen mit Positioniergenauigkeiten von 5 cm oder besser.



Tab. 61: Auswertung Expertenbefragung – Positioniergenauigkeit

3.3.11 Zusammenfassung

3.3.11.1 Nutzerverhalten

Die Studien zur Verhaltensforschung bei der Nutzung von Elektrofahrzeugen (EFZ) zeigen, dass die tägliche Fahrleistung der Teilnehmer meist weit unter der möglichen Reichweite des EFZ lag. Bei nächtlicher Ladung reichte diese nach Krems (2011) für die alltäglichen Fahrten bei weitem aus. Bei der Entscheidung für oder gegen den Kauf eines EFZ spielt die Ladedauer eine eher untergeordnete Rolle.

Das konduktive Laden des EFZ ist für die Nutzer weitgehend problemlos. Auch die Ladedauer stellt kein Problem dar. In den derzeit verfügbaren technischen Lösungen (konduktiv mit Ladekabel) sehen die Nutzer aber Verbesserungsmöglichkeiten. Beim Ladeverhalten zeigen die Studienergebnisse, dass die öffentlichen Ladesäulen kaum genutzt wurden, da für fast alle Nutzer die private Lademöglichkeit ausreichend war.

Die meisten Nutzer luden nachts. Somit ergibt sich auch nachts das größte Potential für gesteuertes Laden. Die Anweisung an die Teilnehmer der Studien, das EFZ bei Nichtgebrauch immer mit dem Stromnetz zu verbinden, wurde nicht konsequent befolgt. Es wurde eher selten geladen – maximal einmal täglich, durchschnittlich nur jeden zweiten Tag.

Die große Mehrheit der Studienteilnehmer gab an, dass das EFZ erst dann mit dem Stromnetz zu verbinden, wenn der Ladezustand unter ein bestimmtes Niveau abgesunken war. Dieses Nutzerverhalten ist bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu EFZ mit konduktiver Ladetechnik unbedingt zu berücksichtigen.

3.3.11.2 Ladetechnik

Die Untersuchung der Bedienung konduktiver Ladetechnik im Alltag zeigt, dass der Kraftaufwand beim Herstellen und Trennen der Steckverbindung als eher gering einzuschätzen ist. Diese Bedienhandlungen sind auch von EFZ-Nutzern mit geringerer Körperkraft problemlos auszuführen. Der Aufwand für die Wartung und Sicherheitsprüfung von Kabel und Stecker wird von den Herstellern als gering eingeschätzt.

Die angebotenen Systeme werden als wartungsarm eingestuft, regelmäßige Sicherheitsprüfungen der Ladekabel und Stecker – vergleichbar mit der (Wiederholungs-)Prüfung ortsveränderlicher Anlagen und Betriebsmittel im gewerblichen Bereich – sind bisher nicht verbindlich.

Auch die Bedienung der konduktiven Ladesysteme bei schlechtem Wetter (wie z. B. Regen, Schnee und Eis) wird von den Herstellern als absolut sicher eingeschätzt.

An Reinigung bzw. Lagerung der Ladekabel werden keine besonderen Anforderungen gestellt. Diese halten nach Aussage der Hersteller dem bestimmungsgemäßen Gebrauch im Alltag stand. Für das Verstauen bzw. die Entnahme der Ladekabel im bzw. aus dem Fahrzeug ist die Gestaltungslösung des jeweiligen EFZ-Herstellers verantwortlich. Eine einheitliche Aussage zum damit verbundenen Aufwand gibt es somit nicht.

3.3.11.3 Laden von Elektrofahrzeugen

Ebenso kann der Aufwand für die eventuell erforderliche Tarifwahl an der Ladesäule aufgrund unterschiedlicher Kommunikationsanforderungen beim jeweils verwendeten Ladesystem nicht allgemeingültig beziffert werden. Der Zeitaufwand für den gesamten Handlungsablauf – Verbinden des Fahrzeugs mit dem Stromnetz und Starten des Ladevorgangs – schwankt bei den betrachteten Systemen stark. Der abgeschätzte Zeitaufwand für diesen Handlungsablauf erreicht unter günstigen Umfeldbedingungen Werte von bis zu einer halben Minute.

Die durchgeführten Befragungen zum Nutzerverhalten beim Laden von EFZ liefern die folgenden, wesentlichen Ergebnisse:

62 % der Befragten ist der Komfortgewinn durch das induktive Laden eine Mehrausgabe wert. Sie sind bereit dafür im Mittel 1.000 € mehr auszugeben. 38 % der Befragten ist der Komfortgewinn durch das induktive Laden nichts wert.

Die Befragung zum Ladeverhalten ergab als kritische Zeitspanne für das Laden mit Kabel und Stecker die Parkdauer von einer Stunde. D. h. ein Kurzaufenthalt würde von kaum einem der Befragten zum Laden mit Stecker und Kabel genutzt werden. Diese Aussage deckt sich gut mit dem Nutzerverhalten beim Laden des Mobiltelefons. Auch ihr Mobiltelefon laden die Befragten erst ab einer Verweildauer von einer Stunde auf. Die Mehrheit der befragten Personen (über 86 % der Teilnehmer an der Internetbefragung) gibt an, ihr Mobiltelefon erst bei niedrigem Akkustand zu laden. Aus diesem Grund hatte auch bei der Mehrheit der Befragten das Handy schon einmal wegen unzureichender Akkuladung versagt.

Auch ihre derzeitigen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren betanken über 60 % der Befragten erst nachdem die Anzeige „Geringer Tankinhalt“ erscheint. Mehrheitlich würde zu Hause geladen werden und über 70 % der befragten Nutzer würden in der Zeit von 20 – 4 Uhr laden.

3.3.11.4 Parkassistenz und induktives Laden

Die zum Zusammenhang zwischen Parkassistenzsystemen/automatischem Fahren und dem induktiven Laden von EFZ befragten Experten sahen hier mehrheitlich Synergieeffekte.

So können z. B. die Sensoren von schon im Einsatz befindlichen Fahrerassistenzsystemen auch zur exakten Positionierung von EFZ über der Ladespule genutzt werden. Zwei Drittel der Befragten Experten favorisieren die Ultraschallsensoren für die Positionierung der EFZ über der Ladespule.

60 % der Befragten rechnen innerhalb der nächsten vier Jahre mit der Einführung von serienreifen Lösungen für das autonome Parken und zwei Drittel der befragten Experten rechnen mit erreichbaren Positioniergenauigkeiten von fünf Zentimeter oder besser.

3.3.11.5 Fazit

Beim Vergleich beider Ladetechnologien wird deutlich, dass durch die Automatisierung des Ladeprozesses mittels Induktivladen und den damit verbundenen Wegfall der erforderlichen Bedienhandlungen für das Laden mit Kabel und Stecker die Verfügbarkeit der EFZ am Energienetz und damit für gesteuertes Laden deutlich erhöht wird.

Da der Ladevorgang bei jedem Halt über der Ladespule automatisch startet, spielt der subjektive Faktor keine Rolle mehr. Es bedarf keiner konkreten Auslöser mehr, den Ladevorgang zu beginnen. Die Regelmäßigkeit des Ladens erhöht sich dadurch zwangsläufig.

Die Folge sind häufigere Ladevorgänge mit geringeren Ladehüben und auch Tiefentladungen werden vermieden. Neben der besseren Verfügbarkeit der EFZ in intelligenten Stromnetzen ist auch die verlängerte Lebensdauer der Batterie als Vorteil des Induktivladens zu nennen.

3.4 Automatisches, unsichtbares Laden

Es gibt bereits die ersten Quellen, die von Vermüllung des Stadtbilds duch Ladesäulen sprechen [421].

Auch wenn Prototypen wie die von Evatran noch durchaus sichtbar sind - die Systeme von Witricity (zusammen mit Delphi [422]), Siemens, Conductix Wampfler, SEW Eurodrive, HaloIPT und eCoupled/Fulton Innovation sind so geplant, dass nicht nur die Primärspulen komplett im Boden versenkt werden, sondern auch die Ladesteuerungs-Elektronik in Pkw, Wand oder Boden verschwindet.

Abb. 73: Unsichtbarer Ladepunkt von eCoupled / Fulton-Innovation (Engadget [423])

Abb. 74: Im Asphalt verlegte Ladepunkte mit Wampfler-IPT-Technologie (Wampfler PR [424])

Ladesteuerung und Abrechnung werden beim induktiven Laden über den Fahrzeug-Unterboden und Smart-Phone-Appikationen oder handliche Remote-Module erfolgen. Dies ist ein nicht zu unterschätzender Vorteil, da sichtbare Lade-Kabel und Automaten im Allgemeinen Gefahrenpotentiale beinhalten, die im Folgenden näher betrachtet werden.

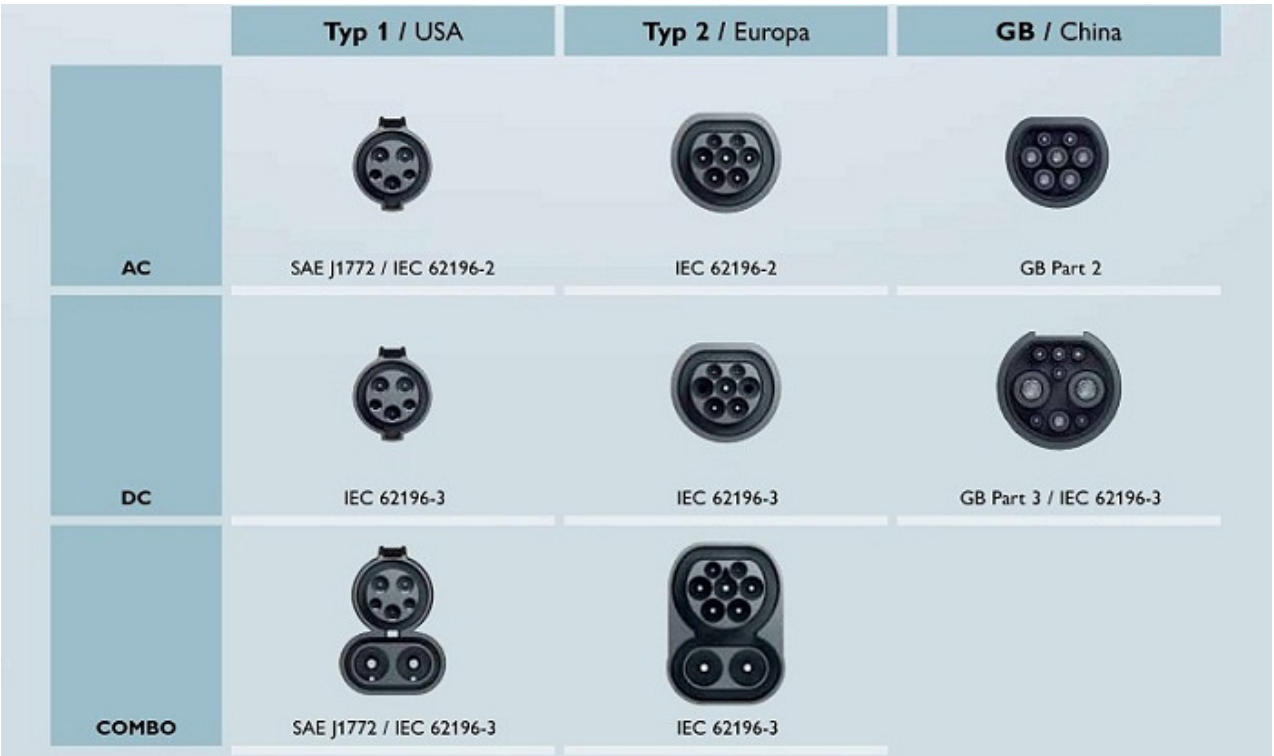
3.4.1 Aussicht auf einen weltweit einheitlichen Standard

„Europa und Amerika müssen schnell gemeinsame Standards setzen“, so Bernhard Mattes Vorsitzender der FORD-Geschäftsführung beim Transatlantik-Symposium auf der IAA 2011. Ford erwarte 2020 einen Anteil elektrifizierter Fahrzeuge von 10 bis 25 Prozent am gesamten Absatz. Für diesen Markt müssten neue technische Normen gesetzt werden [425].

„Wir müssen alle Anstrengungen unternehmen, um so viel wie möglich globale Standards in Amerika und Europa zu entwickeln“, pflichtete ihm Friedrich Merz vom Verein Atlantik-Brücke bei. Die Stärke des europäischen Binnenmarktes gründe vor allem auf der Harmonisierung technischer Normen, so Friedrich Merz.

Zwar nimmt kaum je ein Autofahrer aus Japan, China oder Europa sein Auto mit in die USA oder umgekehrt. Doch die Automobil-Industrie funktioniert global und wünscht sich internationale Standards, wie Pitt Moos, Produktmanager des E-Smarts, erklärt:

„Smart ist weltweit aktiv, wir verkaufen in 500 Länder. Da nützt eine Stecker-Norm für Deutschland nichts. In Japan hat uns mal der FI-Schalter das Laden versperrt.“ Global betrachtet sei derzeit „alles was mit Strom zu tun hat, ein Fleckerl-Teppich.“ Der weltheit einheitliche Standard für kabelloses Laden von EFZ ist bald zu erwarten, der für kabelgebundenes später, vielleicht sogar nie.



Tab. 62: Gesichter von Ladebuchsen am Fahrzeug als internationale Normungsvorschläge, hinzu kommen hauseigene, z. B. von Tesla (Phoenix Contact [426])

Weltweit gibt es mindestens fünf verschieden genormte Ladekabel-Stecker:

- Typ 1: den in den USA und Japan verbreiteten SAE J-1772
- Typ 2: VDE-AR-E 2623-2-2 von Mennekes
- Typ 3-Ladekabel mit Stecker nach IEC 62-196-2
- den in Europa verbreiteten Stecker 60309-2 (CEE)
- den klassischen Schuko-Stecker, der in jede Haushaltssteckdose passt
- zusätzlich: spezielle Stecker für Schnell-Ladestationen (davon allein mindestens 5 für das DC-Schnellladen)

Die Einigung auf eine Stecker-Norm gestaltet sich schon allein in Europa schwierig. Der von den Franzosen favorisierte CEE-Stecker konkurriert mit dem Mennekes-Typ-2-Stecker.

Diplom-Ingenieur Eduard Stolz, Geschäftsführer des europäischen Ladepunkt-Netzwerkes Lemnet.de, hält eine Einigung in den nächsten Jahren für sehr unwahrscheinlich [427].

Im Gegensatz dazu, steht der weltweite Standard für das berührungslose Laden vor dem Durchbruch. Jesse Schneider, Manager für Clean Energy-Belange bei BMW, will für das kabellose Laden den internationalen Standard J2954 etablieren. Dafür gründete er im November 2010 eine spezielle Task Force innerhalb der Society of Automotive Engineers (SAE), dem amerikanischen Äquivalent zum deutschen Standardisierungs-Verband der Elektro-Technik, Elektronik und Informationstechnologie (VDE). Eine erste Richtlinie erwartet die SAE bereits Ende 2011, eine endgültig abgestimmte Norm spätestens bis 2013 [428].

Was ihn so zuversichtlich stimmt: Zahlreiche OEMs und Ladeinfrastruktur-Anbieter haben die Normungs-Richtlinien bereits unterschrieben [429].

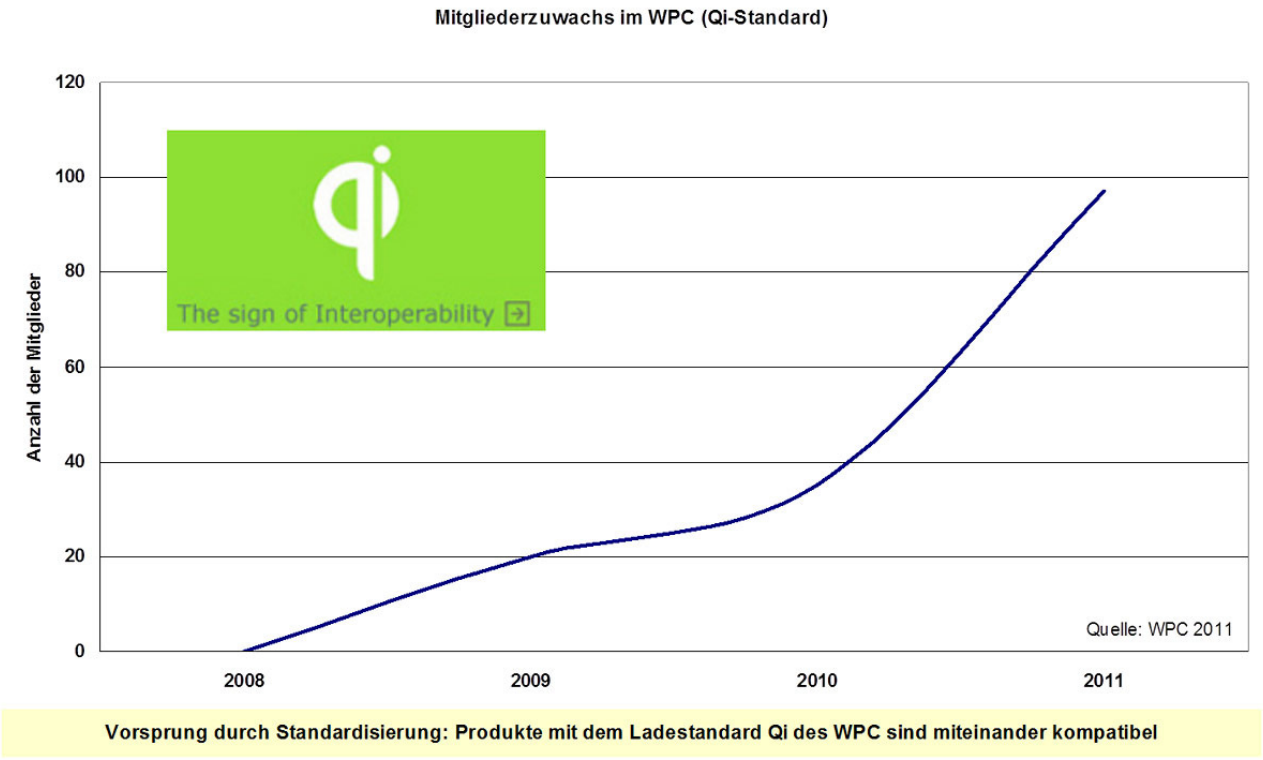
In eigenem Interesse: Die verschiedenen Stecker-Normen verzögern schließlich eine Verbreitung der Ladeinfrastruktur und damit eine Verbreitung der Elektromobilität [430].

Auch das regierungsnahe Forschungszentrum Oak Ridge National Laboratory in Tennessee geht davon aus, dass sich das induktive Laden von Elektroautos als Standard durchsetzen wird, wie eine Wissenschafterin auf einem Expertenkongress in Paris bekanntgab [431].

Mit der Vereinbarung von ISO/IEC und SAE vom 19.10.2011, den Normungsprozess ab sofort über die Grenzen der Standardisierungsorganisationen hinweg gemeinsam voranzutreiben, bekam die Aussicht auf einen baldigen weltweiten Technologiestandard weiteren Schub. Schon die nächsten Papiere werden zwischen ISO/IEC und SAE abgestimmt.

Wie Standardisierung kabellose Energieübertragung voranbringt, macht das Wireless Power Consortium (WPC) im Bereich niedriger elektrischer Ladungen vor. Bei Abschluss des BFKL-Berichtes waren 97 Global Player Mitglied im WPC: Darunter Namen wie Nokia, LG, HTC, Samsung und Motorola.

Durch den einheitlichen Standard namens „Qi“ sind die Geräte der WPC-Mitglieder in der Lage, Strom zu übertragen und miteinander zu kommunizieren. Das fördert die weltweite Verbreitung. Die Sekundärspule ist in einigen der Geräte bereits enthalten, so dass nicht einmal ein Adapter zum Laden nötig sein wird.



Tab. 63: Mitglieder-Zuwachs im WPC /Qi-Standard (KM)

3.4.2 Barrierefreies Laden

3.4.2.1 Laden ohne Stolpergefahr durch meterlange Kabel

Ladekabel stellen eine potentielle Stolpergefahr dar. Immerhin ist das Ladekabel eines Mitsubishi i-Mievs fünf Meter lang [432], das eines Opel Ampera sechs Meter [433]. Nicht umsonst zeigte Mennekes auf der IAA 2011 eine Ladepunkt-Studie mit automatischem Ladekabel-Aufroller [434].

Wie unberechenbar und folgenreich Stolper-, Rutsch- und Sturzunfälle sein können, wissen Versicherungen und Berufsgenossenschaften, weshalb sie aufwändige Präventionsprojekte gegen die Unfälle betreiben, die bei ihnen unter dem Fachbegriff „SRS-Unfälle“ firmieren.

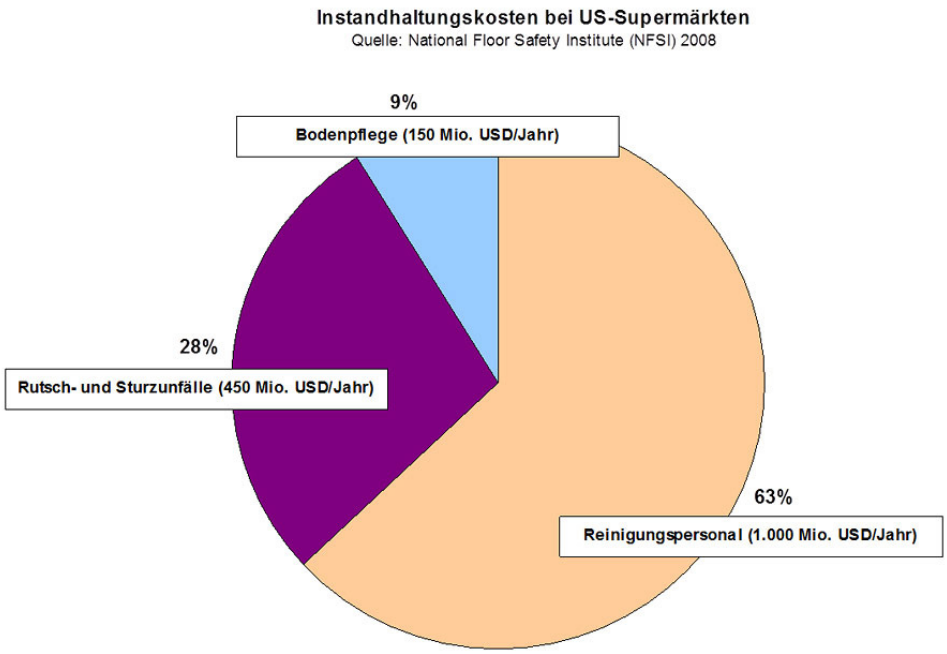
Nur wenigen Menschen ist bewusst, dass statistisch jeder fünfte Unfall am Arbeitsplatz ein SRS-Unfall ist [435]. In der Schweiz, wo Freizeit- und Arbeitsunfälle zusammen erfasst wurden, ist die Bilanz noch eindeutiger: Dort verunfallen jährlich rund 4 % der Einwohner durch Stolpern - mehr als durch Autounfälle [436]. Dabei entstehen den Schweizer Unfallversicherern jährliche Kosten von fast einer Milliarde Schweizer Franken [437], was etwa 777 Millionen Euro entspricht.

Stolpern, Rutschen oder Stürzen endet nicht selten tödlich: Mehr als jeder fünfte tödliche Unfall geht in Deutschland auf einen SRS-Unfall zurück. In den USA ist es laut National Center for Health Statistics immerhin jeder sechste [438] .

In der Zukunft könnten viele Großparkplätze mit kabelgebundenen Ladesäulen ausgestattet sein. Bereits heute investieren einzelne Supermarkt-Ketten in Ladepunkte. Natürlich nicht uneigennützig: Ladepunkte erhöhen deren Attraktivität und bringen die Kunden dazu, länger dort zu bleiben. Wie gut das funktioniert, bewies kürzlich ein Ladepunkt des Möbelkaufhauses Ikea: Er wurde als meistfrequentierter Ladepunkt Londons ermittelt [439].

Gemäß der Statistik des National Floor Safety Institutes (NFSI), einer texanischen Non-Profit-Organisation, sind Supermärkte schon jetzt Schauplatz zahlreicher Rutsch- und Sturz-Unfälle.

Durch die Verbreitung kabelgebundener Ladestationen könnten auch SRS-Unfälle zunehmen.



Schon ohne Ladekabel entsteht ca. ein Drittel der Instandhaltungskosten bei US-Supermärkten durch Sturz-Unfälle

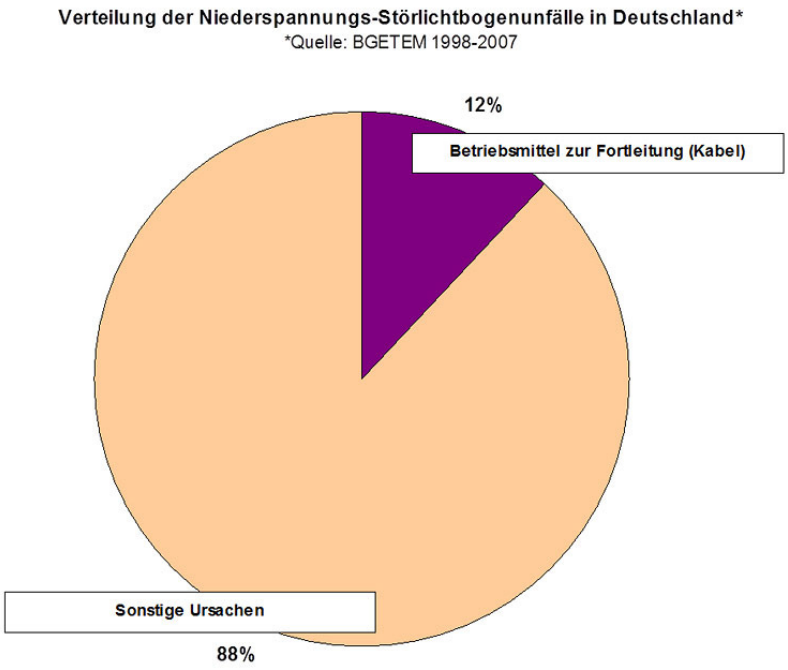
Tab. 64: Statistik des NFSI über Instandhaltungskosten bei US-Supermärkten (KM)

3.4.2.2 Weniger Stromunfälle durch eigensicheres Laden mit Berührschutz

Das berührungslose Laden birgt weniger Gefahren für Stromunfälle, da es keinen körperlichen Kontakt zur Lade-Einrichtung gibt (s. Interview-Ergebnisse mit Anwendern aus der Automobilbranche im Bericht der ifak 440).

Welche Rolle das spielt, wird deutlich, wenn man Untersuchungen der Berufsgenossenschaft Elektro (BGETEM) näher betrachtet, die zeigen, dass Stromunfälle besonders häufig in Zusammenhang mit Kabeln als Betriebsmitteln stehen:

„Besonders häufig kommt es zu Stromunfällen an Betriebsmitteln zur Fortleitung (…). Betrachtet man die unfallbeteiligten Betriebsmittel näher, erkennt man, dass fast die Hälfte aller Unfälle auf Kabel und auf feste Installationen (ab Hausanschlusskasten) entfällt. Die ausschlaggebenden Fehler sind z. B. eine defekte oder überbrückte Schutzisolierung (28,5 Prozent), Isolationsschäden (10 Prozent) oder durch Umwelteinflüsse fehlerhafte Geräte (20,8 Prozent) 441."



Bedeutung von Kabeln bei Stromunfällen

Tab. 65: Bedeutung von Kabeln bei Stromunfällen

Die Abteilung Sicherheits- und Unfallforschung des VDE in Frankfurt registrierte 1970 noch 256 Tote durch Stromunfälle (allein in West-Deutschland), 1999 nur noch 86, 2008 nur noch 63. Dr. Ingenieur Jens Jühling, Leiter des Institutes zur Erforschung elektrischer Unfälle der BGETEM in Köln:

„Die Zahlen bewegen sich seit vielen Jahren in diesem Bereich. Bei Stromunfällen sterben in Deutschland im Jahr um die 60 Menschen, die Tendenz ist dank immer besserer Sicherheitsvorschriften sinkend."

Doch man sollte sich von diesen Zahlen nicht täuschen lassen. Während die Todesfälle durch Strom drastisch gesenkt werden konnten, stagniert die Zahl der Stromunfälle. Bei einer Verbreitung der Elektro-Mobilität kann auch die Gefahr von Stromunfällen steigen, besonders wenn Menschen mit Kabeln hantieren, die Umwelteinflüssen oder Schadnagern ausgesetzt sind und dadurch Isolationsschäden aufweisen können.

Wohlgemerkt: Für die bisherigen Installationen gab es auch schon Sicherheitsvorschriften und Normen. Entsprechende Standards für die Ladetechnik versprechen für den Statistiker also keine zusätzliche Sicherheit.

Dabei darf man von der Qualiät und Sicherheit der Elektroinstallationen in Deutschland keineswegs auf das Ausland schließen. Damit sind keineswegs nur außereuropäische Drittstaaten gemeint, auch nicht nur süd- oder osteuropäische Staaten mit historisch bedingt anderer Infrastruktur.

Immerhin zählt z. B. der britische Electric Safety Council pro Jahr 1,2 Millionen Menschen, die durch einen Elektro-Schock ernsthafte Verletzungen davontragen und 200.000 Menschen, die deshalb stationär behandelt werden müssen [442].

Eine nennenswerte Erhöhung der Unfallzahlen durch das Hantieren mit elektrischen Ladekabeln ist laut Wolfgang Pechoc, Leiter Fachausschuss Elektrotechnik, Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln, nur dann nicht zu befürchten, wenn „robuste und strapazierfähige Leitungen (=Kabel) verwendet werden, vergleichbar denen, die wir für Bau- und Montagestellen in der BGI 608 vorschreiben. Schließlich hilft hier auch die Prüfung der Anschlussleitungen durch ausgebildete Personen im Rahmen der Fahrzeuginspektion."

Diese Überprüfung ist bisher noch nicht gesetzlich vorgeschrieben.

Darüber hinaus bedarf bei Ladekabeln der Steckanschluss einer genauen regelmäßigen Überprüfung, da „der möglicherweise nachlassende Kraftschluss der Kontakte eine thermische Gefahrenquelle darstellen könnte 443“, wie Volker Blandow, Global Head of E-Mobility beim Prüfinstitut Tüv Süd, einräumt.

3.4.3 Laden ohne Berührkontakt: kein Gefahrenpotential

Der Umgang mit haushaltüblichen elektrischen Kabeln und Steckverbindern stellt normalerweise keine Besonderheit mehr dar. Doch beinhaltet der Umgang mit elektrischem Energie und Geräten ein entsprechendes Gefahrenpotential. Die im Fall der Aufladung von Elektrofahrzeugen angestrebten Spannungs- und Leistungsebenen erhöhen dieses Potential. Damit steigt auch der Aufwand für die erforderliche Schutz- und Sicherheitstechnik, auch für die Gewährleistung sicherer Trenn- und Kopplungsvorgänge. Dazu sind insbesondere erforderlich:

- robuste und strapazierfähige Leitungen und Kabel, ähnlich denen für Bau- und Montagestellen (BGI 608)
- robuste, verschleißfeste Steckverbindungen
- Fehlerstrom- und Isolationsüberwachung
- Steuer- und Überwachungstechnik

Diese Technik verursacht neben dem den entsprechenden Herstellkosten auch einen entsprechenden Prüf- und Überwachungsaufwand. Hervorzuheben sind hierzu beispielsweise die zyklischen Prüfkosten für das Ladekabel als ortsveränderliches Betriebsmittel oder für den Fehlerstromschutzschalter (RCD).

Im Vergleich dazu bieten induktive Systeme eine prinzipbedingten höhere Sicherheit, da hier keine offenen elektrischen Kontakte verwendet werden. Die notwendigen Schutzeinrichtungen können im Allgemeinen auf eine entsprechende Isolierung reduziert werden. Dies konnte auch in den Interviews mit Anwendern und Instandhaltungsverantwortlichen aus dem Bereich des Automobilbaus als typischen Anwendungsbereich kontaktlos-induktiver Energieübertragungssysteme bestätigt werden.

Prinzipiell kann hier zusammengefasst werden, dass beide Technologien aus Sicht der elektrischen Sicherheit zuverlässig funktionieren können, aber der Aufwand zur Erreichung dieser Sicherheit bei induktiven Systemen geringer ist. Beim konduktiven System liegt ein Gefahrpotential beim Ladekabel, deren Steckern und Kontakten (Nässe/Schnee/Schmutz, Kabelbruch, Vergessen des Trennens der Verbindung, …).

3.4.4 Keine visuellen Beeinträchtigungen für Denkmalschutz, Stadtplanung

Die Bundesregierung will Deutschland zum Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität bis zum Jahr 2020 entwickeln.

In der ersten Phase der Marktvorbereitung bis zum Jahr 2014 liegt der Schwerpunkt auf Forschung und Entwicklung sowie sog. Schaufensterprojekten. In der zweiten Phase des Markthochlaufs bis zum Jahr 2017 steht der Marktaufbau bei Fahrzeugen und Infrastruktur im Fokus. Bis zum Jahr 2020 beginnt der Übergang zum Massenmarkt – Ziel sind 1 Million Elektrofahrzeuge – mit tragfähigen Geschäftsmodellen (siehe 2. Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, Mai 2011).

Abb. 75: Altstadt mit Ladesäulenvisualisierung

Bis zum Jahr 2014 wird ein Gesamtbedarf von 118.000 Ladepunkten für rd. 100.000 elektrisch betriebene Fahrzeuge (BEV, PHEV, NFZ) prognostiziert, davon entfällt der überwiegende Teil auf die Ladearten „Wallbox/Heimladung“ und „Firmenparkplatz“, nur 7.000 (rd. 6 % des Gesamtbedarfs) sind öffentliche Ladepunkte (Abb. 15 und Abb. 10, 2. Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität). Im Jahr 2011 wird der Bestand mit 2.200 öffentlichen Ladepunkten beziffert.

Das Ziel von 1 Million Elektrofahrzeugen bis zum Jahr 2020 entspricht weniger als 2,5 % des gesamten Pkw-Bestandes (2008: ca. 41 Millionen privat zugelassene Pkw). Aktuell gibt es rd. 1.600 zugelassene Elektroautos (Angabe Kraftfahrtbundesamt; Stand: 01. Januar 2010).

Bei einer weiteren Marktdurchdringung wird der Bedarf an öffentlichen Ladepunkten deutlich steigen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob die derzeit in der Entwicklungsphase befindliche induktive Ladeinfrastruktur (Spule und Ladepad) städtebaulich verträglicher als konduktive Ladesäulen (Stecker und Kabel) zu realisieren und insofern der Akzeptanz bzw. der weiteren Marktdurchdringung mit Elektromobilität förderlich ist.

Im Rahmen des interdisziplinären Begleitforschungsvorhabens „Kabelloses Laden“ im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Projektträger: VDE/VDI Innovation + Technik GmbH) untersucht das Institut für Städtebau und Landesplanung an der RWTH Aachen University die städtebaulichen Auswirkungen von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum. Insbesondere wird die Frage untersucht, inwieweit visuelle (Stadtbild, Denkmalschutz, Sauberkeit) bzw. funktionale (Sicherheit, Barrierefreiheit, Nutzungsoffenheit) Restriktionen einem flächendeckenden Ausbau von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum entgegenstehen.

Das Forschungsvorhaben wird in Kooperation mit dem Institut für Automation und Kommunikation e. V. Magdeburg (ifak), dem Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb (IAF) an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg sowie dem Büro Kiefer Media, Offenburg durchgeführt.

Im Ergebnis werden die von den Projektteams erarbeiteten Zusammenhänge in einem gemeinsamen Modell qualitativ und quantitativ abgebildet (siehe gemeinsamer Bericht zum Begleitforschungsvorhaben).

3.4.4.1 Untersuchungsgegenstand und Methode

3.4.4.1.1 Untersuchungsgegenstand

Der Untersuchungsteil des Instituts für Städtebau und Landesplanung an der RWTH Aachen University fokussiert die Fragestellung des Begleitforschungsprojekts „Kabelloses Laden“ auf städtebauliche Faktoren, die bezogen auf die beiden Ladetechnologien „induktiv“ und „konduktiv“ die Marktdurchdringung mit Elektroautos beschleunigen bzw. hemmen können.

Räumlich beschränkt sich diese Untersuchung auf Ladeinfrastruktur in den Städten der „Modellregionen Elektromobilität“, da hier der Netzaufbau in Deutschland zuerst erprobt wird und erste Erfahrungen vorliegen.

Untersuchungsgegenstand ist die Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum im Bereich von Straßen und Plätzen. Ladeinfrastruktur auf privaten (Endverbraucher und gewerbliche Nutzer) oder semiöffentlichen Flächen (bspw. Mitarbeiterparkplätze, Kundenparkplätze) löst grundsätzlich keine städtebaulichen Spannungen bzw. Regelungsbedarfe aus.

Untersucht werden nur die Kriterien, die für die Ladetechnologie-Entscheidung „konduktiv oder induktiv“ von Bedeutung sind, d. h. in Abhängigkeit von der Ladetechnologie unterschiedlich zu bewerten sind. Fragestellungen, die beide Ladetechnologien gleichermaßen betreffen, können ausgeklammert werden.

Die Entscheidung für die städtebaulich verträglichere Technologie und damit der durch städtebauliche Restriktionen nicht limitierte Aufbau von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum kann die Marktdurchdringung mit Elektrofahrzeugen fördern. Quantitative Aussagen können nur gemacht werden, soweit es die vorhandene Datenlage zulässt.

Es wird nicht untersucht, wie groß das Potential an induktiven bzw. konduktiven Ladestationen im öffentlichen Raum absolut ist und ob dieses Potential bedarfsdeckend bzw. für einen flächendeckenden Ausbau ausreichend ist. Grundsätzliche Fragestellungen zur generellen

Bedeutung der Elektromobilität, bspw. für kommunale Energieversorgungsunternehmen, werden hier ausdrücklich nicht untersucht.

3.4.4.1.2 Methode

Grundlage der Untersuchung sind vorhandene Daten, wie Statistiken und Berichte des Bundes, der Länder und der Kommunen, sowie eine gezielte Befragung von 18 Städten in den Modellregionen, um erste Erfahrungen mit dem Aufbau von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum zu dokumentieren, insbesondere hinsichtlich des städtebaulichem Konfliktpotentials und der Genehmigungsverfahren.

Die Beurteilung der städtebaulichen Verträglichkeit von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum ist maßgeblich beeinflusst durch:

- Art der Ladeinfrastruktur: induktiv oder konduktiv (ggf. unterschiedliche Designs),
- Ort der Ladeinfrastruktur: in städtebaulich sensiblen bzw. unkritischen Bereichen,
- Anzahl bzw. Dichte der realisierten öffentlichen Ladepunkte.

Entsprechend gliedert sich der folgende Bericht. Abschließend werden die Untersuchungsergebnisse zusammengefasst und bewertet. Im Anhang findet sich u. a. eine detaillierte Auswertung der durchgeführten Umfrage.

3.4.4.2 Technologievergleich „induktiv-konduktiv“ (Art)

Der Aufbau von Ladepunkten kann konfliktfrei stattfinden, wenn keine städtebaulichen Restriktionen zu erwarten sind. Das ist der Fall, wenn durch den Aufbau von Ladepunkten keine visuellen bzw. funktionalen Beeinträchtigungen entstehen.

3.4.4.2.1 Visuelle Beeinträchtigungen

3.4.4.2.1.1 Schutz des Stadtbildes

Es besteht ein öffentliches Interesse daran, das Stadtbild zu schützen, um die Attraktivität der öffentlichen Räume zu wahren und das Erscheinungsbild der Stadt vor den Einflüssen partikularer Interessen zu schützen. Gleichzeitig ist das Wesen jeder Stadt die Veränderung. Die Dynamik und die Intensität des Stadtumbaus ist Ergebnis eines gesamtgesellschaftlichen Entscheidungsprozesses, der von vielfältigen Interessenlagen beeinflusst wird und für unterschiedliche Bereiche des Stadtgebiets auch differenziert betrachtet werden muss.

„Die Gestaltung eines Stadtbildes ist und bleibt ein Prozess mit vielen Akteuren. Die Entstehung, Gestaltung und Pflege eines Stadtbildes, ist unabhängig von dessen kulturhistorischer, also der denkmalpflegerischen Bedeutung ein fortwährender Prozess, der täglich neu bestimmt wird. So wird sich jedes Stadtbild in seinen Teilen wie im Ganzen kontinuierlich wandeln. Wandel ist Wesensmerkmal städtischen Lebens. Es gehört gleichwohl zu den originären Aufgaben von Stadt und Öffentlichkeit, in einem zu definierenden Umfang steuernd in diese Komplexe hineinzuwirken, soll die Stadt nicht im Chaos partikularer Interessen versinken.“ (Martin Horsten, Das Stadtbild im

Spannungsfeld von Schutz, Pflege und Gestaltung, Arbeitshilfe der Arbeitsgruppe Kommunale Denkmalpflege des Deutschen Städtetages, 2005)

Grundsätzlich darf der Aufbau von Ladeinfrastruktur „weder bauliche Anlagen noch das Straßen-, Orts- oder Landschaftbild verunstalten“ (§ 13 BauO NRW). Das gilt gleichermaßen auch für Lade-Infrastruktur auf privaten bzw. semi-öffentlichen Grundstücken (Verunstaltungsverbot). Wenn induktive Ladeinfrastruktur als Teil der öffentlichen Verkehrsfläche räumlich nicht in Erscheinung tritt, ist an keinem Standort eine Verunstaltung zu befürchten.

Die visuellen Auswirkungen von Ladesäulen sind in Abhängigkeit von Design und Standort im Einzelfall zu beurteilen, ggf. auf Grundlage von Visualisierungen (vorher – nachher).

Es wird zu beurteilen sein, ob durch geplante Ladesäulen die Wahrnehmung des Stadtbildes negativ verändert wird. Zu berücksichtigen sind sowohl Anzahl, Form und Farbe der geplanten Ladesäulen als auch die vorhandene städtebauliche Struktur bzw. der Maßstab der näheren Umgebung (kleinteilige Bebauung/Großstrukturen, geschlossene/offene Bebauung, homogene/heterogene Bebauung) bzw. das planerisch als Entwicklungsziel definierte Stadtbild.

Die Gemeinden haben über Gestaltungssatzungen die Möglichkeit, aktiv auf die Gestaltqualität des öffentlichen Raums Einfluss zu nehmen.

In einer Analogie zum Umgang mit Warenautomaten kann vermutet werden, dass Kommunen, die bereits heute über Gestaltungssatzungen Einfluss auf Art, Ort und Umfang von Warenautomaten nehmen, auch den Aufbau von Ladesäulen im öffentlichen Raum reglementieren werden.

Das gleiche gilt für Kommunen, die durch besondere Leitbilder bzw. Maßnahmen die Gestaltqualität des öffentlichen Raums sichern bzw. entwickeln wollen, bspw. durch „Entrümpelung“ der Stadträume von überflüssigem Stadtmobiliar, Beschilderungen etc..

Zusätzlich ist jeder Gegenstand im öffentlichen Raum durch Vandalismus gefährdet, der sich auch negativ auf das Erscheinungsbild auswirkt.

75 % der befragten Kommunen geben an, dass sie Steuerungsinstrumente für den Aufbau von Ladestationen im öffentlichen Raum brauchen, insbesondere hinsichtlich Ort und Art der Ladeinfrastruktur (siehe Frage 8 der Umfrage).

Auf der anderen Seite kann durch die sichtbare Umsetzung neuer Mobilitätskonzepte im öffentlichen Raum (Parkplätze zum Laden, Zufahrsberechtigungen bzw. bevorrechtigte Spuren für Elektrofahrzeuge u. ä.) die Marktdurchdringung auch befördert werden.

„Neue Mobilitätskonzepte können sich positiv auf das Stadtbild auswirken. Die damit verbundenen Anpassungen im Stadtplanungsrecht sowie der künftigen Flächennutzung (z.B. hinsichtlich der Aufstellung und des Zugangs zu Ladestationen im öffentlichen Raum) müssen schon heute vorbereitet werden, damit ein Ausbau der Elektromobilität zügig vorangehen kann.“ (NPE 08/2009, Seite 13)

Abb. 76: Parkplatzbeschilderung in Berlin; Zusatzzeichen gem. Straßenverkehrsordnung (i. V. m. Verkehrszeichenkatalog (VzKat) 1026-60 (vorläufige Nr.) „Elektrofahrzeuge während des Ladevorgangs frei“)

3.4.4.2.1.2 Denkmalschutz/Weltkulturerbe

Ladesäulen in denkmalgeschützten Bereichen (Ensembles, Flächendenkmale), aber auch in der Umgebung von Baudenkmalen können das Erscheinungsbild des Denkmals (Umgebungsschutz) beeinträchtigen. In Konfliktfällen ist mindestens von einem Mehraufwand in der Genehmigung und der Gestaltung der Ladesäulen, maximal von einer Ablehnung der Aufstellung in diesen Bereichen auszugehen (siehe Kapitel 4 Denkmalrecht, Anhang).

Besondere Anforderungen hinsichtlich der Vereinbarkeit mit denkmalpflegerischen Belangen sind bei fast der Hälfte aller Städte über 40.000 Einwohnern zu erwarten (Quelle: http://www.unesco.de [01.2011] bzw. „Historische Stadtkerne“ in Verbindung mit eigener Auswertung):

- 127 von 275 deutschen Städten verfügen über einen denkmalgeschützten oder schützenswerten Stadtkern (rd. 46 %),
- 21 von 275 deutschen Städten (über 40.000 Einwohnern) verfügen über eine Welterbestätte im Stadtgebiet (rd. 8 %)

Allerdings sind in diesen Bereichen nicht immer Parkplätze im öffentlichen Raum vorhanden (siehe Frage 15 der Umfrage).

3.4.4.2.1.3 Sauberkeit des öffentlichen Raums

Der Mehraufwand für kommunale Straßenreinigungskosten müssen vom Betreiber der Ladeinfrastruktur übernommen werden. Wenn sich dieser Mehraufwand in höheren Benutzungsgebühren für den privaten Elektrofahrzeug-Halter oder in geringeren Gewinnspannen für den Betreiber der Ladeinfrastruktur niederschlägt, ist zu erwarten, dass die Ladeinfrastruktur, die geringere Mehrkosten verursacht, aus wirtschaftlichen Gründen vorteilhafter ist.

„Nur offene und qualitätvolle Gestaltungen und die uneingeschränkte Zugänglichkeit öffentlicher Räume – und darauf in Qualität und Umfang verträglich abgestimmte Sondernutzungen – gewährleisten auch ein hohes Maß an Sicherheit und Sauberkeit!“ (Strategien für den Öffentlichen Raum – Ein Diskussionspapier, Arbeitsgruppe der Fachkommissionen Stadtentwicklungsplanung und Stadtplanungdes Deutschen Städtetags, 2006)

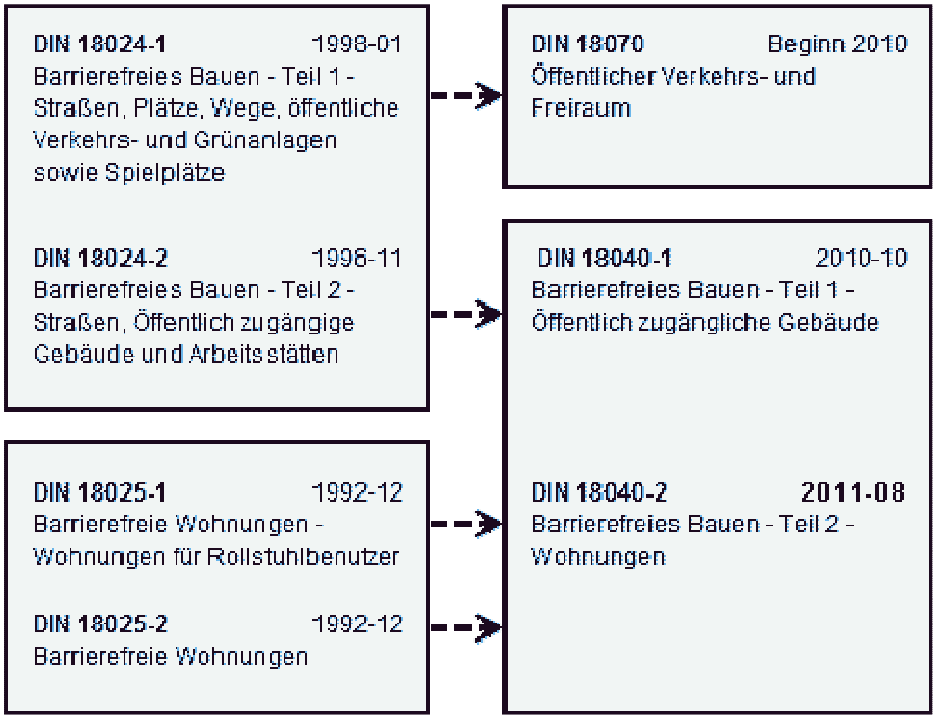


Abb. 77: DIN 18070 Öffentlicher Verkehrs- und Freiraum; Quelle:http://din18070.de/normen-richtlinien.htm, abgerufen am 08.02.201

3.4.4.2.2 Funktionale Auswirkungen

3.4.4.2.2.1 Barrierefreiheit

Alle Städte sind gleichermaßen verpflichtet, gesetzlich geregelte Standards zu Fragen von Barrierefreiheit und Sicherheit im öffentlichen Raum zu erfüllen. Eine wichtige Gesetzesgrundlage ist das Gesetz zur Gleichstellung behinderter Menschen (BGG).

Gesetz zur Gleichstellung behinderter Menschen (Behindertengleichstellungsgesetz, BGG) § 8 Herstellung von Barrierefreiheit in den Bereichen Bau und Verkehr

...

(2) Sonstige bauliche oder andere Anlagen, öffentliche Wege, Plätze und Straßen sowie öffentlich zugängliche Verkehrsanlagen und Beförderungsmittel im öffentlichen Personenverkehr sind nach Maßgabe der einschlägigen Rechtsvorschriften des Bundes Barriere frei zu gestalten. Weitergehende landesrechtliche Vorschriften bleiben unberührt.

Die Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen, 2006 (RASt 06) enthält Regelungen zur Barrierefreiheit, wie notwendigen Gehwegbreiten, Bordsteinhöhen und –absenkungen innerhalb bebauter Gebiete.

Weitere Planungsempfehlungen finden sich auch in den Empfehlungen für Anlagen des Fußgängerverkehrs, 2002 (EFA 02) sowie in der E DIN 32984 Bodenindikatoren im öffentlichen Raum (Entwurf).

Die DIN 18070 (Beginn 2010) wird Normen und Regelungen für das barrierefreie Bauen im öffentlichen Verkehrs- und Freiraum neu fassen.

Wenn induktive Ladepunkte im öffentlichen Raum bodengleich zu realisieren sind, sind sie im Vergleich zu feststehenden Ladesäulen, die beim Ladevorgang durch das Kabel zwischen Auto und Ladesäule eine Stolpergefahr darstellen bzw. insbesondere für behinderte Menschen notwendige Gehwegbreiten vermindern können, vorteilhaft.

3.4.4.2.2.2 Nutzungsoffenheit von öffentlichen Räumen

Öffentliche Räum sind oft mit Mehrfachnutzungen belegt. Ein häufiges Beispiel sind Festplätze, die auch als öffentliche Parkplätze genutzt werden oder Marktplätze, die sowohl für das Abhalten des Wochenmarktes als auch als Parkplätze genutzt werden. Um die Nutzungsoffenheit dieser Flächen zu wahren, muss auch das Stadtmobiliar den Anforderungen beider Nutzungen gerecht werden. Ladesäulen stehen als feststehender raumwirksamer Gegenstand potenziell im Konflikt mit der Forderung nach Nutzungsoffenheit. Ein Marktplatz wäre beispielsweise nicht mit Parkplätzen für Elektroautos vereinbar, wenn diese konduktiv geladen werden sollen.

„Qualitätsvolle öffentliche Räume zeichnen sich immer durch eine behutsame und rücksichtsvolle, den jeweiligen Straßen- und Platzcharakter berücksichtigende und die Aufenthaltsqualität fördernde Gestaltung aus. Unter dem Aspekt Strapazierfähigkeit und Nutzungsflexibilität ist dabei Weniger oft Mehr. Dies gilt für die öffentliche Plakatierung ebenso, wie für die private Nutzung (Möblierung, Tische, Stühle, Schirme, Werbung und Werbeträger, Warenauslagen) im öffentlichen Raum.“ (Strategien für den Öffentlichen Raum – Ein

Diskussionspapier, Arbeitsgruppe der Fachkommissionen Stadtentwicklungsplanung und Stadtplanung des Deutschen Städtetags, 2006)

3.4.4.2.2.3 Sicherheit des öffentlichen Raums

Alle Menschen sollen sich im öffentlichen Raum jederzeit sicher und angstfrei bewegen können. Ein sicherer öffentlicher Raum, ist ein Raum der hindernisfrei zugänglich, belebt, gut beleuchtet und unterhalten ist.

Eine defekte Ladesäule oder ein defektes Kabel sind offensichtliche Gefahrenquellen und wirken sich insofern negativ auf das Sicherheitsgefühl im öffentlichen Raum aus. Das tatsächliche GefahrenPotential spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

Sicherheitsaspekte, die Fragen des Berührungsschutzes bzw. der elektromagnetischen Verträglichkeit (in Bezug auf Mensch, Tier und Geräte) betreffen, werden an anderer Stelle im Forschungsprojekt behandelt.

3.4.4.2.3 Fazit

Der Technologie-Vergleich zwischen konduktiver und induktiver Ladeinfrastruktur in Bezug auf ihre städtebauliche Verträglichkeit im öffentlichen Raum kann sich bisher auf nur auf wenige Erfahrungswerte stützen, da konduktive Ladeinfrastruktur bisher nur in Pilotprojekten und induktive Ladeinfrastruktur überhaupt nicht realisiert ist.

Das KonfliktPotential beim Aufbau von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum ist bisher eher gering. Als Konfliktfelder am häufigsten (38,5 %) genannt werden „Denkmalschutz/Welterbe“ sowie „Nutzungsoffenheit von öffentlichen Räumen“. Die „Nutzungsoffenheit von öffentlichen Räumen“ wird als besonders kritisch eingestuft (siehe Frage 5 der Umfrage, Anhang). Die geringfügige Anzahl der bereits realisierten Ladestationen löst offensichtlich noch keine gravierenden, städtebaulichen bzw. stadplanerischen Konflikte aus.

Bei einem weiteren Ausbau von konduktiver Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum ist das KonfliktPotential erwartungsgemäß deutlich größer als bisher. Besonders häufig genannt werden Konflikte in Bezug auf die „Nutzungsoffenheit von öffentlichen Räumen“ (KonfliktPotential gering bis sehr hoch, Trend: gering), „Stadtbild“ (KonfliktPotential sehr gering bis hoch, Trend: gering), „Denkmalschutz/ Weltkulturerbe“ (KonfliktPotential sehr gering bis hoch, Trend: gering) und „Barrierefreiheit“ (KonfliktPotential sehr gering bis hoch, Trend: gering). Eher selten genannt, aber mit einem hohen KonfliktPotential werden die Kriterien „Wirtschaftlichkeit“, „Rechtliche Grundlagen“ und „Anbieterwahl“ beurteilt.

Aus kommunaler Sicht kommt funktionalen (Nutzungsoffenheit, Barrierefreiheit) bzw. operativen Kriterien (Wirtschaftlichkeit, Rechtliche Grundlagen) eine hohe Bedeutung zu.

Wir gehen davon aus, dass induktive Ladeinfrastruktur, im Gegensatz zu konduktiver Ladeinfrastruktur, grundsätzlich nicht raumwirksam ist, d. h. dem Stadtraum kein weiteres raumwirksames Objekt (wie Ladesäule) hinzufügt und keinen Eingriff in den Stadtraum darstellt. Induktive Ladeinfrastruktur ist unter diesen Voraussetzungen überall städtebaulich verträglich zu realisieren.

Das Aufstellen von konduktiver Ladeinfrastruktur ist dagegen regelmäßig ein Eingriff in den Stadtraum. Ein Eingriff in den Stadtraum bedeutet jedoch nicht, dass zwangsläufig von einer städtebaulichen Unverträglichkeit gesprochen werden kann. Es besteht allerdings bei jedem Eingriff die Gefahr, einen städtebaulichen Konflikt auszulösen.

Je größer die Anzahl von Parkplätzen in städtebaulich sensiblen Bereichen, desto größer die Wahrscheinlichkeit, dass städtebauliche Kriterien die Realisierung konduktiver Ladeinfrastruktur limitieren.

Die städtebaulich verträglichere Technologie kann sich fördernd auf die Marktdurchdringung des Elektroautos auswirken, da weniger Konfliktpotential zu erwarten ist.

3.4.4.3 Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum (Ort)

3.4.4.3.1 Rechtlicher Rahmen

Aktuell gibt es noch keine rechtlichen Regelungen hinsichtlich der Genehmigung (nach Straßen(verkehrs-)recht, Bauordnungsrecht, Planungsrecht u. a. m. und der Realisierung von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum. Die Bundesregierung setzt sich für eine Harmonisierung der unterschiedlichen Rechtsbereiche ein.

3.4.4.3.1.1 Straßenrecht

Die Benutzung der Straße über den Gemeingebrauch hinaus ist eine Sondernutzung (z.B. Warenautomaten oder Werbeanlagen). Die Errichtung und der Betrieb von Ladestationen im öffentlichen Raum bedarf einer Sondernutzungserlaubnis; der Parkvorgang - auch wenn dabei das Fahrzeug aufgeladen wird - ist Gemeingebrauch.

Im Bereich von Ortsdurchfahrten werden die Genehmigungen durch die Gemeinden erteilt, sofern sie die Straßenbaulast tragen. Außerhalb von Ortschaften erteilt die zuständige Straßenbaubehörde die Erlaubnis.

Es ist davon auszugehen, dass sowohl für das Aufstellen von Ladesäulen als auch für die Installation induktiver Ladepunkte Sondernutzungsgebühren anfallen. Der Erlaubnisnehmer hat dem Träger der Straßenbaulast alle Kosten zu ersetzen, die diesem durch die Sondernutzung zusätzlich entstehen. Ist der Betreiber von Ladestationen auch Konzessionsinhaber nach § 46 EnWG, ist er generell zur Verlegung von Stromleitungen auf dem Gemeindegebiet berechtigt.

Der Betreiber der Ladeinfrastruktur hat dafür Sorge zu tragen, dass Anforderungen an Sicherheit und Ordnung sowie die anerkannten Regeln der Technik erfüllt werden.

§ 8 Sondernutzungen Bundesfernstraßengesetz (FStrG)
(1) Die Benutzung der Bundesfernstraßen über den Gemeingebrauch hinaus ist Sondernutzung. Sie bedarf der
Erlaubnis der Straßenbaubehörde, in Ortsdurchfahrten der Erlaubnis der Gemeinde. Soweit die Gemeinde nicht Träger der Straßenbaulast ist, darf sie die Erlaubnis nur mit Zustimmung der Straßenbaubehörde erteilen. Die Gemeinde kann durch Satzung bestimmte Sondernutzungen in den Ortsdurchfahrten von der Erlaubnis befreien und die Ausübung regeln. Soweit die Gemeinde nicht Träger der Straßenbaulast ist, bedarf die Satzung der Zustimmung der obersten

Landesstraßenbaubehörde. Eine Erlaubnis soll nicht erteilt werden, wenn behinderte Menschen durch die Sondernutzung in der Ausübung des Gemeingebrauchs erheblich beeinträchtigt würden.
(2) Die Erlaubnis darf nur auf Zeit oder Widerruf erteilt werden. Sie kann mit Bedingungen und Auflagen verbunden werden. Soweit die Gemeinde nicht Träger der Straßenbaulast ist, hat sie eine widerruflich erteilte Erlaubnis zu widerrufen, wenn die Straßenbaubehörde dies aus Gründen des Straßenbaus oder der Sicherheit oder Leichtigkeit des Verkehrs verlangt.
(2a) Der Erlaubnisnehmer hat Anlagen so zu errichten und zu unterhalten, dass sie den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung sowie den anerkannte Regeln der Technik genügen. Arbeiten an der Straße bedürfen der Zustimmung der Straßenbaubehörde. Der Erlaubnisnehmer hat auf Verlangen der für die Erlaubnis zuständigen Behörde die Anlagen auf seine Kosten zu ändern und alle Kosten zu ersetzen, die dem Träger der Straßenbaulast durch die Sondernutzung entstehen. Hierfür kann der Träger der Straßenbaulast angemessene Vorschüsse und Sicherheiten verlangen.
(3) Für Sondernutzungen können Sondernutzungsgebühren erhoben werden. Sie stehen in Ortsdurchfahrten den Gemeinden, im Übrigen dem Träger der Straßenbaulast zu. Die Landesregierungen werden ermächtigt, Gebührenordnungen zu erlassen. Die Ermächtigung kann durch Rechtsverordnung weiter übertragen werden. Die Gemeinden können die Gebühren durch Satzung regeln, soweit ihnen die Sondernutzungsgebühren zustehen. Bei Bemessung der Gebühren sind Art und Ausmaß der Einwirkung auf die Straße und den Gemeingebrauch sowie das wirtschaftliche Interesse des Gebührenschuldners zu berücksichtigen.
…

§ 16 Sondernutzung StrWG NRW

(1) Die Benutzung einer Straße über den Gemeingebrauch hinaus (Sondernutzung) bedarf der Erlaubnis. Die Erlaubnis darf nur auf Zeit oder auf Widerruf erteilt werden. Eine Erlaubnis soll nicht erteilt werden, wenn Menschen mit Behinderungen durch die Sondernutzung in der Ausübung des Gemeingebrauchs erheblich beeinträchtigt würden.
[…]
(3) Der Erlaubnisnehmer hat Anlagen so zu errichten und zu unterhalten, daß sie den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung sowie den anerkannten Regeln der Technik genügen. Arbeiten an der Straße bedürfen der Zustimmung der Straßenbaubehörde. Der Erlaubnisnehmer hat auf Verlangen der zuständigen Behörde die Anlagen auf seine Kosten zu ändern und alle Kosten zu ersetzen, die dem Träger der Straßenbaulast durch die Sondernutzung entstehen. Hierfür können angemessene Vorschüsse und Sicherheiten verlangt werden. Über die Leistungen nach Satz 3 und 4 entscheidet die für die Erlaubnis zuständige Behörde.

3.4.4.3.1.2 Bauordnungsrecht

Eine Ladesäule ist bauordnungsrechtlich eine bauliche Anlage als Warenautomat.

Warenautomaten sind nach Bauordnungsrecht grundsätzlich genehmigungsfrei. Trotzdem müssen bestimmte baurechtliche Anforderungen erfüllt werden (vgl. § 13 Abs. 2 und 3 BauO NRW i. V. m. § 13 Abs. 5 BauO).

Durch eine Gestaltungssatzung kann bestimmt werden, dass für besondere schutzwürdige Gebiete eine Genehmigung eingeführt wird bzw. generelle Gestaltanforderungen umzusetzen sind, beispielsweise hinsichtlich Form, Farbe und Größe der Ladesäule.

Eine Gestaltungssatzung kann vom Rat einer Kommune als Teil eines Bebauungsplans oder als gesonderte Satzung (Ortsrecht) beschlossen werden, die mit der ortsüblichen

Bekanntmachung eine unmittelbare Rechtkraft entwickelt. Die rechtliche Grundlage bilden die jeweiligen Bauordnungen der Länder, ggf. in Verbindung mit dem Baugesetzbuch (Bundesrecht).

§ 13 Anlagen der Außenwerbung und Warenautomaten
(BauO NRW)

(2) Werbeanlagen dürfen weder bauliche Anlagen noch das Straßen-, Orts- oder Landschaftsbild verunstalten oder die Sicherheit und Ordnung des Verkehrs gefährden. Eine Verunstaltung liegt auch vor, wenn durch Werbeanlagen der Ausblick auf begrünte Flächen verdeckt oder die einheitliche Gestaltung und die architektonische Gliederung baulicher Anlagen gestört wird. Die störende Häufung von Werbeanlagen ist unzulässig.
(3) Außerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile sind Werbeanlagen unzulässig. Ausgenommen sind, soweit in anderen Vorschriften nichts anderes bestimmt ist,
Werbeanlagen an der Stätte der Leistung,
Schilder, die Inhaber und Art gewerblicher Betriebe kennzeichnen (Hinweisschilder), wenn sie vor Ortsdurchfahrten auf einer Tafel zusammengefasst sind,
einzelne Hinweiszeichen an Verkehrsstraßen und Wegabzweigungen, die im Interesse des Verkehrs auf außerhalb der Ortsdurchfahrten liegende Betriebe oder versteckt liegende Stätten aufmerksam machen,
Werbeanlagen an und auf Flugplätzen, Sportplätzen, Sportanlagen und Versammlungsstätten, soweit sie nicht in die freie Landschaft wirken,
Werbeanlagen auf Ausstellungs- oder Messegeländen. (5) Die Absätze 1 bis 3 gelten für Warenautomaten
entsprechend.

§ 86 Örtliche Bauvorschriften Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen (BauO NRW)
(1) Die Gemeinden können örtliche Bauvorschriften als Satzung erlassen über:
1. die äußere Gestaltung baulicher Anlagen sowie von Werbeanlagen und Warenautomaten zur Durchführung baugestalterischer Absichten in bestimmten, genau abgegrenzten bebauten oder unbebauten Teilen des Gemeindegebietes; dabei können sich die Vorschriften über Werbeanlagen auch auf deren Art, Größe und
Anbringungsort erstrecken;
2. besondere Anforderungen an bauliche Anlagen, Werbeanlagen und Warenautomaten zum Schutz bestimmter
Bauten, Straßen, Plätze oder Ortsteile von städtebaulicher, künstlerischer oder geschichtlicher Bedeutung sowie von Denkmälern und Naturdenkmälern; dabei können nach den örtlichen Gegebenheiten insbesondere bestimmte Arten von Werbeanlagen und Warenautomaten ausgeschlossen oder auf Teile baulicher Anlagen und auf bestimmte Farben beschränkt werden;
…
(2) Durch örtliche Bauvorschriften als Satzung kann ferner bestimmt werden, dass
1. für besondere schutzwürdige Gebiete für genehmigungsfreie Werbeanlagen und Warenautomaten eine Genehmigung eingeführt wird,
....
(3) Anforderungen nach den Absätzen 1 und 2 können innerhalb der örtlichen Bauvorschrift auch in Form zeichnerischer Darstellungen gestellt werden. Ihre Bekanntgabe kann dadurch ersetzt werden, dass dieser Teil der örtlichen Bauvorschriften bei der Gemeinde zur Einsicht ausgelegt wird; hierauf ist in den örtlichen Bauvorschriften hinzuweisen.
(4) Örtliche Bauvorschriften können auch als Festsetzungen in einen Bebauungsplan im Sinne von § 8 oder § 12 des Baugesetzbuches aufgenommen werden; in diesem Fall sind die Vorschriften des Baugesetzbuches über die Aufstellung, Änderung, Ergänzung und Aufhebung der Bebauungspläne einschließlich ihrer Genehmigung und ihrer Sicherung (§§ 1 bis 18 Baugesetzbuch) sowie über die Wirksamkeitsvoraussetzungen (§§ 214 bis 216 Baugesetzbuch) anzuwenden.
(5) Abweichungen (§ 73) von örtlichen Bauvorschriften werden im Einvernehmen mit der Gemeinde von der Bauaufsichtsbehörde zugelassen. § 36 Abs. 2 Satz 2 des Baugesetzbuches gilt entsprechend.

3.4.4.3.1.3 Denkmalrecht

Die Errichtung einer Ladesäule in der engeren Umgebung zu Baudenkmälern (denkmalrechtlicher Umgebungsschutz) erfordert zusätzlich eine denkmalrechtliche Erlaubnis, die entweder im Rahmen der Baugenehmigung, der straßenrechtlichen Erlaubnis oder gesondert beantragt werden kann.

Die Umgebung von Denkmälern ist in allen 16 Länderdenkmalschutzgesetzen (siehe Anhang) Bestandteil der Unterschutzstellung, wenn „[...] sie für Bestand oder Erscheinungsbild [des Kulturdenkmals] von erheblicher Bedeutung ist.“ (hier z.B. DSchG Sachsen, §2 Abs. 3). Unter dieser Bedingung werden grundsätzlich genehmigungsfreie, bauliche Anlagen zu genehmigungspflichtigen Vorhaben, auch wenn ein direkter Objektbezug nicht besteht, wohl aber eine erhebliche räumliche und visuelle Beeinträchtigung des Kulturdenkmals zu erwarten ist. Visualisierungen der geplanten Veränderung können hier eine wichtige Beurteilungsgrundlage sein.

Die Planung von Ladesäulen in solchen sensiblen Bereichen erfordert immer einen erhöhten Planungsaufwand. Die Erlaubnis kann abgelehnt werden, wenn Gründe des Denkmalrechts

entgegenstehen und kein überwiegendes öffentliches Interesse die Maßnahme verlangt. Bei induktiver Ladeinfrastruktur sind denkmalschutzrechtliche Restriktionen nicht zu erwarten, solange der Ladepunkt „unsichtbar“ realisiert werden kann.

§ 9 Erlaubnispflichtige Maßnahmen Denkmalschutzgesetz NRW
(1) Der Erlaubnis der Unteren Denkmalbehörde bedarf, wer:
Baudenkmäler oder ortsfeste Bodendenkmäler beseitigen, verändern, an einen anderen Ort verbringen oder die bisherige Nutzung ändern will, in der engeren Umgebung von Baudenkmälern oder ortsfesten Bodendenkmälern Anlagen errichten, verändern oder beseitigen will, wenn hierdurch das Erscheinungsbild des Denkmals beeinträchtigt wird, oder
c) bewegliche Denkmäler beseitigen oder verändern will.
(2) Die Erlaubnis ist zu erteilen, wenn Gründe des Denkmalschutzes nicht entgegenstehen oder ein überwiegendes öffentliches Interesse die Maßnahme verlangt.
(3) Erfordert eine erlaubnispflichtige Maßnahme nach anderen gesetzlichen Bestimmungen eine Planfeststellung, Genehmigung, Erlaubnis, Bewilligung, Zulassung oder Zustimmung, so haben die dafür zuständigen Behörden die Belange des Denkmalschutzes und der Denkmalpflege entsprechend diesem Gesetz in angemessener
Weise zu berücksichtigen. Im Falle einer bauaufsichtlichen oder immissionsschutzrechtlichen Genehmigung oder Zustimmung kann die Erlaubnis nach Absatz 1 auch gesondert beantragt werden.
(4) Die Erlaubnis kann mit Auflagen und Bedingungen erteilt werden, soweit dies zum Schutz des Denkmals erforderlich ist.

3.4.4.3.2 Planung E-Ladeinfrastruktur

Bisher gibt es noch keine einheitlich praktizierten Modelle, wo Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum prioritär aufgebaut wird.

Im Ergebnis der Umfrage wurden bisher mehr Ladepunkte außerhalb der Innenstädte realisiert. Die durch einen höheren Marktanteil von Elektroautos erzielbare Verbesserung der Lebensqualität in hochverdichteten Innenstadtbereichen (weniger Lärm und Feinstaub) wird ebenso wie die Verbesserung des Klimaschutzes sehr hoch bewertet. Fast genauso wichtig ist aber die „Reduzierung des innerstädtischen, motorisierten Verkehrs“.

Aus kommunaler Sicht sind die „Barrierefreiheit“ und die „Wirtschaftlichkeit“ die wichtigsten strategischen Ziele für die Gestaltung des öffentlichen Raums. Des Weiteren wird als Ziel sehr oft eine „fußgängerfreundliche“ Innenstadt genannt. Die hohe Priorität, die die Barrierefreiheit des öffentlichen Raums genießt, könnte den Aufbau von induktiven Ladestationen begünstigen, wenn diese ohne Benutzersäule und rentabel betrieben werden können. Das Ziel „Fußgängerfreundliche Innenstadt“ fügt sich in das stadtplanerische Ziel, intermodale Verkehrskonzepte zu entwickeln, die den motorisierten Individualverkehr insgesamt reduzieren.

Im Zweiten Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität wird ein „siedlungsorientiertes Modell für nachhaltigen Aufbau und Förderung der E-Ladeinfrastruktur“ (SIMONE) vorgestellt, auf dessen Grundlage der Aufbau von Ladeinfrastruktur ggf. auch gefördert werden könnte.

Dieses Modell schlägt für das Stadtzentrum die niedrigste Netzdichte vor (1 Ladesäule/15.000 Einwohnern), in zunehmender Entfernung vom Stadtkern nimmt die Netzdichte zu. Im Umland wird eine Netzdichte mit einem 10 km Radius als ausreichend erachtet.

Dieser Ansatz geht offensichtlich nicht davon aus, dass der prioritäre Aufbau von Ladeinfrastruktur in Stadtzentren den Einsatz von Elektroautos als „Stadtauto“ für kurze Strecken fördert, obwohl hier nicht nur die Bewohner, sondern auch Berufspendler, Einkäufer oder Besucher von Kultur- und Freizeiteinrichtungen vom Aufbau der Ladeinfrastruktur profitieren. Durch die Priorisierung des Elektrofahrzeugs in Innenstädten, bspw. durch Nutzung von Busspuren, kostenlose Nutzung von Parkplätzen, könnten zusätzliche Kaufanreize entstehen.

Auf der anderen Seite ist es gerade in (historischen) Stadtzentren schwierig, Ladeinfrastruktur städtebaulich verträglich zu integrieren (siehe Kap. 3).

In München bietet der Energieversorger E.ON Ladepunkte auf rd. 20 P&R-Parkplätzen an S-Bahn-Linien an, wo man vom privaten Pkw bequem auf den öffentlichen Personennahverkehr umsteigen kann. Dadurch wird der Stadtverkehr und der Parkdruck in der Innenstadt insgesamt reduziert. Die E-Autos können über lange Standzeiten, in der Regel kostenfrei bzw. kostengünstiger als auf bewirtschafteten Parkflächen in der Innenstadt, laden. Eine „verträgliche“ Integration von Ladeinfrastruktur ist hier überwiegend einfacher zu realisieren.

Die SWU Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm GmbH und die Daimler-Tochter car2go GmbH planen zentral gelegene Ladepunkte in den Städten Ulm und Neu-Ulm in Verbindung mit carsharing-Angeboten.

In London ist der Aufbau von Ladeinfrastruktur in einen integrierten wirtschaftlichen, sozialen Umwelt- und Transport-Rahmenplan (London Plan) eingebettet, der die Entwicklung Londons für die nächsten 20-25 Jahre darstellt. „Source London“ will bis zum Jahr 2013 ein Netz von 1.300 Ladepunkten anbieten, an denen die Nutzer für einen Jahresbeitrag von £100 sooft sie wollen tanken können.

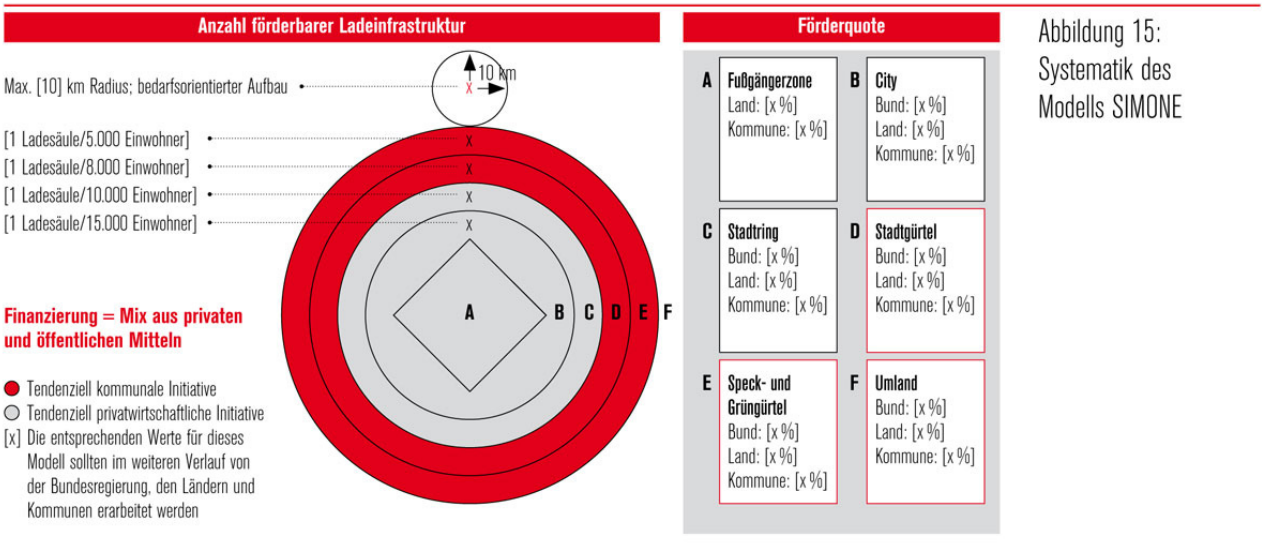


Abbildung 15: Systematik des Modells SIMONE

Abb. 78: Systematik des Modells SIMONE, Quelle: 2. Bericht der Nationalen Plattform Elektomobilität, Mai 2011

In der Region San Francisco unterstützt das Unternehmen „better place“ u. a. den Aufbau von elektrisch betriebenen Taxi-Flotten.

Die befragten Kommunen sind fast immer in die Planungen für Ladeinfrastrukturen im öffentlichen Raum eingebunden, wobei die Kommunen selbst nur ungefähr die Hälfte initiativ planen. Offensichtlich ist ein kleinerer Teil der Planungen (10 %) nicht genehmigungsfähig.

Keine der Kommunen war bisher an der Finanzierung der Ladeinfrastruktur beteiligt. Die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum ist keine öffentliche Aufgabe der Daseinsvorsorge.

Die wichtigsten Kriterien bei der Standortwahl für Ladestationen sind die Nähe zu Bedarfspunkten und ihre Sichtbarkeit im öffentlichen Raum. Weitere wichtige Kriterien sind der Netzanschluss und die räumliche Nähe zu Knotenpunkten des öffentlichenVerkehrs bzw. Car-sharing-Plätzen.

75 % der befragten Kommunen geben an, dass sie Steuerungsinstrumente für den Aufbau von Ladestationen im öffentlichen Raum brauchen. Besonders hohen Regelungsbedarf sehen die Kommunen hinsichtlich des Orts und der Art der Ladeinfrastruktur. Etwas weniger Regelungsbedarf wird hinsichtlich der Anzahl der Ladeinfrastruktur gesehen. Das kann u. a. daran liegen, dass die Netzdichte (Ladesäule/ qm Stadtgebiet oder Ladesäule/Einwohner) als eher gering angesehen wird.

Abb. 79: Sharing, Ulm Quelle: www.menekes.de

3.4.4.3.3 Kosten Genehmigungsverfahren und Planung

Die Genehmigungskosten sind nicht abhängig von der Zahl der involvierten Ämter, sondern von der Art der Genehmigung/Erlaubnis/behördlichen Bewilligung etc..

In den Städten der Modellregionen Elektromobilität ist bereits jetzt überwiegend eine spezielle Stelle (Arbeitsgruppe, Amt, Dezernat oder Bürgermeisterbüro) für das Thema Elektromobilität und die damit in Verbindung stehenden Aufgaben zuständig.

In allen Kommunalverwaltungen werden immer mehrere Stellen (durchschnittlich 4) an der Genehmigung von Ladestationen beteiligt. In fast allen Städten sind das Amt für Verkehrsplanung, das Tiefbauamt und das Stadtplanungsamt zuständig.

Einige Kommunen beteiligen gegebenfalls zusätzlich folgende Stellen innerhalb der Kommunalverwaltung am Genehmigungsverfahren:

- Denkmalpflege
- Ordnungsamt
- Polizei
- Träger öffentlicher Belange
- Straßenverkehrsbehörde
- Stadtwerke

Gem. Allgemeiner Verwaltungsgebührenordnung (AVerwGebO NRW) entstehen:

- Nach Punkt 4a.1 für Entscheidungen gemäß § 9 Abs. 1 Denkmalschutzgesetz (DSchG) einschließlich der Überwachung der danach erlaubten Maßnahmen Gebühren in Höhe von 10 bis 150 Euro.
- Nach Punkt 24a.1: für Entscheidung über die Erteilung einer Sondernutzungserlaubnis gem. § 8 FStrG und § 18 StrWG NRW Gebühren in Höhe von 50 v. H. der Sondernutzungsgebühr (Mindestgebühr: 32 Euro)

Die Gebührenordnungen in anderen Bundesländern sind ähnlich gestaltet.

In Stuttgart beträgt die Sondernutzungsgebühr für freistehende Warenautomaten (Daueraufstellung) je Automat pro Jahr 65 Euro.

Es ist zu erwarten, dass sich das in Kap. 3 beschriebene Konfliktpotential auf den Genehmigungs- und Planungsaufwand für den Betreiber der Ladeinfrastruktur hinsichtlich Dauer und Kosten niederschlägt.

3.4.4.3.4 Fazit

Städte und Gemeinden können den Aufbau öffentlicher Ladeinfrastruktur aktiv unterstützen und steuern.

Durch die verbindliche Festlegung von technischen Standards, insbesondere zur Vermeidung von Parallelinfrastrukturen für unterschiedliche Ladearten im Sinne eines diskriminierungsfreien Zugangs, und Implementierung rechtlicher Steuerungsinstrumente kann dieser Prozess beschleunigt werden.

3.4.4.4 Bedeutung öffentlicher Ladeinfrastruktur (Anzahl)

Das Parkraumangebot im öffentlichen Raum ist sehr heterogen. Es lassen sich auch keine generellen Trends für Klein-, Mittel- und Großstädte erkennen, wie hier der Vergleich zwischen den Städten Münster und Bamberg zeigt:

Beispiel Münster

Einwohner gesamt (100%)	280.023
Einwohner Stadtbezirk Mitte (40,5%)	113.425
Öffentliche Parkplätze Innenstadt	6.400
davon in Parkhäusern:	4.900 (77 %)
im öffentlichen Raum:	1.500 (23 %)

Beispiel Bamberg

Einwohner gesamt (100%)	69.827
Einwohner Innenstadt (%)	
Öffentliche Parkplätze Innenstadt	10.712
davon in Parkhäusern:	2.986 (28 %)
im öffentlichen Raum:	7.726 (72 %)

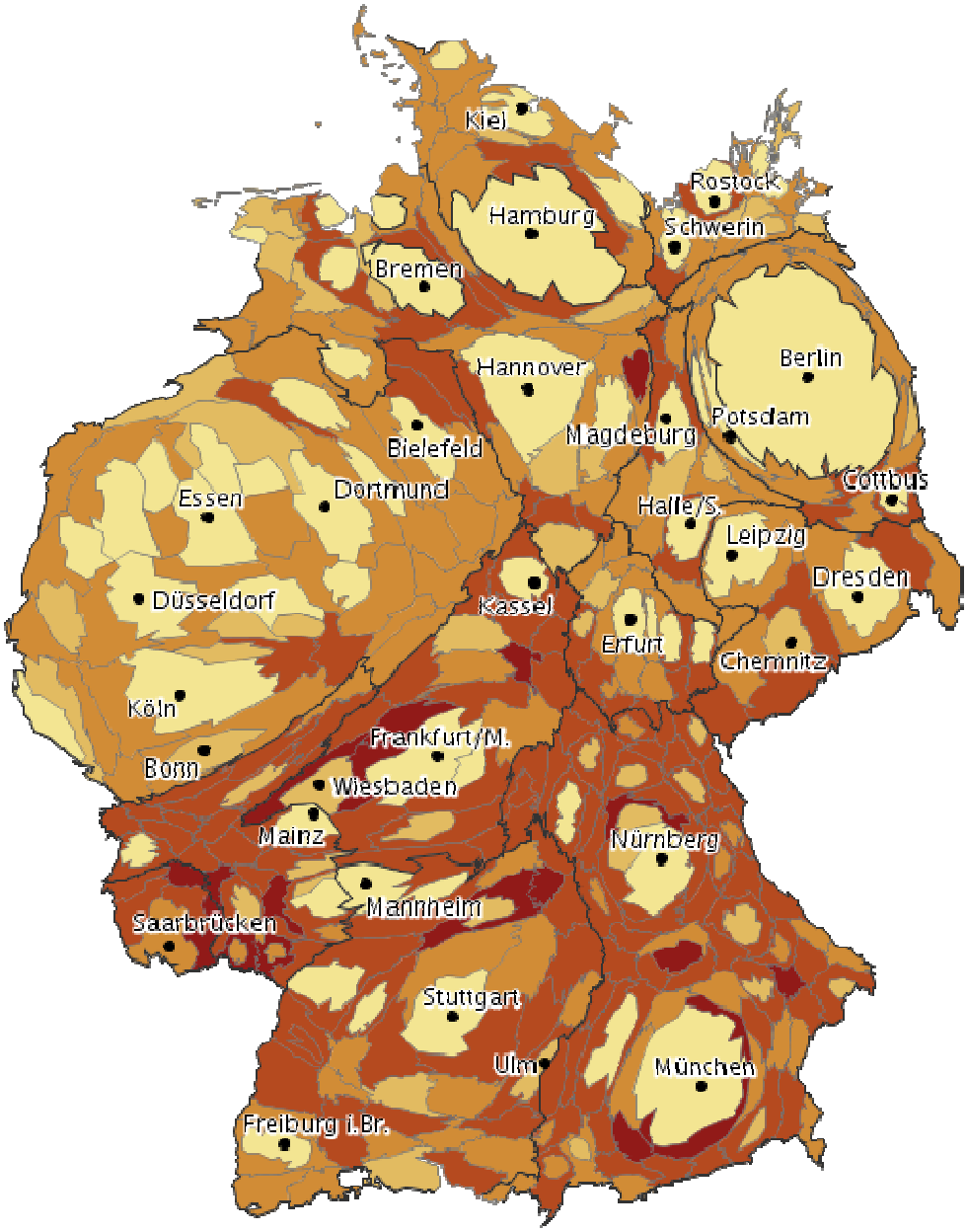


Abb. 80: Motorisierungsgrad in Deutschland; verzerrte Darstellung in Relation zur Einwohnerdichte

Quelle: Laufende Raumbeobachtung, BBSR, 2008

Die Umfrage unter 18 Städten der Modellregionen ergab folgendes Bild:

Nur wenige Städte haben ein Überangebot an Parkplätzen. Viele Kommunen leiden unter Parkplatzmangel (ca. 42 %). Mehr als die Hälfte der befragten Städte hält das Parkraumangebot für adäquat.

Das Verhältnis von Parkmöglichkeiten im Straßenseitenraum zu Parkplätzen in Park-/Tiefgaragen variiert sehr stark, ohne dass ein Zusammenhang mit der Größe der Stadt erkennbar wird. Meistens wurden nur Angaben zur Parkraumsituation in der Innenstadt gemacht.

In Verdichtungsräumen ist der Motorisierungsgrad grundsätzlich geringer als in ländlichen Räumen. Statistisch kommen im Jahr 2008 auf 1.000 Einwohner 502 Pkw; über 46 Millionen Pkw waren zugelassen. Es ist ein deutliches Süd-Nord-Gefälle und nach wie vor auch ein West-Ost-Gefälle zu erkennen. Es wird erwartet, dass der Motorisierungsgrad trotz einer rückläufigen demographischen Entwicklung weiter ansteigt.

Der Motorisierungsgrad ist auch ein Indikator für den Flächenverbrauch für den ruhenden und fließenden Verkehr (Abstell- und Verkehrsflächen). Es ist zu vermuten, dass eine hohe individuelle Mobilität (hoher Motorisierungsgrad) überall dort zwingend erforderlich ist, wo keine komfortable Anbindung an den öffentlichen Nahverkehr und eine geringe Arbeitsplatzdichte besteht, bspw. in ländlichen Räumen.

3.4.4.4.1 Bedarfsgerechte Ladeinfrastruktur

Bisher werden Ladepunkte überwiegend im privaten (Zu-Hause-Laden) bzw. semi-öffentlichen Raum (Parkhäuser, Betriebshöfe, Mitarbeiter- oder Kundenparkplätze) realisiert. Die Notwendigkeit von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum (Straßenseitenraum, öffentlich zugängliche Parkplätze) wird unterschiedlich bewertet.

Insbesondere die Wirtschaftlichkeit der Bereitstellung von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum wird bezweifelt (kein Geschäftsmodell). Kostendeckende Stromkosten im öffentlichen Raum müssten um ein Vielfaches höher sein als an privaten Ladepunkten. Zusätzlich kann bisher nicht zufriedenstellend gewährleistet werden, dass ein Ladepunkt im öffentlichen Raum nur zum Laden genutzt wird bzw. durch eine ausreichende Frequenz effizient genutzt werden kann.

Gleichwohl wird erwartet, dass die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum in Bezug auf die Akzeptanz von Elektromobilität, Reichweitenangst und für eine weitere Marktdurchdringung (Laternenparker) notwendig ist.

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) geht davon aus, dass bis 2011 Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum in den Modellregionen erprobt und bis 2020 zunächst in den 20 wichtigsten Stadtzentren aufgebaut wird.

Im Zweiten Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität wird der Bedarf öffentlicher Ladeinfrastruktur bis zum Jahr 2014 deutschlandweit auf 7.000 Ladestationen für 100.000 E-Autos geschätzt. Bisher realisiert sind ca. 2.200 Ladestationen (Stand August 2011) für 1.600 zugelassene E-Autos (Stand 2010).

Andere stakeholder sehen einen deutlich höheren Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur voraus (siehe grau hinterlegte Quellen).

Falls es sich im Laufe der Marktentwicklung herausstellen sollte, dass

- keine öffentliche Ladeinfrastruktur erforderlichsein sollte oder
- die notwendige öffentliche Ladeinfrastruktur auch durch öffentlich zugängliche Ladestationen an semi-öffentlichen Orten (insbesondere Parkgaragen, Stromtankstellen, Kundenparkplätzen) realisiert werden kann,

fällt die Technologie-Entscheidung (induktiv - konduktiv) unabhängig von städtebaulichen Kriterien, so dass städtebauliche Kriterien die Markteinführung also weder beschleunigen noch hemmen.

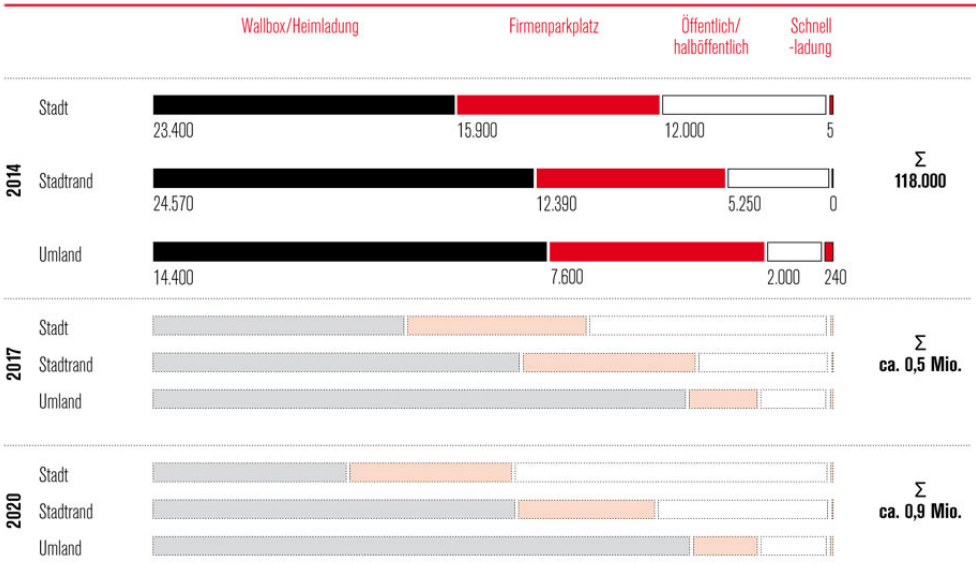


Abbildung 12: Entwicklung des Bedarfs an Ladepunkten nach unterschiedlichen Ladearten bis 2014 und Prognose bis 2020

Abb. 81: Entwicklung des Bedarfs an Ladepunkten, Quelle: Abb. 12, 2. Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, Mai 2011

„Das traditionelle Tankstellennetz in Deutschland umfasst nicht einmal 15.000 Stationen bundesweit. Dieses ist mit der neuen Infrastruktur für die Elektrofahrzeuge jedoch nicht vergleichbar. Während sich die Standzeit der Benziner zum „beladen“ auf wenige Minuten beschränkt, wird das E-Auto beim Parken geladen. Der Stromriese RWE AG geht in seinem Businessplan zur Elektromobilität für die von Regierungsseite angepeilten 1 Mio. Elektroautos in Deutschland von einem Bedarf zwischen 186.000 und 210.000 öffentlichen Ladestationen aus. Rechnet man die privaten Ladestationen daheim und am Arbeitsplatz mit ein, kalkuliert McKinsey insgesamt rund 950.000 Ladepunkte für Deutschland.“ (Standorte für E-Auto Ladeinfrastruktur in Deutschland; Quelle: McKinsey & Company, vorläufige Zahlen 11/2010)

„Der Aufbau von öffentlicher Lade-Infrastruktur sollte aus Kostengründen bedarfsorientiert, d. h. angepasst an die Marktdurchdringung im privaten Bereich, erfolgen.“ (Bericht Arbeitsgruppe 3 „Ladeinfrastruktur und Netzintegration“ zum NPE Zwischenbericht 30.11.10, Seite 9)

„Die Ergebnisse der Marktforschung werfen ein neues Licht auch auf die Frage nach den Ladestationen: „Die Chancen der Elektromobilität werden bislang meist danach beurteilt, wie

schnell eine dichte öffentliche Ladeinfrastruktur aufgebaut werden kann“, erklärt Malorny. „Unsere Studie kommt zu dem Schluss, dass in den nächsten fünf Jahren kein dichtes öffentliches Ladenetz notwendig ist.“ Den Umfragen zufolge stellen sich die frühen Elektroautokäufer darauf ein, ihr Fahrzeug zu Hause oder im Parkhaus aufladen zu können – ein flächendeckendes Netz aus Ladestationen ist in der Startphase gar nicht erforderlich. „Die Autofahrer werden ihre Fahrgewohnheiten ganz selbstverständlich daran ausrichten, dass sie bei jeder Fahrt wieder nach Hause zurückkehren müssen“, so Malorny. Im nächsten Schritt seien Initiativen von Dienstleistungs- oder Handelsunternehmen vorstellbar, beispielsweise Supermärkte, Parkhäuser oder Restaurants, die für ihre Kunden eigenständig Lademöglichkeiten schaffen. Auch größere Betriebe könnten entsprechende Angebote für ihre Mitarbeiter schaffen. „Erst ganz zum Schluss werden wir in größerem Umfang auch Ladesäulen an der Straße benötigen“, so der Automobilexperte.“ McKinsey & Company | Andrés Sieverding | 12. Januar 2010| Pressemitteilung

„In der Branche wird derzeit diskutiert, ob die Markteinführung von Elektroautos unbedingt eine bereits verfügbare Lade-Infrastruktur braucht“, berichtet Studienleiter Jörg Warnstorf im pressetext-Interview. Die frühe Ladestationen- Etablierung werde von den Energiekonzernen stark gepusht, doch sehe man dies zunehmend als Panikmache und Schaffung von Abhängigkeiten. „Die Betreiber verlangen in Pilotprojekten einen Kilowattstunden- Preis von bis zu 1,20 Euro. Ein derart verteuerter Strom wäre für den Markteintritt der Elektromobilität kontraproduktiv.

72 Prozent der Befragten stimmten zu, dass die Einführung kurzfristig auch mit den Lademöglichkeiten in der eigenen Garage oder am Arbeitsplatz auskommen wird. „In Tiefeninterviews zeigte sich, dass man einfachere, kostengünstigere Ladelösungen erwartet, sobald Szenarien mit mehreren Mio. Elektroautos verwirklicht sind“, so Warnstorf. Einigung für das Ladestecker-Format gibt es bisher nur auf nationaler Ebene. „Bestimmen wird letztlich der Hersteller, der zuerst seine Fahrzeuge vermarktet.“ Johannes Pernsteiner | warnstorf-partnerconsulting | 30.03.2010 | http://www.innovations-report.de

3.4.4.4.1.1 Reichweitenangst

„Öffentlichen Ladestationen kommt nach Einschätzung der Experten vor allem eine „psychologische Funktion“ zu, indem sie den Nutzern die Sicherheit geben, auch unterwegs wieder aufladen zu können und so in jedem Fall wieder nach Hause bzw. an das gewünschte Ziel zu kommen. Es wird erwartet, dass dies insbesondere vor und während des Kaufprozesses bedeutsam ist. Dies impliziert, dass es für das Aufstellen der Ladesäulen wichtiger wäre, diese prominent zu platzieren als tatsächlich kurzfristig eine hohe Dichte zu erreichen.“ (Zur Nutzerakzeptanz von Elektromobilität - Analyse aus Expertensicht, Dr. Anja Peters, Dr. Elisabeth Dütschke, Karlsruhe, September 2010, Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM, S.20 f)

„Im Zuge einer breiten Markteinführung von Elektrofahrzeugen ist zudem ein weiterer, nicht zu unterschätzender Faktor zu berücksichtigen, das „range anxiety Phänomen“, die sogenannte „Reichweitenangst“. In Studien wurde festgestellt, dass Menschen ein hohes Sicherheitsbedürfnis danach haben, bei Fahrten mit dem Auto immer eine Tankmöglichkeit für den Notfall in der Nähe zu haben. Es ist davon auszugehen, dass zum Erreichen einer breiten Akzeptanz der E-Mobilität in der Öffentlichkeit das Vorhandensein einer öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur eine nicht zu unterschätzende Rolle spielt.“ (Modellregion Elektromobilität München – Endbericht, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., November 2010, S.60ff)

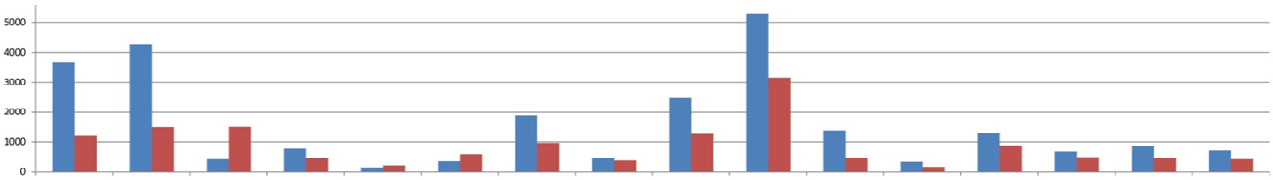
3.4.4.4.1.2 Laternenparker

Rund 14 Mill. Haushalte (ca. 37 %) in Deutschland haben keine Garage/Stellplatz. In den Stadtstaaten ist dieser Prozentsatz teilweise deutlich höher.

Diese Haushalte sind potenziell auf das Parken im (semi-)öffentlichen Raum angewiesen.

„Unter Berücksichtigung der verfügbaren bzw. absehbar serienreif verfügbaren Ladetechniken, den Charakteristika der zur Verfügung stehenden Räume zum Aufbau einer Ladeinfrastruktur und den Mobilitätsanforderungen der Fahrzeugnutzer ist davon auszugehen, dass die Homeladestationen das Grundgerüst für den sukzessiven Aufbau einer Ladeinfrastruktur bilden. Diese sind schnell und einfach zu realisieren und lösen für einen Großteil der typischen Verkehrswege das Reichweiten- und Ladezeitenproblem.
In diesem Zusammenhang stellt sich allerdings die zentrale Frage, wie viele Fahrzeugnutzer über eine eigene Garage oder zumindest einen eigenen Stellplatz verfügen. D. h. das Gesamtpotential an Elektrofahrzeugen ist um den Anteil zu reduzieren, die auf öffentlichen Straßen abgestellt werden (die sogenannten „Laternenparker"). Inwieweit auch für diese Fahrzeuggruppe zukünftig Ladelösungen bestehen werden, ist derzeit nicht absehbar. In der Phase der Markteinführung dürften aufgrund der noch geringen Anzahl an Elektrofahrzeugen die Einschränkungen durch einen Mangel an Homelade- Möglichkeiten eher marginal ausfallen. Unterstellt wird hierbei die Annahme, dass die Erstnutzer von Elektrofahrzeugen, die eine eingeschränkte Alltagstauglichkeit und Wirtschaftlichkeit in Kauf nehmen oder sich die Fahrzeuge aus Überzeugung zulegen, sich auch um einen Homeladeplatz bemühen werden. Erst beim Übergang hin zu einem Massenmarkt würden sich entsprechende Einschränkungen bemerkbar machen.
Weitergehende qualifizierte Aussagen, inwieweit sich Einschränkungen bezüglich der Verfügbarkeit privaten Parkraums auf das hier untersuchte Elektrofahrzeugpotential auswirken können, konnten aufgrund kaum spezifizierter Daten zur Parkplatzsituation nicht getroffen werden. Ergänzend ist die Schaffung einer gewissen Grundversorgung an „semi-öffentlichen" Ladestationen sinnvoll, um der zuvor beschriebenen Reichweitenangst zu begegnen. Der Nutzer erhält somit die Sicherheit, im Notfall auch außerhalb seines heimischen Umfelds sein Elektrofahrzeug laden zu können. Die Konzentration bei der Erweiterung der Ladeinfrastruktur auf den semi-öffentlichen Raum liegt darin begründet, dass hier bereits heute Ladesäulen errichtet werden können, ohne geltendes öffentliches Recht zu verletzen. Erst wenn die noch bestehenden grundsätzlichen rechtlichen Fragestellungen und Rahmenbedingungen hinsichtlich der Nutzung öffentlichen Raums für Ladesäulen und spezieller Elektrofahrzeug- Parkflächen geklärt sind, ist auch ein Ausbau der Ladeinfrastruktur im rein öffentlichen Raum sinnvoll." (Modellregion Elektromobilität München – Endbericht, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., November 2010, S.60ff)

Fast alle befragten Kommunen in den Modellregionen haben Bewohnerparkzonen im Stadtgebiet. Mindestens ein Viertel dieser Städte hat deutlich mehr Bewohnerparkausweise ausgegeben als tatsächlich Parkplätze vorhanden sind. Vier Kommunen machen Angaben zur Zahl der zugelassenen Pkw in den ausgewiesenen Bewohnerparkzonen. Hier sind zwischen 50 % - 90 % der Fahrzeughalter auf Parkplätzen im öffentlichen Raum angewiesen.



	BRD	BW	BY	BE	BB	HB	HH	HE	MV	NI	NW	RP	SL	SN	ST	SH	TH
Haushalte **mit** Garage/Stellplatz (x 1.000)	24719	3654	4271	411	783	142	343	1876	478	2484	5267	1362	328	1293	687	862	720
Haushalte **ohne** Garage/Stellplatz (x 1.000)	14358	1190	1495	1506	449	208	604	966	369	1279	3164	486	163	879	503	469	409
Haushalte **ohne** Garage/Stellplatz in %	36,7	24,6	25,5	78,6	36,4	59,4	63,8	34	43,6	34	37,5	26,1	33,2	40,4	42,3	35,2	36,2
Gesamtanzahl der Haushalte (x 1.000)	39077	4844	5766	1917	1232	350	947	2842	847	3763	8431	1878	491	2172	1190	1331	1129

Tab. 66: Wohnungen mit bzw. ohne eigenen Stellplatz Quelle: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Haus- und Grundbesitz sowie Wohnverhältnisse privater Haushalte, Fachserie 15, Sonderheft 1 2008, Seite 16ff; eigene Darstellung

3.4.4.4.2 Flächendeckende Ladeinfrastruktur

„Erste Ergebnisse aus den Modellregionen und –projekten erlauben den Schluss, dass eine flächendeckende öffentliche Ladeinfrastruktur in den nächsten Jahren nicht entscheidend für den Markterfolg von Elektromobilität ist.“ (NPE Zwischenbericht 11/2010, Seite 35)

„Die Ladung im häuslichen Bereich ermöglicht ca. 60 Prozent Elektromobilität. Zusätzliche Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz erhöhen diesen Anteil unwesentlich auf ca. 65 Prozent. Zusammen mit öffentlichen Ladesäulen können bis zu 80 Prozent umgestellt werden.“ (Frauenhofer Systemforschung Elektromobilität, FSEM)

Folgende Parameter könnten als Indikator für einen flächendeckenden Aufbau von Ladeinfrastruktur dienen:

3.4.4.4.2.1 Netzdichte - absolut

- Anzahl öffentlich zugänglicher Ladepunkte je 1.000 EW oder
- Anzahl öffentlich zugänglicher Ladepunkte je privat zugelassenem EFZ
- Anzahl öffentlich zugänglicher Ladepunkte in Fußgängerentfernung zur Haupteinkaufszone/Innenstadt

3.4.4.4.2.2 Netzdichte – relativ

- max. Entfernung zwischen öffentlich zugänglichen Ladepunkten
- Anzahl von Parkplätzen im öffentlichen Raum je qm Innenstadt (getrennte Betrachtung für Klein Städte, Mittelstädte, Großstädte)

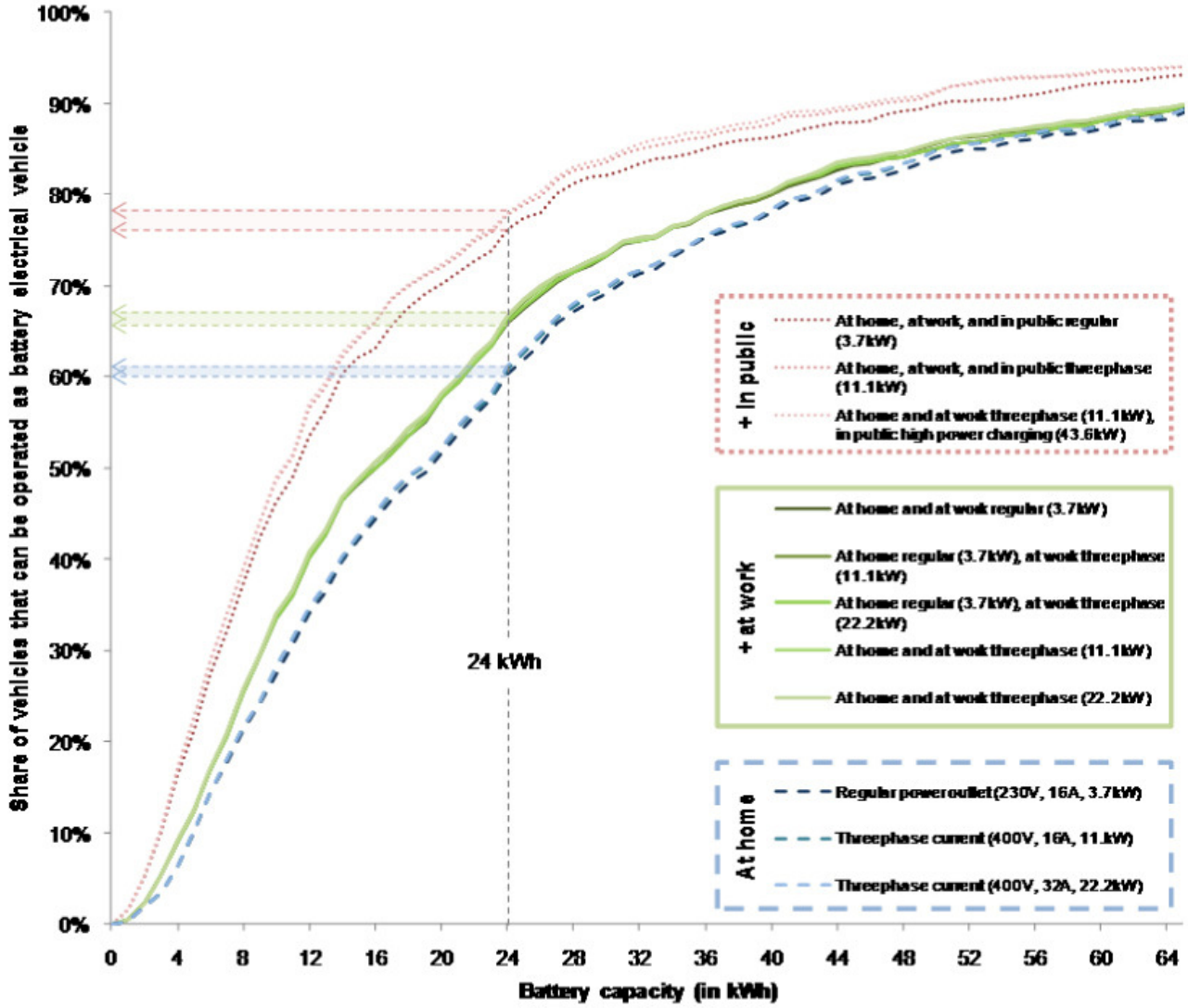


Abb. 82: Marktdurchdringung in Abhängigkeit von der Batteriekapazität Quelle: Wirtschaftlichkeit von Elektroautos, Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM)

3.4.4.4.3 Kosten öffentlicher Ladeinfrastruktur

Öffentliche Ladeinfrastruktur verursacht Kosten für:

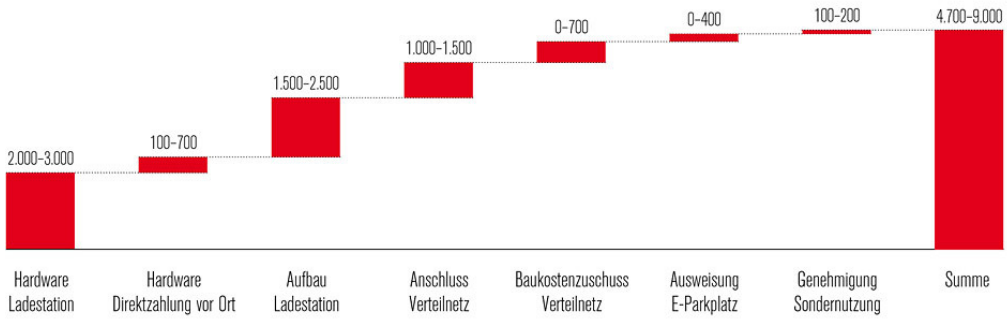
- Produkt und Installation (einschl. Gebühren),
- Betrieb,
- Reparatur, Wartung und Instandhaltung und
- ggf. Rückbau.

Bisher sind nur Preiskorridore für Ladesäulen, nicht aber für induktive Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum dokumentiert.

Es wird erwartet, dass induktive Infrastruktur weniger Vandalismus gefährdet ist und aufgrund des kontaktlosen Ladens weniger Wartungs- und Instandhaltungsaufwand durch (mechanische) Abnutzung entsteht.

Es gibt Überlegungen, Identifikation und Abrechnung über vorhandene Kommunikationsmedien (Handy) außerhalb des Fahrzeugs bzw. Ladepunkts abzuwickeln, so dass hier keine technologieabhängigen Vor- oder Nachteile zu erkennen sind.

Abbildung 13: Investitionskosten öffentliche Ladeinfra-struktur (Einmalaufwand in EUR/Ladepunkt) bis 2020



Ladeinfrastruktur		Kosten pro Lade-einheit (in €, ohne Wiederbeschaffung)	Fahrzeuge pro Ladeeinheit (in Stück)	Infrastruktur-kosten pro Fahrzeug (in €)	Kosten pro kWh (in €/kWh)
Privater Anschluss		100-200 €	1	100-200 €	0,01 €/kWh
Halböffentlicher Anschluss	Ohne Abrechnung	100-200 €	4	25-50 €	0,002 €/kWh
	Mit Abrechnung	1.000-2.000 €	4	250-500 €	0,02-0,03 €/kWh
Öffentliche Ladesäule	Langsamladung (11 kW)	2.000-8.000 €	12	170-670 €	0,01-0,04 €/kWh
	Schnellladung (60 kW)	22.000-38.000 €	24	920-1580 €	0,06-0,10 €/kWh

Note: Fahrzeugverbrauch 16 kWh/100km, Jahresfahrleistung 10.000 km; Batteriekapazität 24 kWh; Anschlussleistung 3,5 kW für den privaten und halböffentlichen Anschluss, öffentliche Ladestationen sind mit 11 kW (Langsamladestation) oder mit 60 kW (Schnellladestation) angeschlossen. Ladung ist somit jeden vierten Tag nötig. Infrastrukturkosten sind über 10 Jahre mit einem Zins von 3% diskontiert.

Abb. 83: Kosten Ladeinfrastruktur (Quelle: Oben: 2. Bericht Nationale Plattform Elektromobilität; unten: Fraunhofer ISI)

3.4.4.4.4 Fazit

Je größer der Marktanteil, der durch Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum erschlossen werden kann, desto wichtiger der Ausbau der Ladeinfrastruktur für eine höhere und zügigere Marktdurchdringung.

Ob die Anzahl konduktiver, städtebaulich verträglicher Ladestationen für die Mobilisierung des gleichen Marktanteils ausreichend ist, wie durch die Anzahl realisierbarer induktiver Ladepunkte, müsste im Einzelfall untersucht werden.

3.4.4.5 Fazit

3.4.4.5.1 Untersuchungsergebnis

Art (induktiv oder konduktiv), Ort (Standort mit Umgebung) und Anzahl bzw. Netzdichte der Ladeinfrastruktur spielen eine zentrale Rolle in der Bewertung ihrer städtebaulichen Verträglichkeit.

Aufgrund der bisher sehr geringen Marktdurchdringung mit Elektrofahrzeugen gibt es noch kaum Erfahrungen, aber bisher auch wenig Konflikte im Umgang mit Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum.

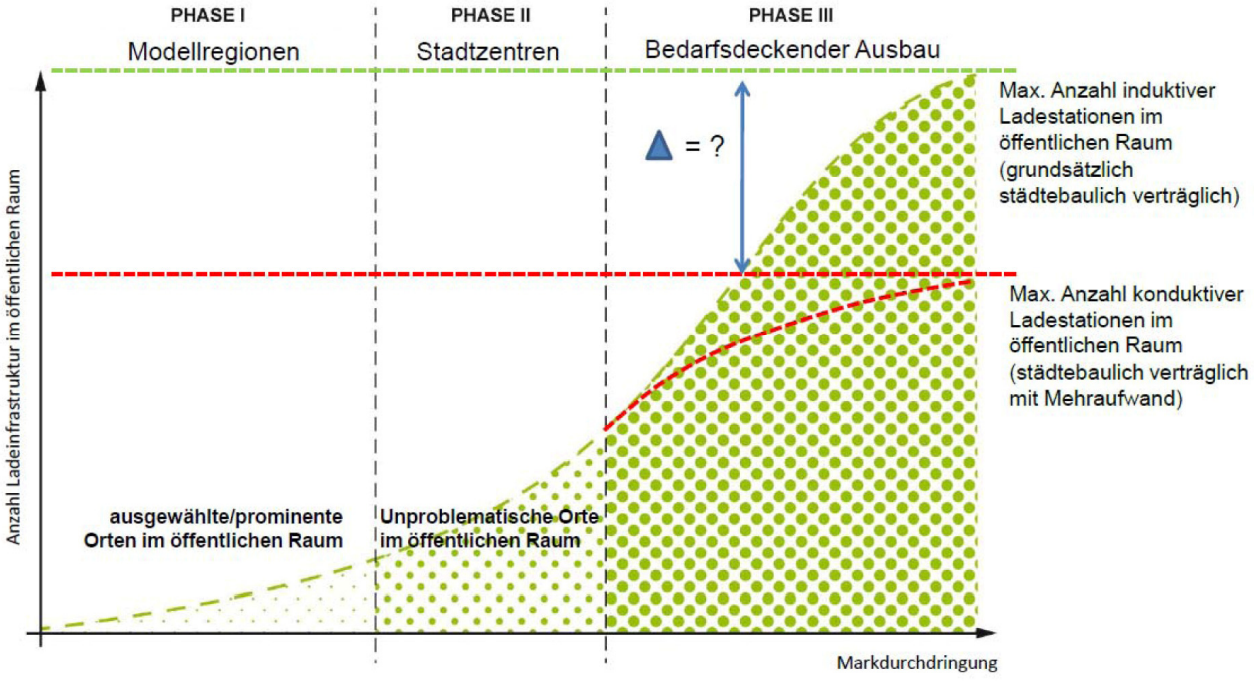
Stadträumliche Kriterien haben die Standortwahl bisher kaum beeinflusst. Wichtiger sind wirtschaftliche Kriterien (Geschäftsmodelle, Marketing), rechtliche und technische Fragen (Standardisierung, Netzintegration).

Rechtliche Fragen entstehen insbesondere im Zusammenhang mit der Flächenausweisung für Elektrofahrzeuge im öffentlichen Raum (Diskriminierungsfreiheit, Verfügbarkeit, Nutzungsoffenheit).

Induktive Ladeinfrastruktur ist grundsätzlich städtebaulich verträglicher zu realisieren als konduktive Ladeinfrastruktur.

Je größer der Bedarf an Ladepunkten im öffentlichen Raum, desto größer die Wahrscheinlichkeit, dass städtebauliche Kriterien die Realisierung konduktiver Ladeinfrastruktur limitieren. Die Entscheidung für die städtebaulich verträglichere Technologie kann sich dann fördernd auf die Marktdurchdringung des Elektroautos auswirken.

Je stärker städtebauliche Kriterien die Realisierung konduktiver Ladeinfrastruktur limitieren, desto größer die Wahrscheinlichkeit, dass der Aufbau konduktiver Ladeinfrastruktur die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen hemmt.



Tab. 67: Aufbau Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum Quelle: eigene Darstellung

3.4.4.5.2 Ausblick

Es ist anzunehmen, dass der Aufbau von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum in Abhängigkeit von der weiteren Marktdurchdringung bzw. bedarfsgerecht überwiegend durch Energieversorgungsunternehmen in Zusammenarbeit mit Fahrzeugherstellern erfolgen wird. Der Aufbau von Ladeinfrastruktur ist keine öffentliche Pflichtaufgabe.

Bisher fehlt es an Geschäftsmodellen, wie die Bereitstellung von Ladepunkten im öffentlichen Raum wirtschaftlich umgesetzt werden kann. Komplexe Kommunikationssysteme zwischen Ladepunkt und Auto, beispielsweise für Identifizierung und Abrechnung, verteuern den Ladevorgang. Aussichtsreicher sind Systeme, die einfach und unabhängig von (Auto-)Hersteller (OEM) bzw. Netzbetreibern (EVU) funktionieren.

Die Realisierung flächendeckender Ladeinfrastruktur wird deshalb sicherlich auch von der noch nicht erfolgten Normierung bzw. Standardisierung – für Ladevorgänge und die Schnittstellen der Stromübertragung - abhängig sein und dementsprechend auch die Technologie-Entscheidung zwischen konduktivem und induktivem Laden beeinflussen.

Die Verbreitung der Elektromobilität bedeutet unbestritten eine Verbesserung der Lebensqualität durch die Reduzierung von Lärm und Feinstaub gerade in verdichteten Stadträumen. Insbesondere für gewerbliche bzw. öffentliche Fuhrparke, deren tägliche Fahrleistung die Reichweiten von Elektroautos unterschreiten, sind elektrisch betriebene Fahrzeuge mit konventionellen Fahrzeugen konkurrenzfähig. Auch die Elektrifizierung von Carsharing-Flotten ist sinnvoll.

Im Sinne einer nachhaltigen Stadtentwicklung sollten die Vorteile des Elektroautos intermodal mit anderen Verkehrsmitteln kombiniert werden, bspw. Güterverkehr auf der Schiene für Langstrecken, örtliche Verteilung in Stadtzentren durch elektrisch betriebene Fahrzeugflotten. Auch für den öffentlichen Personennahverkehr sind intermodale Konzepte zu priorisieren, die Massentransportmittel (bspw. S-Bahn) mit individueller Mobilität (bspw. car2go) kombinieren. In Berlin wird aktuell die Verknüpfung von Carsharing mit Elektroautos und öffentlichem Verkehr erprobt (BeMobility).

Durch den Austausch der Fahrzeugflotte allein (Elektrofahrzeuge statt konventionelle Verbrennungsmotoren) können Probleme wie Verkehrsengpässe und Parkplatznot in urbanen Räumen nicht gelöst werden. Ziel integrierter Verkehrskonzepte muss die Verringerung des motorisierten Individualverkehrs zugunsten einer insgesamt besseren Mobilität sein.

3.4.5 Weniger Diebstahl: keine Gelegenheit und Exposition

Kupfer- bzw. Buntmetalldiebstahl ist ein internationales Problem, das eng in Zusammenhang mit der global wachsenden Nachfrage nach Metall steht. Der Kabelklau bei der Deutschen Bahn hat im Vergleich zum Vorjahr bis Ende September 2011 um 32 % zugenommen, wie der Sicherheitschef der Deutschen Bahn, Gerd Neubeck, im November 2011 bekanntgab. Dabei entstanden Schäden zwischen 10 und 12 Millionen Euro [444].

Wie attraktiv besonders Kabel für Kriminelle sind, zeigen die wachsenden Diebstähle bei Windrädern: Allein in Brandenburg beträgt der Schaden durch Kabeldiebstahl im Jahr 2011 bis jetzt schon 410.000 Euro, die Folgeschäden durch Ausfälle noch nicht mitgerechnet. Die Täter riskieren bei den Diebstählen Kopf und Kragen: Brandspuren zeigen, dass die Kabel unter Spannungen bis zu 20.000 Volt aus den Windradtürmen gerissen werden [445].

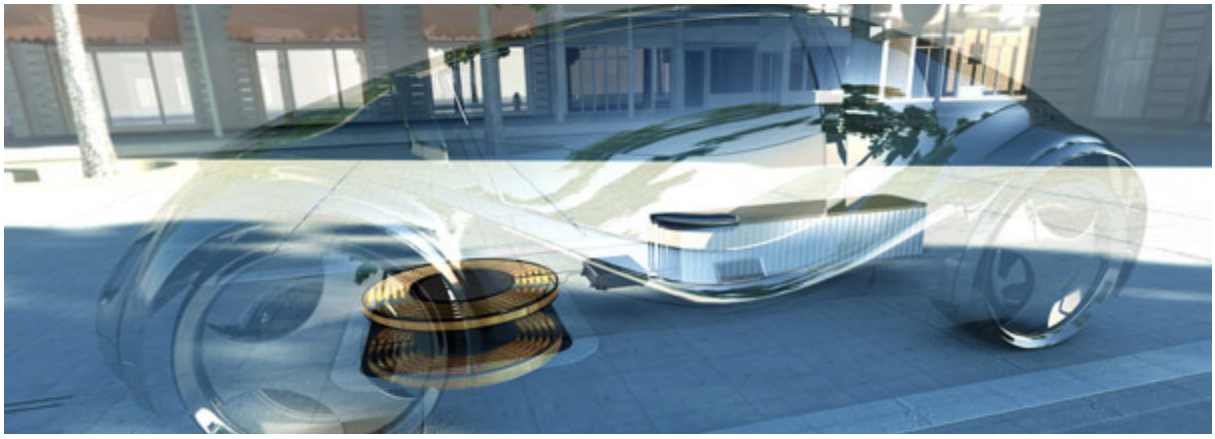


Abb. 84: Vision vom unsichtbaren Laden bei Siemens

Bei der Induktion ist der Diebstahl des Lade-Zubehörs so gut wie unmöglich, während beim Kabelladen die Gefahr des Diebstahls durchaus besteht, vor allem während des Ladevorgangs im öffentlichen Raum.

In Europa wird das Ladekabel aus Haftungsgründen vom E-Autofahrer mitgebracht und nach dem Laden wieder im Auto verstaut. In den USA bleibt das Ladekabel an der Ladestation hängen. Während in den USA die Gefahr des Diebstahls höher ausfällt, ist in Europa der E-Auto-Besitzer derjenige, der den Diebstahlschaden trägt.

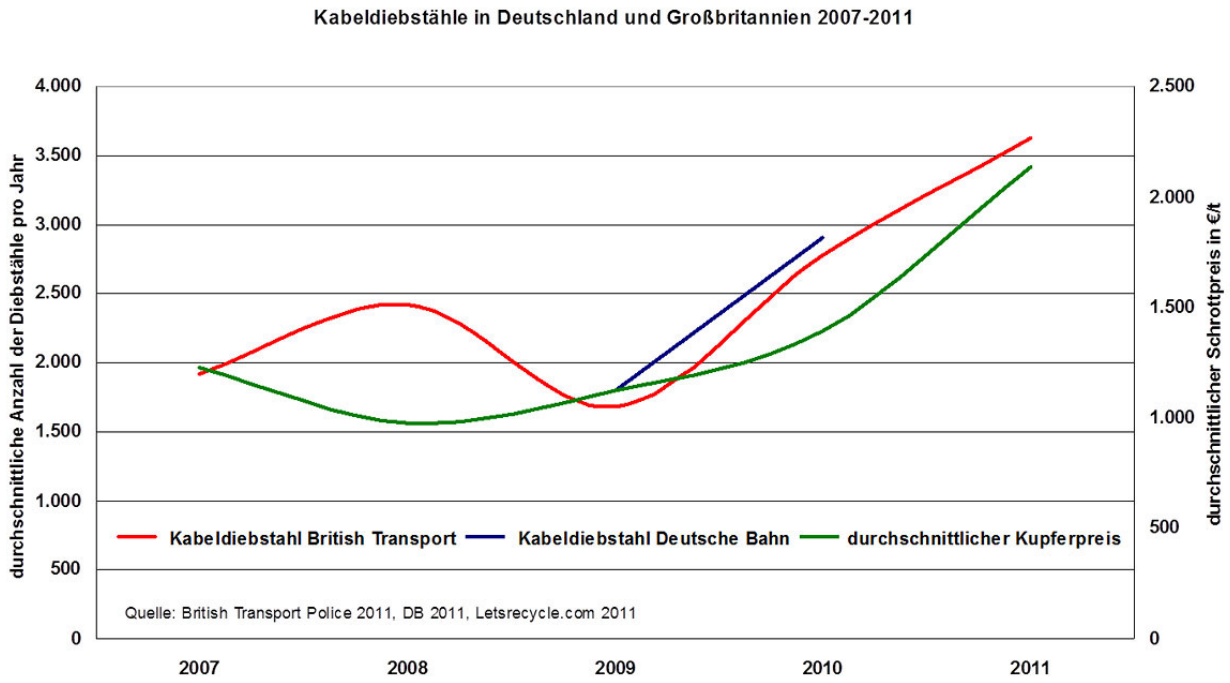
Nach der Veröffentlichung eines Fotos wurde auf dem Blog der Nissan Leaf-User diskutiert, ob man überhaupt öffentlich laden soll und was passiert, wenn Hertz in New York City öffentliche Kabellade-Stationen einrichten wird.

Eine Bloggerin schreibt:
“I'd think downtown NYC would be a problem (…). It will be interesting to see how the charging points last [446].”

Abb. 85: Ladepunkt in den USA mit durchtrennten Kabeln 447

In Deutschland wurden ebenfalls bereits vereinzelte Fälle von Ladekabel-Diebstahl bekannt. So wurden der Carsharing-Firma DB Rent im September 2011 zehn Ladekabel gestohlen – obwohl die Ladepunkte überwacht waren 448.

"Seit Ende 2005 wurde nahezu flächendeckend ein signifikanter Anstieg von Metalldiebstählen verzeichnet", sagt Alexander Geyer vom Bundespolizeipräsidium. Den Grund sieht die Polizei "im sprunghaften Anstieg der Nachfrage auf dem internationalen Rohstoffmarkt nach Metallen aller Art 449." Zwischen 2001 und 2008 nahm der Preis für Kupfer um 500 % zu 450. Während 2009 der Preis für eine Tonne Kupfer bei 3.000 Dollar lag, werden aktuell etwa 10.000 Dollar gezahlt 451.



Durch hohe Schrottpreise ausgelöste Kabeldiebstähle betreffen sowohl die Britische als auch die Deutsche Bahn

Tab. 68: Kabel-Diebstahl bei Deutscher Bahn und British Transport und Schrottpreis

Die Metalldiebe werden immer unverfrorener, stehlen nicht nur Kabel von Baustellen oder Warenlagern, sondern auch Gullideckel, Regenrinnen, Friedhofskreuze und Wasserrohre 452. Sogar die Kabel von Schwimmbaggern und Förderbändern in Kiesgruben werden gestohlen und zwar so massenhaft, dass sich Diebstahlwarnanlagen für 3.000 Euro lohnen 453.

Bei Metalldiebstahl handelt es sich fast immer um organisierte Kriminalität. Die deutsche Bundespolizei arbeitet eng mit Interpol zusammen, da die Diebe häufig aus Ungarn, Tschechien, Rumänien und aus der Slowakei kommen. Immer häufiger kommt es zu Großfahndungen mit Hunden und Hubschraubern 454.

Besonders stark betroffen vom Metalldiebstahl sind Transportunternehmen wie die Deutsche Bahn oder British Transport (s. o.). Dort werden immer häufiger Oberleitungen, Gleise und Kabel gestohlen. Die Zahl der Diebstähle auf deutschen Bahnstrecken stieg 2010 im Vergleich zum Vorjahr um 10 Prozent an, so Dirk Pohlmann, Sprecher der Deutschen Bahn 455. Sachschäden und Verspätungen sind die Folge.

Auch in den USA schädigen Kupfer-Diebstähle die Infrastruktur. Das Federal Bureau of Investigation (FBI) führte bereits 2008 eine eigene Untersuchung darüber durch. In den USA gibt es offenbar sowohl Einzeltäter als auch organisierte Banden, die Kabel und Metalle aller Art aus Strom-Versorgungs-Unternehmen, Kaufhäusern, leer stehenden Grundstücken oder Ölförderanlagen stehlen. Den Wert der Beute gibt das FBI vage mit „Zehntausenden von Dollars“ an 456.

Für die Zukunft rechnet das FBI eher mit einer Zu- als Abnahme der Metall-Kriminalität. Die wachsende Nachfrage nach Kupfer in Ländern wie Indien und China sei die Grundlage für den lebhaften internationalen Kupfer-Handel, so die Behörde auf ihrer Website 457.

In Südafrika nimmt die organisierte Metall-Kriminalität derweil bedrohliche Züge an: Dort gibt es immer wieder bewaffnete Raubüberfälle auf Baustellen. Außerdem wurden bereits kilometerlange Kabel von Windfarmen entwendet 458. Die südafrikanische Industrie- und Handelskammer SAAC hat im April eine anonyme Hotline zur Aufklärung von Kupfer-Diebstählen eingerichtet 459.

SACCI's Sprecher Naren Rau erklärte wenige Wochen später: "Die globale Kupfer-Produktion wird nicht Schritt halten können mit der Nachfrage. Daher rechnen wir mit einer Zunahme der Kupfer-Diebstähle 2011 und 2012 460."

3.4.6 Weniger Vandalismus: keine Angriffsfläche und Provokation

Vandalismus oder wie es der juristische Fachbegriff in den USA umschreibt „böswillige Verletzung fremden Eigentums“ („malicious injury of property“) ist ein weltweit wachsendes Problem, das Milliarden verschlingt.

3.4.6.1 Vandalismus durch Menschen

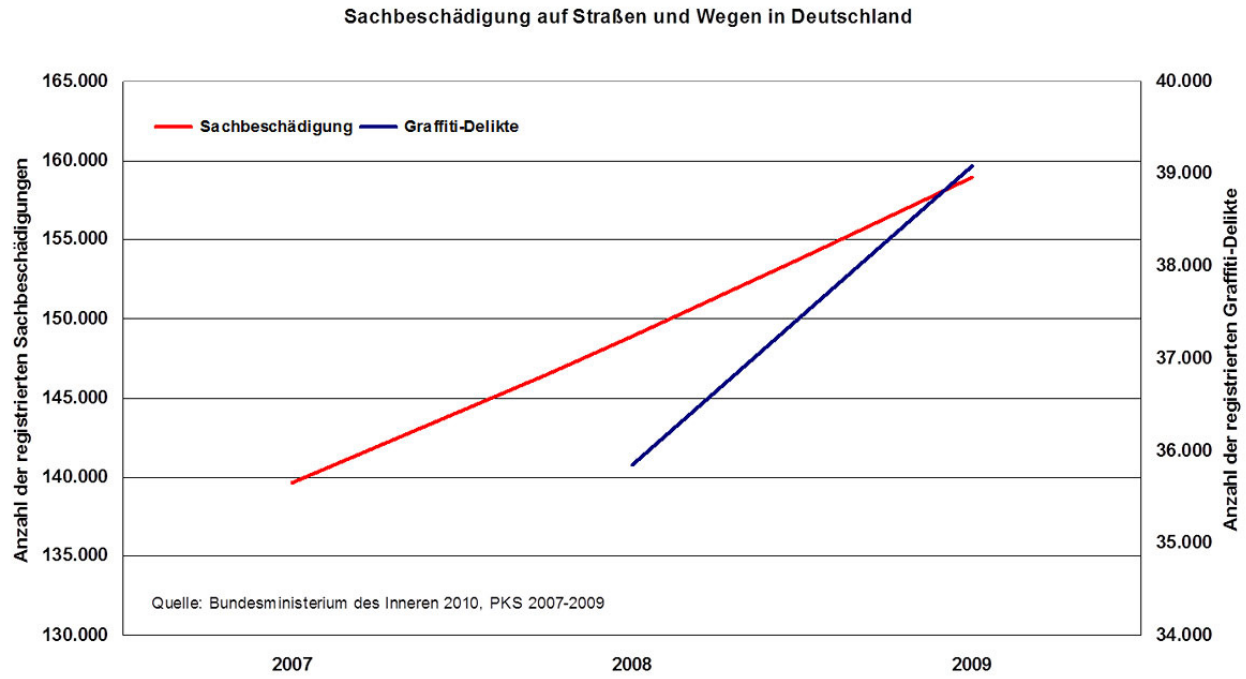
Noch ist die Elektromobilität so wenig verbreitet, dass man die vereinzelten Vandalismus-Delikte an Lade-Säulen [461] zahlenmäßig nicht auf die Situation in mehreren Jahren übertragen kann, wenn es eine flächendecke Lade-Infrastruktur gibt.

Abb. 86: Kalifornien 2011: Magne Charge Lade-Paddel der 2. Generation v. 1998 für 80 kW [462]

Unter der Annahme, dass kabelgebundene Ladesäulen nichts anderes sind, als sichtbare Automaten, ergibt sich eine alarmierende Analogie-Betrachtung.

Fahrkarten- und Parkschein-Automaten, die ähnliche Bestandteile besitzen wie elektrische Ladestationen, sind beliebte Anschlags-Ziele: Trotz Stahl-Gehäuse gibt es immer wieder Fälle, in denen sie gesprengt werden. Jüngstes Beispiel: Eine Rohrbomben-Serie im Juli 2011, wegen der die Deutsche Bahn 56 Automaten vorsorglich aus dem Betrieb nahm, um sie zu schützen [463].

Zwischen 2008 und 2009 hat die Bundespolizei eine Zunahme von Vandalismus-Delikten von 9 % festgestellt [464]. Die Polizeiliche Kriminalstatistik in Deutschland registriert allerdings nur den Straftatbestand der Sachbeschädigung, der zur Anzeige gebracht wird. Die Dunkelziffer ist nach Einschätzung von Experten um ein Vielfaches höher.



Immer mehr Sachschadens-Delikte auf Straßen und Wegen in der deutschen Kriminalstatistik

Tab. 69: Polizeiliche Kriminalstatistik 2007-2009 (KM)

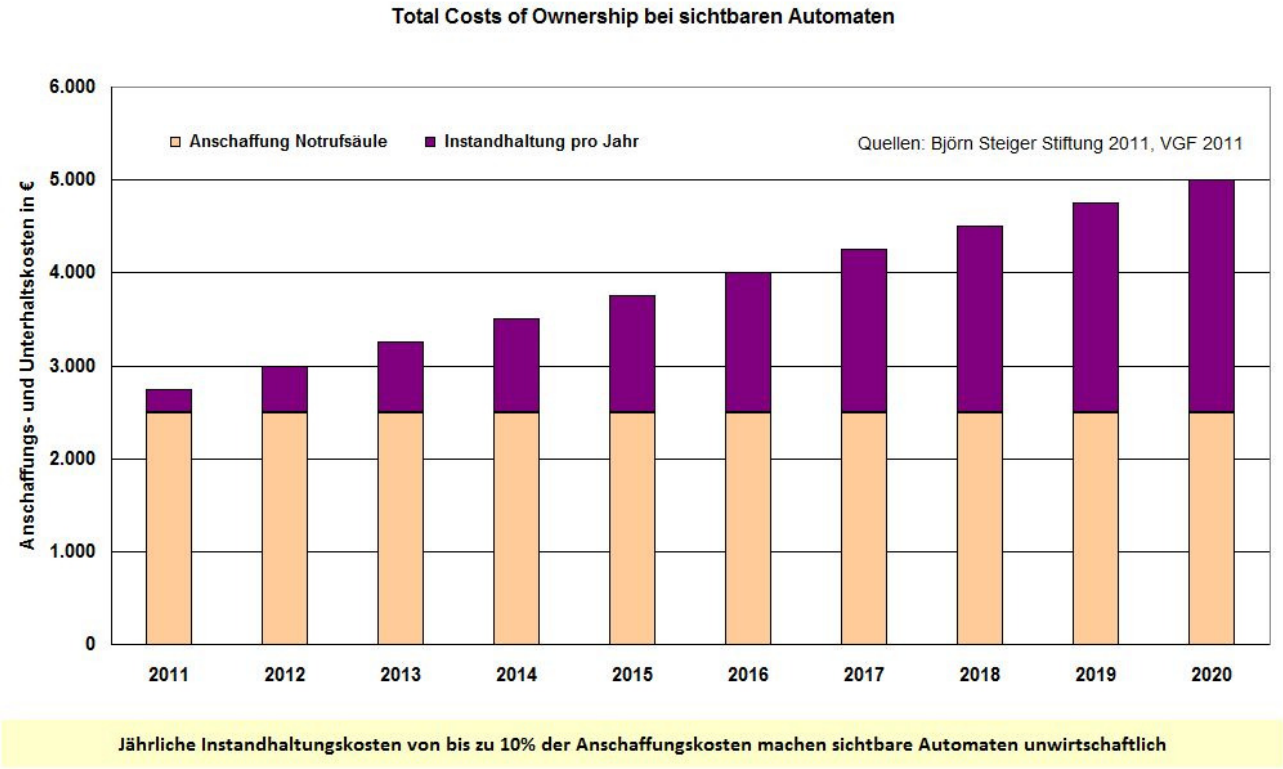
Vandalismus ist unberechenbar und kann viele Gesichter haben: In Berlin gibt es momentan das akute Problem alltäglicher Brandanschläge: Seit Jahresbeginn wurden dort mehr als 550 Autos angezündet [465].

Besonders stark betroffen von Vandalismus sind öffentlich zugängliche Einrichtungen wie Schulen, Busse und Bahnen.

Allein der Deutschen Bahn entstehen jährlich Schäden in Höhe von 50 Millionen Euro durch Vandalismus. Die Täter schlagen immer intensiver zu, so Gerd Neubeck, Leiter der Konzernsicherheit der DB.

Unruhen wie zuletzt in Griechenland, Spanien und Italien werden häufiger. Wie schnell dabei Riesenschäden entstehen können, konnte die Weltöffentlichkeit zuletzt besonders eindrucksvoll während der London Riots im August 2011 verfolgen. Die Vereinigung Britischer Versicherer schätzt den in wenigen Tagen entstandenen Sachschaden auf 200 Millionen Pfund (ca. 600 Mio. Euro [466]. Nicht einmal Video-Überwachung hinderte die Vandalen an ihrem Werk – schließlich waren sie maskiert. London ist mit 2.100 Elektrofahrzeugen wohl derzeit die Welthauptstadt der Elektromobilität [467] (Bangalore kommt dieses Jahr wohl auf ca. 1.300 EFZ, Los Angeles auf 1.400).

Abb. 87: Beschädigte Fahrkarten-Automaten in Deutschland 468, Zerstörter Bancomat während der London Riots 2011 469



Tab. 70: TCO von Automaten: Anschaffungskosten einer Notrufsäule verdoppeln sich in 10 Jahren durch Vandalismus-Instandhaltungskosten (KM)

Unsichtbares Laden mit im Boden versenkter Primärspule und unsichtbarer Lade-Management-Elektronik kann die Total Costs of Ownership (TCO) von elektrischen Lade-Automaten senken. Die einmaligen Anschaffungs- und Installationskosten von sichtbaren Automaten, zu denen auch kabelgebundene Ladesäulen gehören, verdoppeln sich im Laufe von 10 Jahren nahezu durch „Betriebskosten“ wie sie vor allem durch mutwillige Beschädigung hervorgerufen werden. Dies gilt schon heute z. B. auf die Flotte von Installationskategorien wie Bezahlautomaten oder Notrufsäulen hochgerechnet.

Die Notrufsäulen der Björn-Steiger-Stiftung und die Fahrkarten-Automaten des VGF werden mit einer Induktions-Schranke verglichen. 5-10 % der Anschaffungskosten müssen jährlich wegen Sachbeschädigungsdelikten für die Instandhaltung sichtbarer Automaten aufgewendet werden. Das führt im Laufe von zehn Jahren zu einer sehr ungünstigen TCO-Bilanz, während bei der Induktions-Schranke bezüglich der im Boden verlegten Schleife keinerlei Instandhaltungskosten anfallen.

Insgesamt existieren derzeit rund 18.000 Notrufsäulen in Deutschland. Die 16.000 Notrufsäulen an deutschen Autobahnen, für die der Gesamtverband der Deutschen Versicherer (GDV) zuständig ist, werden stehen bleiben. Die rund 2.000 Notrufsäulen der Björn-Steiger-Stiftung an Bundes-, Landes- und Kreisstraßen sollen aber bis Ende 2011 entfernt werden.

Vandalismus, der seit den 90er Jahren zunehmend zum Problem geworden sei, nannte Stiftungs-Sprecherin Melanie Storch als einen der Gründe für die Demontage. Mutwillig zerstörte Anlagen hätten zu hohen Wartungskosten geführt [470].

3.4.6.2 Kabelschäden durch Nagetiere

Durch Kabelbisse verursachen Nagetiere weltweit nicht nur große Materialschäden, sondern auch Autopannen, Ausfälle von Strom, Telefon-, Fernsehkabel- oder Computernetzen. Der Versuch, alle globalen Schäden statistisch zusammenzufassen, wurde noch nicht unternommen.

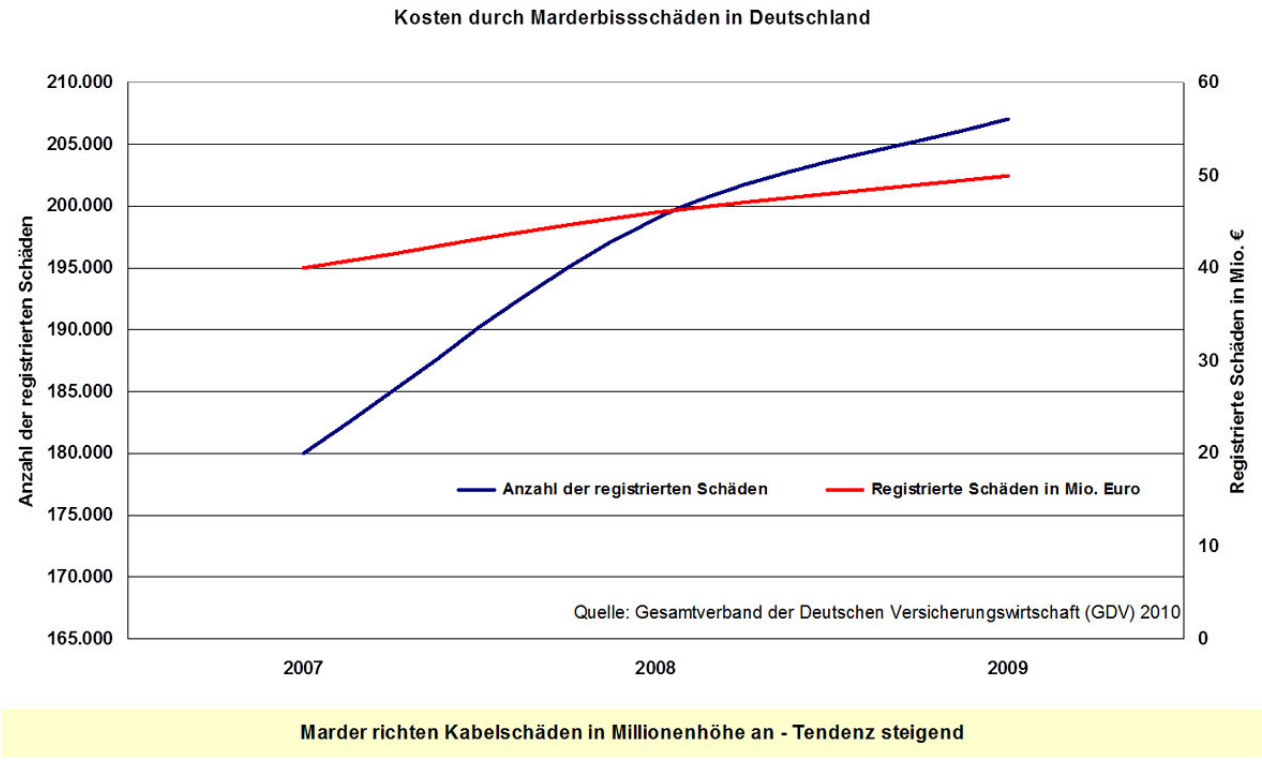
Versicherungen (ausgenommen: Kfz-Versicherungen) kommen nur in seltenen Fällen für Nagetier-Schäden auf. Vermieter müssen dies ebenfalls nicht tun. Als Ratten im Dezember 2007 die Kabel von im Keller gelagerten technischen Geräten eines Mieters zernagten, urteilte das Amtsgericht Charlottenburg: „Berliner Mieter müssen mit Ratten im Keller rechnen“ und wiesen die Klage ab [471] .

Nagetiere sind allgegenwärtig: In der Großstadt ebenso wie auf dem Land. Schätzungsweise 50 % der Brände auf landwirtschaftlichen Betrieben stehen in Verbindung mit Nagern, so der Chemie-Riese Novartis [472].

Kaum ein Material ist für Nagetiere zu hart. Biber können einen Baum in einer halben Stunde Fällen, andere Nagetier-Arten können mit ihren Zähnen Konservendosen aufbrechen. Zu nagen ist für die Tiere elementar: Immerhin wachsen ihre Zähne 2-3 mm pro Woche nach und können bei fehlender Abnutzung einen Teil des eigenen Schädels durchstoßen [473].

3.4.6.2.1 Kabelschäden durch Marder in Deutschland

In Deutschland haben Auto-Besitzer mit Mardern zu kämpfen, die immer wieder Zündkabel und Kühlwasserschläuche anknabbern. So entsteht laut dem Gesamtverband Deutscher Versicherer (GDV) jedes Jahr ein Millionen-Schaden. 2007 beliefen sich die Schäden durch Marderbiss laut Gesamtverband der Deutschen Versicherer auf rund 40 Millionen Euro. Zwei Jahre später registrierte der GDV bereits 50 Millionen Euro Sachschaden.



Tab. 71: Marderbiss-Schäden in Deutschland (KM)

Während es in Deutschland vor 50 Jahren kaum (Stein-)Marder gab, werden sie sich nach Expertenmeinung in Zukunft immer stärker verbreiten 474.

Abb. 88: Gefahr für jedes Kabel: Das scharfe Gebiss des Marders 475

Marder beschränken sich nicht auf Pkw-Kabel, sondern können sich beispielsweise auch in Verteilerkästen einnisten, wo sie Störungen und Totalausfälle des Radio-und TV-Programms verursachen [476]. Etwa seit der Jahrtausendwende treten außerdem vermehrt Schäden an den Kabeln von Photovoltaik-Anlagen auf [477].

Dr. Beate Ludwig vom Arbeitskreis Wild-Biologie der Universität Gießen hat mit ihrem Team 15 Jahre lang vergleichende Verhaltensuntersuchungen an sieben einheimischen Marderarten unternommen. Die Frage, warum Marder sich von Kabeln angezogen fühlen, beantwortete sie wie folgt:

„Erstens: Erkundungsverhalten. Menschen betrachten interessante Dinge und nehmen sie in die Hand, Steinmarder beschnuppern und bebeißen sie, prüfen sie also mit den Zähnen. Zweitens: Spielverhalten. Steinmarder – besonders die Jungtiere – spielen gern, ausdauernd und überschwänglich mit Objekten. Wenn sich die Kinderstube unter den Dachziegeln befindet, wird eine benachbarte Photovoltaikanlage schnell zu einem willkommenen Tummelplatz.

Und drittens: aggressives Beißen. Wenn ein erwachsenes Steinmardermännchen auf die Duftspur eines Rivalen trifft, lenkt der Marder sein aggressives Verhalten auf die Träger dieser Duftspur um, beispielsweise Schläuche und Kabel [478].“

Es steht zu befürchten, dass Marder früher oder später auch Ladekabel für Elektroautos anknabbern werden, denn:

"Marder können in Kabel bis zu einer Dicke von Kühlschläuchen beißen. Sie können das Maul so weit aufsperren, dass ein Hühner-Ei (quer) hineinpasst [479].“

Nach den Ermittlungen des Institutes für Automation in Magdeburg hat das dickste Ladekabel, das es auf dem Markt gibt, einen Durchmesser von 2,5 cm. Für einen Marder kein Problem.

3.4.6.2.2 Kabelschäden durch Eichhörnchen in den USA und Großbritannien

In den USA und Großbritannien stellen Eichhörnchen eine große Bedrohung für Kabel dar, besonders nordamerikanische Grauhörnchen. Genau wie das Marderproblem, ist auch dieses Problem nicht neu: 1950 führte die Universität von Massachusetts im Auftrag der Telefongesellschaft Bell eine Untersuchung über die Kabelschäden durch Grauhörnchen durch [480].

Stoppen konnte man die Hörnchen nicht: Sechs Jahre später erschien im TIME-Magazine ein Artikel mit dem Titel: „Das triumphierende Eichhörnchen.“ Darin klagen die Ingenieure der Telefongesellschaft Bell über ihren Kampf, der schon seit der vorigen Jahrhundertwende andauere:

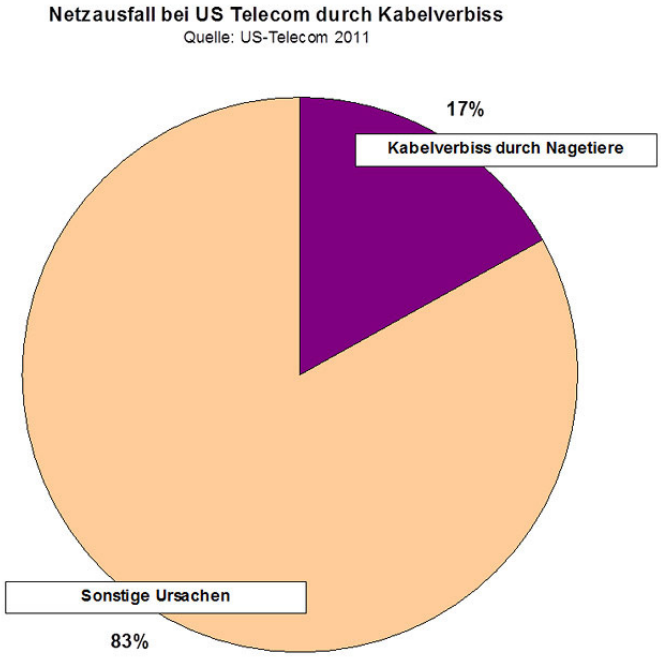
“In an average year (…) the grey squirrel gnaws through some half million dollars worth of U.S. cable. So far, no one has found a feasible way to stop him [481].”

Bis heute hat sich daran wenig geändert. Hauptursache ist die Sichtbarkeit der Kabel in den USA: Laut Edison Electric Institute sind dort immer noch 69 % der Strom- und Telefon-Kabel oberirdisch verlegt [482], was sie für Nager aller Art anfällig macht.

Eichhörnchen sind aktuell verantwortlich für 17 % der Kabelschäden bei der US-Telecom. Damit sind sie - nach unvorsichtigem Bagger-Fahren - der zweithäufigste Grund für Netzausfälle [483].

Für die USA existieren keine überregionalen Zahlen über die Schäden durch Nager. Dafür liefert Google über 5 Millionen Treffer bei den Worten „Squirrel removal“ (Eichhörnchen-Entfernung). Die Webseiten der Squirrel „Ex-Terminators“, wie sich einige der Kammerjäger nennen, sprechen für sich [484].

In unzähligen Blogs beklagen sich Menschen [485], deren Leitungen von Eichhörnchen angeknabbert wurden und schildern ausführlich, welche (meist erfolglosen) Versuche sie unternommen haben, diese zu vertreiben.



Mehr als jeder sechste Netzausfall der US-Telecom wird durch Nagetiere verursacht

Tab. 72: Netzausfallquote durch Kabelbiss bei der US-Telecom (KM)

Abb. 89: Ein Grauhörnchen an einem Stromversorgungskabel [486]

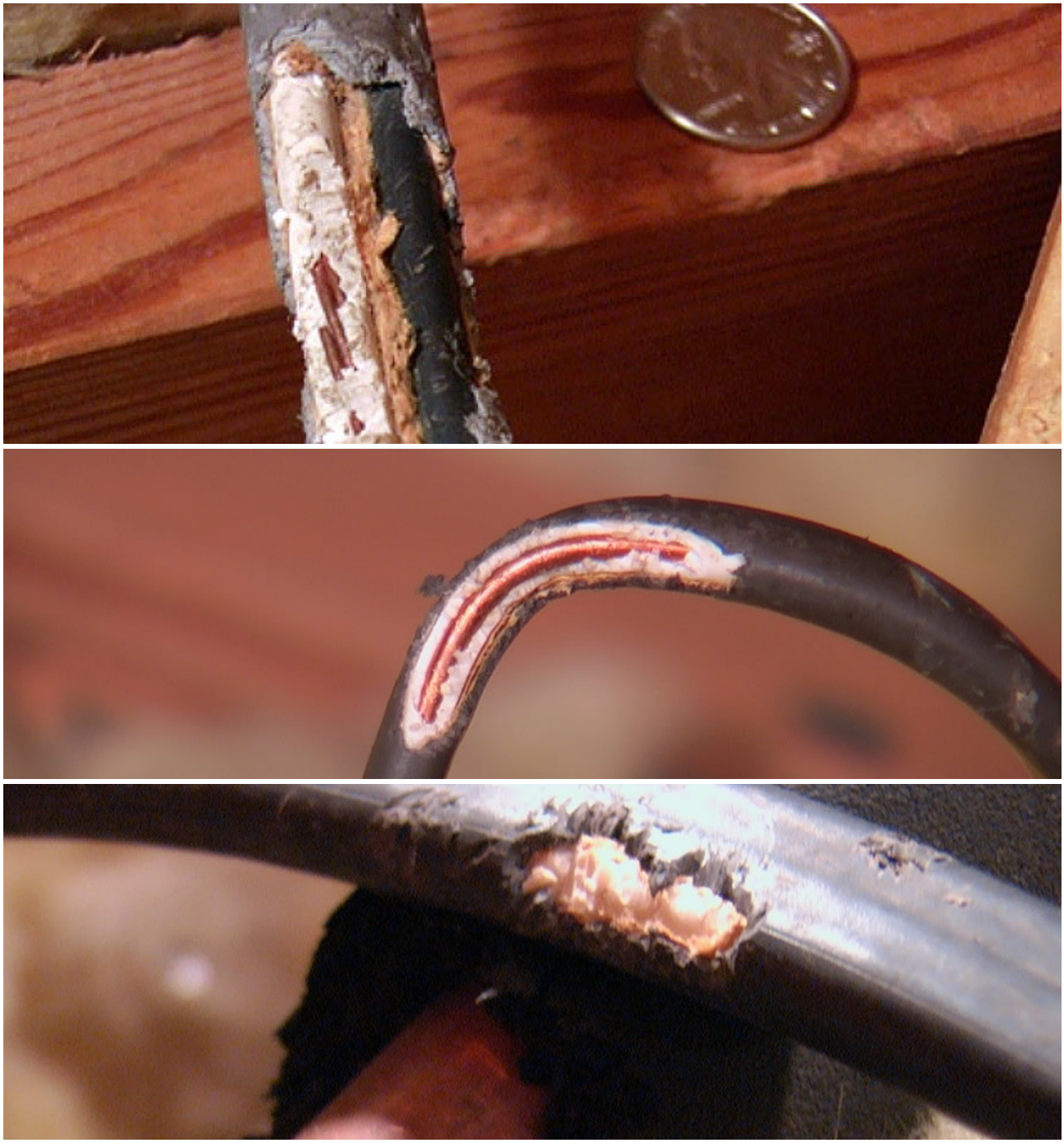


Abb. 90: Nagetierschäden, veröffentlicht von amerikanischen Eichhörnchen-Jägern [487]

Angeknabberte Kabel sind nicht nur unschön, sondern können lebensgefährlich sein: Das Institut für Schadensverhütung der öffentlichen Versicherer e. V. (IFS) bezeichnet „Nagetiereinwirkung als unterschätztes Brandrisiko [488].“

Die britische Unternehmensberatung Facilities Consultancy warnt ebenfalls vor den Brand-Folgen von Nagetier-Bissen und empfiehlt, Elektro-Kabel regelmäßig zu prüfen [489].

Auch wenn es nicht immer so drastisch enden muss, wie Im Falle einer Familie in London-Hertfordshire: Während sie im Urlaub war, brannte das gesamte Haus nieder, nachdem Eichhörnchen dort eingedrungen waren und elektrische Kabel angeknabbert hatten [490].

In der südenglischen Stadt Swindon zerstörten Eichhörnchen Bremskabel an sieben verschiedenen Autos, außerdem mehrere Telefonkabel. Die Polizei vermutete zunächst menschlichen Vandalismus, bis sie die Nager auf frischer Tat ertappte [491].

Auch Fluggesellschaften müssen die Gefahr des Kabelbisses ernst nehmen: Nagetiere dürfen in Flugzeugen nicht frei herumlaufen, so will es die International Air Transport Association (IATA) [492]. Wird eine Maus im Fluggastraum oder Cockpit entdeckt, muss der Flug abgebrochen werden, wie bei der Nepal Airlines im September 2011 zweimal hintereinander geschehen [493].

2007 musste ein Flugzeug der American Airlines wegen eines Eichhörnchens im Cockpit auf dem Weg von Tokio nach Dallas in Honolulu zwischenlanden. Die Piloten hatten befürchtet, dass das Tier Kabel durchgebissen haben könnte [494].

Inzwischen hat die Population des amerikanischen Eichhörnchens auch in Europa starkt zugenommen. In Deutschland hat es in den letzten Jahren begonnen, einheimische Arten zu verdrängen.

3.5 Stand der kabellosen Ladetechnologien

Die Aufladung von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen erfordert eine Übertragung der Energie aus dem Netz in das Fahrzeug. Allgemein erfolgt dies über eine entsprechende Kabelverbindung. Die hierzu existieren Lösungen und Produkte bestehen im Allgemeinen aus typischen elektrotechnischen Komponenten in Verbindung mit Steuerungen und Sicherheitseinrichtungen und stellen somit den bekannten Stand der Technik dar.

Es bieten sich aber auch kabellose Energieübertragungsverfahren an. Prinzipiell können hierzu das magnetische und das elektrische Feld verwendet werden. Das elektrische Feld besitzt im Vergleich zum magnetischen Feld aber eine sehr kleine Energiedichte. Daher eignet sich auch im Hinblick auf die zu übertragenden Leistungen im Bereich mehrerer Kilowatt das magnetische Feld sehr gut.

Dessen Verwendung unter Anwendung des Induktionsgesetzes in Form der sogenannten induktiven Energieübertragung wird seit den 1990'ger Jahren beispielsweise in Elektrohängebahnen und fahrerlosen Transportsystemen erfolgreich eingesetzt. In vielen weiteren Bereichen bieten sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten.

So können zum Beispiel Sensoren in Verbindung mit Aktorik und Steuerungen oder Elemente in Präzisionswerkzeugen für die Optik- und Halbleiterindustrie zuverlässig mit Energie und Daten versorgt werden, Haushaltsgeräte in der Küche können mit deutlichem Gewinn an Flexibilität und Sicherheit induktiv betrieben werden.

In Verseilmaschinen benötigen zahlreiche mitrotierende Elektroantriebe eine robuste Stromversorgung und was bei der drahtlosen Kommunikation Standard ist, gelingt im Spezialfall auch bei der Energieübertragung durch Wände.

Jedes kontaktlose Energieübertragungssystem besteht prinzipiell aus drei Komponenten, der Primär- und Sekundärelektronik und dem Übertragungssystem. Abweichend vom klassischen Transformator gibt es beim kontaktlosen Übertragungssystem jedoch keinen geschlossenen

Eisenkern. Vielmehr sind die Primär- und die Sekundärspule durch einen Luftspalt getrennt, der mehrere Dezimeter groß sein kann.

Um trotzdem Energie mit nennenswerter Leistung und hohem Wirkungsgrad übertragen zu können, müssen die Magnetanordnung und die leistungselektronischen Module optimal ausgelegt werden. Dazu gilt es, die Magnetanordnung auf der Basis von Simulationen und Berechnungen geschickt auszuführen und mit Hilfe von leistungselektronischen Modulen die Energieübertragung im optimalen Frequenzbereich (20 – 400 kHz) vorzunehmen.

Prinzipiell wird das induktive Übertragungssystem durch die Spulengüte und den Koppelfaktor beschrieben. Die Spulengüte ist hierbei das Verhältnis von Resistanz zu Reaktanz und beschreibt die elektrischen Verluste des Systems. Der Koppelfaktor wird durch die Position und die Ausrichtung der Spulen zueinander beeinflusst und bestimmt die maximal übertragbare Leistung und auch den erreichbaren Wirkungsgrad.

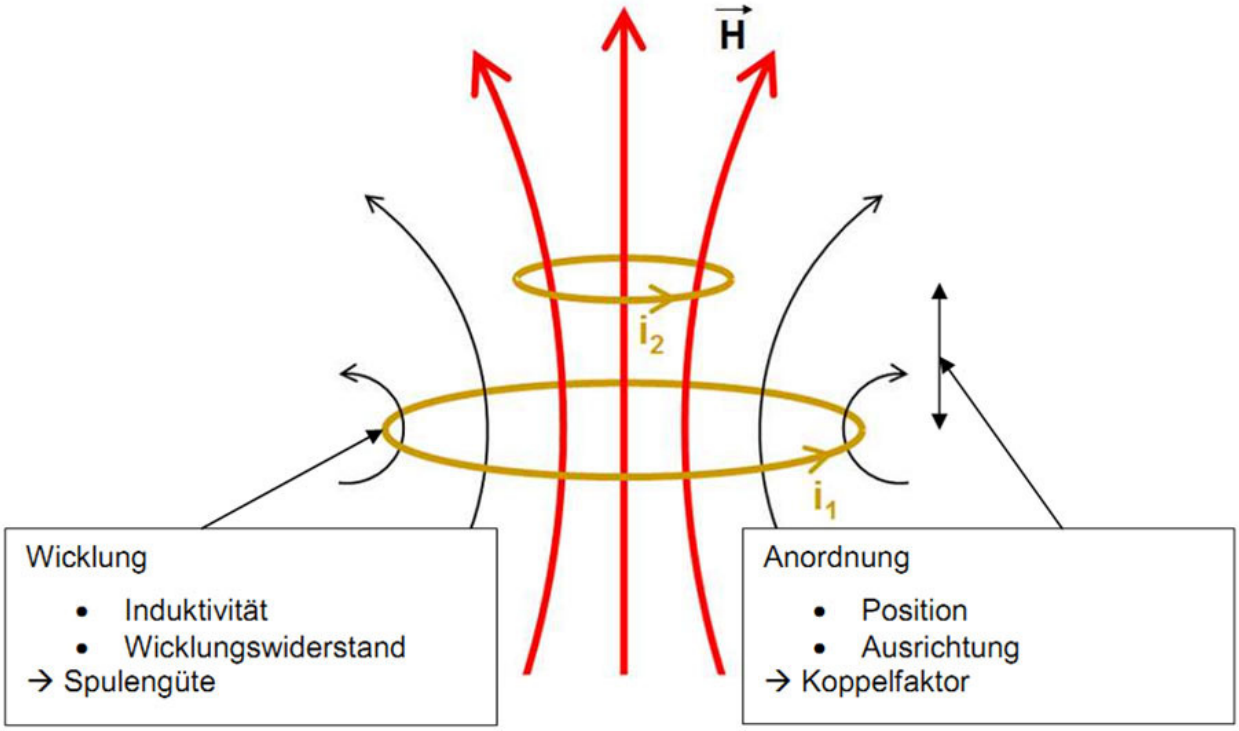


Abb. 91: Spulengüte und Koppelfaktor (ifak)

Infolge des konstruktionsbedingten Luftspaltes ist die magnetische Kopplung zwischen Primär- und Sekundärspule sehr gering. Dies erfordert Maßnahmen zur Wirkungsgraderhöhung, um größere Leistungen bis in den Kilowattbereich übertragen und größere Luftspalte überbrücken zu können. Solche Maßnahmen sind die Erhöhung der Übertragungsfrequenz sowie die Verwendung von Ferritmaterialen.

Die Obergrenze für die Übertragungsfrequenz ist durch spezielle Verlustmechanismen der Spulenmaterialien (z.B. Hystereseeffekte und Flussverdrängung durch Wirbelstrominduktion) sowie durch die Kenngrößen verfügbarer Halbleiterbauelemente gegeben. Das Erreichen hoher Übertragungsfrequenzen (f = 20..400 kHz) erfordert eine Kompensation der primär- und sekundärseitigen Streuinduktivitäten sowie einen resonanten Schaltbetrieb der leistungselektronischen Stellglieder. Dies wird durch einen beidseitigen Resonanzabgleich erreicht.

Analog zum herkömmlichen Transformator hat sich auch für den luftspaltbehafteten

Übertrager die mathematische Beschreibung mittels des T-Ersatzschaltbildes bewährt. Dessen Parameter sind sowohl von den Materialeigenschaften als auch von geometrischen Größen abhängig. Die Geometriegrößen sind dabei meist durch große Streuinduktivitäten und eine kleine Hauptinduktivität charakterisiert.

Die großen Streuinduktivitäten erfordern eine Kompensation, um Leistungen mit entsprechenden Wirkungsgraden übertragen zu können. Die Anordnung der Kompensationselemente kann auf Primär- und Sekundärseite sowohl seriell als auch parallel erfolgen. Das Übertragungsverhalten wird dabei maßgeblich durch die Anordnung der sekundären Resonanzkapazität bestimmt.

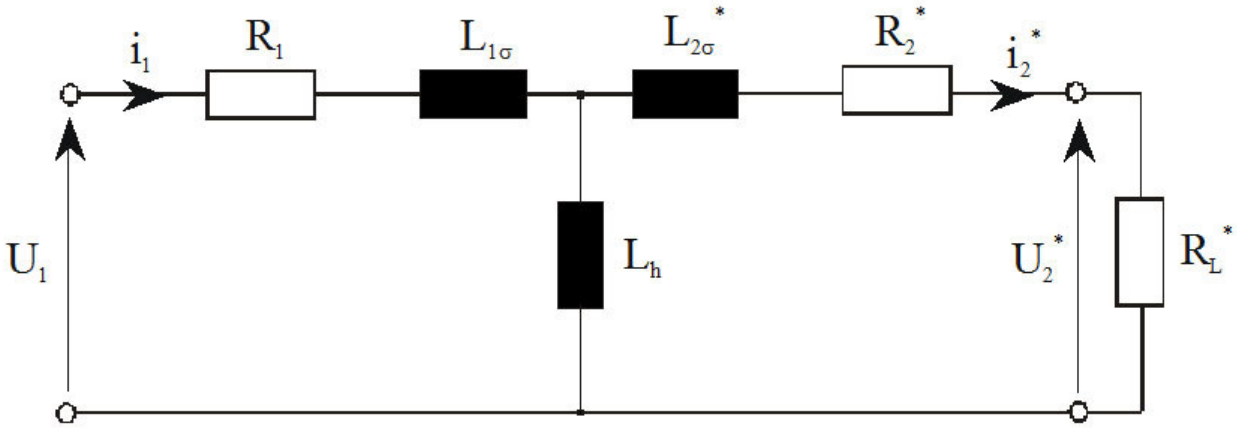


Abb. 92: T-Ersatzschaltbild (ifak)

Kern des Übertragungssystems stellen die Spulen dar. In Abhängigkeit vom Einsatzzweck, den geometrischen Forderungen (Luftspalt, Verschiebung…), und den elektrischen Daten werden die Spulen optimiert. In den meisten Anwendungen kommen Systeme, bestehend aus einer primären und einer sekundären Spule zum Einsatz.

Während sich für ortsfeste Anwendungen oft ringförmige flache Spulen eignen, ist für linear bewegte Systeme im Allgemeinen die primäre Spule ein Linienleiter, von dem das Sekundärsystem die Energie abnimmt. Die Anforderungen für rotierende Anwendungen können häufig durch ringförmige flache Spulen mit einem axialen Luftspalt erfüllt werden.

Es gibt aber auch Anwendungen, zum Beispiel mit großen Luftspalten, bei denen das Übertragungssystem aus zwei gekoppelten und auf dieselbe Resonanzfrequenz abgestimmten Schwingkreisen zum Einsatz kommt, die sich mit den gleichen mathematischen Beschreibungen wie die zuvor genannten Systeme berechnen lassen.

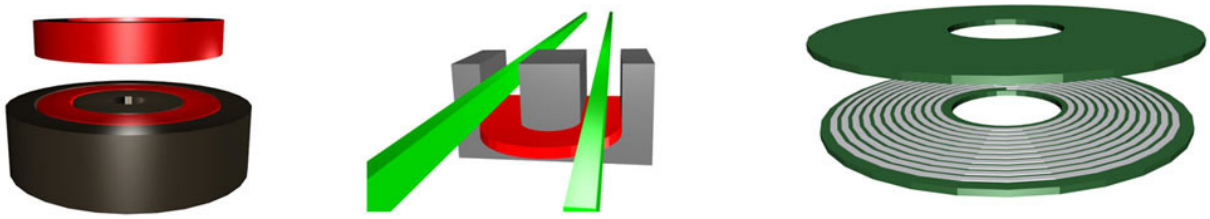
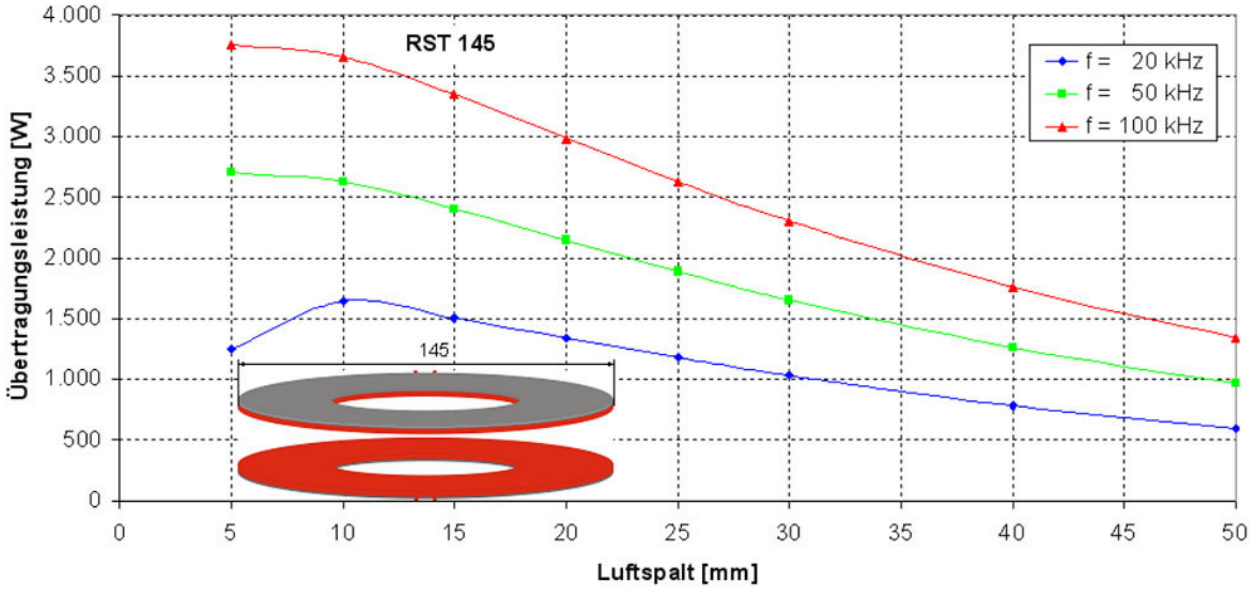


Abb. 93: Kontaktlose Übertragungsanordnungen (ifak)

Bei induktiven Übertragungssystemen mit Luftspalt hat sich die Verwendung hoher Übertragungsfrequenzen aufgrund folgender Vorteile als günstig erwiesen:

- Verbesserung des Wirkungsgrades, vor allem bei Teillast
- Erhöhung der übertragbaren Leistung
- Verringerung des Primärstroms bei gleicher Ausgangsleistung (besonders bei Teillast)
- Reduzierung der Feldstärke der Magnetfelder (geringere Abstrahlung)
- Einsatz kleinerer Filterbauelemente (Resonanzkondensatoren, Glättungskondensatoren und -induktivitäten) und Ferritkerne

Im nachfolgenden Bild ist dieses Verhalten am Beispiel einer ringförmigen Spulenanordnung (Ferrit vom Typ RST 145) dargestellt.



Tab. 73: Frequenzabhängige Übertragungsleistung (ifak)

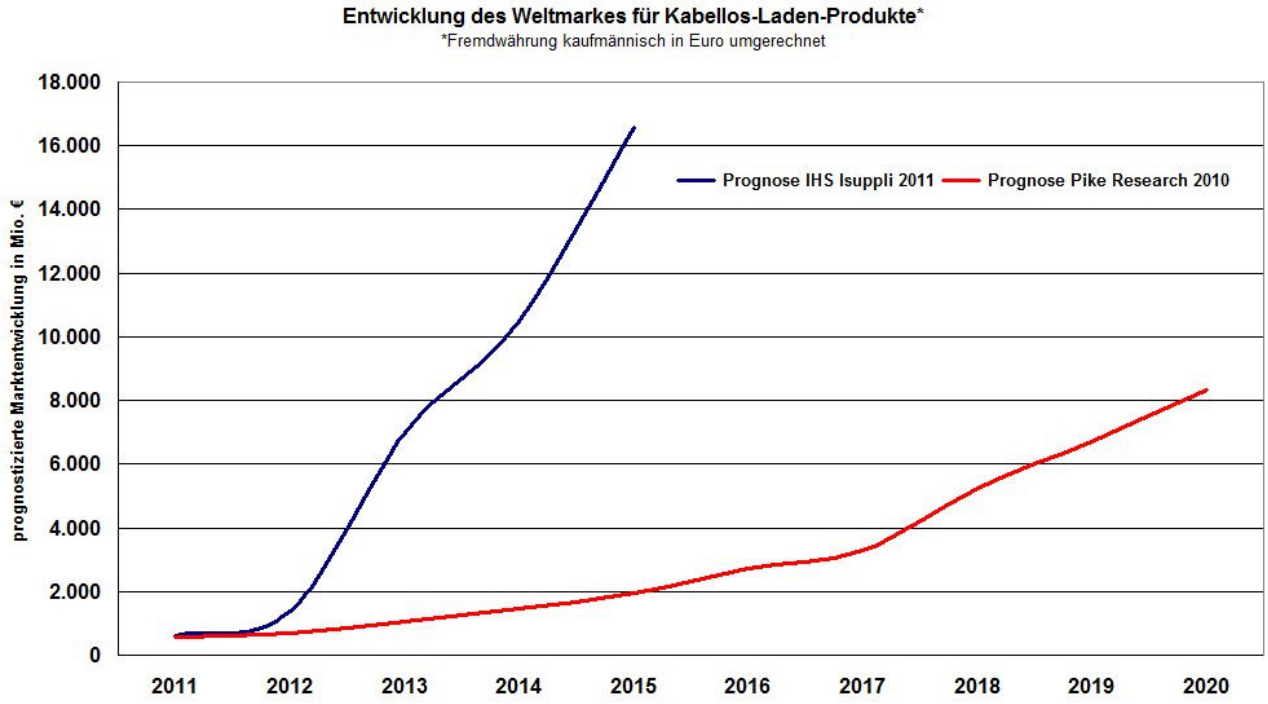
Die erreichbaren Wirkungsgrade von Resonanzübertragern sind eine Funktion des Kopplungsfaktors und der Güte der verwendeten Spulensysteme. Beeinflussende Faktoren sind auch die Änderung des Luftspaltes und die Position der Spulensysteme zueinander. Berücksichtigung dieser Einflüsse können Wirkungsgrade dieser Übertragungssysteme von über 95 % erreicht werden. Für den Gesamtwirkungsgrad spielen aber auch die Frequenz, die verwendeten Werkstoffe, die Konzepte der Leistungselektronik, die Leistungshalbleiter eine Rolle.

Neben den bereits genannten technischen Lösungen im industriellen Bereich existieren weltweit bereits zahlreiche weitere Lösungen für induktive Energieübertragungen. So sind bereits Produkte in den Bereichen Medizintechnik, Consumer-Elektronik, Computer- und Haushaltstechnik verfügbar. Im Bereich der Elektromobilität wurden in letzter Zeit zahlreiche Entwicklungsvorhaben und prototypische Erprobungen zur Aufladung von Elektrofahrzeugen durchgeführt.

Die Technologie der induktiven Energieübertragung besitzt ein großes Potential für die Anwendung im Bereich der Aufladung batteriebetriebener Elektrofahrzeuge. Die erreichbaren Wirkungsgrade, die übertragbaren Leistungen und die Vorteile beim Komfort und Sicherheit sowie die zahlreiche Einsatzfälle in verschiedenen Anwendungsbereichen zeigen die Wettbewerbsfähigkeit der induktiven Systeme deutlich auf.

3.6 Megatrend Wireless

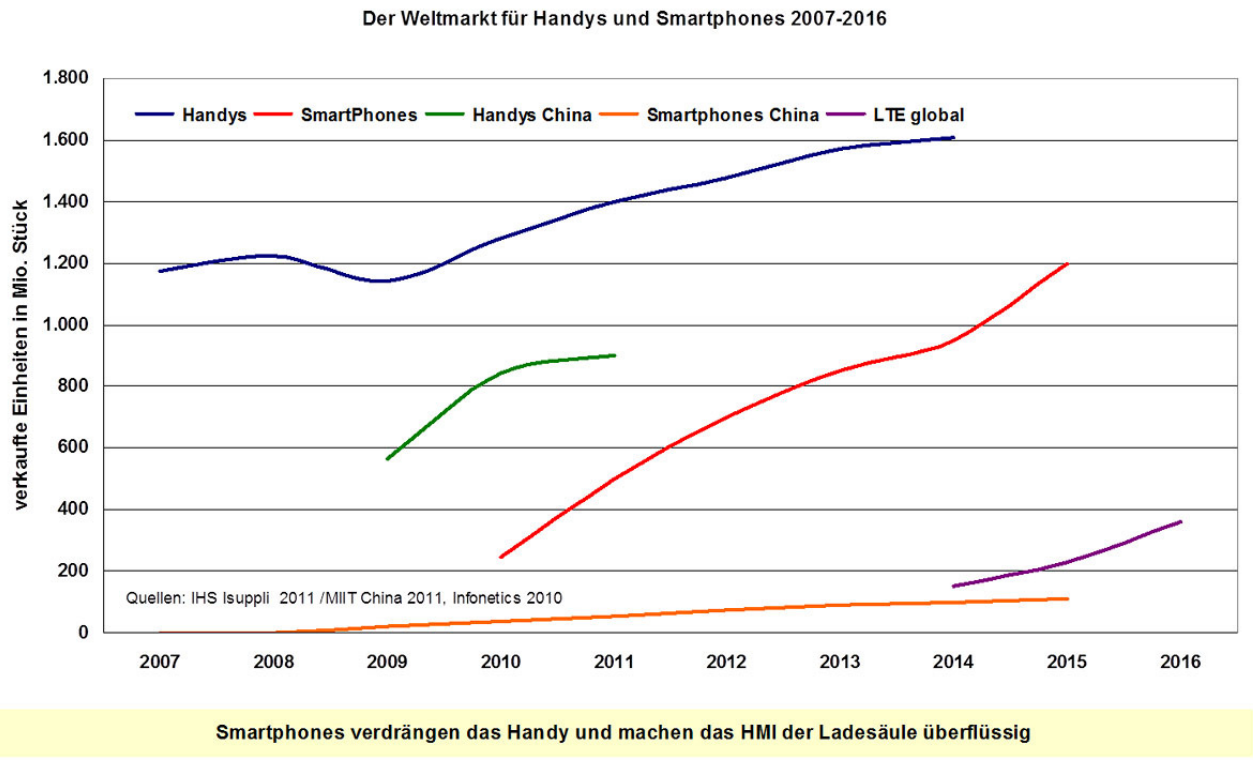
Egal ob auf dem Gebiet der mobilen Endgeräte, der Unterhaltungs-Elektronik, der industriellen Produktion, oder bei militärischen und medizinischen Anwendungen: Kabellose Energie- und Datenübertragung ist weltweit auf dem Vormarsch und ein wachsender Milliardenmarkt. Die Trendkurve der weltweiten Kabellos-Anwendungen geht unaufhaltsam nach oben.



Tab. 74: Prognosen-Vergleich Pike-Research und iSupply (KM)

Die US-Marktforschungsunternehmen Pike Research prognostizierte in seinem Bericht vom November 2010, dass der globale Markt für Kabellos-Anwendungen im Jahr 2015 auf 2,8 Milliarden US-Dollar anwachsen wird.

Nur ein halbes Jahr später wird Pike von der Prognose des gut beleumundeten Konkurrenten IHS iSupply um den Faktor Zehn nach oben korrigiert: Allein im Jahr 2011 hätten die Gewinne aus Kabellos-Produkten weltweit ein Wachstum um 616 % erlebt. Daher sei davon auszugehen, dass der globale Markt bis 2015 auf 23 Milliarden US-Dollar anwachsen werde, was etwa 16,6 Milliarden Euro entspricht. Von allen kabellosen Anwendungen sei die induktive Energie-Übertragung diejenige, die vom Markt am stärksten angenommen werde, so das Marktforschungs-Unternehmen 495.



Tab. 75: Weltmarkt für Handys, Smartphones und LTE (KM)

Der Siegeszug des Handys – und seit 2007 des Smartphones - ist ungebremst und führt offenbar zu einer immer größeren Selbstverständlichkeit beim Umgang mit Elektro-Geräten.

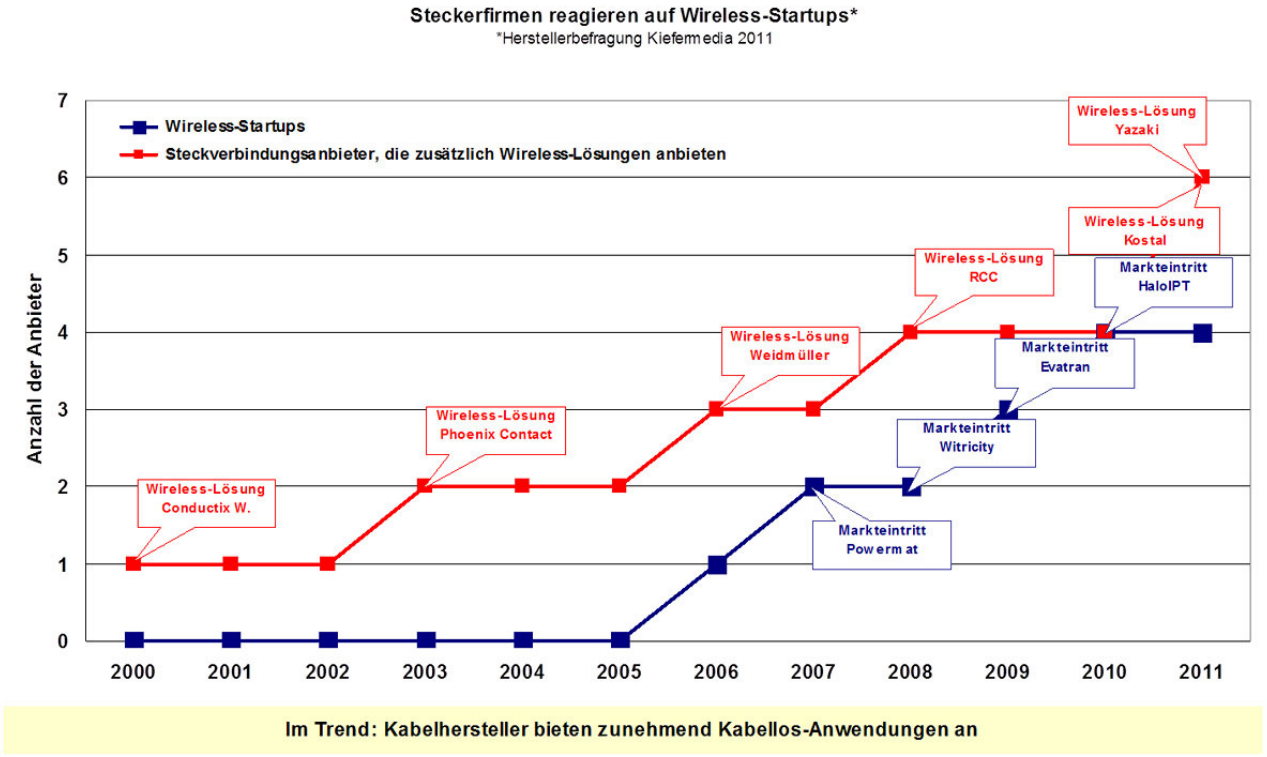
Auf die Frage: „Haben Sie Angst vor Elektro-Smog?“ antworteten im Jahr 2003 noch 53,9 % der Befragten über 14 Jahre mit: „Ja.“ 5 % der Teilnehmer gaben sogar an, sie würden ihre Geräte durch spezielle Kabel und Schutzhüllen abschirmen [496].

2010 gaben 72 % der Befragten einer Handelsakademie in Österreich an, ihr Handy nicht einmal über Nacht auszuschalten, sogar 2-5 Elektro-Geräte im Schlafzimmer zu haben [497]. 2011 gaben bei einer Umfrage des Marktforschungsunternehmens Innofact nur noch 26 % der Männer und 36 % der Frauen an, große Bedenken wegen Elektrosmog zu haben [498].

Als die World Health Organisation im Juni 2011 einen „möglichen Zusammenhang zwischen häufigem Telefonieren und Hirntumoren“ bekannt gab, änderte kaum jemand seine Telefon-Gewohnheiten. Einerseits hörte sich die von der WHO attestierte Gefahrenkategorie 2B, die in einer Reihe mit Kaffee-Trinken steht, sehr harmlos an. Andererseits möchte heute kaum jemand auf den Komfort seines Handys oder anderer elektronischer Helfer verzichten.

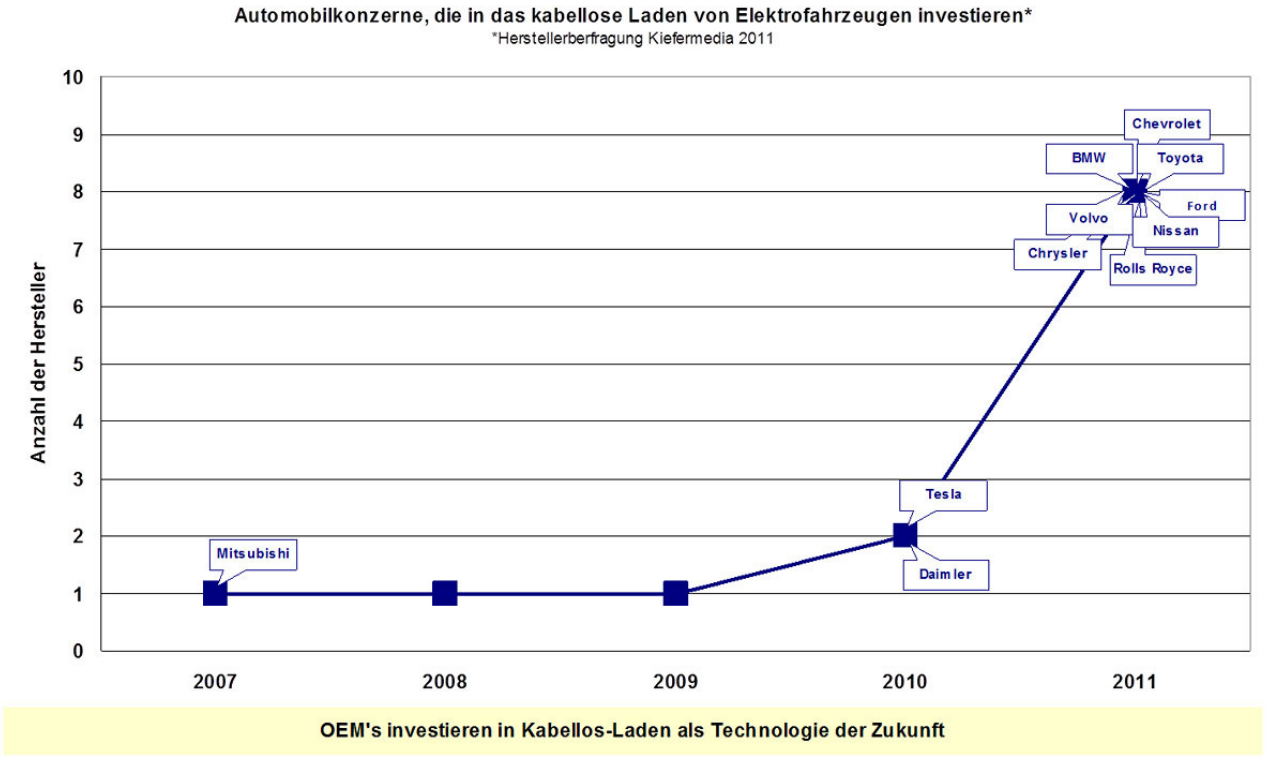
Im Gegenteil: Medizinische Geräte zum Anziehen werden laut ABI Research im Jahr 2016 einen Weltmarkt von 100 Millionen Stück erschlossen haben. Gemeint sind funkende Herzschrittmacher, Pflaster mit kabellosen Sensoren zur Messung der Herzfrequenz bei Babys, Sensor-Stirnbänder und mobile Atemsensoren [499].

Weiterer Indikator für den weltweiten Kabellos-Trend: Firmen, die bisher vorwiegend Kabel hergestellt haben wie der Global Player Yazaki nehmen immer häufiger induktive Energie-Übertragungs-Lösungen in ihr Produktportfolio auf.



Tab. 76: Steckerfirmen investieren in Kabellos-Anwendungen (KM)

Auch die Automobilhersteller folgen dem Kabellos-Trend und investieren kräftig in induktives Laden von Elektroautos. Mit dem automatischen Laden der Elektroautos hoffen sie, die Reichweitenangst der Nutzer ausräumen zu können.



Tab. 77: Wireless-Laden-Investitionen von OEMs (KM)

4 DARSTELLUNG WESENTLICHER ABWEICHUNGEN ZUM ARBEITSPLAN

Den vorgenannten Vorteilen des kabellosen Ladens steht ein prinzipbedingter Wirkungsgradnachteil aufgrund der Energieübertragung über einen Luftspalt gegenüber. Diesen näher zu beziffern ist der Begleitforschung auch gegen Ende des Berichtszeitraumes noch nicht möglich gewesen, da die zugrunde liegenden Technologieprojekte eine noch viel zu hohe Streuung der erzielten Wirkungsgrade in einem Korridor von etwa 90 bis 95 % aufwiesen. Die Werte waren darüber hinaus nicht überprüfbar. Auch die jeweilige Systemqualität nicht. Ein auf Wirkungsgrad optimiertes System kann durchaus Schwächen an anderer Stelle z. B. bei der Netzrückkopplung aufweisen.

Überraschende Teilergebnisse wie zu Vandalismus, Diebstahl, Stolperquote, Schäden durch Nagetiere sowie zu Batteriepreisrückgang und –reichweitenzuwachs haben jeweils eine Vertiefung und Verzweigung dieser anfänglichen „Suchgräben“ nach sich gezogen. Insgesamt ist das Projekt aber damit mehr denn je an die ursprünglich gesteckten Ziele herangerückt.

5 VERGLEICH DER PROJEKTERGEBNISSE ZUM INTERNATIONALEN STAND DER TECHNIK

5.1 Stand der Technik

Weltweit gibt es bisher keine Erfahrungen zum kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen während des Parkens. Allein in Korea gibt es seit Ende 2009 erste Campusversuche mit dem induktiven Laden während der Fahrt, jedoch dies auch nicht für PKW, sondern eher für Elektrobusse, Golfcarts und Elektropanoramabähnchen.

Induktive Energieübertragung wird allerdings seit über 10 Jahren im Anlagen- und Maschinenbau angewendet. Vor allem in der Intralogistik verfügen Einschienenhängebahnen, Hub-Senk-Stationen, Regalförderzeuge, Gepäcksortieranlagen und fahrerlose Flurtransportsysteme über kontaktlose Stromanschlüsse - nicht nur im Stillstand, sondern auch während der Fahrt. Entsprechende Anwendungsfälle gibt es in den Werken aller deutschen Automobilhersteller, die größte Verbreitung und konsequenteste Implementierung findet man aber bei den koreanischen Automobilmarken.

Berührungslose Stromversorgung trifft man ansonsten im Alltag bei Kleingeräten wie elektrischen Zahnbürsten, Heimwerkergeräten wie Akkubohrern, Induktionskochflächen und tragbaren Kommunikationsgeräten wie Handys an. So begegnet man z. B. an Flughäfen zunehmend induktiven Ladeflächen für entsprechende Endgeräte.

Im öffentlichen Raum sind ferner seit 10 Jahren Elektrobusse mit induktiver Ladefunktion an den Haltestellen im Einsatz. Entsprechende Referenzen weisen z. B. Genua und Turin im täglichen Praxisbetrieb auf. Ferner fahren in Neuseeland Panoramabähnchen unter Alltagsbedingungen mit Fahrgästen.

Die ersten EFZ-Flottenversuche berichten bereits Probleme mit Ladesäulen: Vandalismus, Passantensicherheit, Denkmalschutz, Parkflächenbewirtschaftung – sämtliche prognostizierten Komplikationen mit dem Laden per Kabel sind somit bereits bestätigt.

Entscheidend für die Rückspeisung ist die Verfügbarkeit der Fahrzeuge am Netz. Ansonsten kann nicht von einer Regelkapazität zum Ausgleich von Netzschwankungen gesprochen werden. Die bisher abgeschlossenen Flottenversuche von BMW in Berlin und München ergaben aber übereinstimmend, dass die Fahrzeuge nur angeschlossen werden, wenn das Laden tatsächlich erforderlich ist. In der Regel also nach mehreren Tagen. Die kabellose Energieübertragung hingegen kann automatisch zur Verfügung stehen, sowohl für das Laden als auch für die Rückeinspeisung.

Die Akzeptanz für Elektromobilität steht und fällt mit dem Ladekomfort für den Fahrer. Das hat u. a. eine neue Studie von Nissan ergeben. Die Marktstrategen der Automobilhersteller haben es gelernt, die Folgen neuer Technologien vorab selbstkritisch abzuschätzen. So kennt man sehr wohl die Vorbehalte von Kaufinteressenten gegen die langwierige Betankung von Gasfahrzeugen. Oder die Plastikhandschuhe, die kundenfreundliche Tankstellen für die Geruchsvermeidung an den Händen der Dieselfahrer bereitlegen. Man spricht von Akzeptanzhürden. Aus diesen werden dann Markteintrittsbarrieren.

Für den Durchbruch der Elektromobilität zum Massenmarkt ist vor allem hinsichtlich des Ladevorganges noch viel zu tun. Dem kabellosen Laden kommt hier als echter Querschnitts- und Befähigungstechnologie eine Schlüsselrolle zu.

6 ZUKUNFTSAUSSICHTEN UND WEITERER F&E-BEDARF

Das zugrunde liegende Wirkmodell kann für weitere Fragestellungen herangezogen werden. Die Methodik der Begleitforschung kann als wegweisende Alternative zu herkömmlichen Prognosestudien betrachtet werden.

Mit der Begleitforschung sind naturgemäß keine Schutzrechte über das Copyright und die Softwarelizenz hinaus verbunden. Die Verwertung des Szenarienmodells für dynamische Eingaben von Parametern wie z. B. gesetzlichen Rahmenbedingungen erscheint als hochattraktiv.

7 BEITRAG ZU DEN FÖRDERPOLITISCHEN ZIELEN DES BMU

Die wesentlichen wissenschaftlichen Ziele der Begleitforschung zum kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen waren:

- Flankierung der entsprechenden Forschungsprojekte durch die Aufarbeitung grundlegender Fragestellungen,
- Technologiefolgenabschätzung mit Gesamtbilanz für das Indukti-onsladen von Elektrofahrzeugen im Vergleich zum Laden mit Ka-bel und Stecker,
- die Entwicklung und Bereitstellung eines szenarienbasierten Wirkungsmodells.

Mit den erzielten Projektergebnissen wird den Entscheidungsträgern in Politik und Wirtschaft ein Instrument an die Hand gegeben, mit dem sich die Chancen und Auswirkungen des induktiven Ladens in der Elektromobilität abschätzen und gestalten lassen. Das ist ein wesentliches Element der klima- und energiepolitischen Ziel im Verkehrsbereich zur Reduzierung schädlicher Klimagase unter verstärkter Einbeziehung erneuerbarer Energien.

Im Zusammenhang mit dem Projekt wurden 3 Mitarbeiter für 2 Jahre befristet zu jeweils mtl. fest angestellt, ferner eine fest angestellte Teilzeitkraft.

8 METHODIK

Für einen Vorgang wie das Laden mit Kabel und Stecker gibt es keine direkten Referenzwerte. Es müssen zur Abschätzung des Nutzerverhaltens vergleichbare Vorgänge herangezogen werden. Da es sich bei der Elektromobilität um einen Massenmarkt handeln wird und gleichzeitig mehrmals täglich ein disziplinierter Bedienungsablauf erforderlich ist, muss mit den Werkzeugen der Verhaltensforschung und Verhaltenspsychologie eine Näherung zum tatsächlichen Praxisalltag gefunden werden.

Ansonsten besteht die Gefahr, dass dem Verbraucher zu viel zugemutet wird. Beispiele für vergleichbar regelmäßige und zeitaufwändige Routinevorgänge werden identifiziert, auf ihre Parallelen und Abweichungen im Vergleich zum Laden mit Kabel und Stecker untersucht sowie für die Strukturierung nach Modellierungskriterien vorbereitet. Dazu wird ein möglichst breiter Fundus herangezogen (z. B. Haushaltstätigkeiten, Technikumgang im Privatbereich, Disziplinfragen wie Medikamenteneinnahme)

Das induktive Übertragen von Energie ist in vielen Bereichen verbreitet, ohne dass es so wahrgenommen wird, z. B. bei der Ladestation der heimischen Zahnbürste oder dem Induktionskochfeld. Im Industriebereich hat sich die kabellose Energieübertragung seit Jahren etabliert, beispielsweise in der Intralogistik bei Schweißrobotern oder Druckwalzenantrieben. Obwohl es in all diesen Feldern Vergleichsmöglichkeiten mit der konduktiven Alternative gibt, hat sich noch keine allgemein anerkannte Betrachtungsweise zu den Vor- und Nachteilen etabliert.

Technologieparameter werden in einer Stoffsammlung zusammengetragen sowie für die Strukturierung nach Modellierungskriterien vorbereitet. Für einen nachvollziehbaren Technologievergleich wird eine Vergleichsplattform unter Strukturierung aller Vergleichsparameter konzipiert, gegengeprüft und in ihrer Methodik gerechtfertigt. Anhand typischer Vergleichsfaktoren wie EMV, Kosten oder Platzbedarf wird die Plattform einer Initialbefüllung unterzogen.

Es wird von vielen Seiten angezweifelt ob Elektromobilität jemals ein Massenmarkt werden kann, solange das umständliche Hantieren mit Kabel und Stecker erforderlich ist. Vielfach wird übersehen, dass der Autofahrer bisher gewohnt ist ein Mal im Monat zu tanken. In Zukunft soll er nun mehrmals täglich, prinzipiell für die Rückspeisung sogar bei jedem Parkvorgang, Kabel und Stecker in die Hand nehmen. Die vor dem Durchbruch stehende Elektromobilität geht beim Endverbraucher vor allem hinsichtlich der Ladepraxis in eine kritische Phase. Vor diesem Hintergrund stellen sich grundlegende Fragen, z. B. zu Marktakzeptanz, Geschäftsmodellen und Verbraucherschutz.

Die ersten Feldversuche mit Elektrofahrzeugen haben weltweit gezeigt, dass der mit Ladesäulen verbundene Eingriff in das Stadtbild und die Parkraumbewirtschaftung nicht unterschätzt werden darf. So gibt es auch noch viele juristische Unschärfen, z. B. zur Haftungsfrage wenn jemand über ein Ladekabel stolpert oder ein defektes Kabel eine Ladesäule außer Betrieb setzt. Viele Fragen zu Bau- und Planungsrecht sowie zum Denkmalschutz sind noch ungeklärt. Ferner ergeben sich Überlegungen zur Gebäudeintegration von Ladepunkten im Rahmen von Fassaden- und Parkplatzsanierungen. Bei all diesen Aspekten bietet das kabellose Laden grundlegend andere Optionen als das kabelgebundene.

8.1 Datenerhebung durch Zuspieler aus verschiedenen Disziplinen

Der Prozess von Stoffsammlung, Stoffstrukturierung und Iteration mit dem Datenmodell läuft bei den Zuspielern methodisch parallel wie oben dargestellt, unterscheidet sich aber von den Inhalten.

8.1.1 Zuspieler Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (IAF)

Zuspiel, Szenarienidentifizierung, Stoffsammlung und –strukturierung, z. B. zu Bedienerabläufen, Ergonomiebeispielen, Zeit- und Kraftaufwand, Automatisierungsvorteilen, Verhaltensforschung, Verbraucherpsychologie, u. a.:

- Verbraucherverhalten bei zyklisch wiederkehrenden Notwendigkeiten wie Datensicherung, Handyaufladen, Kraftstoffbetankung und Serviceintervallen von Fahrzeugen usw.
- empirischen Studien zu Bedieneraufwand beim kabelgestützten Laden hinsichtlich Zeitbedarf für Ladevorgang und Kabelwartung, hinsichtlich Kabelgewicht, Kabelstauraum, Kabelverschmutzung und –vereisung, Kabelwartung

8.1.1.1 Ist kabelloses Laden auf die Flotte hochgerechnet effizienter?

Fragestellungen:

- Kabelloses Laden bedeutet letztendlich automatisiertes Laden. Bei Kabel und Stecker ist der Faktor Mensch entscheidend: Wie sieht die Ergonomiebetrachtung beider Ladetechnologien aus? Mit welchem Nutzerverhalten ist mit Hilfe der vergleichenden Forschung unter Gesichtspunkten der Verbraucherpsychologie zu rechnen?
- Bisher muss der Autofahrer ja durchschnittlich nur einmal im Monat tanken. Nicht so beim Elektroauto. Hier steht das Herumhantieren mit dem Ladekabel und der Bedienvorgang an der Ladesäule nun täglich an. Sogar mehrmals täglich, wenn es nach dem Optimum für die Batterie geht. Eher alle paar Tage ein Mal, wenn man die menschliche Komponente realistisch einbezieht. Wir sind nun einmal lieber untätig und machen es uns gern bequem. Der Akku wird regelmäßig tiefentladen: Welche Folge haben die Ergonomienachteile von Kabel und Stecker für die Regelmäßigkeit des Ladens unter verhaltenspsychologischen Gesichtspunkten? Gibt es hier eine Varianz nach Kulturkreisen zum Besseren oder Schlechteren hin?
- Auf das Tiefentladen folgt gerne das Schnellladen, weil benutzerabhängiges Laden zu sehr vom „Hindernis des Lebens“ (Kant) beeinträchtigt wird. Das Schnellladen jedoch, ist für die Lebenserwartung der Fahrzeugbatterien nicht gut. Je umständlicher der Ladevorgang aber, desto häufiger wird dies vorkommen. Das Induktionsladen ist dagegen typischerweise ein Nebenherladen, ein sogenanntes Gelegenheitsladen. Fachleute sprechen gerne von „Schonladen“, weil Induktionsladen die Batterie schone oder „Erhaltungsladen“, weil sie die Batterielebensdauer erhalte: Entspricht das automatisierte Laden per Induktion mehr dem typischen Lebensalltag mit all seiner Eile und Hetze? Schont das Induktionsladen am Ende auch die Nerven und den Geldbeutel des Verbrauchers angesichts der schon jetzt wahrgenommenen Überforderung in der allgemeinen Lebenswirklichkeit?
- Induktionsladen erlaubt häufigeres, automatisches und fernsteuerbares Laden im batterieschonenden und energieeffizienten Teilladebereich mit hohem Wirkungsgrad. Daher kann das Induktionsladen als regelmäßigeres und somit automatisch flacheres Batterieladen wesentlich zu den Batterielebenszeiten, zur flächendeckenden Verfügbarkeit der Rückeinspeisung, zu niedrigeren Ladeverlusten, zur netzseitigen Steuerbarkeit des Ladens bzw. Entladens und somit zur Gesamtökobilanz sowie Kosteneffizienz der Elektromobilität beitragen. Insgesamt dürfte sich das Induktionsladen folglich auf die Flotte

und den Netzbetrieb hochgerechnet als umweltfreundlicher und für die Gewährträger als wirtschaftlicher gegenüber dem kabelbasierenden Laden erweisen.
- Aufgrund wegfallender Benutzereingriffe erhöht das kabellose Laden die flächendeckende Verfügbarkeit der Rückeinspeisung, die netzseitige Steuerbarkeit des Ladens bzw. Entladens und trägt somit zur Gesamtökobilanz sowie Kosteneffizienz der Elektromobilität bei: Erweist sich das Induktionsladen folglich auf die Flotte und den Netzbetrieb hochgerechnet als umweltfreundlicher und für die Gewährträger als wirtschaftlicher gegenüber dem kabelbasierenden Laden? Wie sieht die Gegenüberstellung aus Sicht der Flotten- und Netzmanager aus? Gibt es Vergleichsmöglichkeiten aus der Anlagentechnik hinsichtlich der Abwägbarkeit von Bedienereingriffen?

8.1.2 Zuspieler ifak e.V. Magdeburg

Zuspiel, Szenarienidentifizierung, Stoffsammlung und –strukturierung, z. B. zu System- und Lebenszyluskosten in Form von Stück-, Installations- und Betriebskosten, insbesondere hinsichtlich Nahfeldkommunikation, EMV, Wirkungsgradvergleich u.a.:

8.1.2.1 Ist Datenmanipulation mit induktiver Nahfeldkommunikation unwahrscheinlicher?

Fragestellungen:
- Die bisherigen Vorschläge für Ladestationen mit Ladekabel laden zum Missbrauch geradezu ein. Die Verwundbarkeit der Fahrzeugelektronik für Hackerangriffe ist der Branche schon lange bewusst. Mit dem Datenaustausch über offene und gängige Protokolle wie zum Beispiel über Handy potenzieren sich Gefahrenspektrum und –wahrscheinlichkeit: Bietet induktive Nahfeldkommunikation einen besseren Schutz vor Datenkriminalität?
- Die streuverlustige, drahtlose Datenübertragung steht sich hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit selbst im Weg. Jeder Sender wird zum Störsender wie anhand der Konflikte zwischen neuen Mobilfunkstandards und Digitalfernsehen aktuell wieder deutlich wurde. Die Reichweite von RFID, Bluetooth und W-LAN bringt eine Störstrahlung im Umkreis von ganzen Parkdecks mit sich: Bietet induktive Nahfeldkommunikation hier eine Perspektive für geringere Interferenzen bei gleichzeitig geringeren Kosten?

8.1.2.2 Ist kabelloses Laden für Infrastruktur- und Mobilitätsanbieter sowie für den Verbraucher günstiger?

Fragestellungen:
- Das automatische Laden erlaubt es aufgrund der der wegfallenden Bedienereingriffe eher, den Rückkanal des Fahrzeuges für die automatische Abrechnung zu nutzen. Zusätzliche Abrechnungsvorgänge seitens des Infrastrukturanbieters mit einzelnen Autofahrern können völlig entfallen. Unprofitable Micropayments (40 Eurocent pro Ladevorgang bei 2 Euro Umsatz) sind nicht mehr notwendig. Diese Zusatzkosten von 20 % werden mit induktiver Nahfeldkommunikation und Abrechnung über den Fahrzeugrückkanal vermieden. Eine gebündelte Abrechnung zwischen Infrastrukturanbieter und Mobilitätsanbieter genügt: Lassen sich dadurch die gesamten Systemkosten der Elektromobilität erheblich senken?
- Ladesäulen und Ladestationen sind mit erheblichen Investitionen verbunden. Induktive Ladeflächen könnten mit wesentlich geringeren Installations- und Betriebsfolgekosten einhergehen. Ist das eine belastbare Aussage?

- Ferner wird beim Laden mit Kabel und Stecker neben der Energieversorgung eine zusätzliche Kommunikationsinfrastruktur benötigt. Diese könnten durch induktive Nahfeldkommunikation und Abrechnung über den Fahrzeugrückkanal weitgehend entfallen: Erlaubt das kabellose Laden vor diesem Hintergrund einen Kostensprung und somit den Durchbruch der Elektromobilität zum Massenmarkt? Oder ist die induktive Nahfeldkommunikation insgesamt doch teurer?

8.1.2.3 Sind Anforderungen an die Elektromagnetische Verträglichkeit erfüllbar?

Fragestellungen

- Die elektromagnetische Verträglichkeit ist genau wie beim heimischen Herd eine Frage der Grenzwerte. Die Übertragung unter dem Fahrzeugboden setzt den Fahrer wahrscheinlich geringeren elektrischen Feldern aus als manche Sitzheizung oder das unter Strom stehende Ladekabel. Mit Aufbau und Geometrie der Spule lässt sich das elektromagnetische Feld extrem begrenzen. Im öffentlichen Nahverkehr gilt die Auflage, dass es im Fahrgastraum quasi nicht messbar sein darf. Und das bei etwa 10 mal höherer Leistung als man jetzt für das Elektroauto vorsieht: Welche Grenzwerte müssen wohl für den neuen Anwendungsfall des induktiven Ladens von Elektrofahrzeugen herangezogen werden?
- Auf der IAA 2009 war bereits zu sehen wie mobile Endgeräte auf einer Induktionsfläche im Armaturenbrett induktiv geladen werden. Ferner kündigen Automobilhersteller kabellose Kommunikation über WLAN innerhalb des Fahrgastraumes an. Haushaltsgerätehersteller sprechen vom induktiven Bügeleisen. Vor diesem Hintergrund rücken die EMV-Aspekte der Induktionsladen von Elektrofahrzeugen in einen neuen Kontext: Bedürfen Regelwerke wie die ICNIRP einer Aktualisierung?
- Die Erfüllung anspruchsvoller EMV-Grenzwerte lässt eine Gefährdung von Gesundheit und Leben durch das induktive Laden als ausgeschlossen erscheinen. Dies kann vom Laden mit Kabel und Stecker zu keinem Zeitpunkt behauptet werden. Zusätzlich erforderliche Absicherungsmaßnahmen treiben die Kosten der Ladesäulen auf das 10fache einer Induktionsladefläche. Schnellladestationen kommen auf das 50fache: Welche Abschirmungs- und EMV-Absicherungsmaßnahmen werden durch das kabellose Laden erforderlich?

8.1.3 Zuspieler Kiefermedia GmbH

Zuspiel, Szenarienidentifizierung, Stoffsammlung und –strukturierung, z. B. zu Verbraucherverhalten, gesellschaftliche Akzeptanz, Geschäftsmodellen, Markt- und Rahmenbedingungen, Verbraucherschutz, Tierweltaspekten - Zusammenfassung, Kommentar:

- Verbraucherverhalten,
- Marktchancen,
- Endverbraucherkosten,
- gesellschaftliche Akzeptanz,
- Geschäftsmodelle,
- Markt- und Rahmenbedingungen,
- Standardisierung und Normierung
- Verbraucherschutz,
- Tierweltaspekte, Tierschutz
- Gesundheitsschutz

Beispeilhaft seien hier einige Fragestellungen aufgezählt, die Kiefermedia zugeordnet werden:

- hochfrequenter Schallabstrahlung im Bereich von 100 bis 400 kHz hinsichtlich Tierwelt, menschlichem Wohlbefinden, angrenzenden Elektronikystemen usw.
- elektromagnetischen Feldern im Bereich von 500 Mykro-Tesla wie bei Hochspannungsleitungen, Zahnbürstenladestation, induktiven Kochfeldern und Bügeleisen, seit Jahren bestehenden Einsatzgebieten der induktiven Laden in Fabrikhallen, Freizeitparks oder im öffentlichen Nahverkehr usw.
- verwandten Normen mit vergleichbaren Grenzwerten wie ICNIRP hinsichtlich Ausnahmeregelungen, Grenzfällen
- der Vorhersehbarkeit von neuen Geschäftsmodellen in Durchbruchphasen von Schlüsseltechnologien wie PCs, Handys, Digitalfotografie, Internet, Kraftwagen, Telefax usw.
- Unfallstatistiken von tödlichen Stromschlägen beim Umgang mit Kabel und Stecker
- Unfallstatistiken zu Stolperfallen und anderen Hindernissen im öffentlichen Raum
- Unfallstatistiken zu Verletzungen von Kindern durch Missbrauch von elektrotechnischen Einrichtungen
- barrierefreien, alten- und behindertengerechten Angeboten für Ladetechnik von Elektrofahrzeugen
- Folgekosten durch Wartungsaufwand von Parksäulen mit Münzeinwurf
- Betriebskosten von elektrotechnischen Einrichtungen in öffentlicher Hand
- Betriebskosten von Ladestationen mit Kabel und Stecker in der Intralogistik, insbesondere in Flughäfen, Golfclubs, Lagerhallen mit batterieelektrischen Staplerflotten
- Serviceintervalle und Wartungsaufwand für Ladekabel in den bisherigen Feldversuchen mit EFZ-Flotten
- medizinischen Studien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Kommunikationsgeräten wie UMTS-Smartphones, Laptops, Headsets und Standards wie Bluetooth, W-Lan, UMTS, Wireless Ethernet usw.
- medizinischen Studien zum Einfluss elektromagnetischer Felder im Bereich von Hochspannungsleitungen, in Schienenfahrzeugen, entlang von Bahnstrecken, rund um Großkraftwerke usw.
- medizinischen Studien zum Einfluss elektromagnetischer Felder in modernen Fahrzeugen, Arbeitsumgebungen wie Küchen mit Induktionsherd, Kliniken
- Komplikationen mit Herzschrittmachern, Hörgeräten, medizinischen Überwachungssensoren in der Nähe von elektromagnetischen Feldern

8.1.3.1 Profitieren Gewährträgerhaftung und Ökobilanz der Batterien von Induktionsladen?

Fragestellungen:

- Batterien von Elektrofahrzeugen haben im Vergleich zu denen von Hybridfahrzeugen nur eine halb so lange Lebensdauer, etwa 5 statt 10 Jahre, da die Ladezyklen mit bisherigen, kabelbasierenden Konzepten wesentlich steiler sind, etwa 90 % Ladetiefe bei Elektrofahrzeugen und etwa 10 % bei Hybridfahrzeugen. Induktionsladen erlaubt häufigeres, automatisches und fernsteuerbares Laden im batterieschonenden und energieeffizienten Teilladebereich mit hohem Wirkungsgrad. Daher kann das Induktionsladen als regelmäßigeres und somit automatisch flacheres Batterieladen wesentlich zu den Batterielebenszeiten beitragen: Sind die häufigeren und flacheren Ladezyklen tatsächlich für die Batterielebensdauer vorteilhaft? Hängt dies von unterschiedlichen Zelltechnologien, Batterieaufbauten oder Batteriemanagementsystemen ab?

- Auffälligerweise sind fast alle Hersteller in den letzten Tagen dazu übergegangen, Batterieladezeiten nur noch bis 80 % der vollen Kapazität anzugeben: Welche Folge haben Abwehrstrategien für die Systemkosten der Elektromobilität, wie z. B. nur die halbe Batteriekapazität zur Verfügung zu stellen (Volt, Ampera), um eben dieses Tiefentladen zu vermeiden?
- Die höhere Batterielebensdauer trägt damit wesentlich zur Nachhaltigkeit der gesamten Elektromobilität bei. Die Schonladen vermeidet viele Komplikationen. Vor allem die in jüngster Zeit öffentlich bekannt gewordenen Probleme mit halbierter Batterieleistung durch Schnellladen: Bringt kabelloses Laden tatsächlich höhere Batteriekapazitäten am Ende des Ladevorganges mit sich?

8.1.3.2 Ermöglicht automatische Induktion erst Rückspeisung als Regelkraftwerk für Erneuerbare Energien

Fragestellungen:

- Der umgekehrte Fall, das Entladen bzw. Rückeinspeisen, stellt sich ähnlich dar. Je flacher der Zyklus, desto haltbarer die Batterie und desto geringer die Verlustleistung: Verkürzen Entladezyklen mit geringer Ladetiefe und –leistung die Lebensdauer der Batterie überhaupt nicht und erlauben somit ein ferngesteuertes Lademanagement zur Netzstabilisierung per Rückeinspeisung?
- Dieses sanfte, regelmäßige Akkutraining kommt dem Geldbeutel des E-Auto-Fahrers in mehrfacher Hinsicht zugute. Dieser lässt sich die Rückeinspeisung in den teuren Spitzenzeiten natürlich vergüten. Eine selbstlernende Software gibt immer nur so viel Strom frei wie aus dem Nutzerprofil, den Bedienereingaben im Auto und den Eingaben der Fernüberwachung hervorgeht. Die US Universität von Delaware hat dazu beträchtliche Beträge von mehreren Dollar pro Tag ermittelt, die der E-Autofahrer so „verdienen“ kann. Voraussetzung sind aber lastvariable Stromtarife und intelligente Stromzähler: Unterstützt das kabellose Laden den Megatrend zu intelligenten Stromnetzen besser als das Laden mit Kabel und Stecker? Forcieren umgekehrt intelligente Netze den Schritt zum kabellosen Laden?
- Laut einer Fraunhofer Prognose werden 2020 nur noch die Hälfte der derzeitigen 44 GW Großkraftwerksleistung gebraucht. Die dezentrale Rückspeisung wird zu einem unverzichtbaren Bestandteil der Versorgungssicherheit werden. Als Ausgleich der Versorgungsschwankung durch Erneuerbare Energien wie Windkraft oder Photovoltaik. Elektroautos werden vom Verband der Elektroingenieure daher als Garant der Netzstabilität betrachtet. Die Planung für den Ausbau der Regelkraftwerke wie Pumpspeicherkraftwerke gilt als unzureichend: Können Elektrofahrzeuge per gesteuertem Entladen tatsächlich wie ein intelligentes, virtuelles, dezentrales Schwarmkraftwerk Regelkapazitäten in ausreichender Menge und Geschwindigkeit zur Verfügung stellen?
- Aus der Elektroflotte wird ein intelligenter Schwarm. 2 Mio. Fahrzeuge, die mit 3,3 kW rückeinspeisen, können 8 GW zur Verfügung stellen, mehr als Deutschland gegenwärtig zum Abfedern von Verbrauchsspitzen benötigt. Damit wäre die bis 2020 benötigte Verdopplung der Regelkapazität abgedeckt und eine wesentliche Voraussetzung für einen höheren Anteil an Erneuerbaren Energien geschaffen. Voraussetzung: Die Fahrzeuge hängen tatsächlich auch immer, wenn sie länger stehen, am Netz. Dies war aber wegen der dafür erforderlichen Bedienereingriffe schon bei den bisherigen Feldversuchen mit hochmotivierten Frühnutzern nicht der Fall: Wie viele Elektrofahrzeuge wären notwendig, um die Lücke für die Regelkapazität bis 2020 zu schließen, wenn die Fahrzeuge nur jede 3. Nacht angehängt werden?

8.1.3.3 Ergeben sich neue Geschäftsmodelle durch ferngesteuertes Laden und Rückspeisen?

Fragestellungen:

- Die Automobilhersteller und Elektromobilitätsanbieter können auf Basis des kabellosen Ladens mit Abrechnung per Fahrzeugrückkanal an der Strombörse in Leipzig als Großein- und Verkäufer von Strom auftreten: Erhöht das den Wettbewerb für die dort etablierten Großkraftwerkbetreiber?
- Negative Strompreise aufgrund volatilen Überangebots Erneuerbarer Energien sichern das Geschäftsmodell der Elektromobilitätsanbieter zusätzlich ab. Elektromobilitätsanbieter werden für Verteilnetzbetreiber zu dezentralen Partnern für die Bereitstellung von Regelkapazität: Verstärkt sich der Wettbewerb auch auf regionaler Ebene durch eine weitgehende Zersplitterung der Geschäftsmodelle und Balkanisierung der Allianzen? Kann im Gegenzug der Endverbraucher vollkommen stromkostenfrei fahren?
- Das Entladen und Wiederaufladen erfolgt nach den Voreinstellungen des Fahrers als selbsttätiger Zyklus: Ist der Bediener mit der Planung seiner Mobilitätsbedürfnisse nicht überfordert? Machen eventuell zu hohe Sicherheitsreserven das gesamte Konzept der Rückeinspeisung irrelevant?
- Am 04.10.09 hat der Strompreis an der Leipziger Börse einen Negativ Rekord von –500 Euro / MWh erreicht. Man bekam also für die abgenommene MWh noch 500 Euro geschenkt. Wenn der Fahrer das Aufladen hauptsächlich in die günstigen Nachtstromzeiten legen kann, dann kann er seinen Kraftstoff mit dem Mehrpreis der Rückeinspeisung bezahlen. Mit der bequemen, vollautomatischen Induktionsladen wird das Szenario einer ausgeglichenen Stromrechnung für Elektroautofahrer denkbar: Kann der Automobilhersteller seine Kunden stromkostenfrei stellen und das Makeln mit dem Strom selbst übernehmen?
- Der Autokunde wird zum Stromkunden. Der Autohersteller zum Energieversorger. Reva steigt in entsprechend in die Ladeinfrastruktur ein. Genau wie Nissan bietet Reva den Fahrern eine zentrale Anlaufstelle, die sich um die Aufladen kümmert. Mit diesem naheliegenden Kundenzugang sind die Großkraftwerkbetreiber weitgehend außen vor. Die Ladeinfrastruktur wird eng verknüpft mit dem Routing zu den Ladestationen und dem Monitoring des Ladezustandes: Ist dieser Weg auch in Deutschland gangbar?
- In den Zukunftsmärkten rund um die Mobilitätsdienstleistungen sieht die Fachwelt zu wenig Engagement der Automobilhersteller. Am Ende dieser Entwicklung steht das Google-Mobil, das Auto als Suchmaschine im realen Raum, das Cockpit als Browser zur Darstellung realer und virtueller Verlinkungen. Die Verlagerung auf völlig neue Elektromobilitätsanbieter zeichnet sich an Invests wie sie z. B. von Intel Capital bereits gezeichnet werden heute schon ab: Welche Geschäftsmodelle ergeben sich für klassische Automobilhersteller im Zeitalter der Elektromobilität insbesondere durch das kabellose Laden?
- „Die Zukunft des Automobilbaus liegt in der Infrastruktur“, lässt sich Ferdinand Piech zitieren. Volkswagen kann mit dem Einstieg in den Blockheizkraftwerkmarkt mehr erreichen als lediglich einen profitablen Stromhandel an der Leipziger Börse. Bisher wird nicht einmal das angestrebt. Einfach nur die Motoren für eine weitere Anwendung verkaufen, genügt um so weniger: Werden die Automobilhersteller eine Konkurrenz für die Energieversorger?
- Für Kunden des VW-Blockheizkraftwerkes kann es bestimmt ein interessantes Paket zusammen mit einem VW-Elektrofahrzeug geben. Vor allem, weil es dem Staat am schwersten fallen wird, den zu Hause erzeugten Strom zusätzlich zu besteuern. Der Eigenverbrauch wird im aktuellen Energieeinspeisegesetz sogar noch am meisten begünstigt. Gleichzeitig entsteht im VW Werk Emden eines der größten Windkrafttwerke,

bei Audi in Ingolstadt eines der größten Blockheizkraftwerke und bei GM in Saragossa eines der größten Photovoltaikkraftwerke: Können die Automobilhersteller den Schritt vom Selbstversorger zum Energieversorger vollziehen und das induktive Laden als Schnittstellentechnologie für den Marktzugang zum Stromkunden nutzen?
- Das per Induktion automatisch für die Rückeinspeisung zur Verfügung stehende Elektrofahrzeug ergänzt die Schwarmintelligenz der dezentralen Blockheizkraftwerke. Jedes Fahrzeug wird ein weiterer Zwischenspeicher für das dezentrale, verzögerungsfreie Lastmanagement: Beschleunigt das Batterysharing den Schritt zum Carsharing und somit die Abkehr von der „My Car is My Castle“-Mentalität?

8.1.3.4 Fördern weltweit einheitliche Voraussetzungen die Verbreitung der Elektromobilität?

Die Induktionsladen bringt weitere Vorteile für die Automobilhersteller. So weichen die eben erst verabschiedete nordamerikanische bzw. japanische und europäische Steckernorm schon wieder von einander ab. Ebenso der französisch-italienische Vorschlag vom deutschen. Obwohl die Normierung praktisch zeitgleich anfing und überall von weltweit tätigen Marktteilnehmern mitgestaltet wurde. Weitere Normen sind aus Asien und Russland zu erwarten.

Der Wirrwarr um die Stecker treibt die Kosten der Hersteller von Fahrzeugen und Ladestationen hoch. Induktion ist dagegen international, die Gesetze der Physik sind überall gleich: Wie hoch ist der Kostenvorteil für die Automobilhersteller aufgrund der weltweit einheitlichen und nicht so hardwareintensiven Ladetechnik?

8.1.4 Zuspieler RWTH Aachen (ISL)

Zuspiel, Szenarienidentifizierung, Stoffsammlung und –strukturierung, z. B. zu
- stadtplanerischen Freiheitsgraden,
- Lebensqualität,
- Sicherheit,
- Vandalismus,
- Parkflächenbewirtschaftung,
- Betriebskostenvergleich,
- Denkmalschutz,
- Gebäudeintegration und –automatisation,
- TGA- und andere Normauflagen,
- Haftungsfragen für öffentliche Betreiber und private „Kabelverleger“ im öffentlichen Parkraum

Unter Gesichtspunkten der Stadtplanung wird eine Vergleichsbasis zwischen kabellosem und kabelgebundenem Laden hergestellt. Dabei werden signifikante Vergleichskriterien identifiziert, so z. B. Aufwand für Verkabelung und Fundamente, Reinigung und Wartung oder die Integration in vorhandene Installationen wie z. B. Straßenlampensäulen, Bezahlautomaten, ehemalige Telefonhäuschen usw.. Weiterhin gehen konkrete Auflagen verschiedener Metropolregionen anhand typischer Ausschreibungsunterlagen und dergleichen in die Stoffsammlung ein. Wie bei den übrigen Zuspielern auch wird der Datenfundus in Abstimmung mit dem Modellierungsteam für szenariengerecht aufbereitet.

- Stoffsammlung, Bestandsaufnahme, Literaturrecherche , Parameter- u. Szenarienidentifizierung
- Erfassung von Szenarien, z. B. aus Rechtssprechung, Verkehrsrecht
- Analyse der Erfolgs- und Misserfolgsfaktoren in den Vergleichsszenarien
- Identifizierung von Parametern für die Szenarienmodellierung in den Vergleichsszenarien

8.1.4.1 **Wirkt das Erscheinungsbild im öffentlichen Raum ohne Kabeldschungel besser?**

Fragestellungen:

- Die Leserbriefspalten werden wohl über Jahre mit Kommentaren zur Ästhetik der Ladesäulen überschwemmt werden. Daher werden die deutlich exponierten Kabel-Ladestationen im Stadtbild auf dieselbe Weise wahrgenommen werden wie Windräder im Landschaftsbild. Säulenwald und Kabeldschungel sind Reizthemen, die der Akzeptanz von Elektrofahrzeugen schaden: Könnte das kabellose Laden der Elektromobilität in diesem Kontext zu mehr gesellschaftlicher Akzeptanz verhelfen?
- Ladesäulen und ihre Verbindung mit Fahrzeugen per Kabel engen den planerischen Freiheitsgrad in vielerlei Hinsicht ein: Welche stadtplanerischen Schlüsselaufgaben lassen sich mit kabellosem Laden besser erfüllen?
- Gibt es baurechtliche Kriterien für die unterschiedlichen Ladetechnologien?
- Gibt es genehmigungsrechtliche Kriterien zu Elektroinstallationen im öffentlichen Raum mit Relevanz für die beiden unterschiedlichen Ladetechnologien?
- Gibt es Statistiken zu Vandalismus, Verschmutzung, Diebstahl für vergleichbare Installationen im städtischen Umfeld?
- Tangieren Ladesäulen den Denkmalschutz?

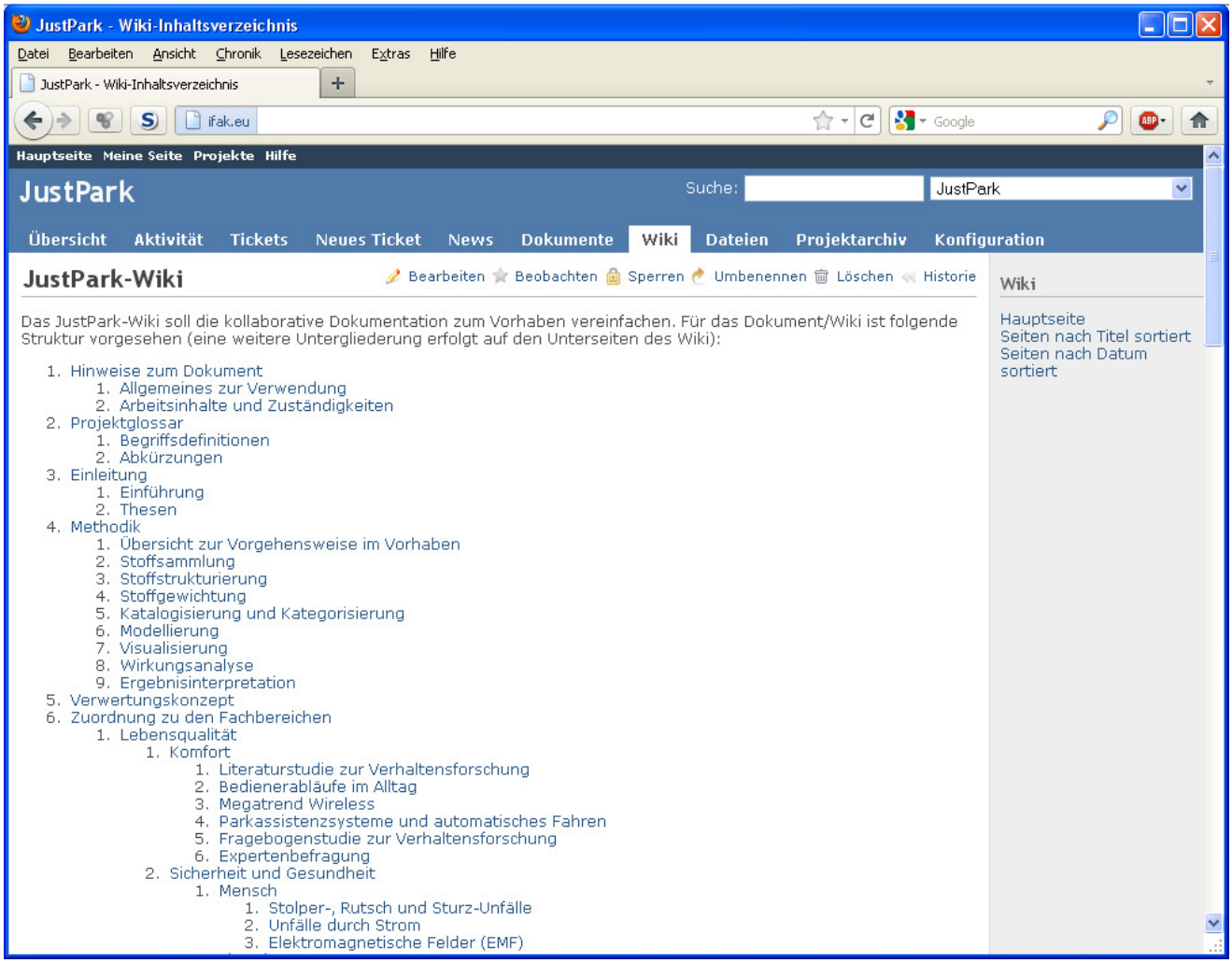
8.2 Kommentierung des Szenarienmodells, Schlussbericht

Eine Reihe von beispielhaften Szenarienmodellierungen wird identifiziert und kommentiert. Aspekte der Ladetechnik werden dem Schlusskommentar und Ergebnisbericht zugespielt.

- Identifizieren und parametrieren von hervorzuhebenden Beispielszenarien
- Darstellung der Gewichtungsfaktoren, Hebeleffekte und Multiplikatoren auf Modellebene
- Kommentierung der entsprechend möglichen Schlussfolgerungen, insbesondere des Technologievergleichs
- Einbringung des Technologiekommentars in die Schlussredaktion

8.3 Das JustPark-Wiki

Die umfangreichen Recherchearbeiten in der Projektbearbeitung und die damit entstandenen Ergebnisse erforderten die Verwendung einer Wissensplattform, die eine einfache Darstellung der Ergebnisse und zugleich eine Vereinfachung der kollaborativen Dokumentation ermöglichte. Auf der Basis eines Wiki (Hypertext-System für Webseiten) wurde das JustPark-Wiki entworfen, in dem Rechercheergebnisse, Dokumente, Daten usw. sowie Schlussfolgerungen, Wirkzusammenhänge (Kausalketten) für die Modellierung enthalten sind. Es wurde mit einer projektbezogenen Struktur versehen und ist technisch derzeit auf einem Projektserver am ifak installiert. Neben der Unterstützung der Projektarbeit soll das JustPark-Wiki auch für weiterführende Projekte zur Verfügung stehen. Weiterhin ist es denkbar, das Wiki als öffentliche Wissensplattform auszubauen.



Tab. 78: Ansicht des JustPark-Wiki

8.4 Das JustPark Szenarienmodell

8.4.1 Ausgangslage und Zielstellung

Wesentliches inhaltliches Ziel des Projektes JustPark war eine Technologiefolgenabschätzung auf Grundlage einer Gesamtbilanz für das induktive Laden von Elektrofahrzeugen im Vergleich zum Laden mit Kabel und Stecker (konduktives Laden).

Dazu sollte, neben der fachlich-wissenschaftlichen Begleitung der anderen Forschungsvorhaben und der systematischen Sammlung und Aufbereitung von Expertenwissen auch ein Szenarienmodell entwickelt und bereitgestellt werden. Mit diesem Werkzeug sollten die Einflussfaktoren der Technologiefolgen transparent werden - auch in ihrer möglichen komplexen wechselseitigen Abhängigkeit.

In Bezug auf Elektromobilität und insbesondere auf die Ladetechnologien lagen zu diesem komplexen Wirkungsgefüge häufig nur Fragmente vor. Ebenso waren die umfängliche Kenntnis und eine systematisch strukturierte Abbildung der Haupteinflüsse und vor allem der Wechselwirkungen bisher noch nicht gegeben. Insofern war es vor Projektbeginn schwierig, fundierte Aussagen über die (Wechsel-)Wirkung möglicher zukünftiger Konstellationen der Haupteinflussfaktoren zu treffen.

Das entwickelte Szenarienmodell soll Fachleuten und Entscheidungsträgern in Wirtschaft, Wissenschaft und Politik ein konkretes Instrument für wissensbasierte Entscheidungen an die Hand geben, mit dem sich die Chancen und Auswirkungen des induktiven Ladens abschätzen und so nachfolgend besser und gezielter gestalten lassen. Es macht notwendige Weichenstellungen deutlich, in ihrem Wirkzusammenhang transparent und in ihrer Priorisierung nachvollziehbar.

In Bezug auf mögliche Erwartungshaltungen an das Szenarienmodell ist die Erkenntnis wichtig, dass die Modellierung selbst die reale Welt nicht vollständig erklären kann oder soll und insbesondere keine Prognosen über die Wirkungen und Folgen von technologischen Entwicklungen oder politischen Entscheidungen abgibt.

Sie kann aber durch die systematische und klar strukturierte Darstellung der quantitativen und qualitativen Beziehungen und Wechselwirkungen der Haupteinflussgrößen im Vorhaben begleitend den Erkenntnisgewinn befördern, die Bewertung der Ergebnisse durch die Experten vereinfachen und durch die geeignete grafische Darstellung die Vermittlung der komplexen Inhalte an Dritte vereinfachen.

8.4.2 Literaturrecherche, Stand der Wissenschaft und Technik

8.4.2.1 Bestandsaufnahme vorhandener Szenarienmodelle und Studien

Im Rahmen der Literaturrecherche wurde eine erste Bestandsaufnahme bereits existierender Szenarien- und Wirkungsmodelle durchgeführt. Die im Nachfolgenden aufgelisteten Modelle und Studien stellen dabei teilweise Szenarien über die Entwicklung der Verkehrssituation für mehrere Jahrzehnte in der Zukunft dar.

Modell / Studie	Beschreibung
ASTRA	Assessment of Transport Strategies, Systemdynamik-Modell zur integrierten Bewertung von langfristigen Politikstrategien, Fraunhofer Institut System und Innovationsforschung (ISI), 07.06.2008
E-MOBILITY 2025	Szenarien für die Region Berlin bis 2025, Technische Universität Berlin, September 2010
iTREN-2030	Integrated transport and energy baseline until 2030, Fraunhofer Institut System und Innovationsforschung (ISI), 30.04.2009
Masterplan Mobilität	Prognoseszenarien bis 2020/25 - Sitzung des Ausschusses für Stadtentwicklung und Umwelt, Stadt Osnabrück, 28.08.2008
Mobilitätsentwicklung - Traffic and Mobility Planning GmbH	Szenarien der Mobilitätsentwicklung unter Berücksichtigung von Siedlungsstrukturen bis 2050, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 31.05.2006
NGT	Next Generation Train/Life Cycle Costing Model, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), 2010
POLES Model	Prospective Outlook on Long-term Energy Systems - A World Energy Model, Enerdata Services, 09.02.2006
Shell Pkw-Studie	Shell Pkw-Szenarien für Deutschland bis 2030 - Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Auto-Mobilität, Shell Deutschland Oil GmbH, 2009
SiTel	Sicherheitsverbesserungen durch telematische Anwendungen im Straßenverkehr, Institut für Automation und Kommunikation e. V. Magdeburg, März 2007
Szenarienuntersuchung VEP Kiel 2020	Szenarienuntersuchung und Wirkungsanalyse im Zuge der Verkehrsentwicklungsplanung der Landeshauptstadt Kiel, Institut für Verkehrsplanung und Logistik der TU Hamburg-Harburg, 28.02.2007
TenConnect	Traffic flow: Scenario, Traffic Forecast and Analysis of Traffic, Tetraplan A/S Copenhagen/Denmark, Dezember 2009
TRANS-TOOLS	TOOLS for TRansport Forecasting ANd Scenario testing, European Commission Joint Research Centre's Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), 30.09.2006
TREMOVE	economic transport and emissions model, Transport and Mobility Leuven, 14.12.2007
VECTOR21	Vehicle Technologies Scenario Model until 2030, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), 2010
Zukunftsszenarien 2030	Zukunftsszenarien 2030 für Mobilität und Verkehr, Institut für Mobilität und Verkehr der Technischen Universität Kaiserslautern, 19.11.2004

Tab. 79: Alphabetische Auflistung der analysierten Szenarienmodelle (ifak)

Die aufgeführten Szenarienmodelle bieten hierbei interessante Modellierungsansätze bzw. Herangehensweisen, welche sich für die Erstellung eines Wirkungsmodells bezüglich des induktiven Ladens von Elektrofahrzeugen als nützlich erweisen könnten. Im Folgenden wird ein kurzer Blick auf einige ausgewählte Szenarienmodelle bzw. Studien aus der Tabelle geworfen.

8.4.2.2 Kurze Beschreibung ausgewählter Modelle bzw. Studien

8.4.2.2.1 VECTOR21

Ziel des Projektes VECTOR21 war die

Bewertung einzelner Technologien im Gesamtkontext einer PKW-Fahrzeugflotte und seiner Rahmenbedingungen,

Berechnung zeitlicher Entwicklung von Technologien und Kosten bei steigenden Produktionszahlen,

Darstellung von Marktanteilen verschiedener Fahrzeugantriebe mit Szenarien bis 2030.

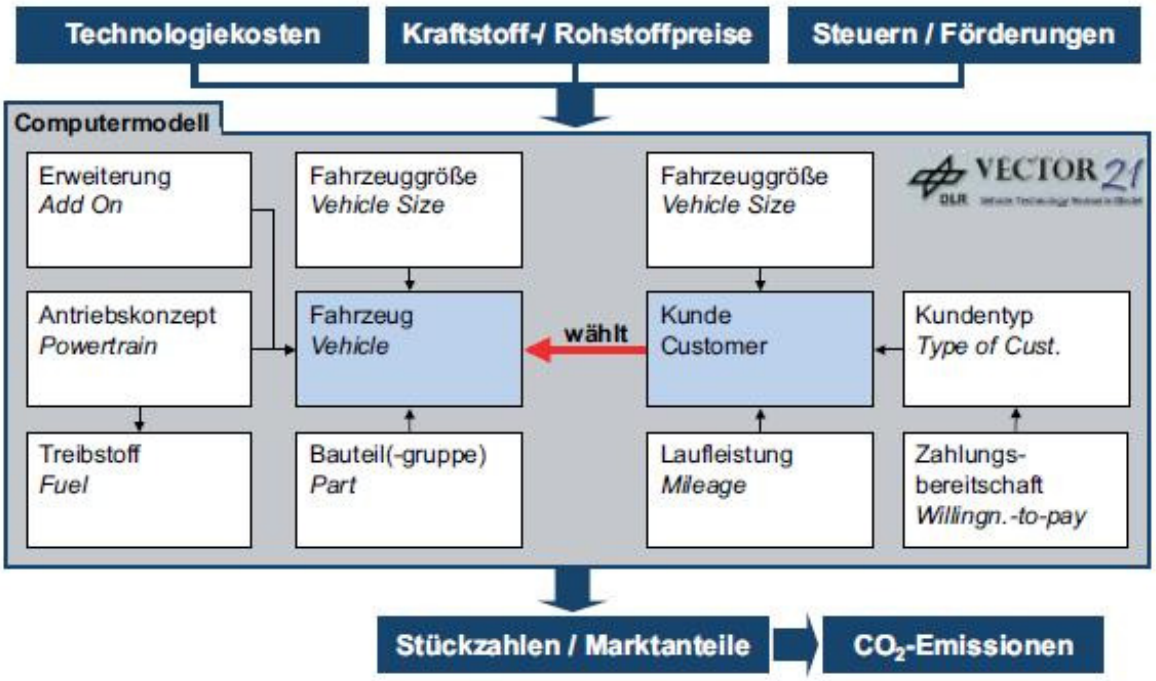


Abb. 94: Schematische Darstellung des VECTOR21-Modells (Quelle: VECTOR21, DLR)

Das entwickelte Modell besteht aus drei Hauptkomponenten:

- Nachfrager: verschiedene Kundengruppen mit deren Verhalten
- Technik-Angebot (Konzepte): angebotene Fahrzeugtechnologien, deren Potentiale, Verkaufspreise, laufende Kosten
- Exogene Einflussfaktoren:
  i. Politik → Steuern, Subventionen, Ver- und Gebote (CO_2-Ziele), Energiepreisentwicklung, Verfügbarkeit von Infrastruktur
  ii. Kundenverhalten (Anforderungen an das Fahrzeug)
  iii. Kraftstoffkosten

Der VECTOR21-Modell-Code wurde in PL/SQL verfasst, läuft auf dedizierten Oracle Servern und ist über eine Weboberfläche dezentral nutzbar.

8.4.2.2.2 iTren-2030

Das Modell iTrenn-2030 besteht aus den Teilmodellen TRANSTOOLS, TREMOVE, POLES und ASTRA. Ziel ist es, die Konsistenz der Teilmodelle herzustellen und Synergien der Teilmodelle durch Nutzung derer individuellen Stärken verfügbar zu machen.

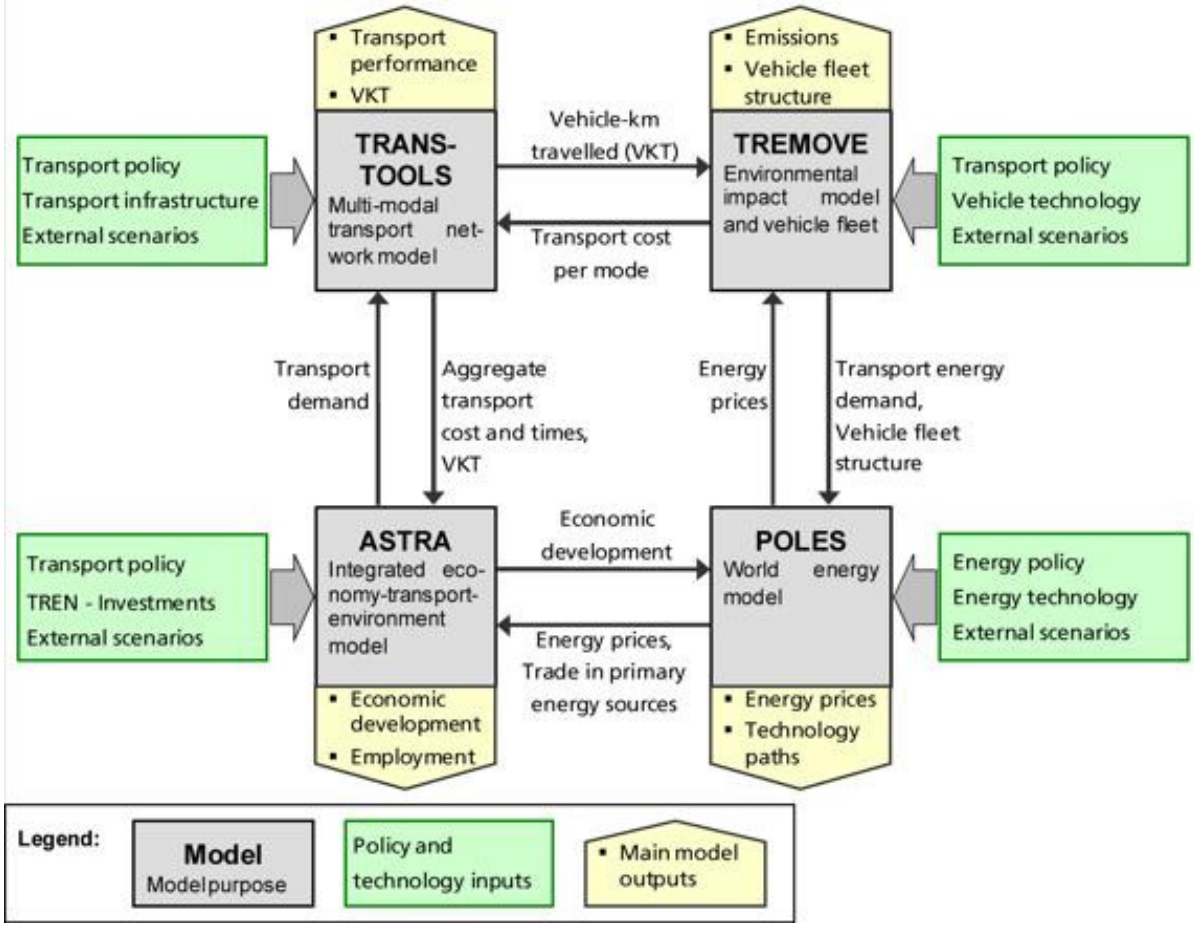


Abb. 95: Schematische Darstellung des iTren2030-Modells (iTren-2030)

Resultat ist eine für politische Entscheidungsträger leichtere Analyse eines breiten Spektrums von quantitativen Maßnahmen und Indikatoren in verschiedenen Bereichen, z. B.:

- Verkehr: Gesamtvolumen von Personen-und Güterverkehr
- Technologie: Anteil der innovativen Fahrzeuge der Flotte
- Energie: Gesamtverbrauch fossiler Brennstoffe im Verkehrssektor
- Umwelt: Gesamt-Schadstoffemissionen, Gesamt-Treibhausgasemissionen
- Wirtschaft: BIP-Wachstum, Beschäftigung

8.4.2.2.3 E-MOBILITY 2025

In der Studie E-MOBILITY 2025 wurde das Nutzungsverhalten von Elektrofahrzeugen heute und im Jahr 2025 im Ballungsraum Berlin analysiert. Weiterhin wurden erste Langfristabschätzungen der Einflüsse und Auswirkungen der Elektromobilität vorgenommen.

Ziel der Analyse war die Ableitung robuster Strategien für die Durchsetzung zukunftsfähiger und markttauglicher E-Mobility-Konzepte. Hierzu wurden die drei, in der folgenden Tabelle aufgeführten Szenarien beschrieben:

	Szenario 01: IT-CAR-Elektromobilität	Szenario 02: E-Mikromobilität	Szenario 03: Katalysator Wirtschaftsverkehr
Mobilitätsverhalten	Unveränderte Präferenz des MIV	Inter- und multimodale Mobilität	Wirtschaftsverkehr als Vorreiter der E-Mobilität
	Vermehrt auch anlassbezogene Wahl des Verkehrsträgers	Nutzung vielfältiger Mobilitäts-dienstleistungen	Dienstleistungs-metropole Berlin: signifikanter Anteil des Personenwirtschaftsverkehrs
	E-Cars als Statussymbole der Öko-Prominenz		
Fahrzeuge	Anhaltende Dominanz (optimierter) Verbrenner-Fahrzeuge	Große Vielfalt an Klein- und Kleinstfahrzeugen mit Batterieantrieb: vom Pedelec bis zum E-Car	Breite Palette von E-Nutzfahrzeugen: von Segways für Ordnungskräfte bis zu Kleintransportern
	E-Sportwagen und E-Limousinen mit Range-Extender	Kombination von E-Vehikeln + ÖPNV	Privatverkehr: Trend zum Klein- und Kleinstwagen
	E-Pkw als Zweitwagen	Neben (optimierten) Verbrennern auch immer mehr Hybrid-Fahrzeuge	Busse und Lkw mit Hybrid- oder H2-Brennstoffzellen-Antrieb
Ladestationen-infrastruktur	Laden zu Hause oder auf dem reservierten Firmenparkplatz	Ladezonen im öffentlichen Raum: Park, Ride and Charge an Bahn-höfen, Einkaufszentren etc.	Laden überwiegend nachts auf Betriebshöfen und Firmengeländen
	Vereinzelt Ladestationen im öffentlichen Raum	An öffentlichen und gewerblichen Ladestationen ausschließlich regenerativ erzeugter Strom	Vehicle-2-Grid-Tarife für gewerbliche Flotten
Dominierende Marktakteure und Geschäftsmodelle	Automobilhersteller als Marktintegratoren	Kooperationen von Automobilherstellern, Energieversorgern und IT-Dienstleistern	Automobilhersteller als Markt-integratoren
	E-Mobilität fast ausschließlich im Premiumsegment	Extensivierung der Wertschöpfung durch neue Mobilitätsdienstleistungen	Leasing-Modelle mit integriertem Strompaket und einer Vielzahl an optionalen Services
Förderung und Regulierung	Keine Ausweitung der Förderung der Elektromobilität gegenüber heute	Integrierte und systemische Förderung	Staat als Nachfragemotor: Elektrifizierung öffentlicher Fuhrparks
	Fortschreibung der Umweltregulierung	Verschärfung der Umweltregulierung	Verschärfung der Umweltregulierung und Auflagen in der Siedlungspolitik
	Keine Parkraum- und andere Privilegien für CO_2-freie Fahrzeuge	Privilegien für CO_2-freie Fahrzeuge in Bezug auf Parkraum, City-Maut und Vorrangspuren	Privilegien für CO_2-freie Fahrzeuge in Bezug auf Parkraum, City-Maut und Vorrangspuren und Besteuerung

Tab. 80: Gegenüberstellung der Szenarien (ifak)

8.4.2.2.4 Shell Pkw-Studie

Die Shell-Pkw-Studie hat die möglichen Folgen des demografischen Wandels für die künftige Automobilität in Deutschland erforscht.

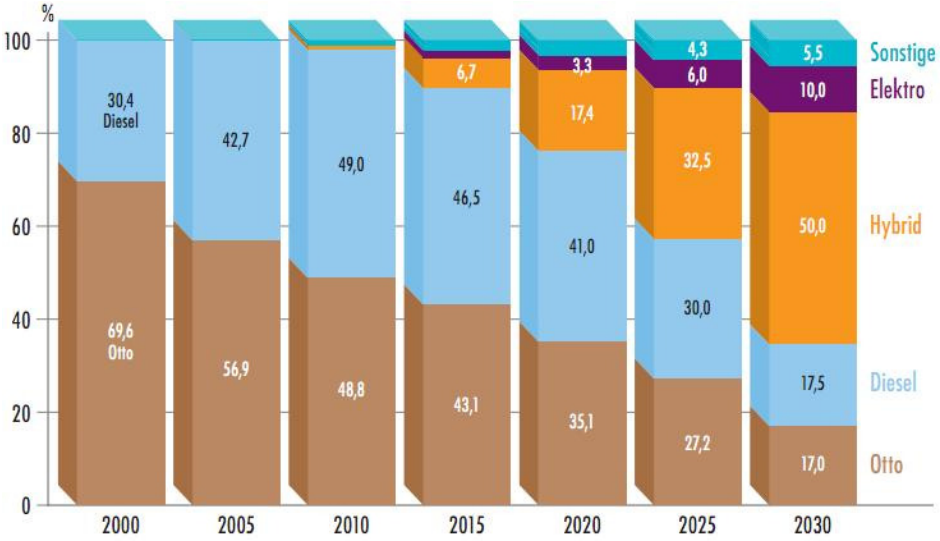


Abb. 96: Neuzulassungen nach Antriebsarten im Alternativ-Szenario (Shell-Pkw-Studie)

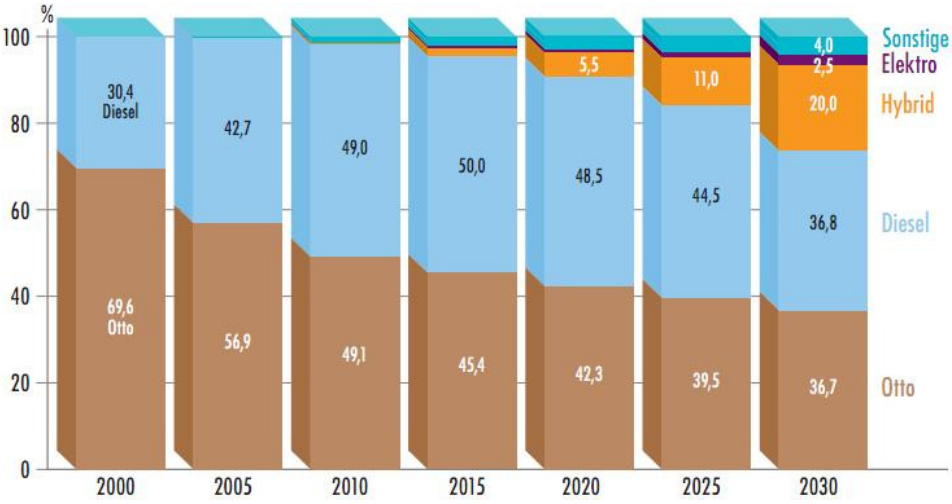


Abb. 97: Neuzulassungen nach Antriebsarten im Trend-Szenario (Shell-Pkw-Studie)

Anhand der beiden Mobilitätsszenarien

- Alternativ-Szenario
- Trend-Szenario

wurde erforscht, wie nachhaltig sich Automobilität in Deutschland in den kommenden Jahren (gemessen an Energieverbrauch und CO_2-Emissionen) entwickeln wird. Hierzu wurden u. a. die Neuzulassungen von Fahrzeugen, unterschieden nach Antriebsarten, einander gegenübergestellt (Ergebnisse siehe Abbildungen).

8.4.3 Anforderungen an das Modell

8.4.3.1 Einführung

Im Rahmen der Anforderungsanalyse (Lastenheft) wurden alle an das zu entwickelnde Modell verbindlich gestellten Anforderungen erfasst und dokumentiert. Mit den Anforderungen wurden die Rahmenbedingungen für die nachfolgende Implementierung des Szenarienmodells festgelegt, die dann in der Gesamtsystemspezifikation (Pflichtenheft) detailliert ausgestaltet werden.

Kern der Anforderungsanalyse ist die Ermittlung der funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen an das Modell sowie eine Skizze des Gesamtsystementwurfs. Der Entwurf berücksichtigt dabei die zukünftige Umgebung und Infrastruktur, in der das Modell später betrieben werden soll und gibt erste Richtlinien für Technologie- bzw. Plattformentscheidungen vor.

Die funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen dienten nicht nur als Vorgaben für die Entwicklung, sondern sind zusätzlich Grundlage der Anforderungsverfolgung und des Änderungsmanagements. Nachfolgend sind die wichtigsten funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen an das Modell stichpunktartig aufgeführt.

8.4.3.2 Funktionale Anforderungen an das Modell

Das Modell erlaubt es:

- quantitative Ursache-Wirkung-Zusammenhänge abzubilden;
- die Ursache-Wirkung-Zusammenhänge zu quantifizieren;
- sämtliche Zusammenhänge im zweidimensionalen Raum darzustellen (vgl. Blockdiagramme, vgl. Kausalkette, Kardinalität);
- die Dokumentation zu unterstützen, indem geltende Bedingungen und Einschränkungen im Modell hinterlegt werden können (sowohl in Bezug auf quantitative als auch qualitative Zusammenhänge);
- vordefinierte Szenarien mitsamt ihrer jeweiligen Belegung der Eingabegrößen der quantitativen Bewertung zu unterziehen;
- das Simulationsergebnis zu visualisieren und hierbei die verschiedenen Sichten z. B. aus Perspektive der Stakeholder in Form von Cockpits bereitzustellen;
- in Form von im Modell in quantitativer Hinsicht statisch hinterlegter und auf Basis gruppenspezifischer Entscheidungen in Abhängigkeit vom Abstraktionslevel festgelegter Einflussgrößen eine Änderung der Schlüsselgrößen innerhalb der Cockpits ermöglichen, wobei die Belegung dieser Schlüsselgrößen innerhalb des Betrachtungsraums in der Szenarienanalyse liegen müssen
- dem Endnutzer/Entscheidungsträger als Werkzeug für das Nachvollziehen der Szenarienanalyse zu dienen und dabei basierend auf den Einstellmöglichkeiten je Sicht/Cockpit auch eigene Auswertungen vorzunehmen und
- das Ergebnis (Simulationsergebnis in Form von Ausgabegrößen) für die Ergebnisinterpretation zu speichern/zu exportieren.

8.4.3.3 Nichtfunktionale Anforderungen

An das Modell wurden außerdem die Anforderungen gestellt:

1) Zuverlässigkeit:
   a) das Modell soll frei von Widersprüchen sein, die eine korrekte Ausführung der Simulation im Sinne der Szenarienanalyse verhindern;
   b) die Zuverlässigkeit des Modells soll ebenso hoch sein, wie die der Modellierungssoftware;
   c) die Modellierung erfolgt in atomaren Schritten, so dass in Fehlerfall in kleinen Schritten auf das letzte funktionstüchtige Modell zurückgegriffen werden kann;
2) Benutzbarkeit (Verständlichkeit, Erlernbarkeit, Bedienbarkeit)
   a) das Modell unterstützt durch geeignete Symbole den eigentlichen Informationsgehalt auch in komplexen Zusammenhängen;
   b) Farben und Formen werden zu Abgrenzungszwecken genutzt, um auch für den Endnutzer die Nachvollziehbarkeit zu erleichtern;
3) Leistung und Effizienz:
   a) die technische Abarbeitung einer Szenarienanalyse (also ohne Ergebnisinterpretation) soll in weniger als 10 s durchgeführt werden können;
4) Bedingungen für den Betrieb:
   a) das Modell soll auf einem handelsüblichen PC betrachtet werden können, ohne das zusätzliche Spezial-Software benötigt wird (z. B. basierend auf HTML-Dateien mit einem Browser oder in Form von PDF-Dateien);
   b) die Ausführung der softwaregestützten Szenarienanalyse soll nach Möglichkeit ebenfalls ohne Spezialsoftware möglich sein; sofern eine spezielle Software benötigt wird, soll diese z. B. vom späteren Nutzer und Entscheidungsträger für weniger als 100,- € bezogen werden können (z. B. in Form eines Viewers, der selbst keine Änderung der für den Nutzer statisch hinterlegten qualitativen Zusammenhänge ermöglicht, sehr wohl aber die Ausführung der Szenarienanalyse und ggf. eine Anpassung der gemäß Sichten/Cockpits vordefinierten Schlüsselgröße);
5) Wartbarkeit und Änderbarkeit:
   a) das Modell soll von den Erstellern jederzeit geändert werden können;
   b) eine Änderung des Modells durch den Endnutzer soll bei gegebener Erfordernis ermöglicht werden, grundsätzlich ist dies jedoch nicht vorgesehen;
   c) das Modell beschreibt sich selbst, wodurch die Prüfbarkeit gewährleistet wird;
   d) da die direkt integrierten Dokumentationsmöglichkeiten für das Modell u. a. von den eingesetzten Software-Werkzeugen abhängen ist eine separate Dokumentation anhand einer grafischen Abbildung des Modells erforderlich;
   e) dies gilt ggf. auch für die algorithmische Abbildung der Ursache-Wirkung-Zusammenhänge;
   f) das Modell soll so modular aufgebaut sein, dass Teile der Zusammenhänge atomar betrachtet und verändert werden können;
   g) Änderungen am betrachteten Teil haben dabei keine Auswirkungen auf die Funktionstüchtigkeit anderer Modellteile oder -module, solange die gegenseitige Beeinflussung mit den gleichen Größen und Zusammenhängen wie vor der Änderung erfolgt und der Wertebereich der Größen konstant bleibt;

6) Portierbarkeit und Übertragbarkeit (Anpassbarkeit, Installierbarkeit, Konformität, Austauschbarkeit):
    a) Zielsystem sind herkömmliche PC:

das Modell und die hierfür benötigte Software soll auf Windows-Systemen genutzt werden können;
vorzuziehen ist eine Lösung, die späteren Nutzern/Entscheidungsträgern plattformunabhängig zur Verfügung gestellt werden kann;

    a) die Nutzung des Modells und ggf. die Installation der hierzu benötigten Software soll mit möglichst geringen Rechten durchgeführt werden können, Administrator- oder Root-Rechte werden nicht benötigt;
    b) insbesondere der Export des vollständigen Modells in eine Art Runtime-Version oder die Bereitstellung als Website o. Ä. sind erwünscht;

7) Sicherheitsanforderungen:
    a) das Modell ist z. B. durch Verschlüsselung und/oder ein Passwort vor unbefugtem Zugriff zu schützen (Vertraulichkeit);
    b) das Modell ist z. B. durch Verschlüsselung und/oder ein Passwort vor unautorisierten Änderungen zu schützen (Informationssicherheit, Integrität);
    c) das Modell ist durch Hilfsmittel wie den Projektserver im Nutzerkreis verfügbar zu halten – hierzu ist auch das Passwort bekanntzugeben;
    d) sofern es die Software-Werkzeug zulassen, erhält das Modell/das Passwort eine Gültigkeitsdauer, nach deren Verstreichen die Nutzungsberechtigung erneut zu prüfen ist;
    e) je nach Relevanz werden Nutzungsbedingungen durch Rechtsmittel definiert;

8) Korrektheit:
    a) die algorithmische Abbildung im Modell setzt die einzelnen Kausalitäten fehlerfrei um;
    b) das Modell liefert gemäß der im Vorfeld erarbeiteten Ursache-Wirkung-Zusammenhänge korrekte Ergebnisse;

9) Flexibilität (Unterstützung von Standards):
    a) das Modell lässt sich in standardisierter Form, z. B. in einer zur formalen Beschreibung geeigneten Sprache exportieren und somit mit anderen Softwarewerkzeugen weiterpflegen;
    b) sofern dies nicht gewährleistet werden kann, müssen es die verwendeten Werkzeug erlauben, einen alle Zusammenhänge und Dokumentationsschritte umfassenden Export zu erzeugen, der zumindest manuell z. B. durch Einpflegung in ein anderes Software-Werkzeug auch in anderer Form weiterverwendet werden kann;

10) Skalierbarkeit:
    a) das Modell soll auch für die Weiterentwicklung geeignet sein und insofern keiner Einschränkung bzgl. der Komplexität und der Wiederverwendbarkeit der Modellierungsschritte unterliegen;
    b) dies gilt sowohl für die Erweiterung der Wirkungszusammenhänge in qualitativer Hinsicht als auch quantitative Betrachtungen z. B. in Form zusätzlicher Szenarien;

11) Bedingungen (Constraints):
    a) die Modellierung muss es erlauben, dass ein nutzbares Modell gemäß Projektzeitplan hinreichend frühzeitig zur Verfügung steht:

eines der Kriterien hierfür ist die Erprobungsphase;
ein weiteres Kriterium ist die Möglichkeit zur rechtzeitigen iterativen Verbesserung des Modells;

b) die Modellierung muss mit begrenztem Aufwand möglich sein, so dass auch die zeitlichen Bedingungen erfüllt werden können:

der Aufwand für Änderungen muss vertretbar bleiben, um den Iterationsprozess zu ermöglichen und zu unterstützen;

die Abbildung der in den vorangegangenen Arbeitsschritten (Stoffsammlung, -strukturierung und -gewichtung; Kausalketten und Kardinalitäten soll mit einfachen Übertragungsschritten möglich sein und im Modell möglichst gut nachvollzogen werden können;

12) Aussehen und Handhabung (Look and Feel):
   a) das Aussehen soll in erster Linie die Benutzbarkeit unterstützen;
   b) das Aussehen soll dem Stand der Technik entsprechen;
   c) das Aussehen soll sich an der modernen web-basierten Gestaltung orientieren.

8.4.4 Methodik

8.4.4.1 Überblick

Die nachfolgenden Abschnitte geben eine Einführung in die Begriffswelt der Modellierung und beschreiben das methodische Vorgehen bei der Modellierung der qualitativen und quantitativen Ursache-Wirkung-Zusammenhänge. Weiterhin wird eine kurze Übersicht über mögliche Modellierungsansätze und die hierfür notwendigen, im Projekt verwendeten, Softwarewerkzeuge gegeben.

8.4.4.2 Begriffsdefinitionen

8.4.4.2.1 Eingabegrößen

Bei Eingabegrößen handelt es sich um die Gesamtmenge aller Parameter und darauf aufbauenden Einflussgrößen, alle geltenden Bedingungen sowie zu berücksichtigende Bezugswerte und Konstanten. Letztere werden als solche markiert, wohingegen bei veränderlichen Größen jeweils die Festlegung für deren zeitliche Entwicklung (im Betrachtungszeitraum bzw. ab Bezugszeitpunkt) mit zur Eingabegröße zu zählen ist.

8.4.4.2.2 Parameter

Ein Parameter ist ein elementarer Faktor mit einer (sich zeitlich entwickelnden) Wirkung auf das konduktive oder induktive Laden von Elektrofahrzeugen. Ein Parameter selbst steht nicht in kausaler oder zeitlicher Abhängigkeit von anderen Größen. Die Betrachtung eines Parameters schließt die Betrachtung seiner zeitlichen Entwicklung mit ein (vgl. Abstraktionslevel). Ein Parameter ist eine Erfassungsgröße in der Stoffsammlung.

Im Allgemeinen wird eine Größe zum Parameter, indem sie bei Betrachtung eines Szenarios mit einem konkreten Wert belegt wird. Dies ist jedoch für die Modellierung nicht hinreichend, wenn ein ganzer Zeitraum (Betrachtungszeitraum) betrachtet wird.

Im Sinne einer Ausgabegröße für einen einzelnen diskreten Zeitpunkt (z. B. im Jahr 2015) stellt der aus der eingehenden Größe ermittelte und für diesen diskreten Zeitpunkt relevante Wert einen unveränderlichen Parameter dar. Tatsächlich ist aber zu beachten, dass auch die zeitliche Entwicklung des Wertes eine Rolle spielen kann, beispielsweise weil die konkrete Wertbelegung eines Parameters zu zwei verschiedenen Zeitpunkten ausschlaggebend für den Wert einer Ausgabegröße (z. B. im Jahr 2015) ist.

Im Projektkontext ist es mit Blick auf die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge (Wirkungszusammenhänge) von größerer Bedeutung, eine Unterscheidung anhand nicht gegebener von gegebenen Abhängigkeiten eines Wertes von anderen Größen zu betrachten.

Zu beachten ist weiterhin, dass zwei Parameter durchaus unterschiedliche zeitliche Entwicklungen besitzen können. Beispielsweise kann ein Parameter eine Kostenart sein. Diesen gibt es dann einmal je analysierter Ladetechnologie. Die (später ermittelte) quantitative Wertbelegung kann zu Beginn des Betrachtungszeitraums sogar identisch sein. Dennoch kann diese Wertbelegung für die Parameter zum nächsten betrachteten bzw. in die Untersuchung eingehenden diskreten Zeitpunkt unterschiedlich sein.

Ein wesentlicher Grund hierfür ist trotz gleichartiger Zuordnung innerhalb der jeweiligen Ladetechnologie, dass sich diese an verschiedenen zeitlichen Positionen ihres Auftretens zwischen Aufkommen und Niedergang der jeweiligen Technologie befinden. Insofern könnte die o. g. Kostenart bei einer Ladetechnologie in den Jahren ab Beginn des Betrachtungszeitraums durchaus teurer werden, während bei der anderen Ladetechnologie eine Verbilligung festzustellen wäre. Diese gleichartigen Parameter stehen insofern nicht zwingend in einem festen Verhältnis und müssen ebenso wenig eine konstante Differenz aufweisen.

Außerdem muss es der Wertebereich eines Parameter erlauben, unabhängig von dessen Belegung im Bezugsjahr t0 für einen Zeitpunkt t1 einen Wert anzunehmen, der keinen Einfluss repräsentiert.

8.4.4.2.3 Parametermatrix

Zur Unterstützung der qualitativen Modellierung wurden die Arbeitsergebnisse in Form identifizierter Parameter in einer tabellarischen Zusammenstellung erfasst. Daraus geht hervor, welche Größe tatsächlich als Parameter eingestuft wurde. Darüber hinaus ist zu erkennen, für welche Einflussgröße ein Parameter relevant ist.

Weitere Angaben enthalten die Zuordnung auf einen Expertenbereich, der bei seiner Fundstellenanalyse sowohl qualitative Zusammenhänge als auch mit Blick auf die Quantifizierung konkrete Wertangaben zusammenträgt. Für die Modellierung dient es als Hilfsmittel, auch Angaben über die Dimension (physikalische Einheit, Kostenart etc.) und den Wertebereich eines Parameters aufzuführen.

Sofern hinsichtlich des Wertebereichs auch im Expertenkreis des Projektkonsortiums sowie der Befragten keine sichere Auffassung festzustellen ist, können bereits in der Parametermatrix Hinweise zu einer ersatzweisen Skalierung des Parameters vorgenommen werden. Diese Angaben dienen der Konsistenz des Modells, können aber später vom Nutzer selbst variiert und neu festgelegt werden.

Insofern wird für die Modellierung ersichtlich, dass dieser Parameter ggf. mit neuen Wertetabellen belegt werden müsste. Dadurch wird gleichzeitig frühzeitig daraufhin gewirkt, mit fortschreitender Projektlaufzeit neu hinzugewonnene Erkenntnisse in Form einer Aktualisierung in das Modell zu integrieren.

		Parameterklassifi-kation / Faktoren						Parameteridentifikation					Relevanz für	Stakeholder/ Zielgruppe				Bewertungskategorie												Zuständigkeit			Relevanz für Use Cases					Anmerkungen	
Lfd. Nr.	*Kataloggruppe* / Parameter	Technologie	Wirtschaft	Politik	Soziologie	Ökologie	Exogen	Datentyp	Einheit	initialer Wertebereich (Literatur, Erfahrungswerte) von	bis	initialer Wert (Literatur)	Rel. der Zeit	induktiv	konduktiv	Kunde	OEM	EVU	Politik	Zeitersatz	IT	Folgekosten	Investition	Wesentliche Kosten	Usability	Verfügbarkeit	Zuverlässigkeit	Kompatibilität	Akzeptanz	IT-Sicherheit	Instal. Sicherheit	Kostenmodell	OvGU	ISL	ifak	use case 1.1	use case 1.2	use case 1.3	use case 4.1	use case 4.2	Wechselwirkung mit (lfd. Nr.)	Kommentar
1	Aufwand Kabelentnahme, Steckverbindung, Kabelverstau				x			Int	Min	0	20				x	x									x							x			x	x	x	x	x		
2	Reinigung und Wartung der Kabel														x	x																x			x	x	x	x	x		
3	Bedienung bei Schlechtwetter (Regen, Schnee, Eis)													x	x	x																x			x	x	x	x	x		
4	Kraftaufwand Steckverbindung																															x									
5	Geduldete Mehrkosten für (Aufwandsreduktion) kabellose Ladung (hier fließen die Parameter 1-4 ein)																															x									*(aufnehmen als Mehrpreis eines zusätzlichen Komfortmerkmals, prozentual von einem definierten EFZ-Preis)*
66	Sicherheitsprüfung von Kabel und Stecker	x	x	x				int	EUR/(a*Fz)	0	20			x		x	x						x							x				x			x	x	x	x	x		*Prüfung halbjährlich (Annahme: Ladekabel wird stets im Fahrzeug mitgeführt)*
67	Sicherheitsprüfung der Ladesäule																																		x						
6	verkürzte Batterielebensdauer durch Ladezyklus, Ladestrom	x	x				x	int	%	0	100			x		x	x			x	x		x			x			x					x		x	x	x	x	x		*Wiederanschaffung bei Erreichen der Lebensdauer erforderlich (siehe E3-E5)*
7	Mehrkosten Kompatibilität Ladeeinrichtung (Stecker, Säule, Spule, ...)													x	x																				x		x	x					*Nichtkompatible Ladesäulen in Betrachtung einbeziehen?*
8	Zusatzaufwand Ladevorgang, Bedienung													x	x	x									x	x			x		x					x	x	x	x	x		
9	Verbreitung von Elektrofahrzeugen													x	x	x						x							x		x					x	x	x	x	x		*(siehe 62)*
10	reduzierter Wirkungsgrad durch Kontaktabnutzung													x																						x							*einfach relevant?*
11	Kabelbeschädigung durch Abreißen, Überfahren usw.	x						int	Eur/(a*Fz)	0	?			x		x	x						x			x			x		x				x	x	x	x	x		*Berücksichtigung von Schäden an Ladesäulen?*
12	Versicherung (Stolpergefahr)				x			int	Eur/(a*Fz)	0	?			x		x	x						x			x									x		x	x	x		
13	tarifunabhängiges Bedarfsladen (weil Akku leer wegen herkömml. Ladeverhalten)				x			int	Eur/(a*Fz)	0	?			x		x	x						x			x									x	x	x	x	x		*Zusatzkosten wegen Ladebedarf zu ungünstigerem Tarif (Annahme: bei Industrie ist Akku nie leer)*
14	Sicherheitsprüfung Ladestation (Berührungsschutz, Steckerverriegelung, ...	x		x	x			int	Eur/(a*Ls)					x	x	x		x					x							x					x	x	x	x	x		*hier werden insbesondere Wartungskosten adressiert*
15	Ladestation Steckerverriegelung														x			x																	x							*siehe Zeile 19*
16	Ladestation HMI													x	x			x																	x							*siehe Zeile 19*
17	Ladestation Tarifierung, Abrechnung													x	x			x															x									
18	Ladestation Fehlerstromüberwachung														x			x																	x							*siehe Zeile 19*
19	Ladestation Kompatibilität Stecker														x			x																	x							*Investitionskosten Ladestation*
20	Ladestation Ladekabelerkennung (Querschnitt, Stromstärke)														x			x																	x							*Investitionskosten Ladestation*
21	Ladestation Installation (Fundamentgründung Kipplast)														x			x															x									
22	Ladestation Reinigung														x			x															x	x								
23	Ladestation Vandalismus, Diebstahl														x			x															x									
24	Ladestation Unfall, Kollision														x			x															x									
25	Ladestation Überwachung														x	x		x															x									
26	Ladestation Wiedereinschalten nach Notaus														x	x		x						x							x	x	x									
27	Ladestation Gewährleistung, Schadenersatz														x	x		x															x									
28	Ladestation mangelnde Rückspeisung															x		x															x									
29	Ungesteuertes Laden, Rückspeisen der Fahrzeugflotten															x		x															x									
30	Fahrzeug Kompatibilität Stecker															x		x															x									
31	Fahrzeug Ladevorrichtung (Stecker, Kabel, Elektronik)															x		x															x									
32	Fahrzeug Ladevorrichtung (Sekundärspule, Positionierhilfe, Umrichter...)														x			x																	x							*Investitionskosten Fahrzeug (nur bei Induktiv)*
33	Schutz vor Schmutz, Nässe, Vereisung														x	x		x																	x							
34	Fahrzeug Isolationsüberwachung Steckverbindung															x		x																	x							*Investitions- und Prüfungskosten Fahrzeug (z.B. TÜV)*
35	Fahrzeug Erkennung Ladekabel, Säule, Stromstärke usw.															x		x																	x							*Investitions- und Prüfungskosten Fahrzeug (z.B. TÜV)*
36	Akzeptanz e-Carsharing (Übergabekomplexität)													x	x			x															x									
37	Fahrassistenten, Umfelderkennung (automatisches Ein- und Ausparken)													x				x															x									
38	Gesteuertes Laden und Rückspeisen zur Netzlastglättung													x	x			x											x				x									
39	Fahrzeug Automatisches Laden													x				x							x	x							x									
40	Ladestation Integration in vorhandene Installationen													x	x																				x								
41	Ladestation Installation (Verkabelung)													x	x																				x								
42	Vergleichende Forschung (Baurecht, Stadtplanungstrends, ...)													x	x																				x								
43	Anteil von Innenstädten mit Denkmalschutz in Deutschland, in EU, weltweit														x																				x								
44	Bedeutung von Denkmalschutz in Schlüsselmärkten wie USA oder China														x																				x								
45	Anteil von Innenstädten mit zu schmalen Bürgersteigen in EU, weltweit														x																				x								
46	Anteil von Innenstädten mit Auflagen zu Barrierefreiheit													x	x																				x								
47	Anteil von Innenstädten mit Rückbaumaßnahmen zur Barrierefreiheit (wg. Haftung, damogr. Wandel))														x																				x								
48	Anteil von Innenstädten mit spezifischen Rückbaumaßnahmen zu Pflastersteinen, Telefonzellen, ...														x																				x								
49	Anzahl ähnlicher Haftungsfälle zu Haftungsfrage bei Stolperunfall														x																				x								
50	EMVG (leitungsgeführte und gestrahlte Emission)	x						float	-	0	10	?		x				x		x									x	x						x	x	x	x	x			*Faktor zur Erhöhung/Verringerung der Einmalkosten der ind. Ladestation (=kein Einfluss)*
51	EMVG (niederfrequente Magnetfelder)	x						float	-	0	10			x		x				x									x	x						x	x	x	x	x			*Faktor zur Erhöhung/Verringerung der Einmalkosten der ind. Ladeeinrichtung (1=kein Einfluss)*
52	EMVU (niederfrequente Magnetfelder)			x	x			int	%	0	100			x	x		x									x		x							x	x	x	x				*Akzeptanzfaktor (bei <100% geringere Verbreitung), auch möglliches K.O. Kriterium für ind. Laden*
53	Kommunikation (NFC) zwischen Fahrzeug und Ladestation	x						int	%	0	100			x		x	x	x									x	x	x	x	x				x	x	x	x				*Faktor (bei <100% geringere Verbreitung) (hier nur kabellose Kommunikation betrachtet -> WLAN, RFID, NFC,... Vorteile von NFC technologiebedingt vorhanden)*
54	Systemherstellungsmehrkosten (Ladestation)	x						int	EUR/Ls	-10000	10000			x	x		x		x		x														x	x	x	x	x			*hier nur Mehrkosten gegenüber konduktiv*
55	Systemherstellungsmehrkosten (Fahrzeugmodul)	x						int	EUR/Fz	-10000	10000			x	x		x				x														x	x	x	x	x			*hier nur Mehrkosten gegenüber konduktiv*
56	Systembetriebsmehrkosten (Ladestation)		x					int	EUR/(Ls*a)	-1000	1000			x		x		x		x															x	x	x	x	x			*hier nur Mehrkosten gegenüber konduktiv*
57	Systembetriebsmehrkosten (Fahrzeugmodul)		x					int	EUR/(Fz*a)	-1000	1000			x		x					x		x												x	x	x	x	x			*hier nur Mehrkosten gegenüber konduktiv*
58	FZ-Batterielebensdauer	x	x					int	a	2	5				x	x												x							x	x	x	x	x			*(Betrachtung ausschließlich Bleisäure, LiIon)*
59	FZ-Batterielebensdauer	x	x					int	a	10	20			x		x												x							x	x	x	x	x			*(Betrachtung ausschließlich Bleisäure, LiIon)*
60	höherer Batteriewirkungsgrad bei induktiver Übertragung (gegenüber konduktiver Übertragung)	x						int	%	15	25			x		x												x							x	x	x	x	x			*(Betrachtung ausschließlich Bleisäure, LiIon)*
61	Lebensdauer E-Fahrzeug	x	x					int	a	15	25			x	x	x												x							x	x	x	x	x			
62	Anzahl der betrachteten E-Fahrzeuge (Flottenstärke)		x	x			x	int	Stk.	100000	1 Mio			x	x	x	x	x	x	x								x							x	x	x	x	x			
63	FZ-Batteriekosten (heute)	x						int	EUR / kWh	300		300		x	x	x						x	x													x	x	x	x	x			*Wie definiert man Funktionen der Zeit?*
64	FZ-Batteriekosten (Massenproduktion)	x						int	EUR / kWh	50	300	50		x	x	x						x	x													x	x	x	x	x			*Wie definiert man Funktionen der Zeit?*
65	geringerer Übertragungswirkungsgrad bei induktiver Übertragung (gegenüber konduktive Übertragung)	x						int	%	8	15			x		x							x												x	x	x	x	x			*Verbindung zu: kWh-Verbrauch, Mehrkosten pro Jahr*

Tab. 81: Parametermatrix (ifak)

Da die Parametermatrix bereits sehr früh im Projektverlauf zusammengestellt wurde, wurden teilweise Angaben aufgenommen, die zur methodischen Sichtweise der jeweiligen Fachexperten zählen, die aber mit einer Unsicherheit bzgl. der Wirkungsentfaltung versehen sind. Erst die spätere Stoffstrukturierung lies es zu, diese Unsicherheiten im Modell durch konkrete Wirkungen zu beseitigen.

Zu den Angaben zählen Aussagen darüber, wie ein konkreter Parameterwert interpretiert werden kann, wenn sich dessen Wirkung also vernachlässigbar gering erweist. Dies ist vor allem Im Hinblick auf die Relevanz eines Parameters für eine Einflussgröße von Bedeutung – umso mehr, wenn mehrere Parameter erst im Zusammenspiel eine Einflussgröße ergeben.

Nachfolgend soll ein Beispiel diesen Zusammenhang kurz illustrieren:
Die eingehenden Parameter a und b könnten Einfluss auf eine Menge auszugebender Größen (m, n, o) haben. Wenn zum Zeitpunkt t25 (2025) a=5 und b=5 werden, ist ihre Differenz 0, das Verhältnis 1. Das Modell weiß das und würde die Differenz entsprechend summarisch und das Verhältnis multiplikatorisch berücksichtigen.

Wenn nur die Ausgabegröße m von der Differenz und die Ausgabegröße o vom Verhältnis abhängt, ergäbe sich zu diesem Zeitpunkt kein Einfluss der Differenz/des Verhältnisses. Dennoch kann es sich hierbei einen Unterschied zum Bezugsjahr t10=2010 handeln, da zu diesem Zeitpunkt eine andere Differenz/ein anderes Verhältnis vorgelegen haben könnte.

Wenn nun die Ausgabegröße n lediglich von der eingehenden Größe a abhängt, könnte diese unbenommen von der Differenz zwischen a und b=0 und dem Verhältnis aus a und b=1 einen besonders großen, einen typischen, einen niedrigeren oder ggf. im Gegensatz zu m oder o einen identischen Wert wie im Bezugsjahr annehmen.

8.4.4.2.4 Einflussgröße

Eine Einflussgröße kann einen oder mehrere Parameter zu einer in der Modellierung verwendbaren Eingangsgröße zusammenfassen. Die Festlegung von Einflussgrößen erfolgt gemäß Abstraktionslevel in Form einer gruppenspezifischen, dokumentierten Entscheidung. Die Wirkungszusammenhänge der Parameter auf die übergeordnete Einflussgröße können und sollen qualitativ beschrieben werden.

Ein Parameter soll nur dann in die einer Einflussgröße zugrunde liegenden Wirkungszusammenhänge integriert werden, wenn keine Wirkungen auf eine andere Einflussgröße berücksichtigt werden müssen (in der Modellierung wäre die Integration in mehreren Instanzen denkbar, dies soll aus Gründen der Nachvollziehbarkeit jedoch zunächst vermieden werden).

Voraussetzung für die Definition von Einflussgrößen ist die Identifikation von Parametern und eine Einschätzung zu deren Eigenschaften sowie zu den Wirkungen auf andere Zwischen- oder Ausgabegrößen (im Sinne Kausalkette). Gedankenstütze und Erfassungsmedium für die Parameteridentifikation ist die Parametermatrix.

8.4.4.2.5 Abstraktionslevel

Im Hinblick auf die Abbildung (eines Teils) der Realität in einem Modell muss berücksichtigt werden, dass bewusst oder unbewusst ein Abstraktionslevel für den Detailgrad des Modells gewählt wird. Dies wirkt sich (vor dem Hintergrund der zentralen Fragestellung nach den maßgebenden Wirkungszusammenhängen) zunächst ausschließlich auf die Eingabegrößen aus.

Hintergrund sind zwei Aspekte:

13) Die These, dass sich für nahezu jeden Parameter bei genauer Detailanalyse doch eine geltende Bedingung oder eine Abhängigkeit von einer anderen Größe ergibt, deren detaillierte Aufarbeitung den Aspekt der Hauptfragestellungen in den Hintergrund rücken könnte.
    Abstraktes Beispiel:
    Man könnte durchaus darüber diskutieren, ob bspw. die variierende Sonnenaktivität (Strahlungsintensität) Einfluss auf die Energiepreise hat oder haben wird. Für die Betrachtung des induktiven und des konduktiven Ladens könnte das relevant werden, weil mit größerer Ladedauer prinzipiell mehr Energie benötigt wird, um die gleiche Energiemenge in gespeicherter Form zur Verfügung zu stellen. Insofern könnte die Sonnenaktivität als Parameter betrachtet werden. Zur Verfolgung der eigentlichen Fra-gestellungen im Projekt könnte die abstrahierte Einflussgröße Energiepreis also hinrei-chend sein. Diese Einflussgröße kann nun von einer Vielzahl an grundlegenden Para-meter wie dem restlichen Erdölvorkommen, der Entwicklung von dessen Verbrauch, der Ausbruchswahrscheinlichkeit von Kriegen etc. abhängig sein.
    Ebenso kann sich im Projektverlauf eine vermeintlich hinreichende Einflussgröße als untauglich erweisen und muss entweder in mehrere Einflussgrößen oder sogar die zugrundeliegenden Parameter zerlegt werden.
14) Die These, dass sich für die in einer Einflussgröße zusammengefasste Parameter ein-facher hinreichend belastbare Quellen finden lassen, da es sich bei der Elektromobilität insgesamt und insbesondere bei dem induktiven Laden um neue Themen handelt.
    Inwieweit abstrahiert wird, ist grundsätzlich in der Diskussion mit den Experten und auch in Abhängigkeit von der Fakten- und Datenlage festzustellen und zu dokumentieren. Zunächst sind unabhängig von der konkreten algorithmischen Modellierung sämtliche Parameter und die mit ihnen bestehenden Kausalketten zu benennen (Parametermatrix).

Dadurch kann zumindest im qualitativen Bereich die Wirkung dieser Parameter benannt werden. Erst dadurch wird es möglich, im anschließenden Diskussionsprozess die Abstraktion zur Einflussgröße vorzunehmen, für die dann gleichfalls eine Quantifizierung erfolgt.

8.4.4.2.6 Diskussion absoluter und relativer Größen in Bezug auf den Abstraktionslevel

Eine relative Größe (Einflussgröße) benötigt mehrere andere (absolute) Größen (Parameter), um beschrieben zu werden. Das ist wichtig, weil die Fundstellen nicht immer die aufbereitete Differenz und/oder das gewünschte Verhältnis zwischen zwei einzelnen Parametern liefern.

Ausgangspunkt der damit verbundenen Diskussion ist die Verwendung der Parametermatrix zur Aufnahme zusätzlicher Angaben wie dem Wertebereich. Hierbei kommen in Frage:

- absolute Kosten
- Mehr- bzw. Minderkosten

- relative Kosten

Die absoluten Kosten stellen eine Einflussgröße dar, die für sich betrachtet werden kann. Es sei angenommen, dass es keine Wechselwirkung/Abhängigkeit mit anderen Einflussgrößen (gleiche Detailebene) gibt. Tatsächlich wird es für diese Einflussgröße selbst aber auch Faktoren geben, von denen sie abhängt.

Deshalb sei weiter angenommen, dass die Entwicklung dieser Faktoren unabhängig von anderen Faktoren oder sogar Einflussgrößen ist, eine direkte Beeinflussung der Faktoren also ebenso unmöglich ist wie die Rückwirkung (im Sinne eines Regelkreises) eines anderen Faktors. Wenn diese Faktoren mit einem konkreten Wert belegt sind und Angaben zur zeitlichen Entwicklung dazu vorliegen, z. B. eine Funktion o. Ä., dann würde es sich um eine Menge von Parametern handeln. Mit dieser Menge könnte die eigentliche Einflussgröße (absolute Kosten) beschreiben und modelliert werden.

Bei der Stoffsammlung, Stoffstrukturierung und bei der qualitativen Modellierung ist es also erforderlich, alle Parameter zu betrachten, von denen eine Wirkung ausgehen *könnte*. Nach Anwendung des Abstraktionslevels wird aber die quantitative Betrachtung und Modellierung frühestens auf der Ebene der Einflussgrößen stattfinden, um die Ausrichtung auf die wesentlichen Fragestellungen zu sichern.

Kriterium für den Abstraktionslevel könnte somit sein, dass es keine Abhängigkeit von anderen Einflussgrößen gibt.

Problem I:
Da der Unterschied zwischen induktiv und konduktiv betrachtet werden sollte, liegt bei vielen Einflussgrößen ein Bezug zu einer anderen Einflussgröße vor (z. B. Mehrkosten zwischen induktiv und konduktiv, basierend auf zwei verschiedenen absoluten Kosten). Dadurch bleibt die nicht erwünschte Abhängigkeit bestehen.

Konkret: Absolute Kosten wären bei Abstraktion von deren Abhängigkeiten (Faktoren, s. o.) schon sehr gut für die Modellierung geeignet. Relative Kosten wären in Bezug auf die Modellierung sehr ungünstig (auch wenn vor allem die jeweilige Differenz/das jeweilige Verhältnis von Interesse sind).

Lösungsansatz I:
Die Parametermatrix enthält die absoluten Angaben. Die Zusammenfassung zur Relation (Differenz/Verhältnis usw.) ist bereits Bestandteil der Modellierung. Anders formuliert: Wenn bekannt ist, dass ein solches Verhältnis ausschlaggebend für die Gesamtwirkung/-entwicklung ist/sein kann, wird es zunächst dennoch formal/methodisch korrekt beschrieben – nämlich anhand mehrerer absoluter Größen aus der Parametermatrix.

In Abhängigkeit vom Abstraktionslevel wurden diese absoluten Größen also final als Parameter festgelegt (die dann in den einzelnen Szenarien einen konkreten Wert und ggf. eine zeitliche Entwicklung gemäß einer Funktion o. Ä. erhalten).

Insofern wurde im Projektkonsortium definiert: Relative Angaben wie die Mehrkosten sind inhaltlich in Ordnung, weil pragmatisch auf die eigentliche Fragestellung fixiert und bereits mit einer

Analyse und einem Erkenntnisgewinn für die Kausalketten und die darin begründeten Wirkungszusammenhänge verbunden.

Methodisch müssen diese aber dennoch aufgearbeitet, differenziert und sauber dokumentiert werden, so dass die eingegangenen Parameter ersichtlich werden und bleiben. Summa summarum soll nicht etwa die Parametermatrix geändert oder ersetzt werden. Der Gedankengang soll bei der ergebnisorientierten, auf die Projektfragestellung ausgerichteten, Modellierung unterstützen.

Problem II:

Dennoch gibt es auch unter den als Parameter eingehenden Größen relative Größen. "Relativ" bedeutet in diesem Zusammenhang aber insbesondere nicht bezüglich einer anderen Einflussgröße, sondern eher "rückbezüglich" (auf sich selbst). Beispiel: Die Kosten betragen zum Zeitpunkt t1 84,7 % der Kosten zum Zeitpunkt t0 (= 100 %).

Diese Form der relativen Angabe wird nach den bereits getroffenen Festlegungen zur Verwendung absoluter Größen nur in Sonderfällen benötigt, beispielsweise, wenn aus Vertrauensgründen eine absolute Zahl nicht aus den Befragungen hervorgeht und aufgrund der Geheimhaltung der Hersteller auch nicht aus der Quellenarbeit gewonnen werden kann.

Grundsätzlich gilt: Lediglich eine (relative) Entwicklung einer Größe ohne Kenntnis über deren (absoluten) Anfangswert zu ermitteln, dürfte spätestens bei der Ergebnisinterpretation zu einer sehr geringen Akzeptanz führen.

Lösungsansatz II:

Da es sich ausschließlich um Sonderfälle handeln dürfte, müssen diese Einzelfälle separat behandelt werden und im Projektkonsortium eine Festlegung zum Vorgehen getroffen werden. Es bleibt prinzipiell möglich, relative Angaben zu verwenden, solange dies bei der Ergebnisinterpretation klar herausgestellt wird. Darüber hinaus besteht die Option, die jeweiligen Fachexperten eine begründete Abschätzung vornehmen zu lassen, und die Verwendung angemessener Ersatzwerte projektweit festzulegen (gruppensubjektive Entscheidung).

Problem III:

Eine in Prozent angegebene Größe kann (im Sinne der modellhaften Abbildung) eine absolute Größe darstellen. Beispielsweise kann die Akzeptanz verschlissener Stecker zum Zeitpunkt t0 94 % betragen, zum Zeitpunkt t1 aber nur noch 47 %. Hierbei handelt es sich im Gegensatz zum o. g. Beispiel (Problem II) nicht um eine relative Angabe im Vergleich zum gewählten Bezugsjahr oder -zeitraum. Die Grundgesamtheit 100 % wäre vielmehr so definiert, dass alle befragten Personen (exakt: nicht unbedingt alle Nutzer) verschlissene Stecker akzeptieren würden.

Lösungsansatz III:

Für Problem III ist kein Lösungsansatz gegeben, aber auch nicht erforderlich. Wichtig für die korrekte Modellierung ist die Differenzierung von Problem II, denn in Problem III kann sich die Grundgesamtheit durchaus geändert haben.

Wenn die beiden Prozentangaben jeweils repräsentativ sind, können zum Zeitpunkt t0 von 1.000 Nutzern 200 befragt worden sein (wovon 188 die Akzeptanz bestätigten); zum Zeitpunkt t1 wurden aber vielleicht 10.000 von 1 Mio. Nutzern befragt und 4.700 bestätigten die Akzeptanz. Wenn die Repräsentativität für alle Werte der Datenreihe gelten würde, müssten 100 % bedeuten, dass (mit einer gewissen Streuung und Unsicherheit) tatsächlich alle Nutzer verschlissene Stecker akzeptieren.

Auch die beispielhaft genannte Akzeptanzgröße ließe sich relativ zu ihrem Wert zu einem Bezugszeitpunkt darstellen. Sofern tBezug = 100 % wäre, bliebe t0 bei 94 %, t1 wäre weiterhin 47 %. Die Änderung von t0 bis t1 beliefe sich auf 47 % (absolut) und 50 % (relativ).

8.4.4.2.7 Schlüsselgröße

Ein Teil der relevanten Einflussgrößen soll später vom Benutzer innerhalb verschiedener Sichten/Cockpits beeinflusst werden können. Die hierfür im Projektkonsortium ebenfalls in Form gruppenspezifischer Entscheidungen gewählten Einflussgrößen werden jeweils als Schlüsselgröße bezeichnet. Ihre Auswahl ist in Quellen begründet zu dokumentieren.

8.4.4.2.8 Ausgabegrößen

Bei den Ausgabegrößen handelt es sich um die Gesamtmenge der vom Wirkungsmodell als Ergebnis ausgegebenen Werte (es könnten zur Kontrolle auch weitere Werte ausgegeben werden). Als Hauptergebnis der Modellierung kommt vor allem ein Kosten-Nutzen-Verhältnis in Betracht.

Prinzipiell ist – in Abhängigkeit von der Fundstellenzahl und -qualität – eine monetäre Abbildung vorstellbar. Ebenso wäre eine einheitenlose Darstellung oder die Projektion auf eine zuvor definierte Skala nebst festgelegtem Gültigkeitsbereich möglich.

Weiterführende Hinweise zur Auswahl der Ausgabegrößen und deren Eigenschaften (Dimensionierung, Relevanz für verschiedene Kategorien, Zuordnung zu Anwendungsfällen usw.) ergeben sich auch aus der Analyse der Kausalketten.

8.4.4.2.9 Zeitabhängigkeit der Ergebnismenge

Eine konkrete Wertangabe bezieht sich zwar auf eine konkrete Größe, gleichzeitig aber auch auf einen im Vorfeld definierten diskreten Zeitpunkt (z. B. im Jahr 2015). Das bedeutet, dass für jede Ausgabegröße ein Vektor existiert, der sich aus mehreren konkreten Werten für verschiedene Zeitpunkte zusammensetzt.

8.4.4.2.10 Unsicherheit/Eintrittswahrscheinlichkeit

Sollen weitere Angaben wie zur Eintrittswahrscheinlichkeit mit ausgegeben werden, ist die Ausgabegröße ein zweidimensionales Feld (Array, Matrix). Die Sinnhaftigkeit ist nur gegeben, wenn hinreichende Angaben bereits bei der Festlegung der Belegungen für die Einflussgrößen getroffen wurden. Bisher ist dies nicht Gegenstand der Ansätze und wird eher als Erweiterungsmöglichkeit des Wirkungsmodells betrachtet.

Ansonsten könnte eine von der Zeit abhängige Funktion für die Ergebnisvisualisierung implementiert werden, die beispielsweise zwar in Bezug auf die konkreten Wertangaben statisch aber zur Unterstützung bei der Ergebnisinterpretation zumindest grafisch auf die mit der Zeitdifferenz bis zum Betrachtungszeitpunkt wachsende Unsicherheit des Ergebnisses hin.

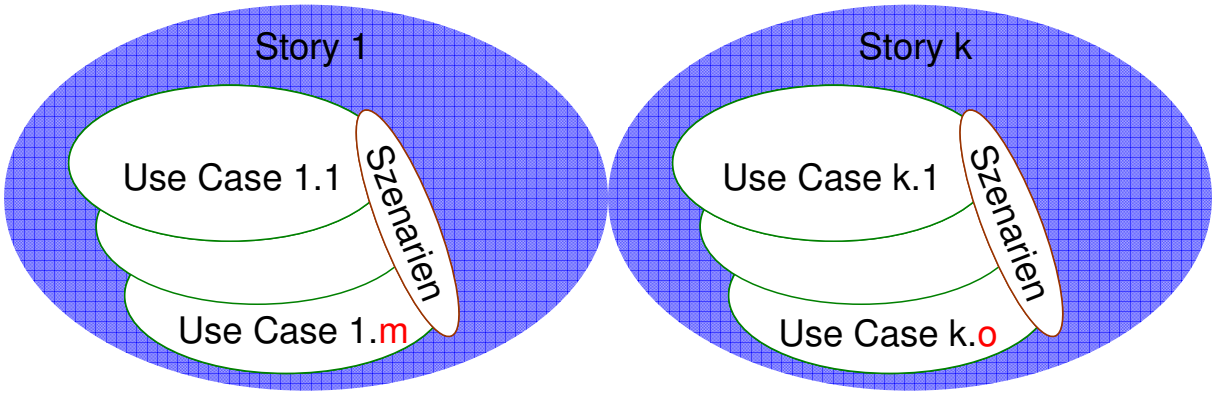
8.4.4.3 Strukturierung des Betrachtungsraums

8.4.4.3.1 Story

Eine Story ist eine Abgrenzung des zu betrachtenden Teils der Realität, der einen oder mehrere typische Anwendungsfälle (Use Cases) beinhaltet. Mehrere Stories besitzen keine gemeinsame Schnittmenge (bzw. die Schnittmenge ist eine leere Menge), da sie verschiedene Teile der Realität abbilden.

Beispiele:

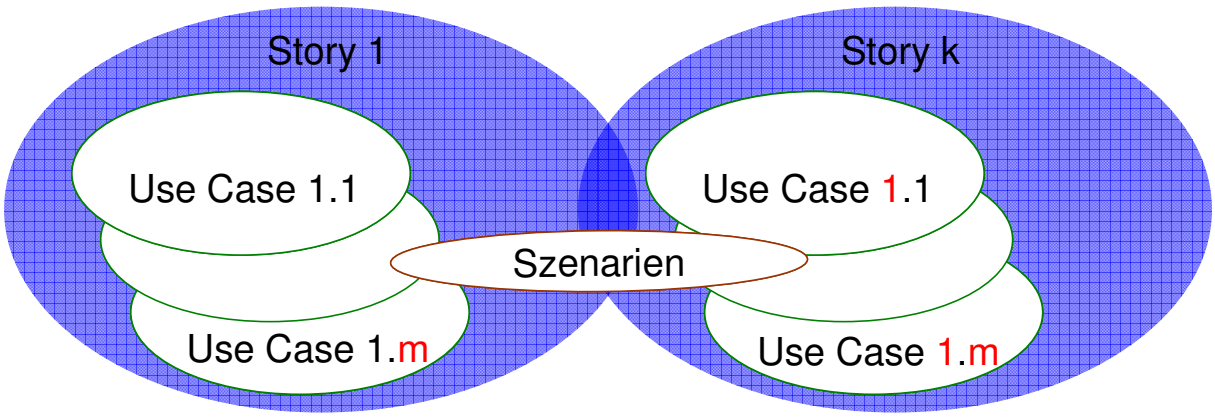
- Die Story 1 widmet sich dem privaten Pkw-Nutzer mit eigenem Fahrzeug.
- Story 2 beschäftigt sich zwar ebenfalls mit dem privaten Pkw-Nutzer; allerdings ist dieser Nutzer eines e-Carsharing-Angebots.



Tab. 82: Strukturierung des Betrachtungsraums im Normalfall (ifak)

Die Einordnung in Stories dient der strukturierten und praxisorientierten Beantwortung der wesentlichen Fragestellungen des Projektes. Im Idealfall wäre jede Fragestellung in genau einer Story zu finden; tatsächlich kann eine Story jedoch ebenso relevant für mehrere Fragestellungen sein, wie sich eine Fragestellung in mehreren Stories spiegeln kann.

In der Realität könnte eine Person Akteur in beiden o. g. Stories sein. Die Behandlung bei der Abbildung von Ursache-Wirkung-Zusammenhängen, bei der Modellierung bei der Betrachtung einzelner Szenarien erfolgt jedoch für jede Story separat und richtet sich insofern jeweils nach der für einen betrachteten Nutzer hauptsächlich zutreffenden Story.



Tab. 83: Strukturierung des Betrachtungsraum im Sonderfall überlappender Stories (betrachtete Nutzer sind Teil verschiedener Stories, welche somit eine Schnittmenge bilden) (ifak)

Sollten die Anforderungen es erfordern, dass eine derartige Konstellation untersucht wird, bei der eine Menge von betrachteten Nutzern nicht ausschließlich einer Story zugeordnet werden kann, würden ein Teil oder alle der betrachteten Stories eine nicht leere Schnittmenge aufweisen. Auch dann kann die hier beschriebene Vorgehensweise angewendet werden, sofern zwei zusätzliche Bedingungen eingehalten werden:

- für alle Stories wird die gleiche Menge an Anwendungsfällen betrachtet und
- für alle Anwendungsfälle aller Stories gelten identische Szenariodefinitionen.

Hintergrund ist, dass sich für einen Nutzer, der an zwei Stories beteiligt ist, beispielsweise eine positive Bilanz für Story 1 ergibt, in Story 2 dagegen eine negative Gesamtwirkung zu verzeichnen wäre. Insofern müssten auch Anwendungsfälle mit in die Betrachtung einbezogen werden, die aufgrund der Ausrichtung der Story im Hinblick auf ihr Vorkommen wenig wahrscheinlich und bezüglich ihrer Sinnhaftigkeit durchaus fragwürdig sein könnten. Da die Szenarien für alle Anwendungsfälle einer Story identisch sind (s. nächster Abschnitt), gilt in diesem Fall eine einzige Menge von Szenarien für alle Anwendungsfälle und somit für alle Stories.

Der beschriebene Sonderfall ist für die Vorgehensweise im Vorhaben von untergeordneter Bedeutung, da dieser für die Beantwortung der Hauptfragestellungen wenig zusätzlichen Erkenntnisgewinn verspricht – im Gegenteil: die Komplexität dieser allumfassenden Betrachtung würde es erfordern, dass zu jedem betrachteten Aspekt vollständige Angaben insbesondere für die spätere Quantifizierung auch zu Nebensächlichkeiten gegeben sind.

Diese Angaben liegen jedoch bei einem solch neuen Themenfeld einerseits teilweise noch gar nicht vor oder können andererseits erst später beziffert werden, da keine Erfahrungswerte vorhanden sind. Daher wurde im Vorhaben der dargestellte Normalfall betrachtet, der entsprechend stärker auf die vom Expertenkreis als für die Hauptfragestellungen relevante Konstellationen ausgerichtet ist.

8.4.4.3.2 Anwendungsfall (Use Case)

Ein Anwendungsfall (engl. use case) stellt im betrachteten Teil der Realität (in der jeweiligen Story) eine typische Ausprägung dar, bei der ein Akteur ein bestimmtes (fachliches) Ziel anstrebt. Er beschreibt, was inhaltlich beim Versuch der Zielerreichung passieren kann, und abstrahiert von konkreten technischen Lösungen. Das bedeutet, dass die Definition von Anwendungsfällen erfolgt, bevor konkrete Ladetechnologien betrachtet werden.

Das Ziel im Sinne der o. g. Definition ergibt sich im Wesentlichen bereits aus der Story und ist somit für die dieser Story zugeordneten Anwendungsfälle gleich. Beispielsweise möchte der Nutzer in der Story 1 (privater Pkw-Nutzer mit Privat-Kfz) möglichst jederzeit über ein seinen Anforderungen entsprechend mit Energiereserven ausgestattetes privates Fahrzeug verfügen können.

Das betrachtete System (gemäß der o. a. Definition) unterscheidet sich jedoch von Anwendungsfall zu Anwendungsfall. Beispielsweise sind im ersten Anwendungsfall der Story 1 (somit Anwendungsfall 1.1) die Lademöglichkeiten zu Hause Teil des Systems. Im zweiten Anwendungsfall (1.2) steht dagegen das Laden beim Arbeitgeber im Vordergrund, wodurch dessen Ladeinfrastruktur Teil des betrachteten Systems wird.

Anwendungsfälle (Use Cases) adressieren einen Stakeholder. Bei der modellhaften Darstellung der Anwendungsfälle werden darüber hinaus die Ein- und Ausgabegrößen benannt. Schließlich erfolgt die Definition eines Anwendungsfalls prinzipiell unabhängig einem bestimmten Betrachtungszeitpunkt und unabhängig von einer bestimmten Betrachtungsdauer.

8.4.4.3.3 Szenario

Ein Szenario beschreibt eine Situation zu einem Bezugs- und Startzeitpunkt sowie die zeitliche Entwicklung im Betrachtungszeitraum. Die Beschreibung der Situation erfolgt dabei, indem der Zustand der relevanten Einflussgrößen angegeben wird. Gleichermaßen werden Angaben für die zeitliche Entwicklung der Einflussgrößen vorgenommen.

Im Sinne der Modellierung werden die Einflussgrößen als Eingabegrößen mit konkreten Wertangaben quantifiziert. Darüber hinaus wird festgelegt, zu welchem Zeitpunkt das Szenario beginnt und welche Dauer in diesem Szenario betrachtet wird. Es ist erforderlich, für diese Dauer für die quantifizierten Wertangaben der Eingabegrößen einen zeitlichen Verlauf vorzugeben.

Die Definition eines Szenarios orientiert sich an der Betrachtung eines konkreten Anwendungsfalls, ist von diesem aber prinzipiell unabhängig. Tatsächlich gilt ein anhand eines Anwendungsfalls definiertes Szenario auch für andere Anwendungsfälle – nämlich mindestens alle Anwendungsfälle einer Story. Im Sinne der kann somit später jeder Anwendungsfall in jedem Szenario untersucht werden. Grundsätzlich gilt also, dass eine Szenariodefinition Angaben für sämtliche im Betrachtungsraum (vgl. Szenarienanalyse) liegende Eingabegrößen inkl. deren zeitlicher Entwicklung enthalten muss, auch wenn diese nur für einen Teil der Anwendungsfälle benötigt werden.

Beispiel:
Würde beispielsweise der o. g. Anwendungsfall 1.2 (Laden beim Arbeitgeber) im Szenario „Energiepreise steigen sehr schnell“ betrachtet, stünden die Kosten für das Laden zu Hause zunächst im Hintergrund. Hierfür müssen aber mit konkreten Werten belegte Eingangsgrößen

mitgeführt werden, weil das Szenario auch für den Anwendungsfall 1.1 (Laden zu Hause) gilt. Es kann sogar erforderlich werden, ein Szenario für einen anderen Anwendungsfall zu betrachten, um die Konsistenz und Integrität des Betrachtungsgegenstands im Betrachtungsraum zu sichern.

Da die Strukturierung in der Variante des Normalfalls verwendet wird, kann die Sinnhaftigkeit der Betrachtung jeder der Kombinationen aus Szenario und Anwendungsfall vom Expertenkreis im Projekt geprüft werden. Die Berücksichtigung einer Kombination in der Szenarienanalyse wird dabei entweder bestätigt oder ausgeschlossen.

Mit Hilfe der Menge an Szenarien wird es insgesamt also möglich, Anwendungsfälle (die jeweils Teil mindestens einer der Stories sind) einer Szenarienanalyse zu unterziehen.

8.4.4.4 Systematik zur Betrachtung der Wechselwirkungen

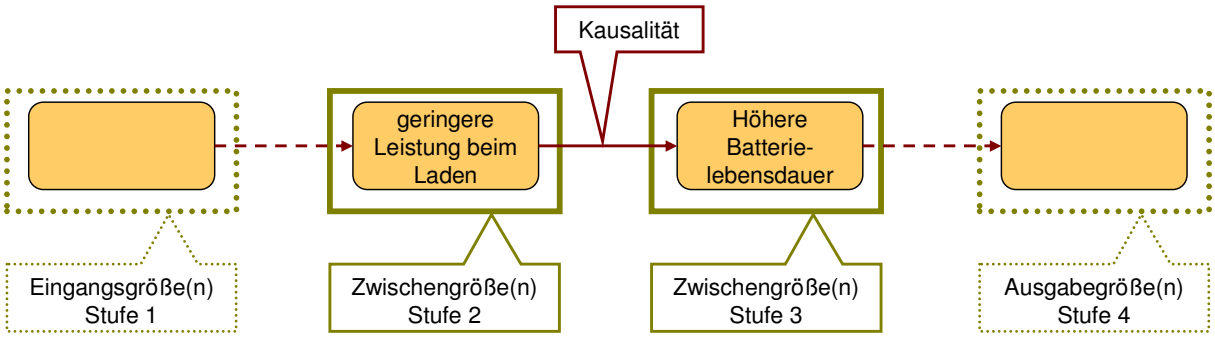
8.4.4.4.1 Wirkungszusammenhänge

Zur Beurteilung, wie sich das induktive Laden (im Vergleich zum konduktiven Laden) auf die Durchsetzung der Elektromobilität auswirkt, ist eine Vielzahl von Einflüssen zu berücksichtigen. Dazu werden diejenigen Einflussgrößen identifiziert, für die nicht nur eine Korrelation mit einem Teil- oder dem Gesamtergebnis zur zukünftigen Verbreitung der Elektromobilität gesehen wird, sondern mit deren Wertbelegung und Änderung sich eine Kausalität mit einer übergeordneten Größe finden lässt (Teil- oder Gesamtergebnis, vgl. Zwischen- oder Ausgabegröße). Verschiedene wesentliche Arbeitsschritte wie die Stoffsammlung, -strukturierung und -gewichtung dienen der Beantwortung der Fragestellung nach den tatsächlich relevanten Einflussgrößen.

Aus der Menge der Einflussgrößen und den von ihnen abhängenden Kausalitäten wird unter Benennung der Ausgabegrößen das Gesamtwirkungsgefüge abgebildet. Dieses bildet die Grundlage für das Wirkungsmodell und ist somit gleichfalls Voraussetzung für die Szenarienanalyse. Die einzelnen Wirkungszusammenhänge werden dabei zunächst einer qualitativen Beurteilung unterzogen.

8.4.4.4.2 Kausalität

Als eine Kausalität wird die direkte Wirkung einer Einflussgröße oder eines Zwischenergebnisses auf ein anderes Zwischenergebnis oder eine andere Ausgabegröße bezeichnet.



Tab. 84: Kausalität: Wirkung einer Größe auf eine andere (ifak)

Entscheidendes Merkmal einer Kausalität ist, dass sich die daraus resultierende Wirkung nicht nur anhand von Wertepaaren beider Größen beschreiben lässt. Zwar ergeben sich aus der

Stoffsammlung zunächst solche Korrelationen, Zielstellung ist es aber, auf die tatsächliche Ursächlichkeit der Wirkung abzustellen.

Für die Modellierung werden also *belegte* Zusammenhänge benötigt, unabhängig davon, ob diese hervorgehen aus:

- Fundstellen (direkt aus Studien, Befragungen etc.),
- Fundstellen (Analogiebetrachtungen zur Einführung anderer disruptiver Technologien in der Vergangenheit, Retroperspektive und/oder Extrapolation) oder
- dem sicheren Wissen eines Expertenkreises oder des gesamten Projektkonsortiums einschließlich externer Experten.

Die Ursächlichkeit für eine Wirkung kann insbesondere dann als *belegt* bezeichnet werden, wenn sie auf eine grundlegende Gesetzmäßigkeit zurückgeführt werden kann. Dazu gehören vor allem:

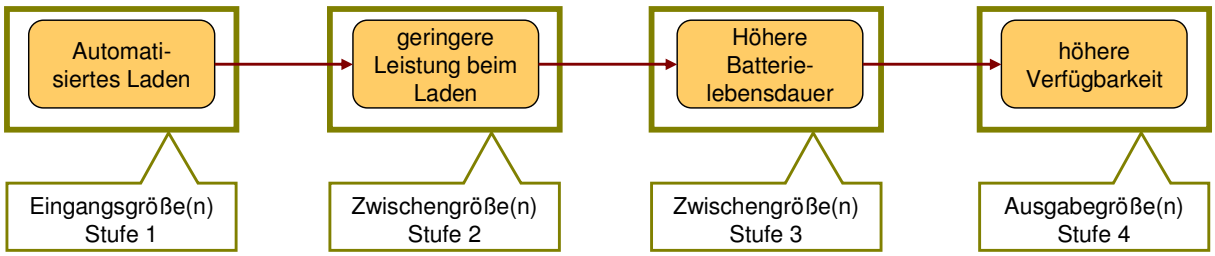
- physikalische Gesetzmäßigkeiten (z. B. Energieerhaltungssatz),
- wirtschaftliche Zusammenhänge (z. B. Skaleneffekte),
- anerkannte Teilmodelle (z. B. modulartiger Rückgriff bzw. Integration eines Teilmodells in Bezug auf hygienische Faktoren wie die Akzeptanz durch die Nutzer).

Aus der Stoffsammlung gehen unter anderem auch konkrete Zahlenwerte hervor. Mit Blick auf die Ursache-Wirkung-Zusammenhänge ist es also erforderlich, vom konkreten Datenmaterial auf die dahinterliegenden Gesetzmäßigkeiten zu abstrahieren.

8.4.4.4.3 Kausalkette

Eine Kausalkette stellt den Zusammenhang zwischen einem Parameter/einer Einflussgröße und einer oder mehreren Ausgabegrößen dar. Da sich bei der Betrachtung des Zusammenhangs zwischen einem Parameter/einer Einflussgröße und der/den Ausgabegröße(n) schrittweise neue Detailerkenntnisse ergeben, wird eine Kausalkette über mehrere Zwischenergebnisse mehrstufig abgebildet.

Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft, wie sich das „Automatisierte Laden“ auf die beim Laden benötigte Leistung auswirkt. Eine geringere Leistung beim Laden hat aber ebenfalls eine Wirkung, nämlich eine die Batterielebensdauer erhöhende. Schließlich führt dies zu einer höheren Verfügbarkeit der Batterie, weil weniger Wartung anfällt und größere Intervalle zwischen den Wartungsfristen möglich werden.

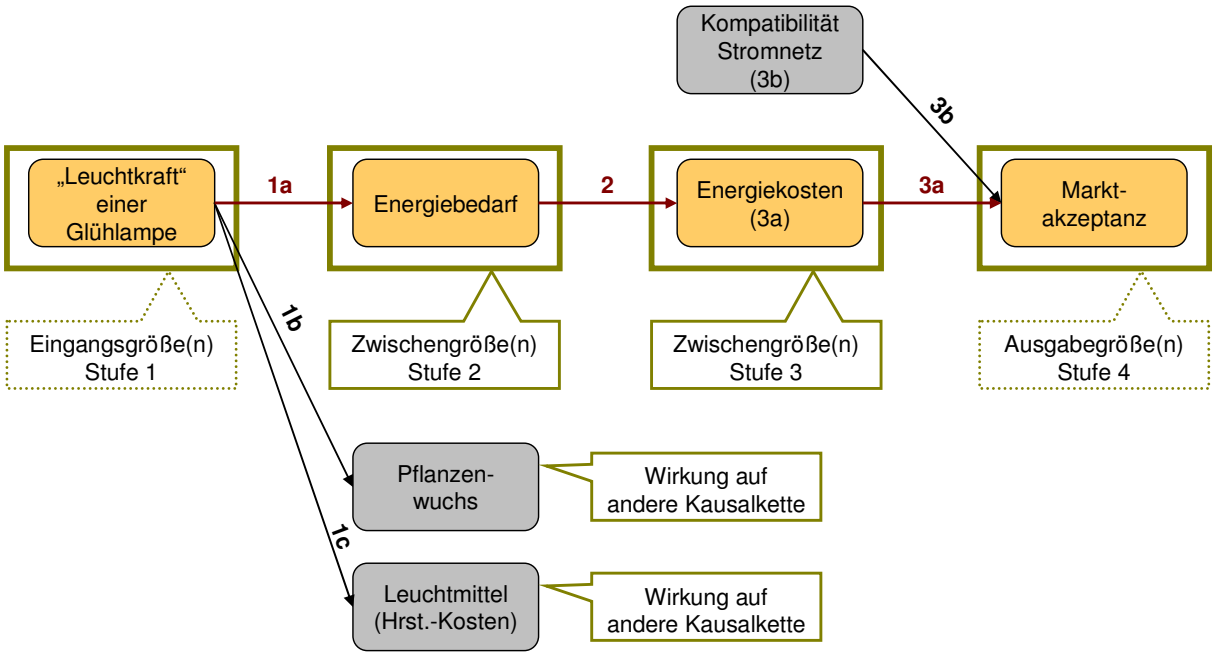


Tab. 85: Aufbau einer Kausalkette anhand eines konkreten Beispiels (ifak)

Tatsächlich können aber sowohl Eingangsgrößen als auch Zwischengrößen Wirkungen auf mehrere Zwischen- oder Ausgabegrößen besitzen. Deshalb wird es mit einer schematischen Abbildung möglich, auch die Wirkung auf andere Einflussgrößen oder Zwischenergebnisse benannt werden, die sich nicht in derselben Kausalkette auf die gleichen Ausgabegrößen auswirken (Wechselwirkung mit Elementen anderer Kausalketten bzw. Einfluss auf diese).

Das folgende fiktive Beispiel „Einfluss leistungsstarker im Vergleich zu herkömmlichen Leuchtmitteln im Gärtnereibereich" enthielte die folgenden Wirkungen zwischen den Eingangs-, Zwischen- und Ausgabegrößen:

- „Leuchtkraft" einer Glühlampe wirkt sich aus auf:
- den Energiebedarf,
- die Geschwindigkeit des Pflanzenwuchses (Verweis auf andere Kausalkette),
- die Form der Leuchtmittel/Herstellungskosten (Verweis auf andere Kausalkette).
- Energiebedarf wirkt auf die Energiekosten
- auf die Akzeptanz (Ausgabegröße) wirken
- die Energiekosten als lfd. Kosten
- (Verweis von anderer Kausalkette) die Kompatibilität des Leuchtmittels mit dem Stromnetz



Tab. 86: Fiktives Beispiel „Einfluss leistungsstarker im Vergleich zu herkömmlichen Leuchtmitteln im Gärtnereibereich“ (ifak)

Im o. g. Beispiel stellt jede der Beziehungen 1x, 2 und 3y eine Kausalität dar. Bei der Modellierung entspricht somit jeder der nummerierten Pfeile einer auf einer Kausalität beruhenden Wirkung, die es algorithmisch abzubilden gilt. Das Ergebnis einer Zwischen- oder Ausgabegröße ergibt sich somit durch die gemeinsame Betrachtung aller auf diese Größe einfließenden Wirkungen.

8.4.4.4.4 Kardinalität

Häufig impliziert die Betrachtung einer Eingangs- oder Zwischengröße eine ganze Reihe von mit ihr verknüpften Wirkungen. Die Größe entfaltet eine Wirkung auf ein oder mehrere andere Zwischen- oder Ausgabegrößen. Ebenso wird eine betrachtete Zwischen- oder Ausgabegröße von einer oder mehreren anderen Eingangs- oder Zwischengrößen beeinflusst.

Bei der Modellierung gilt es, jede der Wirkungen einzeln in die Algorithmik zu übertragen, wobei Doppelwirkungen und Nebenläufigkeiten auszuschließen sind. Die von den jeweiligen Fachexperten bei der Stoffsammlung und -strukturierung zusammengetragenen (zunächst verbal beschriebenen) Kausalketten sollen bereits dieser Normalform entsprechen.

Aufgabe der Modellierung ist die Analyse und Bestätigung der Kausalkette im Normalfall, im Fall von Fragestellungen wird mit den Fachexperten ein Review durchgeführt. Darüber hinaus prüft die Modellierung auch die Verknüpfung mit anderen Kausalketten, ggf. werden mehrere Expertengruppen für Rückfragen zu den Wirkungszusammenhängen hinzugezogen.

Gemäß den Ansätzen aus der Datenbankmodellierung können im Sinne eines Entity-Relationship-Models (ERM, Gegenstand-Beziehungs-Modell) die Beziehungen zwischen den Eingangs-, Zwischen- und Ausgabegrößen beschrieben werden. Mit Hilfe der Kardinalität kann das Verhältnis zwischen der Mächtigkeit der Menge der beeinflussenden Einflussgrößen/ Zwischenergebnisse und der Menge der beeinflussten Zwischenergebnisse/Ausgabegrößen angegeben werden.

Die im vorangegangenen Abschnitt unter „Kausalkette" im Beispiel genannten Beziehungen weisen jeweils für sich betrachtet die Kardinalität 1:1 auf. Wird dagegen die Wirkung zwischen allen Eingangsgrößen (Stufe 1) und der ersten Ebene der Zwischengrößen (Stufe 2) nicht einzeln sondern insgesamt betrachtet, beträgt die Kardinalität 1:3.

Voraussetzung für die korrekte Modellierung ist somit, dass die erarbeiteten mehrstufigen Kausalketten in einzelne Kausalitäten/Wechselwirkungen zwischen zwei Elementen einer oder zweier Kausalketten zerlegt werden, die der Kardinalität 1:1 entsprechen.

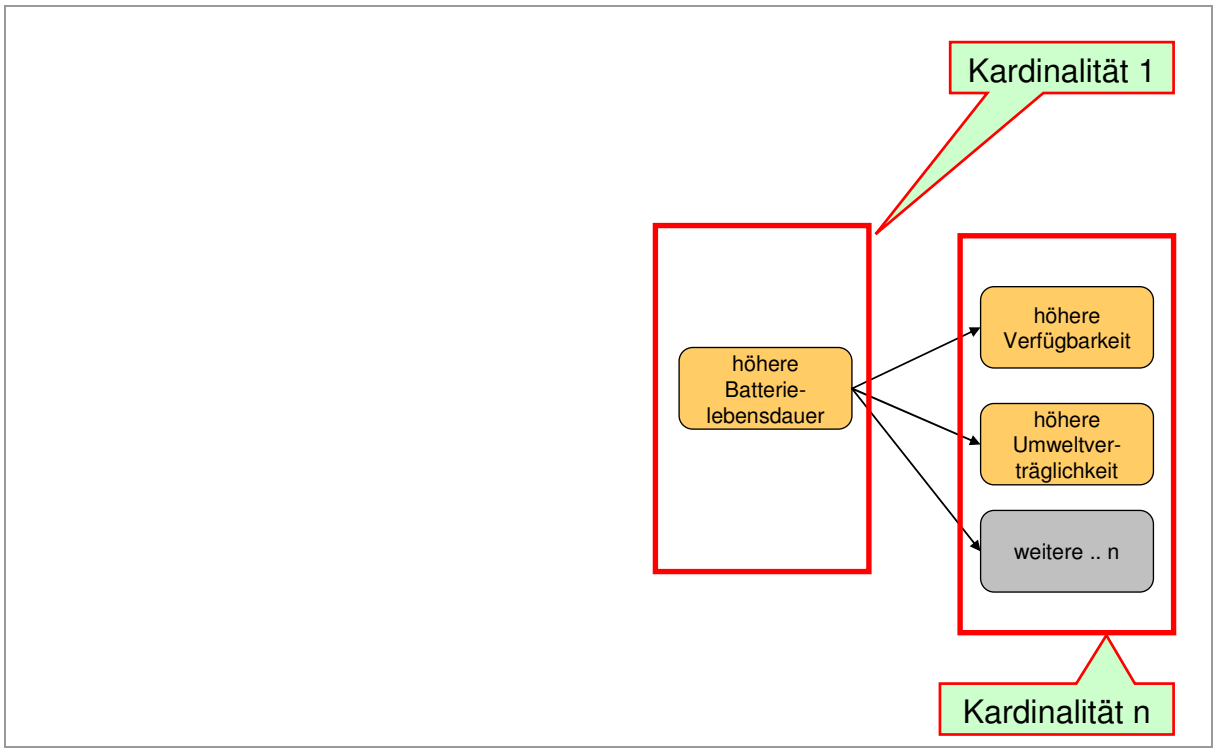
Hinweis:
In der Datenmodellierung wird der Begriff Kardinalität (im Gegensatz zur o. g. Datenbankmodellierung) auch für die Beschreibung der Mächtigkeit einer Menge verwendet. Daher nennen die folgenden Abbildungen die Kardinalität für die Wirkung einer Größe auf die anderen Größen jeweils zweimal. Die Kardinalität ergibt sich dann gemäß Leserichtung von links nach rechts: In der Abbildung handelt es sich also um die Kardinalität 1:n.

Beispiel:
Anhand der Betrachtung der Batterielebensdauer wird nachfolgend schrittweise aufgezeigt, wie die damit verbundenen, auf sie einwirkenden sowie von ihr ausgehenden Kausalitäten – also die gesamte Kausalkette mitsamt Wechselwirkungen mit anderen Kausalketten – unter Berücksichtigung der Kardinalitäten betrachtet werden.

8.4.4.4.4.1 Beispiel – Teil 1:

Die Betrachtung der Batterielebensdauer führt zu der Fragestellung, welche Wirkung einerseits auf die Verfügbarkeit des Energiespeichers (Kardinalität 1:1) und andererseits auf die Umweltverträglichkeit (ebenfalls Kardinalität 1:1, z. B. Ressourceneinsatz für die Herstellung des Energiespeichers) existiert.

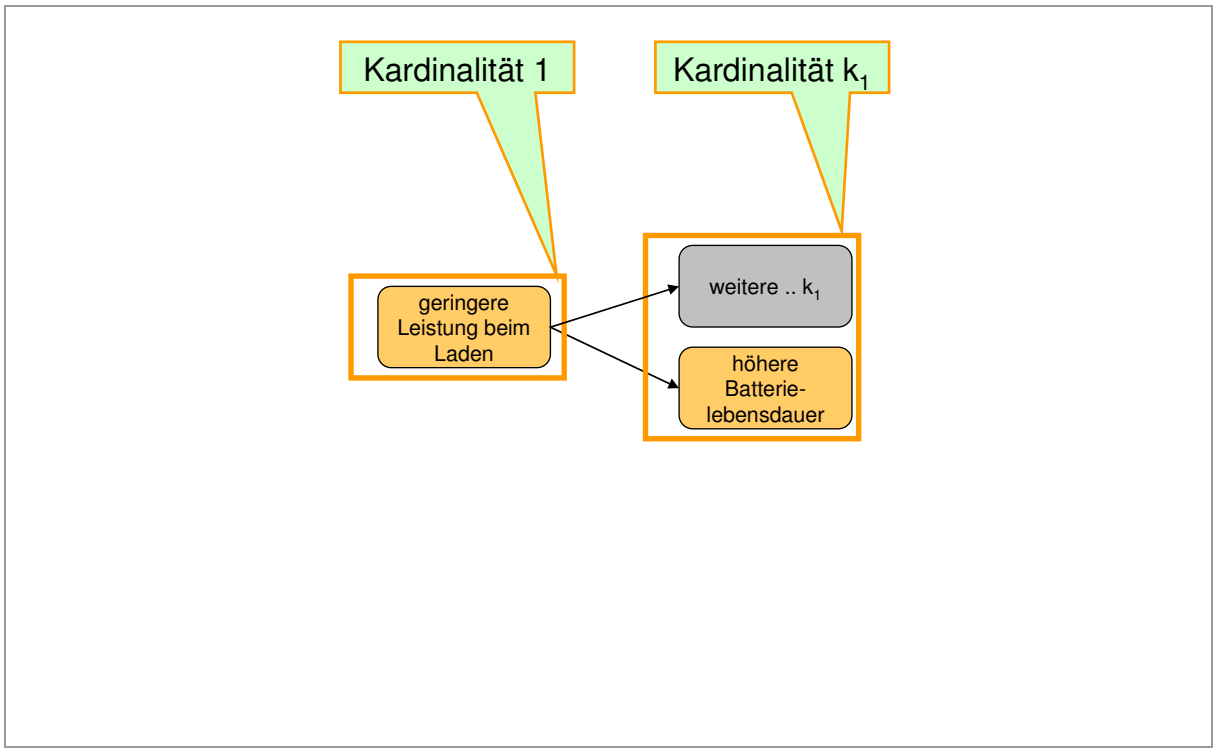
Insgesamt liegt also ausgehend von der Batterielebensdauer die Kardinalität 1:2 und bei Berücksichtigung weiterer beeinflusster Größen die Kardinalität 1:n vor. Im Beispiel stellen die genannten Größen die Ausgabegrößen dar.



Tab. 87: Beispiel – Teil 1: Kardinalität 1:n, ausgehend von der Batterielebensdauer (ifak)

8.4.4.4.4.2 Beispiel – Teil 2:

Es stellt sich aber zusätzlich die Frage, von welchen anderen Größen die Batterielebensdauer abhängt, welche Wirkungen also auf diese Größe eingehen. Das kann beispielsweise die beim Laden benötigte Leistung sein, die Kardinalität beträgt wieder 1:1. Unter Berücksichtigung weiterer Größen, die neben der Batterielebensdauer ebenfalls von der Leistung beim Laden beeinflusst werden, ergibt sich insgesamt die Kardinalität 1:k_1.



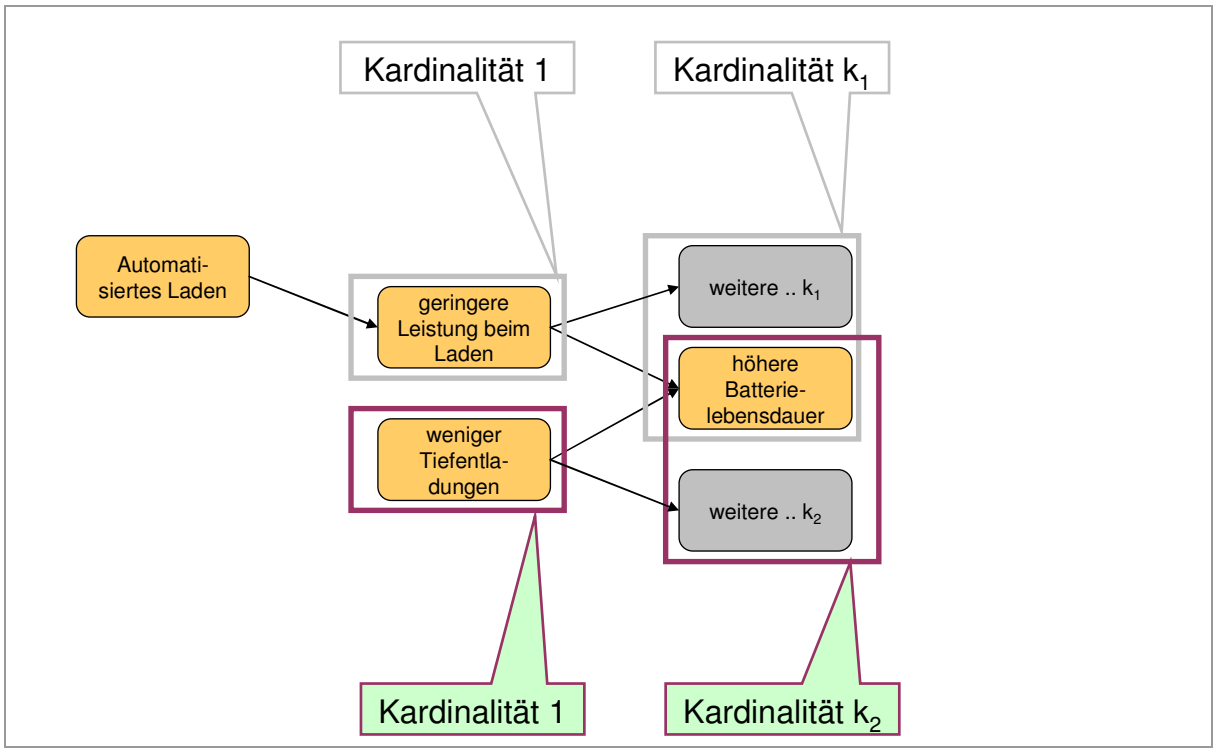
Tab. 88: Beispiel – Teil 2: Kardinalität 1:k_1, einwirkend auf die Batterielebensdauer (ifak)

8.4.4.4.4.3 Beispiel – Teil 3:

Die Abbildung zeigt, dass es weitere Größen geben kann, die sich ebenfalls auf die Batterielebensdauer auswirken. Im Beispiel wurde hierfür die Anzahl der Tiefentladungen verwendet, welche in Bezug auf die Batterielebensdauer die Kardinalität 1:1 aufweisen. Darüber hinaus hat die Anzahl der Tiefentladungen möglicherweise eine Wirkung auf andere Größen, weshalb sich zwischen den beiden Stufen insgesamt die Kardinalität 1:k_2 ergibt.

Wichtig ist, dass die Elemente aus den Mengen K_1 und aus K_2 prinzipiell unabhängig voneinander betrachtet werden. Zwar ist die Batterielebensdauer Element beider Mengen, die sonstigen Elemente müssen aber nicht zwangsläufig identisch sein.

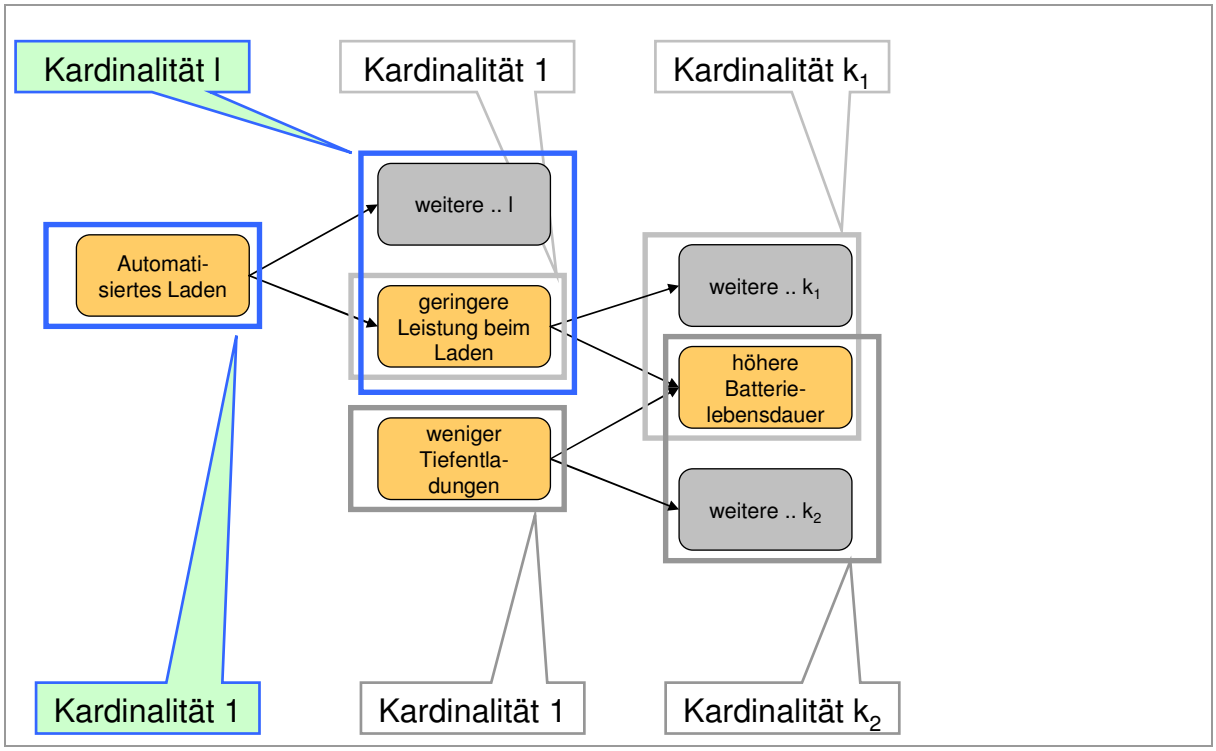
Zusätzlich zeigt die Abbildung, dass die Leistung beim Laden beispielsweise vom Automatisierungsgrad der Ladetechnologie abhängt. Diese Größe wird vom Expertenkreis bzw. dem Projektkonsortium als maßgebend für die Kausalkette erachtet und stellt insofern eine wesentliche Eingangsgröße dar.



Tab. 89: Beispiel – Teil 3: Kardinalität 1:k_x, wobei x = 1,2, ebenfalls einwirkend auf die Batterielebensdauer (ifak)

8.4.4.4.4.4 Beispiel – Teil 4:

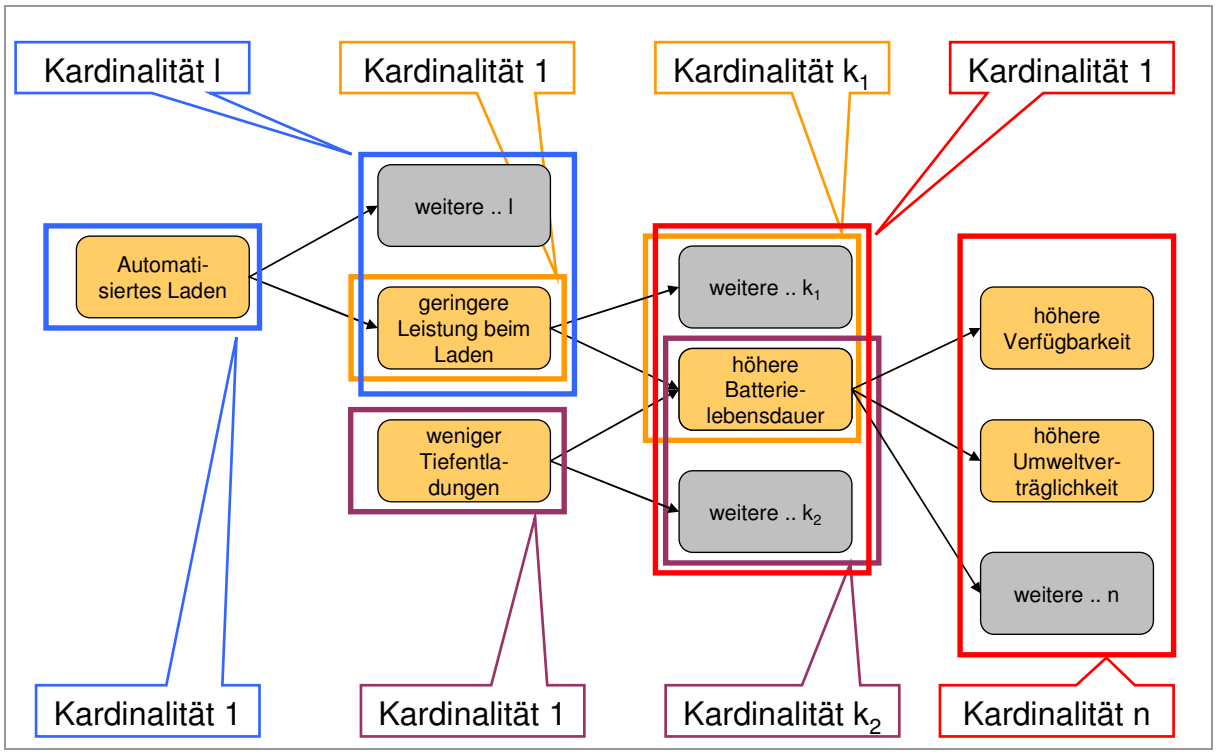
Ebenso wie für die Zwischengrößen in Teil 3 (vgl. Leistung beim Laden und Anzahl der Tiefentladungen) gilt auch für die Eingabegröße, dass diese weitere Wirkungen auf andere Zwischengrößen besitzen kann. Insofern besteht in Bezug auf die Leistung beim Laden die Kardinalität 1:1 und für die Eingabegröße insgesamt die Kardinalität 1:l.



Tab. 90: Beispiel – Teil 4: Kardinalität 1:l, Vervollständigung der Kausalkette auf der Ursachenseite (ifak)

8.4.4.4.4.5 Beispiel – Teil 5:

Wird nun der bisher betrachtete Teil der Kausalkette betrachtet, ergeben sich die in der Abbildung ersichtlichen Kardinalitäten, die von der Eingangsgröße bis zu den Ausgabegrößen reichen.



Tab. 91: Beispiel – Teil 5: Kardinalitäten 1:$k_{1,2}$, 1:l sowie 1:n (ifak)

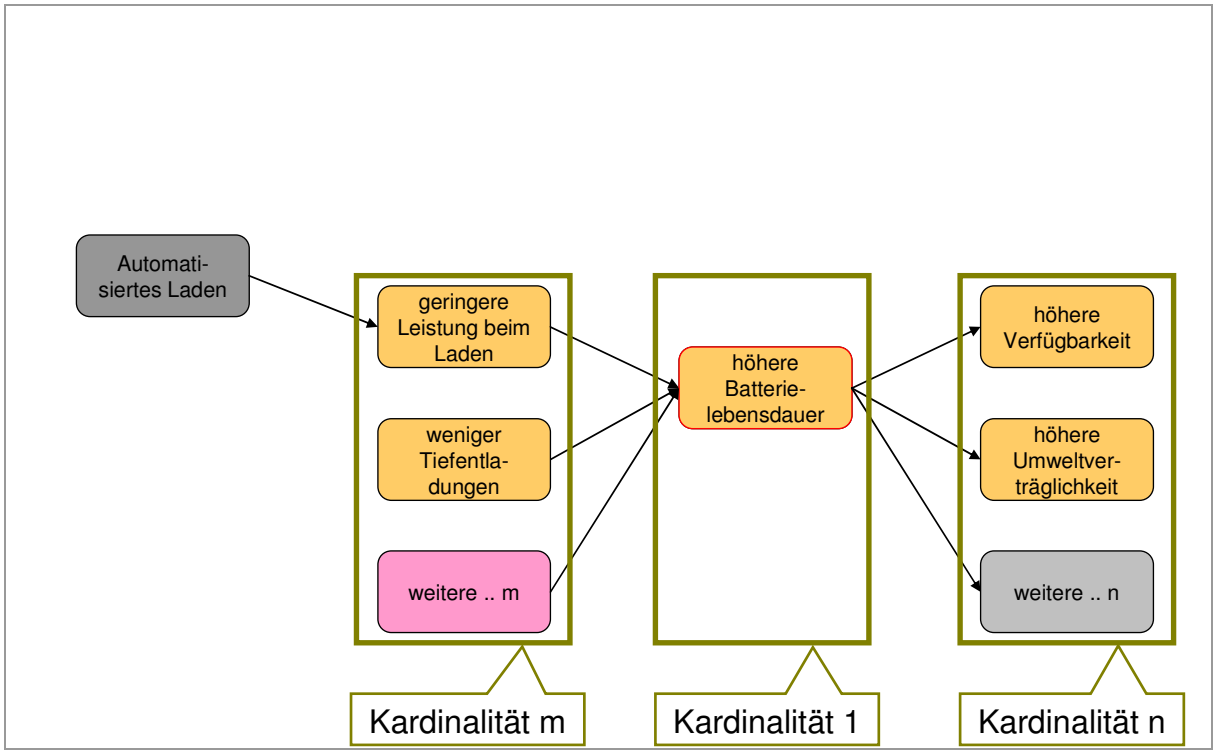
8.4.4.4.4.6 Beispiel – Teil 6:

Mit den getroffenen Überlegungen auf Basis von nach Kardinalitäten zugeordneten Kausalitäten wird es möglich, eine Eingabe-, Zwischen- oder Ausgabegröße mit sämtlichen auf sie einwirkenden oder von ihr ausgehenden Wirkungen für sich zu betrachten. Die nachfolgende Abbildung zeigt anhand der Betrachtung der Batterielebensdauer, wie die insgesamt einwirkenden Einflüsse der Menge M über die Batterielebensdauer (Menge B mit der Mächtigkeit = 1) auf die insgesamt beeinflussten Größen der Menge N wirken.

Es ergeben sich die Kardinalität m:1 für die Einwirkungen auf die Batterielebensdauer sowie die Kardinalität 1:n für die Auswirkungen der Batterielebensdauer. Insgesamt lassen sich die betroffen Eingabe-, Zwischen- und Ausgabegrößen (im Beispiel Zwischen- und Ausgabegrößen) in der Relation der Kardinalität m:n beschreiben.

Durch diese Betrachtung wird es auch bei komplexen Wirkungszusammenhängen möglich, die Vollständigkeit und Integrität zu prüfen. Das Beispiel in der Abbildung zeigt, dass beispielsweise die Ergänzung um bis zu m weitere mögliche Einwirkungen erforderlich war (rosafarbene Hervorhebung). Darüber hinaus ist bei der Übertragung zu beachten, dass auch diese Einwirkungen sowie die Anzahl der Tiefentladungen von anderen Größen abhängen können.

Die Zuordnung zu den Stufen der Kausalkette (Eingangsgrößen oder Zwischengrößen der Stufe 1) ist dabei kontextabhängig und muss z. B. nicht für alle Eingangsgrößen. Das bedeutet, dass beispielsweise die Anzahl der Tiefentladungen ebenfalls eine Eingangsgröße darstellen kann, wenn ihr lediglich einzelne absolute Parameter zugrunde liegen.



Tab. 92: Beispiel – Teil 6: Kardinalität m:1:n, bezogen auf die Größe Batterielebensdauer

Bei konsequenter Anwendung der beschriebenen Vorgehensweise, die bei der Übertragung in das Modell durch entsprechende Werkzeuge unterstützt wird, entsteht insgesamt ein widerspruchsfreier Modellansatz. Dieser bildet die Grundlage für die Übertragung einzelner Wirkungszusammenhänge in die mathematische und algorithmische Modellierung.

8.4.4.5 Wirkungsmodell

8.4.4.5.1 Grundsätzlicher Aufbau

Mit Hilfe des Wirkungsmodells kann nachvollziehbar ermittelt werden, wie sich Pro und Contra zum induktiven Laden auswirken und mit welchen Faktoren sich Pro und Contra beeinflussen lassen. Hierzu wird die Modellierung so vorgenommen, dass das gesamte Wirkungsgefüge zwischen Eingabe- und Ausgabegrößen algorithmisch abgebildet wird.

Zwei Ebenen werden bei der Modellierung im Wirkungsmodell vereint: Zum einen die Ebene des qualitativen Zusammenhangs „was (welche Einflussgrößen und Zwischenergebnisse) entfaltet welche grundsätzliche Wirkung (gleichbleibend, stärkend, verringernd) auf wen (welche Zwischenergebnisse und Ausgabegrößen)". Zum anderen die quantitative Ebene „mit welcher Intensität treten die einzelnen Wirkungen ein und wie sieht die Darstellung in konkreten Wertangaben aus".

Das Wirkungsmodell ist somit ein alle betrachteten Einflussgrößen, Kausalitäten und Ausgabegrößen inkludierendes Modell im Sinne von Actio und Reactio ohne Fallbezug, d. h. ohne Bezug auf eine konkrete Story oder einen konkreten Anwendungsfall.

Das Wirkungsmodell ist gleichfalls nicht auf ein spezifisches Szenario zugeschnitten, sondern es ermöglicht die algorithmische Abhandlung einer Szenarienanalyse (für die gesamte Menge der Anwendungsfälle), mit deren Hilfe die in diesem Unterkapitel eingangs genannten Fragestellungen gezielt beantwortet werden sollen.

8.4.4.5.2 Qualitative Betrachtung

Die aus den Kausalketten erarbeiteten einzelnen Kausalitäten oder „Wechselwirkungen zwischen zwei Elementen einer oder zweier Kausalketten" werden (in Abhängigkeit vom Abstraktionslevel, s. Eingabegrößen) vollständig abgebildet (und später quantifiziert).

Auf diese Weise wird das Wirkungsgefüge zwischen Ein- und Ausgabegrößen strukturiert, nachvollziehbar und vollständig in das Modell übernommen. Die Kausalitäten beinhalten dabei auch die Wechselwirkungen, die sich zwischen den in der Phase der Identifikation von Einflussgrößen und Wirkungszusammenhängen betrachteten Kausalketten ergeben.

8.4.4.5.3 Quantitative Betrachtung

Nach erfolgter quantitativer Beurteilung der Wirkungszusammenhänge kann jede der einzelnen Wirkungen quantifiziert werden. Neben der algorithmischen Abbildung dieser Quantität ist (nach aktuellem Erkenntnisstand zumindest für sämtliche Einflussgrößen) zusätzlich eine Gewichtung für deren Wirkungsintensität vorzusehen. Diese soll später vom Benutzer angepasst werden können.

8.4.4.5.4 Darstellung verschiedener Sichten und Ergebnisvisualisierung

Für alle Szenarien und Anwendungsfälle sollte eine gemeinsame „Hauptausgabegröße" definiert werden (vgl. Ausgabegrößen).

Die Menge der Ausgabegrößen ist grundsätzlich konstant. Bei der Visualisierung werden jedoch die für einen Anwendungsfall besonders wichtigen Ausgabegrößen gekennzeichnet oder aufbereitet. Das Ausblenden von Ausgabegrößen geringerer Bedeutung kann in Erwägung gezogen werden.

Gemäß Anforderungsanalyse soll die Möglichkeit bestehen, für jeden Anwendungsfall eine oder mehrere spezifische Sichten zu definieren. Zu einer Sicht gehört die Auswahl, Ausblendung und die Festlegung der Reihenfolge der ausgewählten Ausgabegrößen. Zu klären ist, inwiefern auch die Darstellungsart (Entscheidung zwischen Diagramm, Tabelle oder Textbausteinen o. Ä. sowie Festlegung von Diagrammtypen und weitergehenden Details zu einer Sicht zählt).

Darüber hinaus ist festzulegen, inwiefern dies Bestandteil des Modellierungswerkzeugs selbst sein kann oder ob eine zusätzliche Software benötigt wird. Modellierungswerkzeuge stellen hierfür ein Cockpit bereit.

Das Modell soll es dem Nutzer erlauben, mit Hilfe der Sichten/Cockpits die konkrete Belegung der Schlüsselgrößen gemäß der Definition eines Szenarios einzusehen. Darüber hinaus soll der Nutzer in die Lage versetzt werden, diese Schlüsselgrößen gemäß vorgegebenem Werte- und/oder Gültigkeitsbereich selbst einzustellen.

Die Ausgabe des Wirkungsmodells ist ein konkretes Berechnungsergebnis. Das Wirkungsmodell erlaubt es, bei der Szenarienanalyse konkrete Wertebelegungen der Ausgabegrößen für verschiedene diskrete Zeitpunkte im Betrachtungszeitraum auszugeben.

Sofern zwischen konkreter Wertbelegung einer Eingabegröße und ihrer Wirkung auf die Zwischenergebnisse und Ausgabegrößen eine zeitliche Verzögerung (Latenz) eintritt, kann es erforderlich sein, den zeitlichen Verlauf einer Einflussgröße ggf. bereits vor dem Beginn des Betrachtungszeitraums anzugeben.

8.4.4.6 Szenarienanalyse

8.4.4.6.1 Beschreibung

Gegenstand der Szenarienanalyse ist es, das Wirkungsmodell für die verschiedenen betrachteten Anwendungsfälle jeweils mit einem bestimmten Ausgangszustand der Eingabegrößen und einer Definition für deren Entwicklung im Betrachtungszeitraum zu konfrontieren. Dies wird gemäß der getroffenen Auswahl an Szenarien wiederholt, bis für jedes Szenario die Berechnungsergebnisse des Wirkungsmodells vorliegen.

Das Wirkungsmodell erlaubt es, mit den definierten Einflussgrößen nahezu beliebige Konstellationen der Wertbelegungen und der zeitlichen Entwicklung der Einflussgrößen zu betrachten (Dynamik). Allerdings sind Bedingungen vorgegeben, die als Grundlage für die algorithmische Abbildung im Modell dienen und fest hinterlegt sind.

Das Wirkungsmodell kann es nicht leisten, schwer vorhersehbare grundsätzliche (qualitative) Änderungen des Wirkungsgefüges dynamisch algorithmisch abzubilden.

Beispiel:
Die Preise für Heizöl und -gas sind auf gesetzlicher Grundlage miteinander gekoppelt. Wenn der Preis aufgrund der gegebenen Abhängigkeit im Modell durch eine (einzige) Größe ausgedrückt wird, kann bei einer später eintretenden (heute nicht absehbaren) Gesetzesänderung zur Aufhebung dieser Kopplung keine differenzierte Preisentwicklung berücksichtigt werden. Hier wäre ein Eingriff auf Modellierungsebene erforderlich.

8.4.4.6.2 Abgeleitete Grundsätze

Folgende Grundsätze gelten für die Szenarienanalyse:

- Der Bezugs- und Beginnzeitpunkt ist für alle Szenarien gleich.
- Die Betrachtungsdauer ist für alle Szenarien gleich.
- Der Betrachtungsraum selbst setzt sich aus der Menge der Eingabegrößen und der Menge der Ausgabegrößen aller Szenarien zusammen.

8.4.4.6.3 Ergebnisinterpretation

Ein wesentlicher Bestandteil der Szenarienanalyse ist die Interpretation der vom Wirkungsmodell ermittelten Ausgabegrößen. Es ist insbesondere auf die Bedingungen, erforderliche Annahmen, getroffene Vorgaben und ggf. auch auf das Abstraktionslevel hinzuweisen, unter deren Berücksichtigung die konkreten Ergebniswerte einer Ausgabegröße ermittelt wurden.

Ferner gehört der Vergleich oder die Gegenüberstellung verschiedener Szenarien zur Analyse. Die Szenarienanalyse kann untergliedert nach den einzelnen Stories und deren Anwendungsfälle erfolgen. Die je Story und Anwendungsfall betrachtete Anzahl an Szenarien kann sich unterscheiden.

8.4.5 Anwendung der im Vorhaben erarbeiteten Methodik zur Wirkungsabschätzung verschiedener Ladetechnologien auf die Verbreitung der Elektromobilität

8.4.5.1 Zielstellung der Erprobung

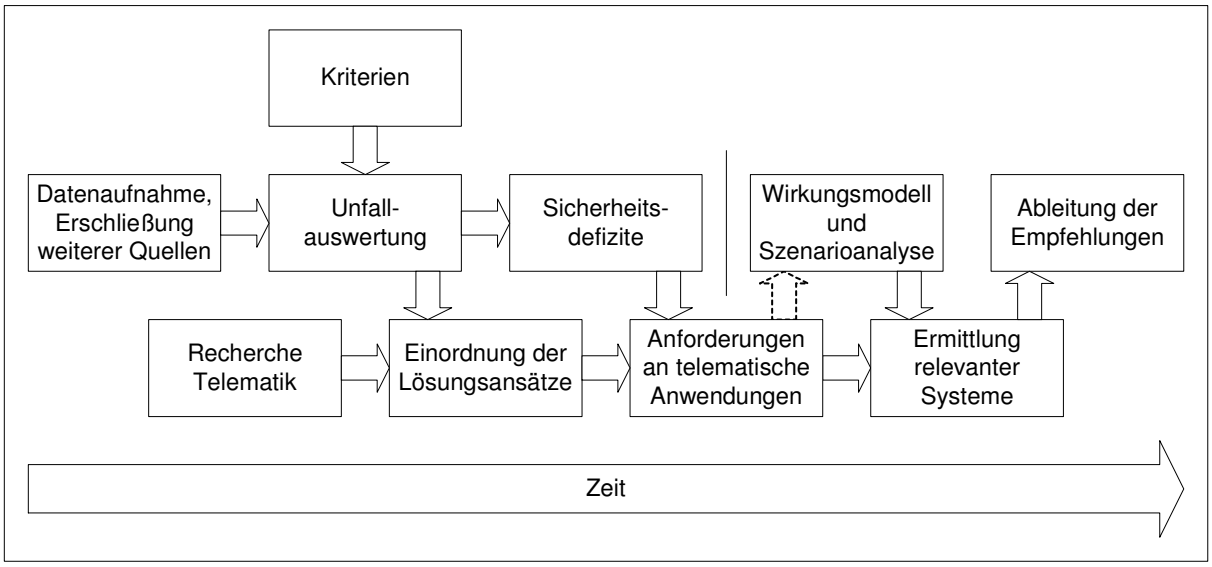
Mit der Implementierung und praktischen Anwendung der zuvor beschriebenen Methodik soll die Funktionstüchtigkeit und korrekte Funktionsweise des Wirkungsmodells abgesichert werden. Sofern es die vorhandene Quellenlage (Fundstellen) zulässt, sollten die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung verifiziert werden. Weiterhin sollte im engen Zusammenspiel zwischen Entwicklern und Anwendern die Praxistauglichkeit des Wirkungsmodells, also bspw. die Verständlichkeit und Anwendbarkeit untersucht werden.

8.4.5.2 Werkzeuge zur Modellierung – Microsoft Excel

8.4.5.2.1 Wirkprinzip Szenarienmodell am Beispiel einer Telematikfunktion

Die Vorgehensweise für den Entwurf und die Erstellung des Szenarienmodells im Projekt sollte hier für ein verbessertes Verständnis am Beispiel einer Telematikfunktion zur Unfallvermeidung umrissen werden (Quelle: Projekt SiTel – Sicherheitsverbesserungen durch telematische Anwendungen im Straßenverkehr).

Das Wirkungsmodell basierte auf vordefinierten Szenarien, die wesentliche Parameter wie beispielsweise die pro Infrastruktureinrichtung anfallenden Investitionskosten beinhalteten. Somit können jederzeit weitere Szenarien definiert und die Wirksamkeitsabschätzung erneut durchgeführt werden. In der nachfolgenden sind wichtige Teilschritte, deren Zusammenwirken und die daraus resultierenden Abhängigkeiten dargestellt.



Tab. 93: Allgemeine Vorgehensweise am Beispiel der Telematikfunktion (ifak)

Die szenariengerecht aufbereiteten Datensätze werden komplett eingespielt und hinsichtlich ihrer Wirkzusammenhänge durchgespielt. Der Anpassungsbedarf wird in einem strukturierten Änderungs- und Fehlerbereinigungsprozess in iterativen Schleifen so lange umgesetzt, bis das Szenarienmodell stabil und folgerichtig läuft.

Für eine systematische Auswertung des erfassten Datenbestandes und die Analyse der Wirkungszusammenhänge werden verschiedene Kenngrößen bzw. Kriterien definiert. Für die Klassifizierung des Wirkungspotentials nach den entsprechenden Kriterien ist es erforderlich, dass alle erforderlichen Informationen in den Datenquellen (hier Unfalldatensätze) enthalten sind. Um die erwarteten Wirkungspotentiale der Anwendungen abschätzen zu können, erfolgt eine Auswertung der Datenbestände anhand der zuvor definierten Kriterien.

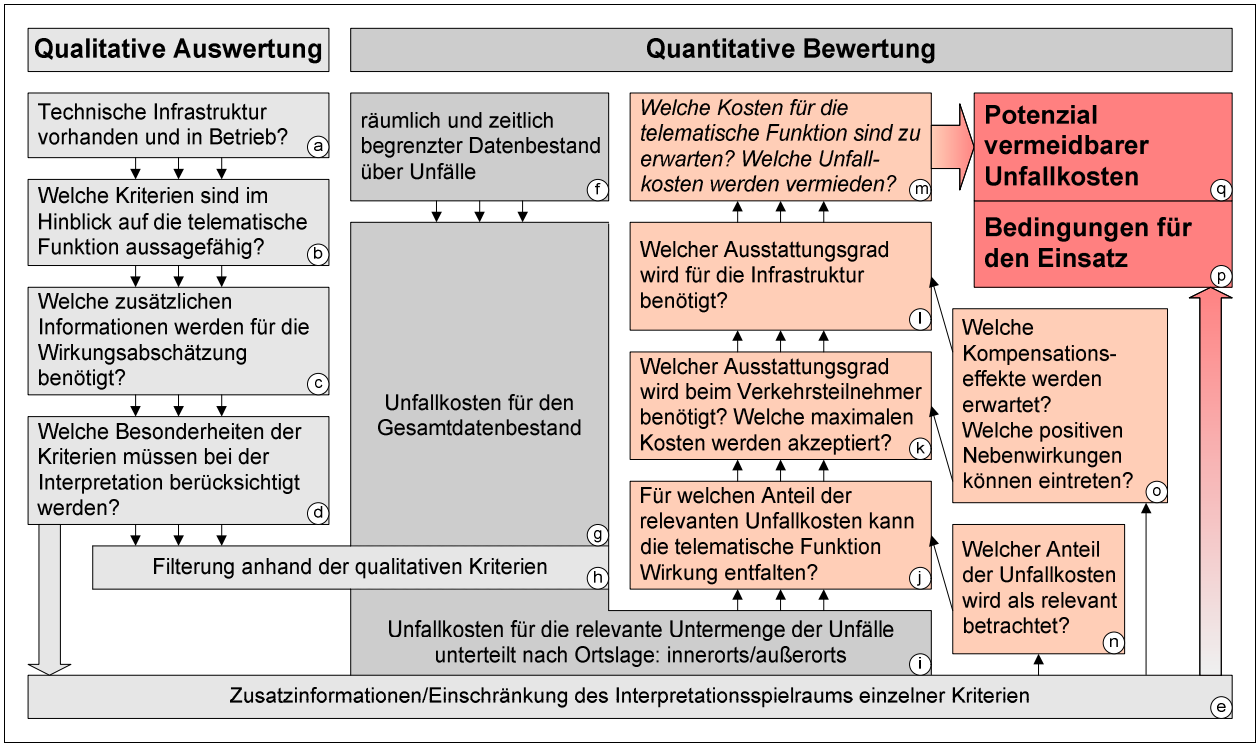
Nach Anforderungsanalyse, Kenngrößenermittlung und Kategorisierung der Systeme und Funktionen erfolgten die Einzelbetrachtung der Anwendungen und die Abschätzung ihrer Wirkungen (hier die Erhöhung der Sicherheit im Straßenverkehr). Dabei waren andere Wirkungen ebenfalls zu berücksichtigen, insbesondere Rückwirkungen und Kompensationseffekte. Derartige Effekte traten teilweise erst beim Zusammenspiel mehrerer zukünftiger oder einer zukünftigen und einer bereits existierenden telematischen Anwendung auf.

Zwar sollten auch quantitative und qualitative Aussagen getroffen werden können, von besonderem Interesse war jedoch die Methodik, die zu solchen Aussagen führt. Gründe dafür sind eine nachvollziehbare Beurteilung sowie die zeitliche und örtliche Veränderlichkeit einzelner Parameter, deren Einflüsse bei der Wirksamkeitsbetrachtung berücksichtigt worden.

Um also die Szenarioanalyse für verschiedene zeitliche Entwicklungen beispielsweise äußerer Bedingungen durchführen oder um die vorliegenden Resultate zu einem späteren Zeitpunkt aktualisieren zu können, müssen die Werte der eingegangenen Parameter veränderbar sein. Die dafür benötigte Transparenz stellt gleichzeitig eine der Voraussetzungen für eine korrekte Interpretation der Ergebnisse dar.

8.4.5.2.2 Skalierbarkeit

Des Weiteren sollte die Anzahl der im Wirkungsmodell einbezogenen Größen weiter zunehmen können. Ebenso kann der Fall eintreten, dass für eine Funktion nicht alle im Wirkungsmodell berücksichtigten Größen von Relevanz sind. Grundsätzlich gilt dann, dass eine passende mathematische Umschreibung für diese fehlenden Größen gefunden werden muss, damit im Wirkungsmodell eine allgemeingültige Berechnungsvorschrift hinterlegt werden kann.



Tab. 94: Das Wirkungsmodell für die Abschätzung der Wirkung telematischer Funktionen (ifak)

8.4.5.2.3 Beispieldarstellung

In der obigen Abbildung ist das Wirkungsmodell am Beispiel Unfallkosten schematisch dargestellt. Es wird ersichtlich, dass verschiedene Parameter Einfluss auf die ermittelte Wirkung der telematischen Anwendung besitzen. Deshalb ist es von Bedeutung, diese Parameter zu benennen und im Modell eine Abhängigkeit zwischen diesen Größen und den als vermeidbar angesehenen Kosten herzustellen.

Die definierten Szenarien (kostenminimal, wahrscheinlich, sicherheitsbewusst) werden jeweils durch eine Menge an Einflussgrößen und deren Gültigkeitsbereiche definiert. Diese Menge muss für alle Szenarien und alle Anwendungen möglichst gleich groß sein, damit diese später im Wirkungsmodell anhand einer Berechnungsvorschrift behandelt werden können. Für jedes der drei zuvor definierten Szenarien ergibt sich somit ein definierter Parametersatz, der dem beispielhaften Aufbau in der nachfolgenden Abbildung entspricht.

Parametersatz für ein Szenario					
Größe 1	Größe 2	Größe 3	Größe 4	. .	Größe k
Relevanz der Unfallkosten	Kosten für den Verkehrsteilnehmer	Ausstattungsgrad Nutzer	Kosten für die Infrastruktur	. .	Ausstattungsgrad Infrastruktur

Tab. 95: Schematische Darstellung eines Parametersatzes für ein Szenario (ifak)

Damit die Ergebnisse des Wirkungsmodells interpretiert werden können und die verwendeten Parameter jederzeit bekannt sind, wurden diese bei der Anwendung des Wirkungsmodells in der Visualisierung (hier in Excel, siehe nachfolgende Abbildung) mit angezeigt.

Telematische Anwendung:	**"Warnung bei abgeschalteter LZA/LSA" (Id 21MD)**				*Kurzbeschreibung Anwendung:* Warnung bei abschalteter LZA/LSA, s. Id 21
Szenario:	**Szenario "Kostenminimal" (Id 1)**				*Kurzbeschreibung Szenario:* Die Kosten für Verkehrsteilnehmer und Infrastruktur sollen minimal ausfallen.
Auswahl:	*Telematische Anwendung:*	21MD	*Szenario:*	1	
Kriterien DB-Auswertung - Ortslage - LZA = außer Betrieb - Ort = Magdeburg	**85100 Unfälle aus Sachsen-Anhalt (Juni 2004 - Mai 2005)** UK gesamt: 1.198.490.264 € UK innerorts: 610.410.813 € UK außerorts: 588.079.451 € Anz Getöteter: 0		**Ausstattung Infrastruktur** IK/IS: 500 € A_{IS}: 33 % Anz IS: 220 **IK_{IS}: 36.300 €**		**Verhältnis zwischen vermeidbaren Unfallkosten und Investitionskosten** $UK_{vermeidbar:}$ 93.703 € **UK/IK 2,5813**
Filterung anhand der Kriterien			**Ausstattung der Verkehrsteilnehmer**		**Laufende Kosten**
Weitere Fragen und Kriterien (Relevanz) - Unfallursachen (1-6) = {18, 27, 28, 31, 32, 35, 40} - Betriebszeiten - Anteil Abschaltung - Wirkung f. LZA in Betrieb	**Unfallkosten nach Kriterien:** UK gesamt: 2.059.115 € UK innerorts: 2.059.115 € UK außerorts: Anz Getöteter: 0 **Relevante Anteile an den Unfallkosten** $F_{rel, io}$: 77,26032 % $F_{rel, ao}$: UK gesamt: 1.590.879 € UK innerorts: 1.590.879 € UK außerorts: Anz Getöteter: 0		**IK/VT: 100 €** A_{VT}: 33 % p(AnzVT = 1) 0,1000 p(AnzVT > 1) 0,7948 AZ_{VT}: 50 % BG_{VT}: 50 % **Effektivität: 11,78 %** **Wirkungsgrad der telematischen Anwendung** η: 50 % UK gesamt: 795.439 € UK innerorts: 795.439 € UK außerorts:		Für die Unterhaltung der LZA/LSA-Warnung werden geringere Kosten als für den durchgängigen Betrieb der LSA angenommen. **Nebeneffekte** **Positiv:** Ggf. bessere Beachtung der an LSA eingesetzten Einrichtungen zur Vorfahrtsregelung **Negativ:** Der Verkehrsteilnehmer verlässt sich bei allen LSA auf das Warngerät
Hinweise:	Nur LSA in Magdeburg (innerorts) einbezogen. Abschaltung zwischen 21:00 Uhr und 05:00 Uhr.		LSA-Anteil an LZA in Magdeburg: ca. 99 %. Nachts verbleiben ca. 10 % der LSA in Betrieb.		
Legende:	F_{rel} = relevanter Anteil, UK = Unfallkosten, IK = Investitionskosten, LZA = Lichtzeichenanlage, LSA = Lichtsignalanlage, VT = Verkehrsteilnehmer, IS = Infrastruktur, A = Ausstattungsgrad, AZ = Akzeptanz, BG = Befolgungsgrad, Lv = Leichterverletzte, SP = Schwerer Personenschaden				

Tab. 96: Wirkungsmodell für ein Szenario (Bedienoberfläche und Visualisierung) (ifak)

Das hier beispielhaft vorgestellte Wirkungsmodell eignet sich dazu, Anwendungen und Lösungsansätze vor ihrer Einführung einer Wirkungsabschätzung unter verschiedenen Gegebenheiten zu unterziehen und somit auch eine wirtschaftliche Betrachtung durchzuführen.

Die zugrunde liegende Methodik ist prinzipiell auf andere Anwendungsräume (kabelloses Laden, Elektromobilität) übertragbar. Die Komplexität des Wirkungsmodells hängt dabei wesentlich von Art und Umfang der Faktoren und deren Wirkungszusammenhängen ab.

8.4.5.3 Werkzeuge zur Modellierung – CONSIDEO-Modeler

Der CONSIDEO-Modeler ist eine einfach zu bedienende Software zur Visualisierung und Analyse von Zusammenhängen - seien es Strategien, Projekte oder Prozesse in der Wirtschaft, der Politik oder im Sozialen. Grundsätzlich besteht der CONSIDEO-Modeler aus 5 Arbeitsbereichen, die eine systematische, aufeinander aufbauende Vorgehensweise bei der Erstellung und Befüllung des Modells sowie der Visualisierung der Ergebnisse erlauben.

Arbeitsbereich „Beschreiben“

Der Arbeitsbereich unterstützt das zielstrebige Arbeiten durch eine genaue Problem- und Zielbeschreibung.

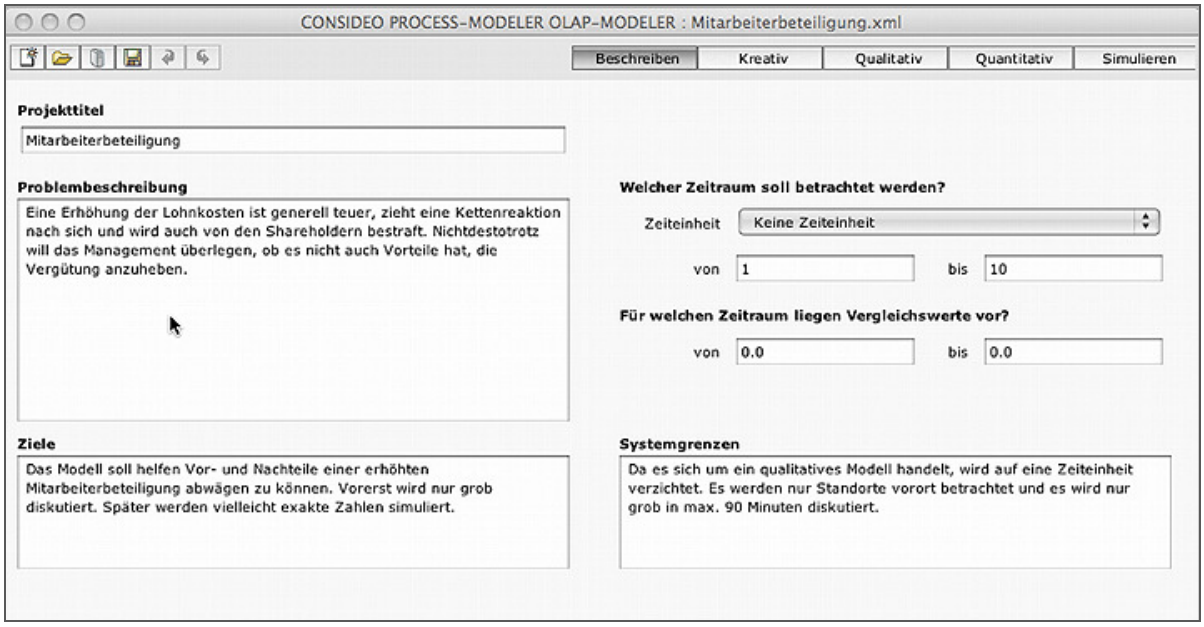


Abb. 98: Arbeitsbereich „Beschreiben“ des CONSIDEO-Modelers (Consideo)

Arbeitsbereich „Kreativ“

Der Arbeitsbereich unterstützt das kreative Arbeiten durch eine 'elektronische Metaplanwand' (vergleichbar einer einfachen Mind Map).

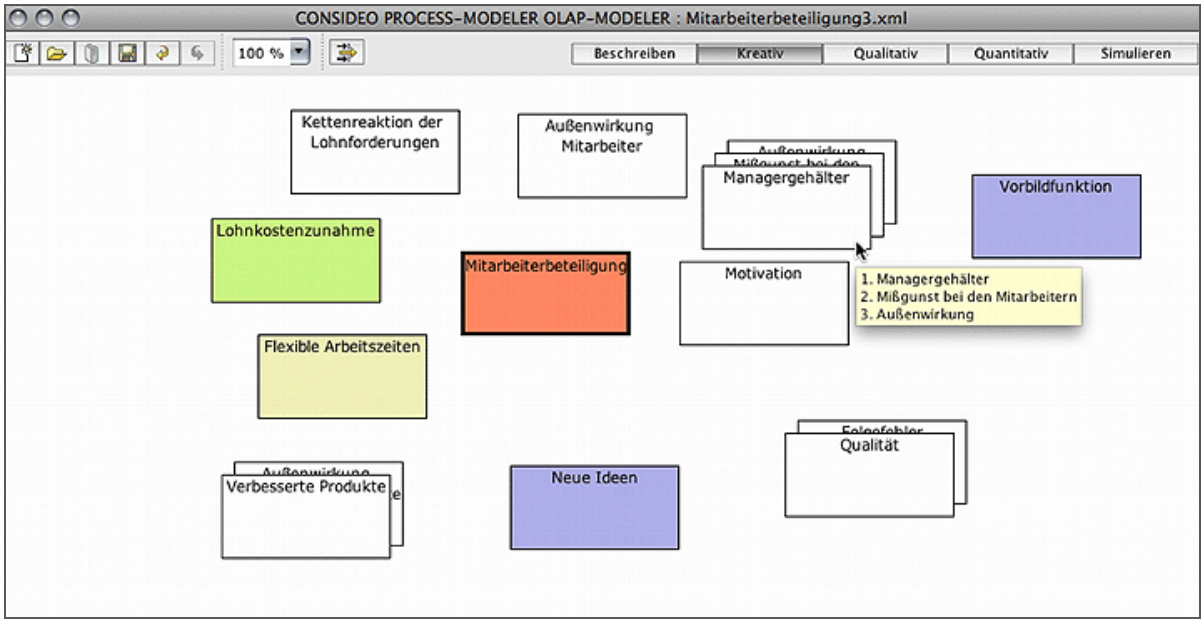


Abb. 99: Arbeitsbereich „Kreativ“ des CONSIDEO-Modelers (Consideo)

Arbeitsbereich „Qualitativ“

Der Arbeitsbereich liefert schnelle Ergebnisse durch eine grobe Gewichtung der Zusammenhänge von Argumenten, Prozessen und Strategien sowie durch die qualitative Analyse der kurz- und langfristig entscheidenden Faktoren in einer sogenannten Erkenntnis-Matrix.

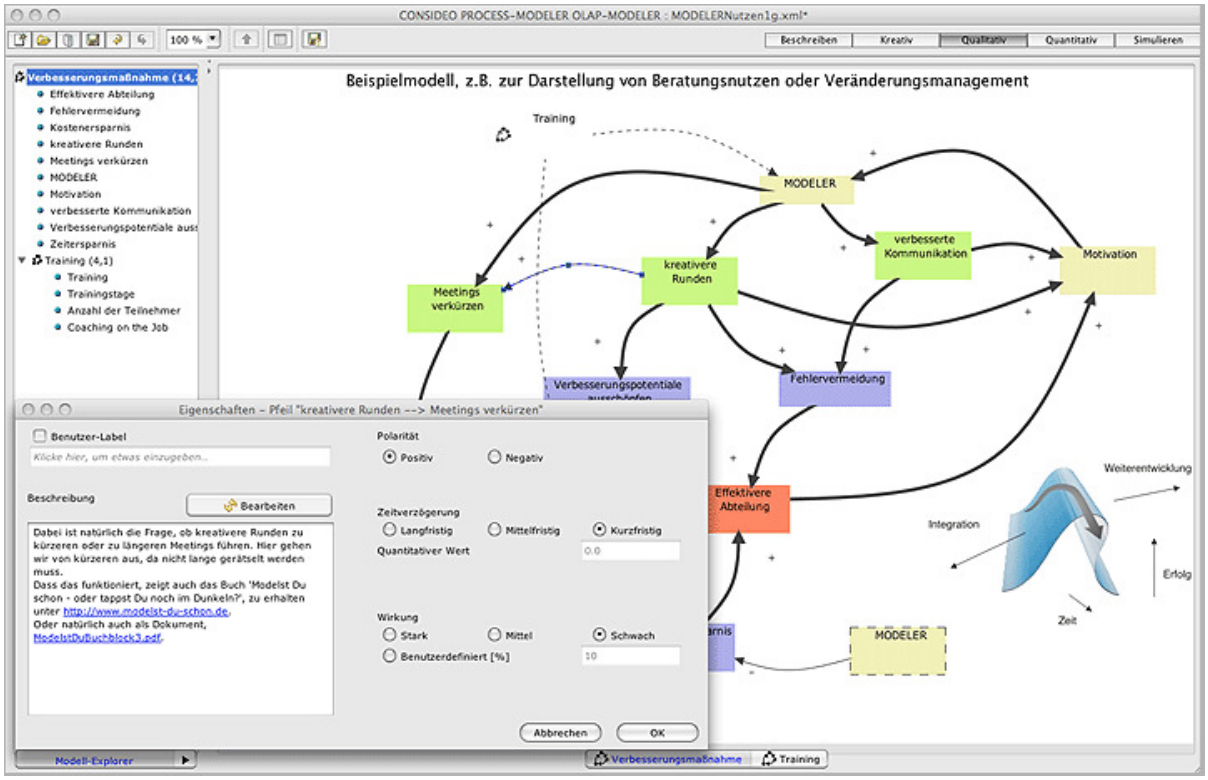


Abb. 100: Arbeitsbereich „Qualitativ“ des CONSIDEO-Modelers (Consideo)

Arbeitsbereich „Quantitativ“

Der Arbeitsbereich ermöglicht das einfache Erstellen von Formeln sowie die Integration von Daten aus Excel oder SQL-Datenbanken.

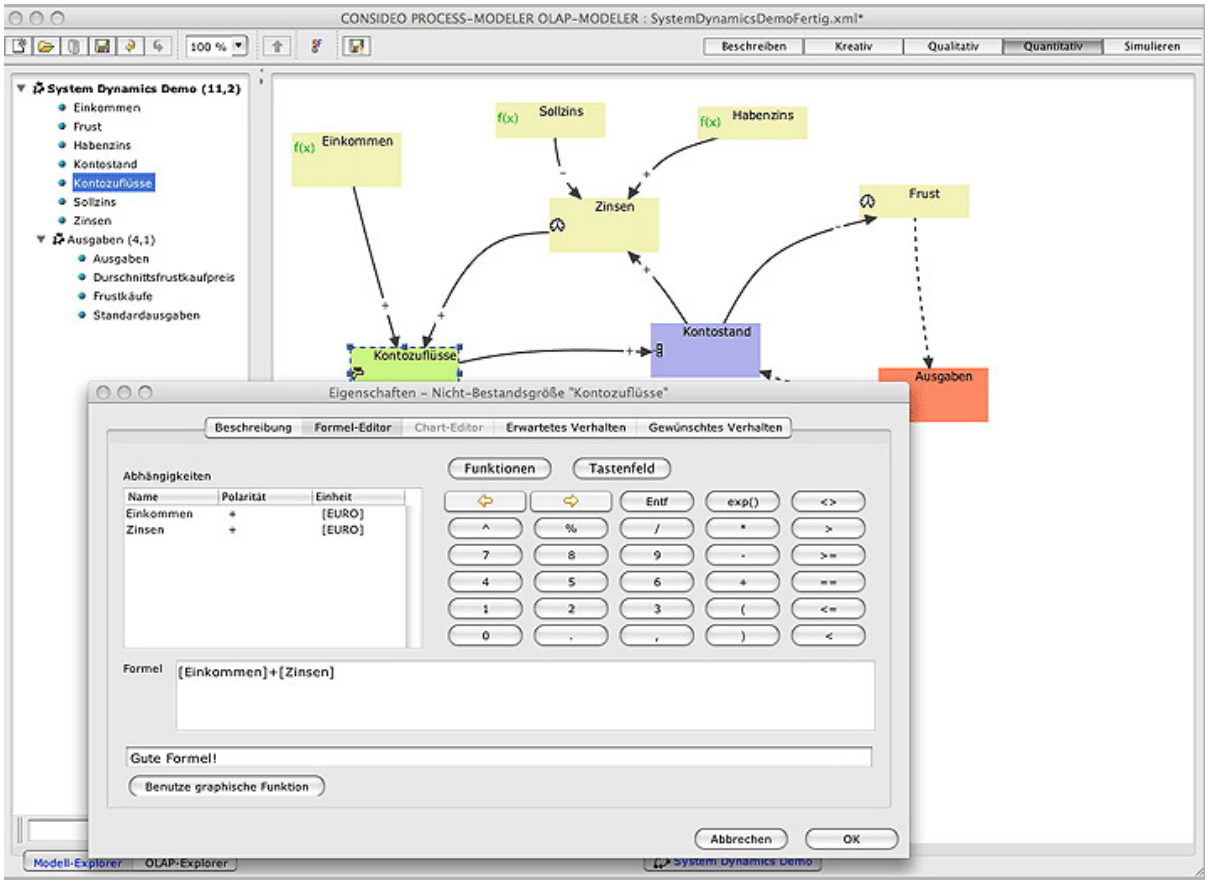


Abb. 101: Arbeitsbereich „Quantitativ“ des CONSIDEO-Modelers (Consideo)

Arbeitsbereich „Simulieren“

Der Arbeitsbereich ermöglicht die Auswertung quantitativer Modelle in beliebig vielen Cockpits durch Vergleich von Was-Wäre-Wenn-Szenarien.

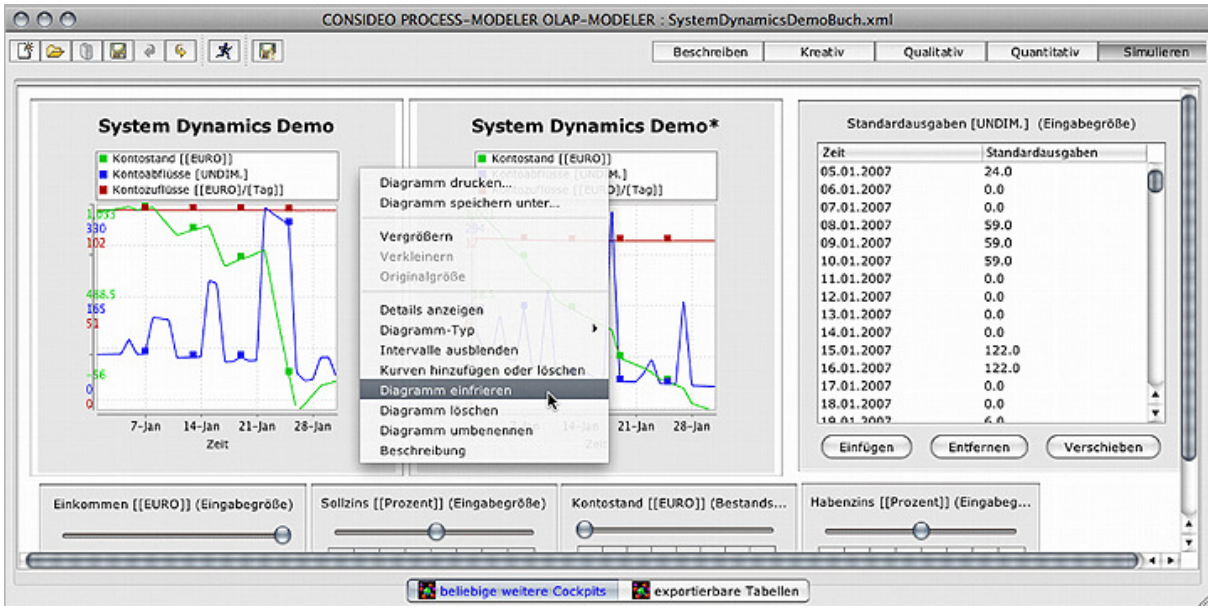


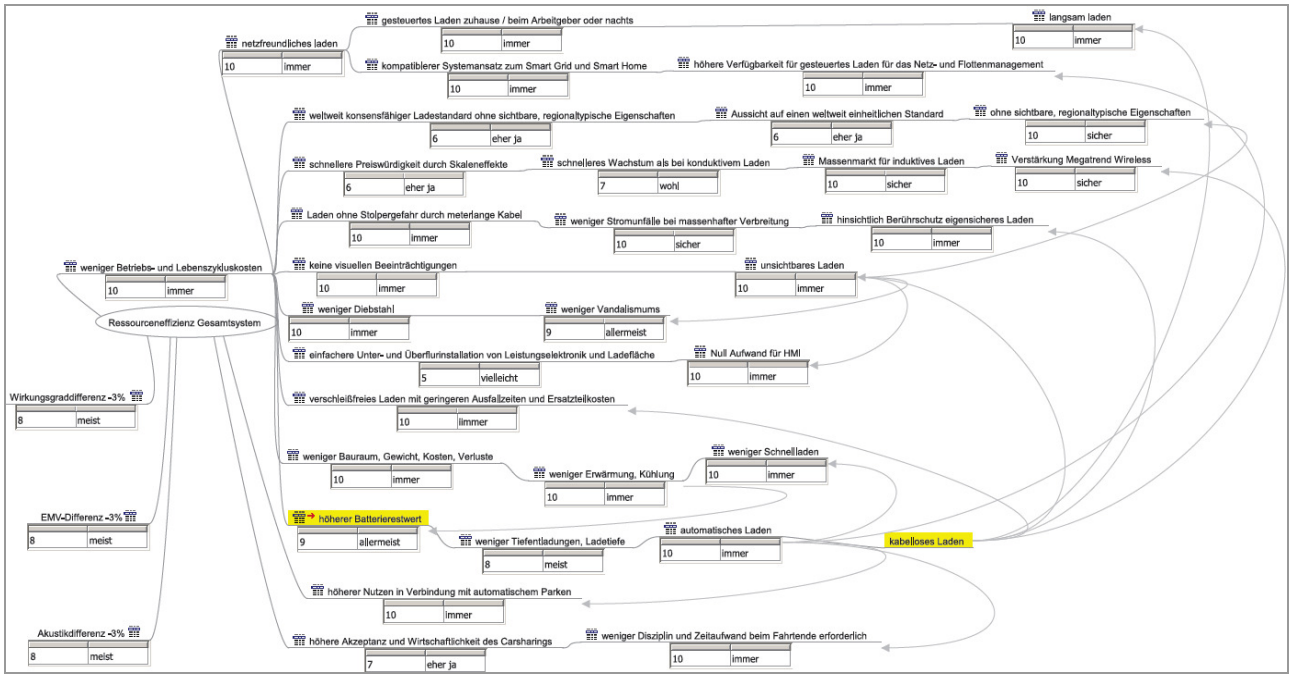
Abb. 102: Arbeitsbereich „Simulieren“ des CONSIDEO-Modelers (Consideo)

8.4.5.4 Mind Mapping

Mind Mapping ist ein mittlerweile vor allem in der Planungs- und Entscheidungsphase von Entwicklungsprozessen und Projekten anerkanntes und verbreitetes Werkzeug. So wie das menschliche Gehirn auch nur Schlüsselbegriffe zu Zusammenhängen formt, werden in der Mind Map Inhaltszusammenhänge durch miteinander verästelte Schlüsselbegriffe geformt.

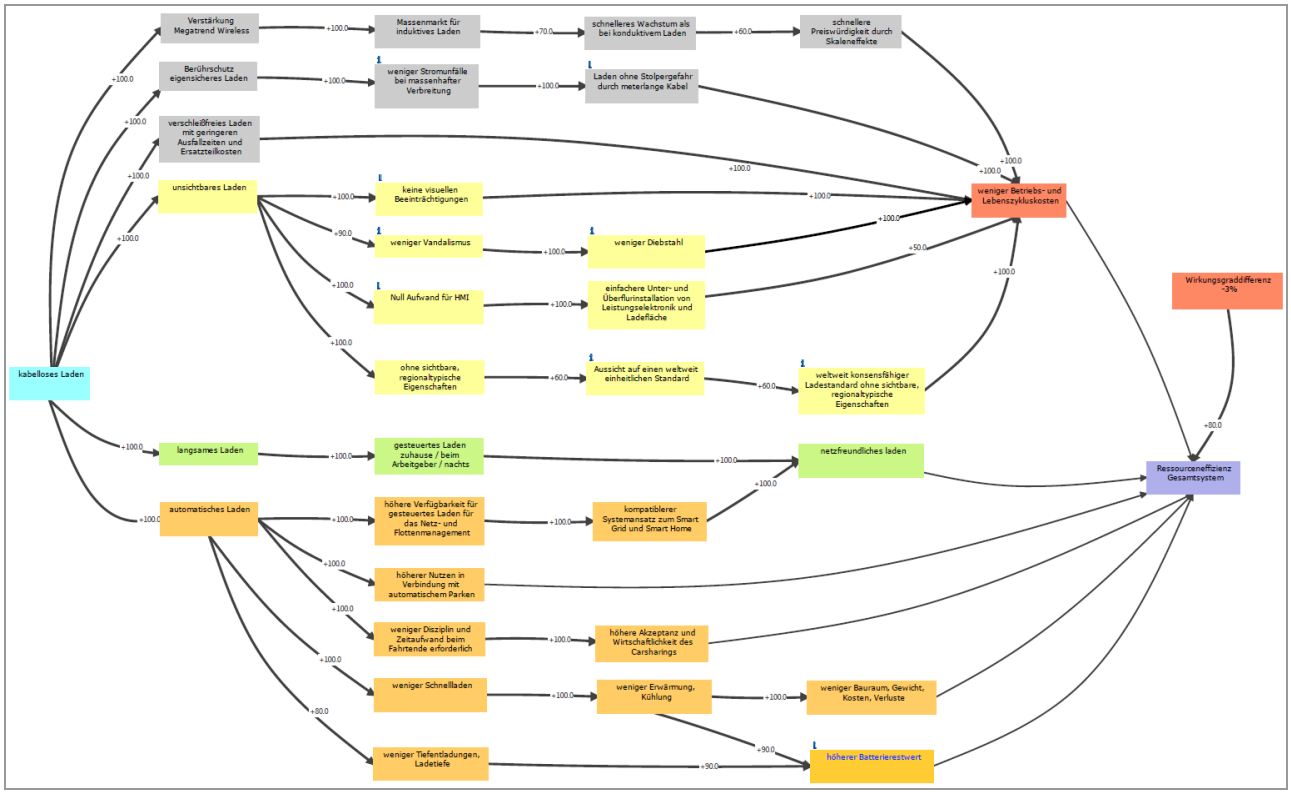
Allerdings können in einer Mind Map erst einmal nur Inhaltszusammenhänge dargestellt werden. Wenn viele der Schlüsselbegriffe oder Faktoren sich gegenseitig beeinflussen, stößt die Darstellung in der Mind Map schnell an ihre Grenzen. Vor allem das ab mehr als 5 Faktoren teilweise sehr dynamische Zusammenspiel und die Wechselwirkungen können nur schwer erfasst und bewertet werden.

Einige Modellierungswerkzeuge erlauben aber den Import von Mind Maps, so dass diese ein durchaus auch für das Projekt geeignetes Werkzeug zur Bestimmung der Schlüsselbegriffe bzw. Faktoren und einer ersten Darstellung der Wirkungszusammenhänge (Kausalketten) darstellen.



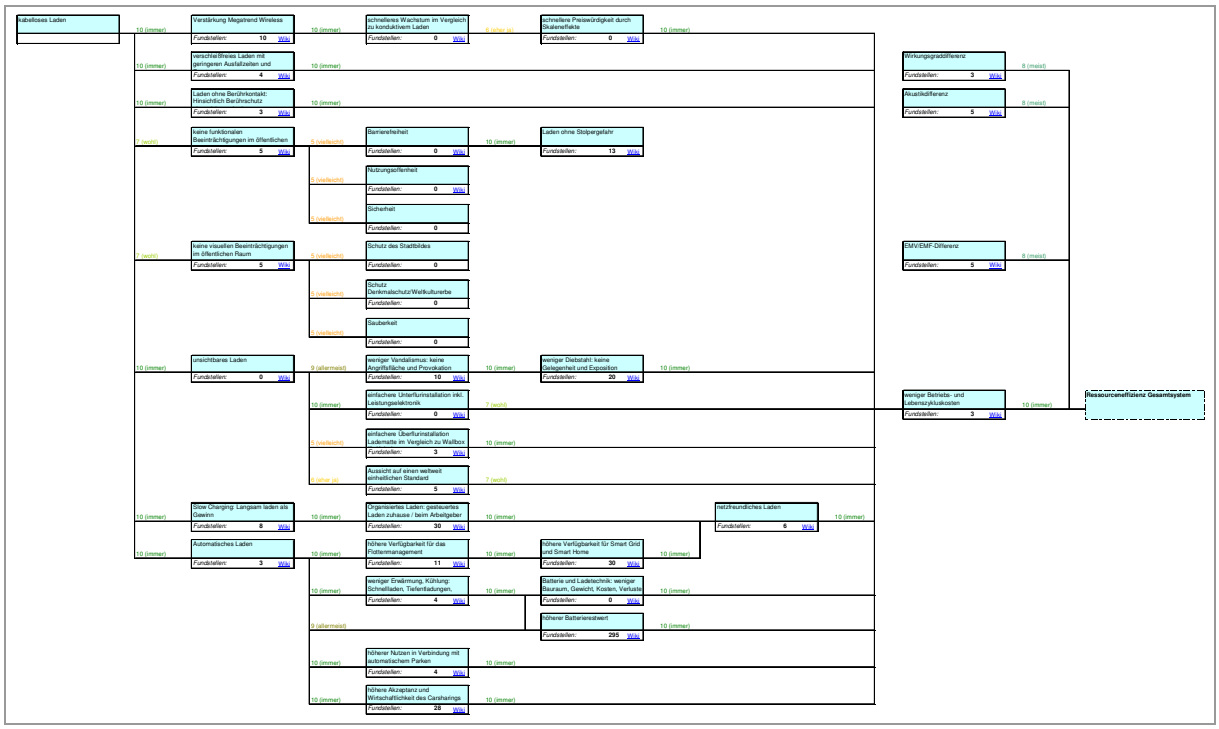
Tab. 97: JustPark-Mind Map (KM)

Die obige Abbildung zeigt die im Projekt fortlaufend weiterentwickelte Mind Map mit den verschiedenen Schlüsselbegriffen bzw. Faktoren und deren Zusammenwirken. Die einzelnen Faktoren können direkt mit Literaturquellen und Fundstellen verlinkt werden und erlauben so eine erste fundierte Gewichtung der Wechselwirkungen durch einen Experten.



Tab. 98: Überführung der JustPark-Mind Map in das CONSIDEO-Modell (ifak)

Diese Mind Map wurde ebenfalls sowohl in das CONSIDEO-Modell (qualitative Darstellung der Wechselwirkung) als auch in das JustPark-Excel-Modell überführt. Die vorhergehende und die nachfolgende Abbildung zeigen jeweils die Gesamtansicht (hier vertikal gespiegelt im Vergleich zur Original-Mind Map) mit den verschiedenen Faktoren, die ebenfalls mit den vorliegenden Fundstellen verlinkt wurden.



Tab. 99: Überführung der JustPark-Mind Map in das Excel-Modell (ifak)

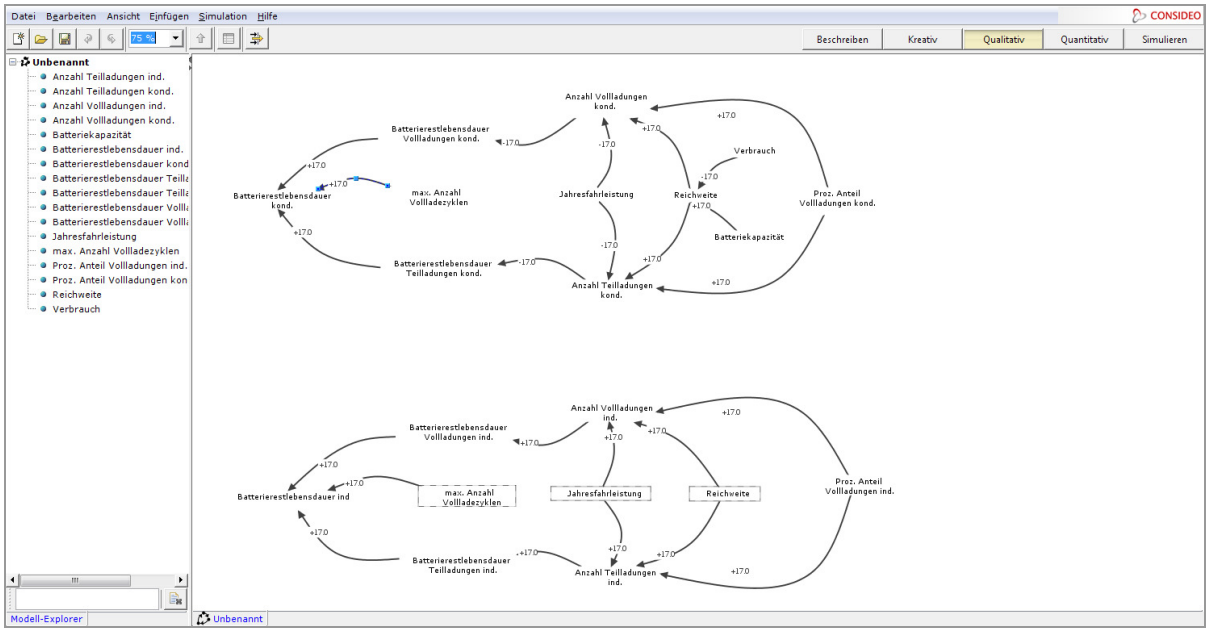
8.4.5.5 Qualitative Modellierung

Qualitatives Modellieren ist eine schnelle und häufig sogar bessere Alternative zur vergleichsweise aufwändigen **quantitativen** Modellierung. Für das quantitative Modellieren müssen in der Regel eine Vielzahl von Daten und Informationen gesammelt und für die Beschreibung der Zusammenhänge zwischen einzelnen Faktoren des Modells Formeln erstellt werden.

Beim qualitativen Modellieren hingegen werden die Zusammenhänge zwischen Faktoren lediglich grob gewichtet. Es wird festgelegt, ob ein Einfluss positiv oder negativ ist und entweder nur durch die Angabe von .schwach', .mittel' und .stark' abgeschätzt oder durch die Angabe von Prozentwerten zwischen 0 und 100, die Stärke dieses Einflusses beliebig differenziert.

Allein die Visualisierung von Argumenten oder auch von Strategien und Prozessen, die durch Ereignisse positiv oder negativ beeinflusst werden, zusammen mit der schnellen Gewichtung dieser Einflüsse, erlaubt bereits eine Analyse des Modells. Ein weiterer Nutzen gerade auch bei größeren Modellen mit Submodellen ist die Analyse der Wirkungsketten.

Hier kann für jeden Faktor abgelesen werden, wie dieser auf verschiedenen Wegen beeinflusst oder beeinflusst wird. Die Grenzen der qualitativen Modellierung liegen vor allem bei multiplikativen Zusammenhängen, bei wechselnden Dynamiken oder dem Einfluss von einmaligen Ereignissen. Hierfür bietet sich dann das quantitative Modellieren an.



Tab. 100: Qualitatives Modellieren in CONSIDEO am Beispiel der Batterierestlebensdauer (ifak)

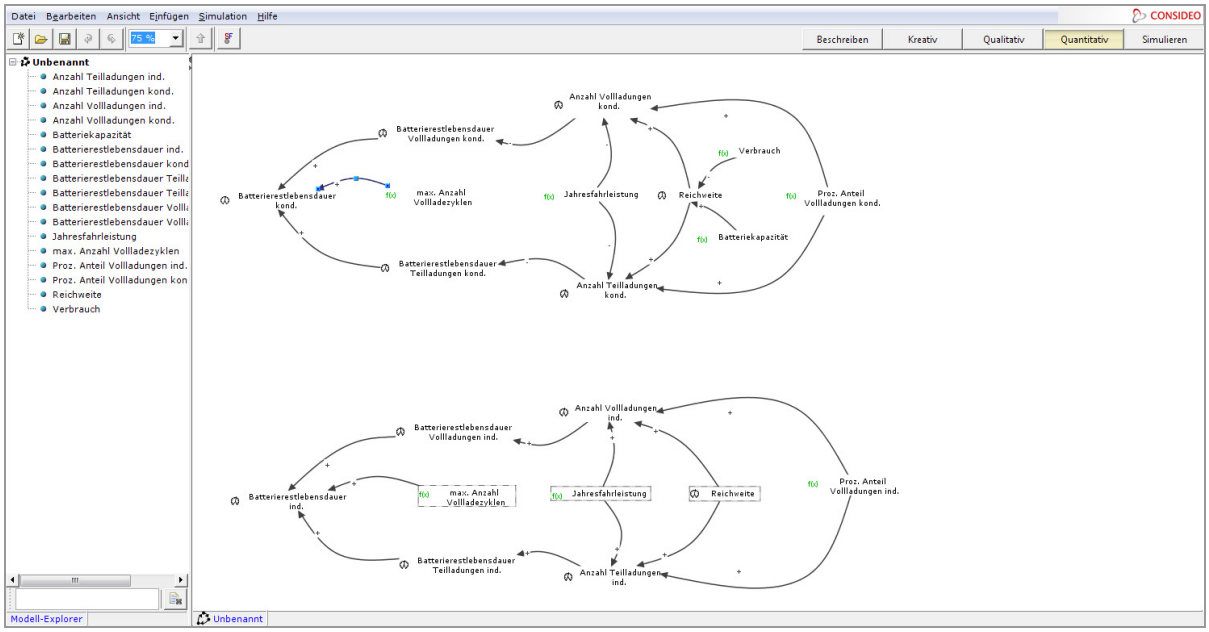
Die Abbildung zeigt ein einfaches Beispiel zur Modellierung der Batterierestlebensdauer, das als sogenanntes Submodell (Teilmodell) in das wesentlich komplexere Gesamtmodell zur Gegenüberstellung von konduktivem und induktivem Laden integriert werden kann.

Im Modell werden die verschiedenen Einflussfaktoren wie Jahresfahrleistungen, Verbrauch, Batteriekapazität sowie Anzahl und Tiefe der Ladezyklen jeweils für das konduktive (oberes Modell) und das induktive Laden (unteres Modell) definiert und qualitativ in Beziehung zueinander gesetzt. Zur Überführung in ein quantitatives Modell müssen die verschiedenen Faktoren, Werte und Parameter formelhaft verknüpft werden.

8.4.5.6 Quantitative Modellierung

Alternativ zur schnellen qualitativen Modellierung können mit der quantitativen Modellierung Ursache- Wirkungszusammenhänge im Zeitverlauf mit Daten und Formeln beschrieben und in Szenarien simuliert werden. Sofern genügend Daten vorhanden sind, können so die Wirkungen von Maßnahmen oder von Risiken wesentlich besser abgeschätzt werden, als bei qualitativen Modellen.

Zur quantitativen Modellierung in CONSIDEO gehören eine Reihe weiterer Funktionen – vom einfachen Import von Daten z. B. aus Excel, der Skizzierung von Datenverläufen oder des Zusammenhangs zwischen Faktoren, über die Monte-Carlo Simulation von wahrscheinlichen Entwicklungen bis hin zur Möglichkeit, sich eine Vielzahl von Simulations-Cockpits (Sichten) einrichten zu können.



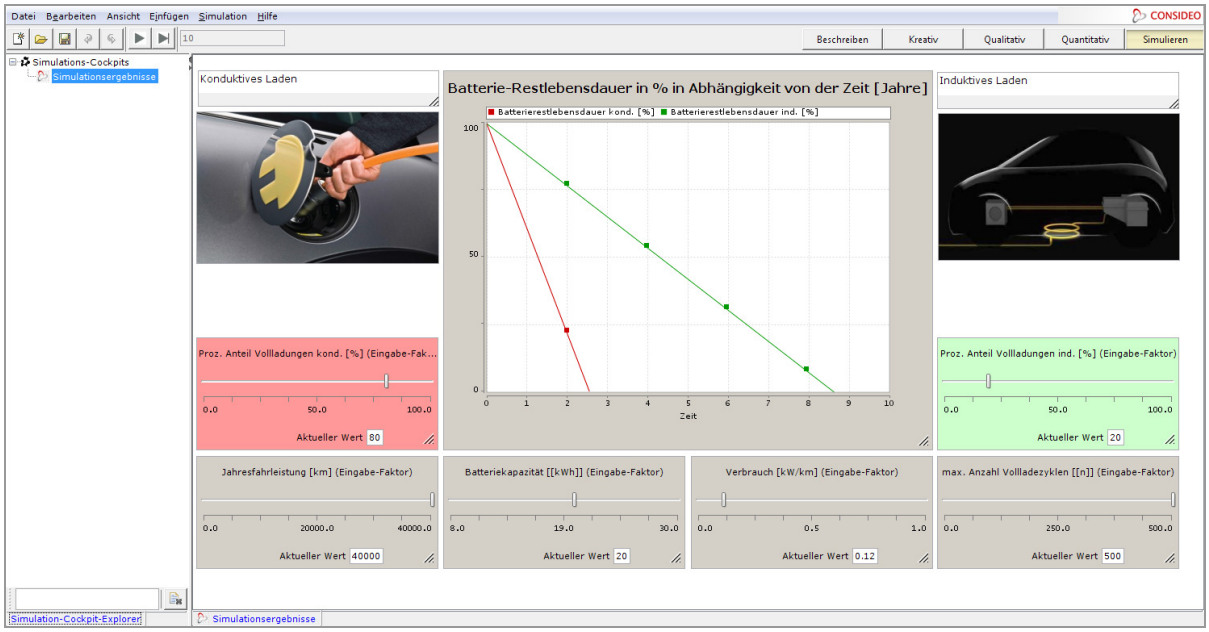
Tab. 101: Quantitatives Modellieren in CONSIDEO am Beispiel der Batterierestlebensdauer (ifak)

In Fortführung des Beispiels zur Batterierestlebensdauer aus dem vorangegangenen Abschnitt ist in der obigen Abbildung das quantitative Modell dargestellt. Für alle Faktoren wurden Startwerte bzw. Wertebereiche definiert und die jeweiligen Wechselwirkungen in Formeln gefasst. So berechnet sich etwa die Reichweite des E-Fahrzeugs aus dem Verbrauch und der nominalen Batteriekapazität.

Aus der Reichweite und der mittleren Jahresfahrleistung lassen sich der Energiebedarf und damit die Anzahl der notwendigen äquivalenten Volllladezyklen ermitteln. In Abhängigkeit von der Ladetiefe, die wiederum maßgeblich von der Ladetechnologie beeinflusst wird, lässt sich simulativ (in Jahresscheiben) die Batterierestlebensdauer für induktives und konduktives Laden ermitteln und visualisieren.

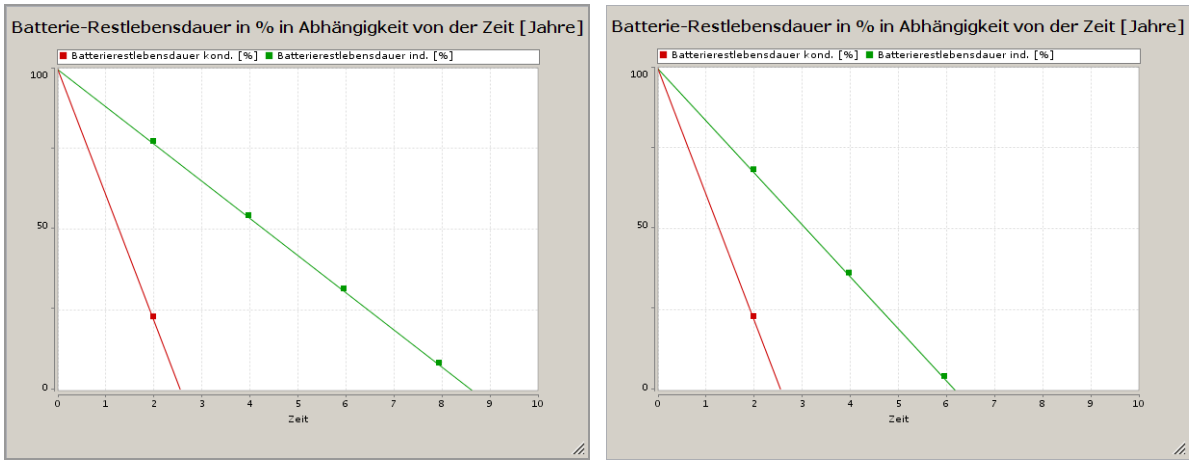
8.4.5.7 Szenarienanalyse und Visualisierung

Nach Erstellung des quantitativen Modells in können die Simulationsergebnisse visualisiert werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt den entsprechenden Kurvenverlauf (ret: konduktiv; grün: induktiv) für das Beispiel der Batterierestlebensdauer.



Tab. 102: Simulation und Visualisierung in CONSIDEO am Beispiel der Batterierestlebensdauer (ifak)

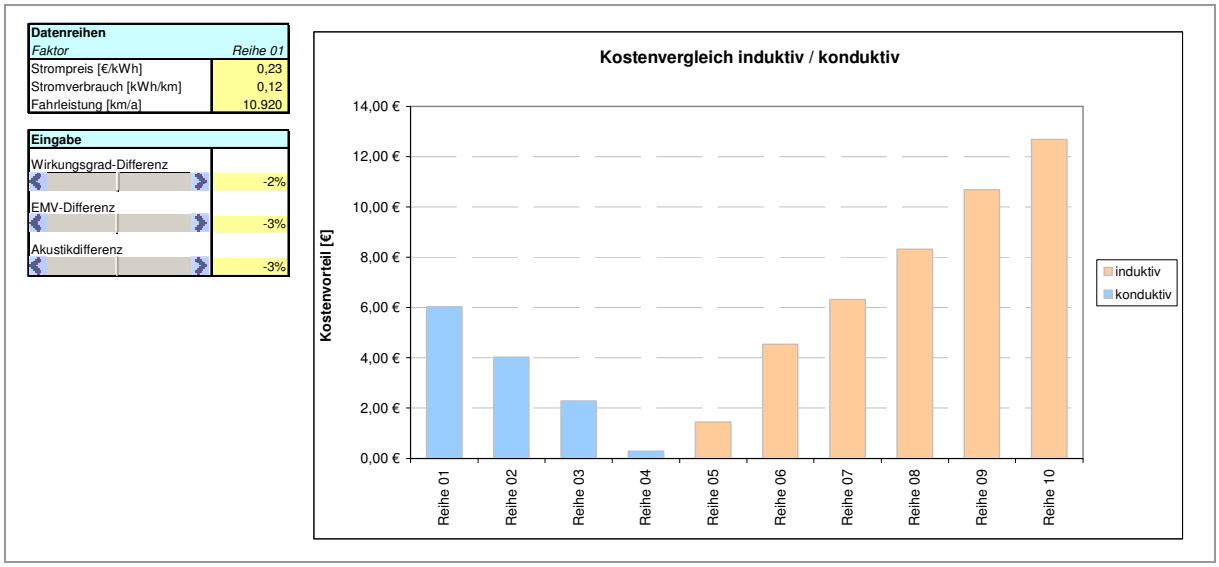
Durch Veränderung der jeweiligen Werte für die Faktoren (hier durch Schieberegler) kann die Ausgabegröße Batterierestlebensdauer verändert werden. Durch Kombination von verschiedenen Parametersätzen können so mit Hilfe der Simulation verschiedene Szenarien „durchgespielt“ und die teils komplexen Wirkzusammenhänge im Modell nachvollziehbar und verständlich dargestellt werden.



Tab. 103: Änderung der Ausgabegröße durch Veränderung eines Parameters im Modell am Beispiel der Batterierestlebensdauer (ifak)

Die obige Abbildung illustriert am einfachen Beispiel die Auswirkung der Veränderung des Wertes eines Faktors – hier die Erhöhung des prozentualen Anteils der Vollladezyklen für das induktive Laden von 20 % (links) auf 30 % (rechts) – auf die Ausgabegröße der Batterierestlebensdauer.

Diese verkürzt sich im Beispiel für das induktive Laden von ca. 8,6 Jahren auf ca. 6,2 Jahre. Analog zu diesem einfachen Beispiel können in einem komplexeren Modell mit deutlich mehr Faktoren auch komplexere Wechselwirkungen in verschiedenen zuvor definierten Szenarien simuliert, visualisiert und anhand der zuvor erfassten Datenbasis (Fundstellen) validiert werden.



Datenreihen	
Faktor	*Reihe 01*
Strompreis [€/kWh]	0,23
Stromverbrauch [kWh/km]	0,12
Fahrleistung [km/a]	10.920

Eingabe	
Wirkungsgrad-Differenz	-2%
EMV-Differenz	-3%
Akustikdifferenz	-3%

Tab. 104: Simulation und Visualisierung in Excel

Die Modellansätze aus dem CONSIDEO-Modeler wurden im Projekt alternativ auch in die Tabellenkalkulation Excel überführt. Ein Ziel hierbei war es, zukünftigen Anwendern die Möglichkeit zu geben, weit verbreitete und gut eingeführte Software sowohl für die Erfassung und Aufbereitung von Daten aus Fundstellen als auch für die Simulation und den Vergleich von verschiedenen zuvor definierten Szenarien heranziehen zu können und so die Zugangsschwelle für die Verwendung von Modellen deutlich zu senken.

Die obige Abbildung zeigt beispielhaft die Visualisierung in Excel. Der Anwender kann hier ebenfalls über Schieberegler oder Eingabemasken die Werte verschiedener Faktoren verändern und erhält unmittelbar eine visuelle Rückmeldung über die veränderten Ausgangsgrößen – hier ein Kostenvergleich induktiv-konduktiv auf Grundlage der zuvor u. a. in der Mind Map definierten und durch Fundstellen belegten Kausalketten und Faktoren.

9 ANHANG

9.1 Anhang ifak

9.1.1 Durchgeführte Befragungen und Interviews

Fragenkatalog auf dem Workshop der BMU-Projekte Elektromobilität am 03.08.2011 in Berlin
Ziel des Interviews - Erfassung der aktuellen Situation im Bereich der induktiven Ladetechnologien

9.1.2 Fragenschwerpunkte:

- Lebenszykluskosten induktiver Systeme
    - Systemkosten, zu erwartende Preisdegression, geplante Lebensdauer, geschätzter Wartungsaufwand, Prüfkosten
    - Gesamtwirkungsgrad der Systeme, Energiemehrkosten durch Verluste und Standby-Betrieb
- Sicherheit
    - EMV-Verhalten, Einhaltung der Normen/Grenzwerte hinsichtlich des Magnetfelds, Manipulationssicherheit
- Handling/Komfort
    - Erfahrungen im Handling, Bedienmöglichkeiten
- Stadtplanung
    - Konzepte für den Einbau kabelloser Ladepunkte im öffentlichen Straßenraum
- Batterie
    - Konzepte zur Wieder- oder Zweitverwertung
- Netzeinbindung
    - Konzepte bzw. Überlegungen für die Einbindung in Smart-Grid-Konzepte

9.1.3 Interviews mit industriellen Herstellern und Anwendern induktiver Energieübertragungssysteme

Ziel der Interviews - Aufzeigen von Analogien aus dem industriellen Bereich für die Beurteilung der Lebenszykluskosten kontaktloser Batterieladesysteme in der Elektromobilität

Fragenkatalog für Hersteller von industriellen Anwendungen
Fragenschwerpunkte:

- Produktklassifizierung (Leistung, technische Daten…)
- gesamtelektrischer Wirkungsgrad
- Mehrkosten oder Minderkosten im Vergleich zu kabelgebundenen Systemen
- Anschaffungs- und Installationskosten je Übertragungseinheit
- Betriebs- und Instandhaltungskosten
- Infrastrukturkosten je Übertragungseinheit
- Motivation der Kunden für ein induktives System
- Einschätzung zur Marktentwicklung
- Erfahrungen zur Elektromagnetischen Verträglichkeit

9.1.4 Interview mit Anwendern und Instandhaltungsverantwortlichen aus dem Bereich des Automobilbaus als typischen Anwendungsbereich kontaktlos-induktiver Energieübertragungssysteme

Fragenschwerpunkte:

- Anwendungsbereiche
- Leistungsbereich
- Wirkungsgrad
- Vergleich Investkosten/Mehrkosten
- Vergleich Montagefreundlichkeit/Aufwand
- geplante Lebensdauer
- Vergleich erreichte Verfügbarkeit
- Vergleich Aufwand Wartung/Instandhaltung (zur Erreichung der Verfügbarkeit)
- EMV-Aspekte
- verwendete Hersteller
- typische Fehler/Ausfallursachen induktiv
- typische Fehler/Ausfallursachen konduktiv

9.2 Anhang Universität Magdeburg

9.2.1 Interviewleitfaden für die Befragung auf der HMI:

OTTO VON GUERICKE UNIVERSITÄT MAGDEBURG | MB | FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU

Fragebogenstudie zum Verbraucherverhalten beim Laden von Elektrofahrzeugen

Lehrstuhl für Arbeitswissenschaft und Arbeitsgestaltung
Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml

Zeigen Sie zunächst den konduktiven Ladevorgang im Video und erläutern Sie während der Vorführung: „Bitte stellen Sie sich folgende Situation vor: Bisher müssen Sie Ihr Auto ungefähr alle zwei Wochen oder einmal im Monat betanken. Beim EFZ steht der Ladevorgang (d. h. das Entnehmen und Anschließen des Ladekabels und der Bedienvorgang an der Ladestation, das abschließende Trennen der Kabelverbindung und das Verstauen des Kabels) nun täglich, eventuell sogar mehrmals täglich – weil besser für die Batterie – an. Dieser Vorgang muss auch bei widrigen Witterungsverhältnissen durchgeführt werden, z. B. bei Regen, Schnee und Kälte."

Führen Sie dann den induktiven Ladevorgang im Video vor und erläutern Sie folgende Situation: „Sie müssen Ihr EFZ über einer Induktionsspule parken. Der gesamte Ladevorgang läuft nun automatisiert ab. Alle Tätigkeiten, wie das Entnehmen und Anschließen des Ladekabels, das abschließende Trennen der Kabelverbindung und das Verstauen des Kabels entfallen komplett."

Kernfragen

1 Wären Sie bereit, für ein EFZ mehr auszugeben als für einen Neuwagen gleicher Kategorie mit Benzinmotor?
☐ ja ☐ nein Wenn ja, wie viel? _____ Prozent

2 Wäre das Hantieren mit dem Ladekabel ein Grund, um kein EFZ zu kaufen?
☐ ja ☐ nein

3 Das EFZ muss auch bei Regen/Schnee geladen werden, so dass das Kabel auch mal nass/verschmutzt sein kann. Wie sehr würde Sie das stören?
1 – gar nicht ☐——☐——☐——☐——☐——☐ 6 – sehr stark

4 Wie viel mehr wäre Ihnen der Komfort des induktiven Ladens wert?
_____ EUR

5 Wie viel mehr wäre Ihnen der Komfort eines Parkassistenten wert?
_____ EUR

6 In welchen Situationen würden Sie Ihr EFZ an eine Ladesäule anschließen?
☐ ja ☐ nein Zu Hause, über Nacht
☐ ja ☐ nein Parken vor einem Supermarkt beim Lebensmitteleinkauf
☐ ja ☐ nein Kurzhalt, zum Beispiel an einem Geldautomaten
☐ ja ☐ nein Tägliches Parken beim Arbeitgeber als Berufspendler
☐ ja ☐ nein Parken in einem Einkaufszentrum während des „Shoppens"
☐ ja ☐ nein Parken während eines Kinobesuchs

7 Wie lange müssten Sie parken, damit sich das Laden mit Kabel und Stecker rentiert?
_____ Minuten

8 Wann würden Sie Ihre Autobatterie auf/nachladen? Bitte entscheiden Sie sich für die Alternative, die am Ehesten auf Sie zutrifft.
☐ a) Regelmäßig, bei jeder sich bietenden Gelegenheit
☐ b) Einmal täglich
☐ c) Erst nach Anzeige „geringer Ladestand der Batterie"
☐ d) Erst kurz vor dem Stehenbleiben des EFZ

Tab. 105: Fragebogenstudie (OvGU)

OTTO VON GUERICKE UNIVERSITÄT MAGDEBURG | MB | FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU

Zusatzfragen

9 Hat Ihr Mobiltelefon schon einmal wegen unzureichender Akkuladung versagt?
☐ ja ☐ nein

10 *Falls ja* – Wie oft kommt das vor?
1 – sehr selten ☐——☐——☐——☐——☐——☐ 6 – sehr oft

11 Welche Lademöglichkeiten nutzen Sie üblicherweise für Ihr Mobiltelefon?
☐ ja ☐ nein Zu Hause, über Nacht
☐ ja ☐ nein Im Auto auf Kurzstrecken (< 5km)
☐ ja ☐ nein Im Auto auf Langstrecken (>100 km)
☐ ja ☐ nein Während der Arbeitszeit beim Arbeitgeber

12 Wie lange müssten Sie sich an einem Ort befinden, damit sich das Laden rentiert?
_____ Minuten

13 Wann laden Sie üblicherweise Ihr Mobiltelefon? Bitte entscheiden Sie sich für die Alternative, die am Ehesten auf Sie zutrifft.
☐ a) Regelmäßig, bei jeder sich bietenden Gelegenheit
☐ b) Einmal täglich
☐ c) Erst nach Anzeige „geringer Ladestand der Batterie“
☐ d) Erst kurz vor der Selbstabschaltung des Gerätes

Demografie

14 ☐ männlich ☐ weiblich

15 ☐ a) 20 – 30 Jahre alt (*Bitte ggf. schätzen*)
☐ b) 31 – 40 Jahre alt
☐ c) 41 – 50 Jahre alt
☐ d) 51 – 60 Jahre alt
☐ e) >60 Jahre

16 Wie schätzen Sie Ihren Kenntnisstand bezüglich Elektromobilität ein?
1 – sehr gering ☐——☐——☐——☐——☐——☐ 6 – sehr hoch

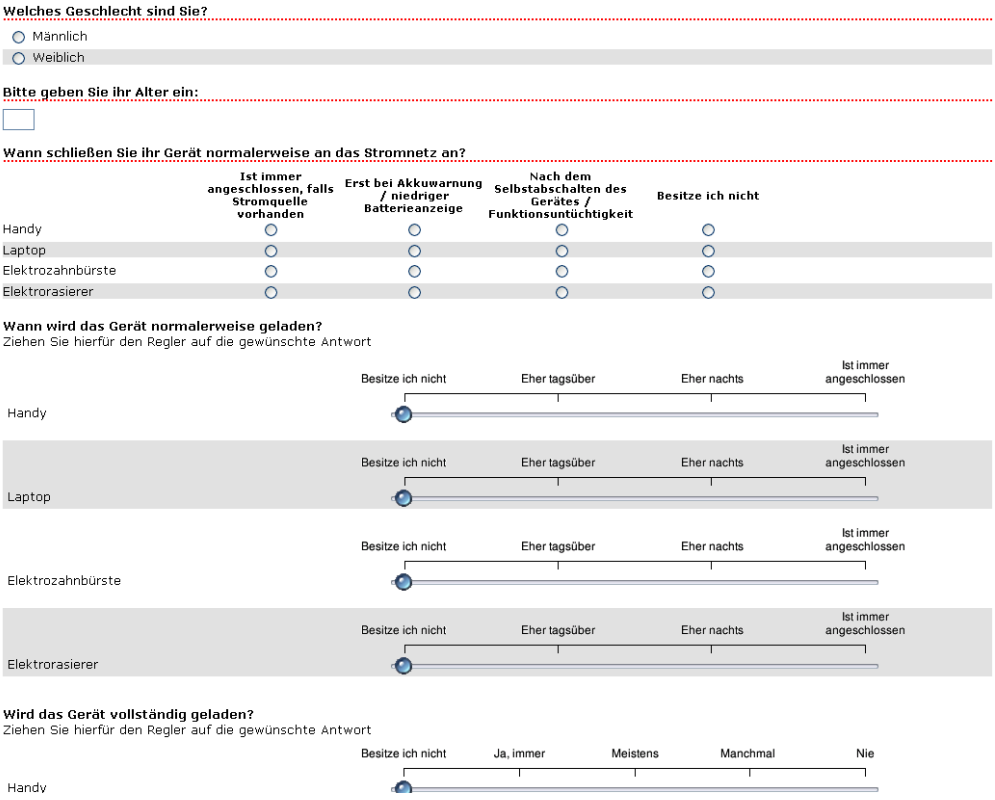
17 Wann tanken Sie üblicherweise? Bitte entscheiden Sie sich für die Alternative, die am Ehesten auf Sie zutrifft.
☐ a) Unabhängig vom Füllstand, bei günstiger Gelegenheit
☐ b) Erst nach Anzeige „niedriger Füllstand“
☐ c) Erst kurz vor dem Stehenbleiben

Anmerkungen

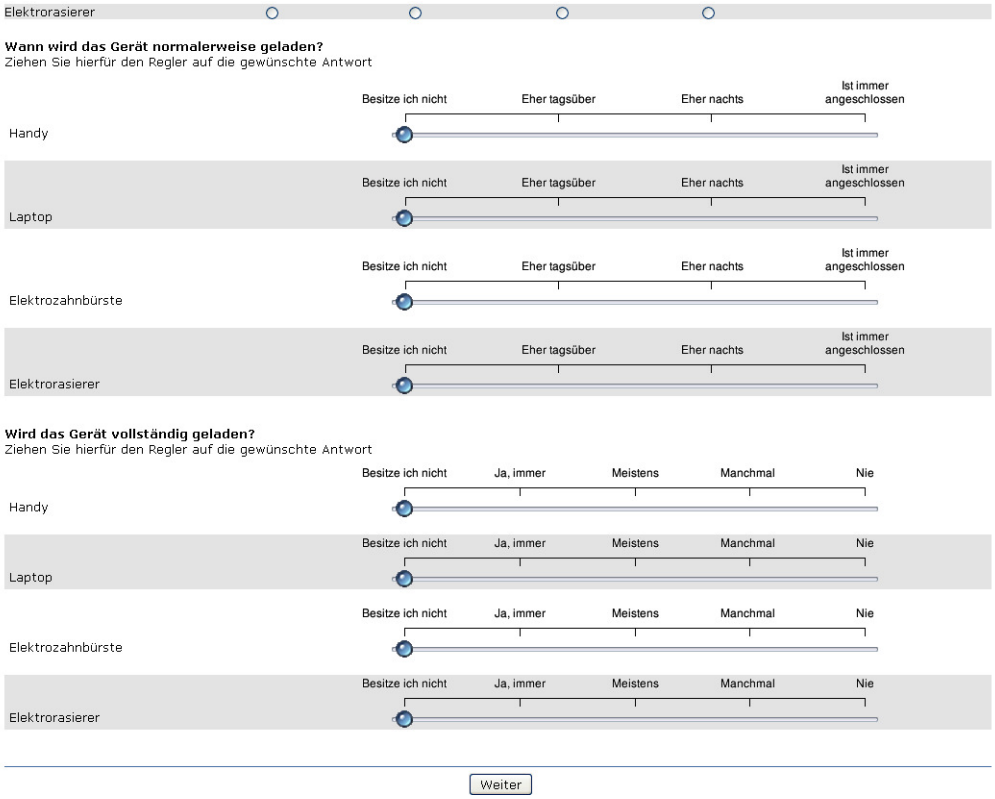
Tab. 106: Zusatzfragen (OvGU)

9.2.2 Screenshots der Internetbefragung zum Nutzerverhalten beim Umgang mit Mobilgeräten und EFZ

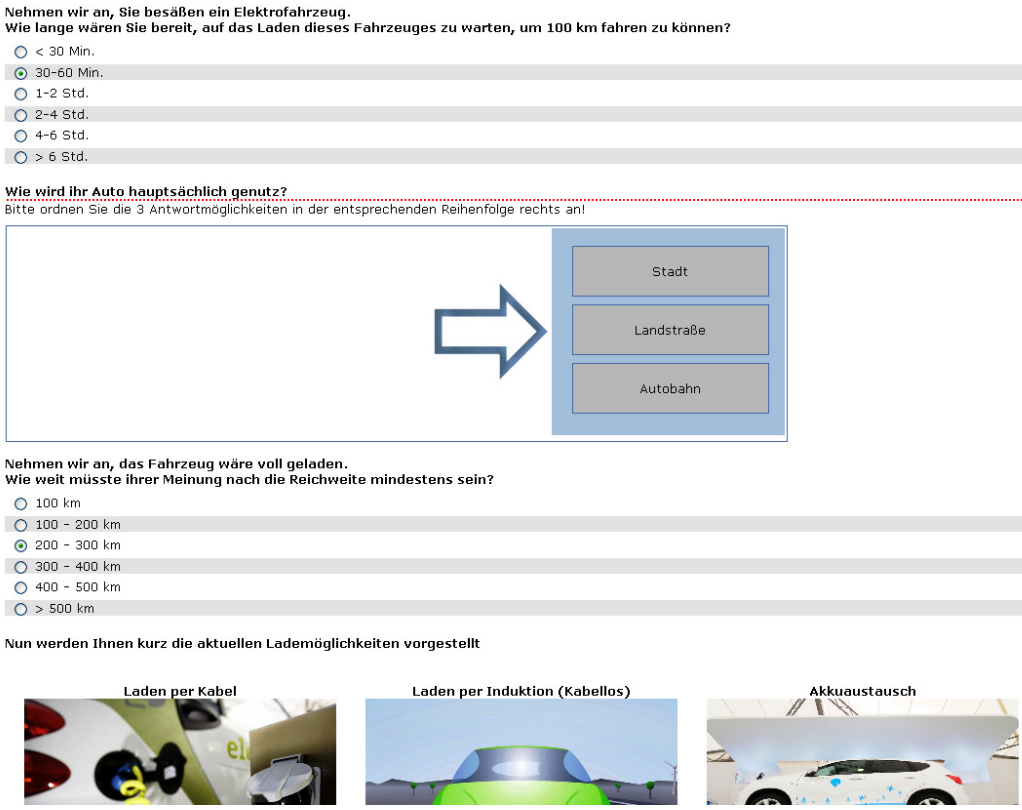
Tab. 107: Umfrage (OvGU)



Tab. 108: Fragebogen 1 (OvGU)



Tab. 109: Fragebogen 2 (OvGU)



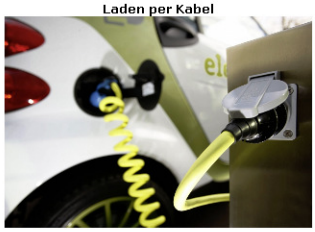
Tab. 110: Fragebogen 3 (OvGU)

Nehmen wir an, das Fahrzeug wäre voll geladen.
Wie weit müsste ihrer Meinung nach die Reichweite mindestens sein?

- ○ 100 km
- ○ 100 - 200 km
- ◉ 200 - 300 km
- ○ 300 - 400 km
- ○ 400 - 500 km
- ○ > 500 km

Nun werden Ihnen kurz die aktuellen Lademöglichkeiten vorgestellt

Laden per Kabel



Laden per Induktion (Kabellos)

Akkuaustausch

Wie würden Sie ihr Elektroauto am liebsten laden?
Bitte ordnen Sie die 3 Auswahlmöglichkeiten in der entsprechenden Reihenfolge rechts an!

per Kabel
per Induktion
über den Austausch des/der Akkus

Weiter

Tab. 111: Fragebogen 4 (OvGU)

Ist es Ihnen wichtig, woher die Energie zum Laden der Elektrofahrzeuge kommt?
Falls ja, welche Art der Stromerzeugung würden Sie präferieren?

○ Nein ○ Regenerative Energien ○ Atomstrom ○ Kohle

Was ist Ihnen am Elektrofahrzeugen am wichtigsten?
Bitte ordnen Sie die Auswahlmöglichkeiten nach ihrer Wichtigkeit absteigend an!

Preis
Reichweite
Optik
Geschwindigkeit
Ladedauer

Wieviel Geld wären Sie bereit für ein Elektroauto auszugeben? (Im Vergleich zu einem normalen Auto)

Viel mehr ○ ○ ○ ○ ○ Viel weniger

Wie würden Sie am liebsten den für die Ladung benötigten Strom bezahlen?

- ○ Prepaidkarte (Guthabenkarte)
- ○ Flatrate
- ○ Barzahlung
- ○ Identchip mit nachträglicher Bezahlung

Könnten sie sich vorstellen, bis 2020 ein Elektroauto zu kaufen?

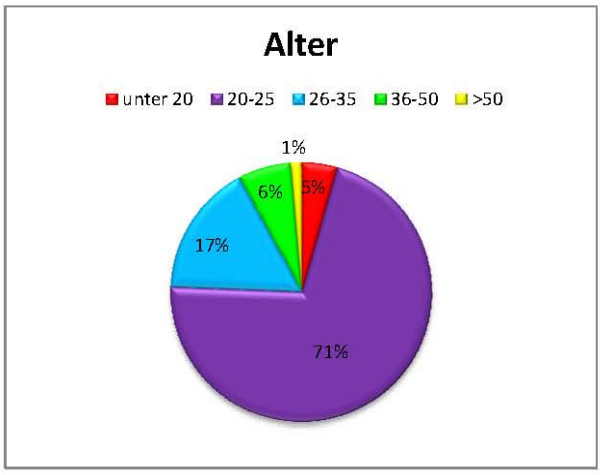
○ Ja ○ Nein

Tab. 112: Fragebogen 5 (OvGU)

Auswertung Internetbefragung

-**Teilnehmer:** 729, davon 541 männlich, 188 weiblich

-**Alter:**



Frage: 3) Wie laden Sie generell die folgenden Geräte?

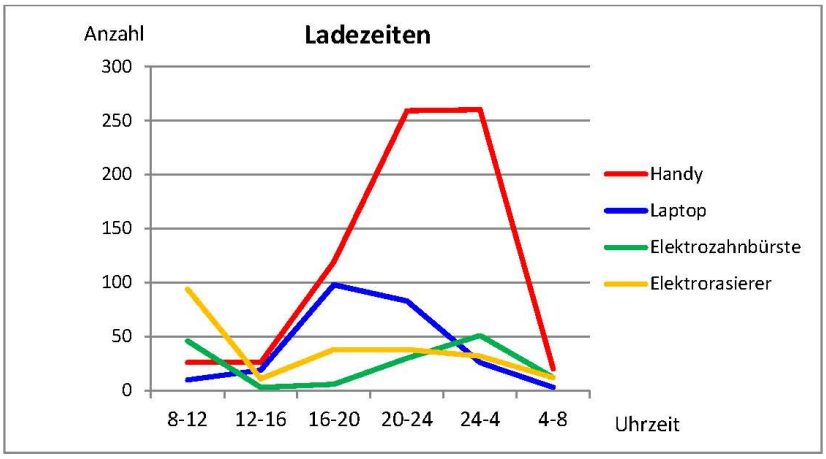
	Ist immer angeschlossen, falls Stromquelle vorhanden (1)	Erst bei Akkuwarnung / niedriger Batterieanzeige (2)	Nach dem Selbst-abschalten des Gerätes / Funktions-untüchtigkeit (3)	Besitze ich nicht (4)	Gesamt	Mittel-wert	Missing* A	Missing* B
Handy	4.95% (36)	86.38% (628)	8.67% (63)	0.00% (0)	727	2.04	0	11
Laptop	60.14% (436)	27.03% (196)	1.93% (14)	10.90% (79)	725	1.64	0	13
Elektro-zahn-bürste	15.61% (113)	13.40% (97)	7.46% (54)	63.54% (460)	724	3.19	0	14
Elektro-rasierer	8.00% (58)	18.07% (131)	12.97% (94)	60.97% (442)	725	3.27	0	13

Tab. 113: Auswertung Internetbefragung (OvGU)

Frage: 4) Wann wird das Gerät normalerweise geladen?

	Besitze ich nicht (1)	8-12 Uhr (2)	12-16 Uhr (3)	16-20 Uhr (4)	20-24 Uhr (5)	24-4 Uhr (6)	4-8 Uhr (7)	Ist immer ange-schlossen (8)	Gesamt	MW	Missing* A	Missing* B
Handy	2.03% (15)	3.52% (26)	3.52% (26)	16.12% (119)	35.09% (259)	35.23% (260)	2.71% (20)	1.76% (13)	738	5.04	0	0
Laptop	13.41% (99)	1.36% (10)	2.57% (19)	13.28% (98)	11.25% (83)	3.52% (26)	0.41% (3)	54.20% (400)	738	5.91	0	0
Elektro-zahn-bürste	64.91% (479)	6.23% (46)	0.41% (3)	0.81% (6)	4.07% (30)	6.91% (51)	1.63% (12)	15.04% (111)	738	2.75	0	0
Elektro-rasierer	63.55% (469)	12.74% (94)	1.49% (11)	5.15% (38)	5.15% (38)	4.34% (32)	1.63% (12)	5.96% (44)	738	2.25	0	0

→Ladezeiten:



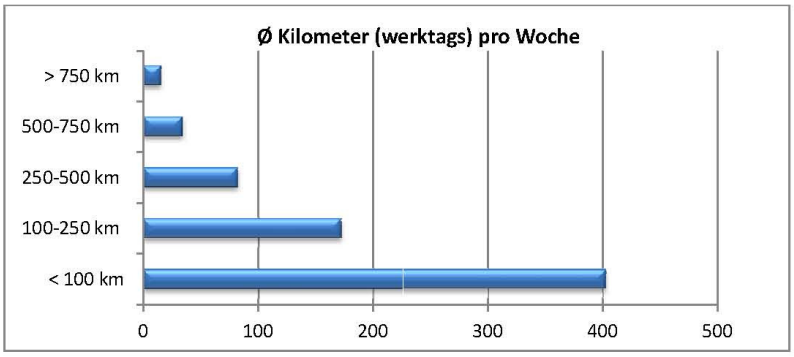
Tab. 114: Internetbefragung 1 (OvGU)

Frage: 5) Wird das Gerät vollständig geladen?

	Besitze ich nicht (1)	Ja, immer (2)	Meistens (3)	Manchmal (4)	Nie (5)	Gesamt	Mittelwert	Missing* A	Missing* B
Handy	1.49% (11)	51.90% (383)	44.44% (328)	2.03% (15)	0.14% (1)	738	2.47	0	0
Laptop	12.33% (91)	61.52% (454)	20.33% (150)	3.12% (23)	2.71% (20)	738	2.22	0	0
Elektrozahnbürste	64.23% (474)	27.64% (204)	7.32% (54)	0.27% (2)	0.54% (4)	738	1.45	0	0
Elektrorasierer	62.06% (458)	25.07% (185)	8.54% (63)	2.17% (16)	2.17% (16)	738	1.57	0	0

Frage: 6) Wieviele Kilometer legen Sie (werktags) durchschnittlich pro Woche zurück?

	Anzahl	Prozent
< 100 km (1)	403	56.92%
100-250 km (2)	172	24.29%
250-500 km (3)	82	11.58%
500-750 km (4)	35	4.94%
> 750 km (5)	16	2.26%



Tab. 115: Internetbefragung 2 (OvGU)

Frage: 7) Wie wird (würde) Ihr Auto hauptsächlich genutzt?

Bitte ordnen Sie die 3 Antwortmöglichkeiten in der entsprechenden Reihenfolge rechts an!

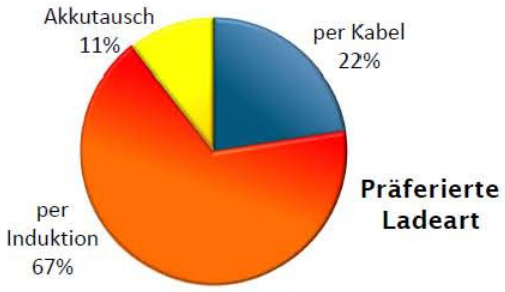
	GESAMT	Mittelwert	Median	Standardabweichung	ungültig (fehlend)	Rang 1	Rang 2	Rang 3
Stadt	689	1.53	1.00	0.72	20	416	182	91
Landstraße	673	2.07	2.00	0.77	36	178	269	226
Autobahn	650	2.33	2.00	0.74	59	106	225	319

Frage: 8) Wieviele Kilometer fahren Sie aufgrund von Ausflügen ungefähr an einem Wochenende?

	Anzahl	Prozent
< 20 km (1)	135	19.12%
20 - 50 km (2)	185	26.20%
50 - 100 km (3)	155	21.95%
100 - 150 km (4)	94	13.31%
150 - 300 km (5)	84	11.90%
> 300 km (6)	53	7.51%

Frage: 9) Wie würden Sie ihr Elektroauto am liebsten laden?

	GESAMT	Mittelwert	Median	Standardabweichung	ungültig (fehlend)	Rang 1	Rang 2	Rang 3
per Kabel	659	1.95	2.00	0.65	50	158	377	124
per Induktion	679	1.39	1.00	0.63	30	469	155	55
über den Austausch des/der Akkus	652	2.59	3.00	0.69	57	74	121	457



Tab. 116: Internetbefragung 3 (OvGU)

Frage 10: Grund? [optional]

Die am häufigsten genannten Gründe, in Klammern steht die Anzahl der Nennungen:

Induktion:

-Bequemste/unkomplizierteste Methode (181)
-Zeitersparnis (23)
-Hohe Investitionskosten/Umsetzung zu aufwendig (17)
-Sicherheit (4)
-Nebenwirkungen (4)
-Energieverluste (2)
-Gefahr Datenmissbrauch (1)

Akkutausch:

-Kurze Wartezeit/schnellster Weg zur Fahrtüchtigkeit (59)
-Hoher Aufwand/zu umständlich (30)
-Bequemlichkeit/ Komfort (12)
-Abgabe/Tausch überall möglich -> flexibel (2)
-Qualitätsprobleme (2)

Kabel:

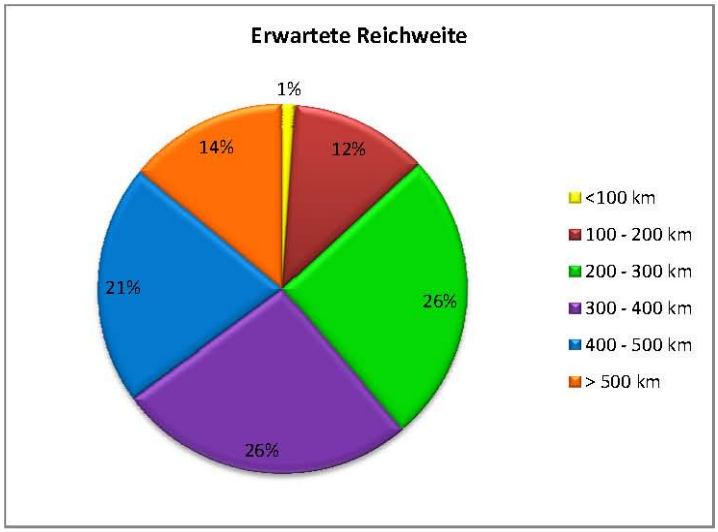
-Einfache Handhabung (27)
-Bekannt (21)
-Zu lange Ladedauer (10)
-Kostengünstig (9)
-Sicher (8)

Frage: 11) Nehmen wir an, Sie besäßen ein Elektrofahrzeug und dieses wäre voll geladen. Wie weit müsste ihrer Meinung nach die Reichweite mindestens sein?

	Anzahl	Prozent
<100 km (1)	8	1.13%
100 - 200 km (2)	85	12.02%
200 - 300 km (3)	181	25.60%
300 - 400 km (4)	185	26.17%
400 - 500 km (5)	149	21.07%
> 500 km (6)	99	14.00%

Tab. 117: Internetbefragung 4 (OvGU)

→ Erwartete Reichweite



Frage: 12) Wie wichtig ist es Ihnen, woher die Energie zum Laden der Elektrofahrzeuge kommt?

Sehr wichtig (1)	Wichtig (2)	Neutral (3)	Eher unwichtig (4)	Garnicht wichtig (5)	Gesamt	Mittelwert	Missing* A	Missing* B
15.45% (106)	34.40% (236)	28.43% (195)	11.66% (80)	10.06% (69)	686	2.66	0	1

Frage: 13) Welche Art der Stromgewinnung/-erzeugung präferieren Sie?

	Anzahl	Prozent
Regenerative Energien (1)	478	81.71%
Atomstrom (2)	93	15.90%
Fossile Brennstoffe (z.B. Kohle) (3)	14	2.39%

Tab. 118: Internetbefragung 5 (OvGU)

Frage: 14) Was ist Ihnen an Elektrofahrzeugen am wichtigsten?

Bitte ordnen Sie die Auswahlmöglichkeiten nach ihrer Wichtigkeit absteigend an!

	GESAMT	MW	Median	Standard-abw.	ungültig (fehlend)	Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 4	Rang 5	Rang 6
Anschaffung-spreis	681	2.27	2.00	1.52	6	318	125	76	86	48	28
Reichweite	683	2.38	2.00	1.18	4	168	255	142	83	23	12
Optik / Image	667	4.59	5.00	1.48	20	31	52	67	102	172	243
Geschwin-digkeit	665	4.06	4.00	1.36	22	32	60	124	166	185	98
Ladedauer	679	3.38	3.00	1.34	8	55	128	199	136	123	38
Umweltfreund-lichkeit	663	4.18	5.00	1.79	24	83	66	75	97	107	235

➔ Was ist den Umfrageteilnehmern an Elektroautos am wichtigsten:

Platz 1: Anschaffungspreis
Platz 2: Reichweite
Platz 3: Ladedauer
Platz 4: Geschwindigkeit
Platz 5: Umweltfreundlichkeit
Platz 6: Optik/Image

Frage: 15) Stellen Sie sich vor, Sie wollen einen VW Golf kaufen. Wieviel Geld (mehr/weniger) wären Sie bereit, für ein Elektrofahrzeug auszugeben?

	Anzahl	Prozent
Viel mehr (1)	9	1.31%
Etwas mehr (2)	346	50.36%
Gleichviel (3)	265	38.57%
Etwas weniger (4)	42	6.11%
Viel weniger (5)	25	3.64%

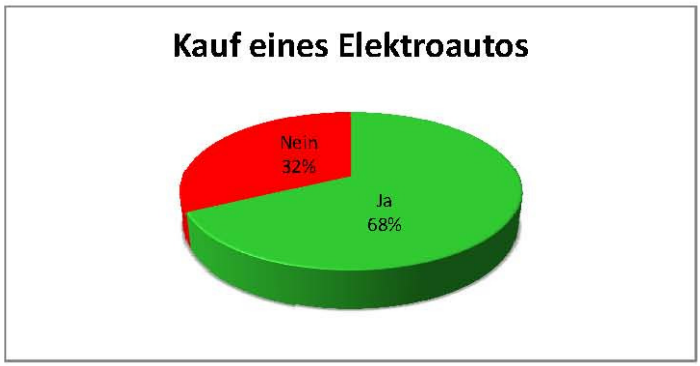
Frage: 16) Wie würden Sie am liebsten den für die Ladung benötigten Strom bezahlen?

	Anzahl	Prozent
Prepaidkarte (Guthabenkarte) (1)	80	11.64%
Flatrate (2)	201	29.26%
Barzahlung (3)	201	29.26%
Lastschriftverfahren (4)	205	29.84%

Tab. 119: Internetbefragung 6 (OvGU)

Frage: 17) Könnten sie sich vorstellen, bis 2020 ein Elektroauto zu kaufen?

	Anzahl	Prozent	
Ja (1)	466	67.83%	
Nein (2)	221	32.17%	



Gründe für den Kauf:

-Umweltfreundlichkeit (64)
-Rohstofferschöpfung/steigende Spritkosten (51)
-Technikinteresse (8)
-Leise (6)

Gründe gegen den Kauf:

-Technik/Infrastruktur noch nicht ausgereift (72)
-Kosten (32)
-Affinität zu Verbrennungsmotoren/Akustik (22)

Tab. 120: Internetbefragung 7 (OvGU)

9.3 Anhang ISL, RWTH Aachen

Im Rahmen des Begleitforschungsvorhabens „Kabelloses Laden“ im Auftrag des Bundesumweltministeriums (Projektträger VDE/VDI IT GmbH) befragte das Institut für Städtebau und Landesplanung an der RWTH Aachen University auf Grundlage eines anonymisierten Fragebogens im Zeitraum von Mai bis Juli 2011 18 Städte in den acht Modellregionen Elektromobilität zum Thema „ Ladeinfrastruktur für Elektroautos im öffentlichen Raum“.

Der Fragebogen bezieht sich explizit auf städtebauliche bzw. stadtplanerische Kriterien, die im Zusammen-hang mit dem Aufbau von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum auftreten. Insbesondere wird der Frage nachgegangen, inwieweit visuelle (Stadtbild, Denkmalschutz, Sauberkeit) bzw. funktionale (Sicherheit, Barrierefreiheit, Nutzungsoffenheit) Restriktionen einem flächendeckenden Ausbau von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum entgegenstehen und ob die derzeit in der Entwicklungsphase befindliche, induktive Ladeinfrastruktur (kabellos) städtebaulich verträglicher als die heute üblichen konduktiven Ladesäulen (Stecker und Kabel) zu realisieren ist.

Bis zum Ende des Befragungszeitraums lagen dreizehn beantwortete Fragebögen vor, die sowohl in Bezug auf die räumliche Verteilung innerhalb der Bundesrepublik Deutschland als auch in Bezug auf die Stadtgröße einen repräsentativen Querschnitt der befragten Städte abbilden.

Alle vorhandenen Ladeinfrastrukturen im öffentlichen Raum sind bisher konduktiv, d. h. ca. 2.200 Ladesäulen bundesweit (Stand 2011). Nach Angaben des Kraftfahrt-Bundesamts (KBA) lag der Bestand von Elektroautos in Deutschland am 1. Januar 2010 bei knapp 1.600 Fahrzeugen. Bis zum Jahr 2020 sollen nach dem Willen der Bundesregierung eine Million Elektroautos in Deutschland zugelassen sein.

9.3.1 Frage 1. Wieviele Ladestationen im öffentlichen Raum sind im Stadtgebiet vorhanden bzw. bereits geplant?

Stadt	bis 200.000 EW					200.000 bis 500.000 EW		500.000 bis 1.000.000EW				über 1.000.000 EW	
Innenstadtbereich	-	-	-	-	-	8	5	1	4	-	6	-	22
Gesamt	-	-	-	2	1	8	11	1	6	30	21	-	50

Tab. 121: Stadtprofile 1 (ISL)

9 von 13 Kommunen haben bereits Ladestationen, allerdings liegt die Anzahl bereits realisierter Ladestationen im öffentlichen Raum bei mehr als der Hälfte dieser Städte unter 10 Ladestationen. Bei den Kommunen mit den meisten Ladestationen liegen deutlich mehr außerhalb des Innenstadtbereichs. Die höchste Netzdichte bezogen auf die Einwohnerzahl liegt bei 1 Ladesäule/20.000 EW.

Fazit:

Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge im öffentlichen Raum ist bisher nur marginal vorhanden. Bisher sind mehr Ladepunkte außerhalb der Innenstädte realisiert.

9.3.2 Frage 2. Wieviele Ladestationen im öffentlichen Raum können im Stadtgebiet nach Ihrer Einschätzung realisiert werden?

Stadt	bis 200.000 EW					200.000 bis 500.000 EW		500.000 bis 1.000.000EW				über 1.000.000 EW	
Innenstadtbereich	-	-	-	-	-	-	15	-	20	-	20	-	22
Gesamt	-	-	-	-	-	-	30	-	100	-	50	-	50

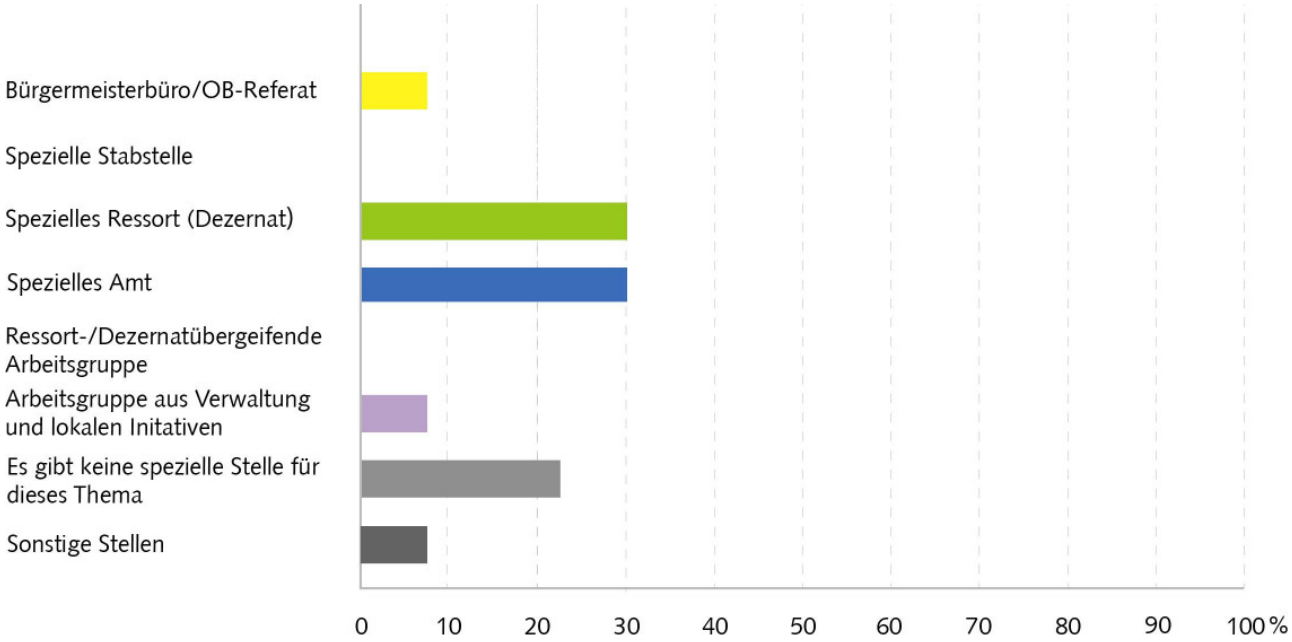
Tab. 122: Stadtprofile 2 (ISL)

Knapp ein Drittel der Kommunen, die sich an der Umfrage beteiligt haben, können eine Aussage über die Anzahl weiterer, realisierbarer Ladepunkte machen. Das Potential wird im Bereich zwischen keiner bis zu einer Steigerung (in Bezug auf den aktuellen Bestand) um den Faktor 5 gesehen. Selbst in Großstädten über 500.000 Einwohnern liegt das potentielle Angebot zwischen 50 und 100 Ladepunkten.

Fazit:

Aus diesen Angaben lässt sich kein Trend ablesen. Der erwartete Umfang an Ladeinfrastruktur scheint eher in Relation zu der bisher sehr geringen Marktdurchdringung mit Elektroautos zu stehen als in Abhängigkeit von Flächenverfügbarkeit und anderen Raumwiderständen.

9.3.3 Frage 3. Von wem wird in Ihrer Verwaltung das Thema „Elektromobilität - Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum“ federführend bearbeitet?



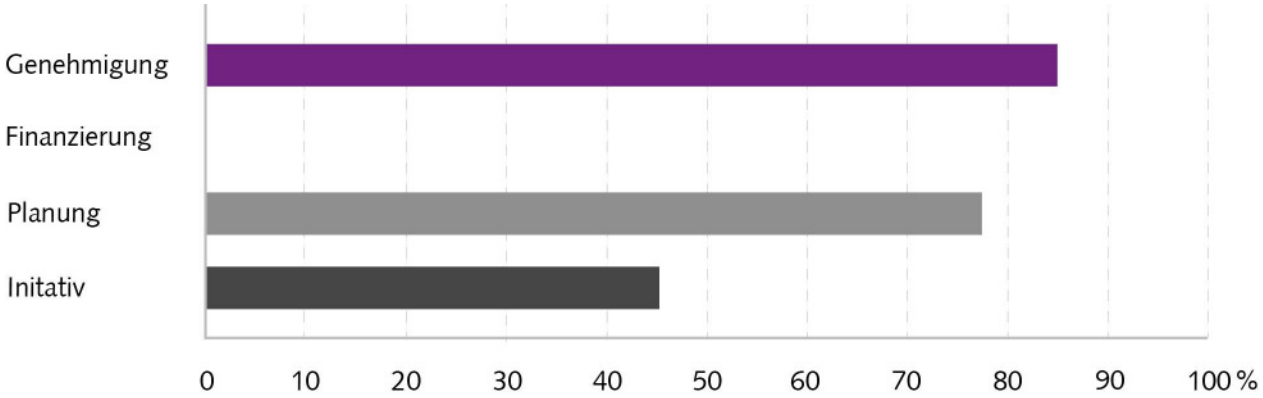
Tab. 123: Die Zuständigkeitsfrage ist einmal mehr das Hauptthema für die deutsche Bürokratie (ISL)

In den meisten Fällen bearbeitet eine spezielle Stelle (Arbeitsgruppe, Amt, Dezernat oder Bürgermeisterbüro) das Thema Elektromobilität und die damit in Verbindung stehenden Aufgaben. Bei rd. einem Fünftel der befragten Städten gibt es keine besondere Stelle.

Fazit:

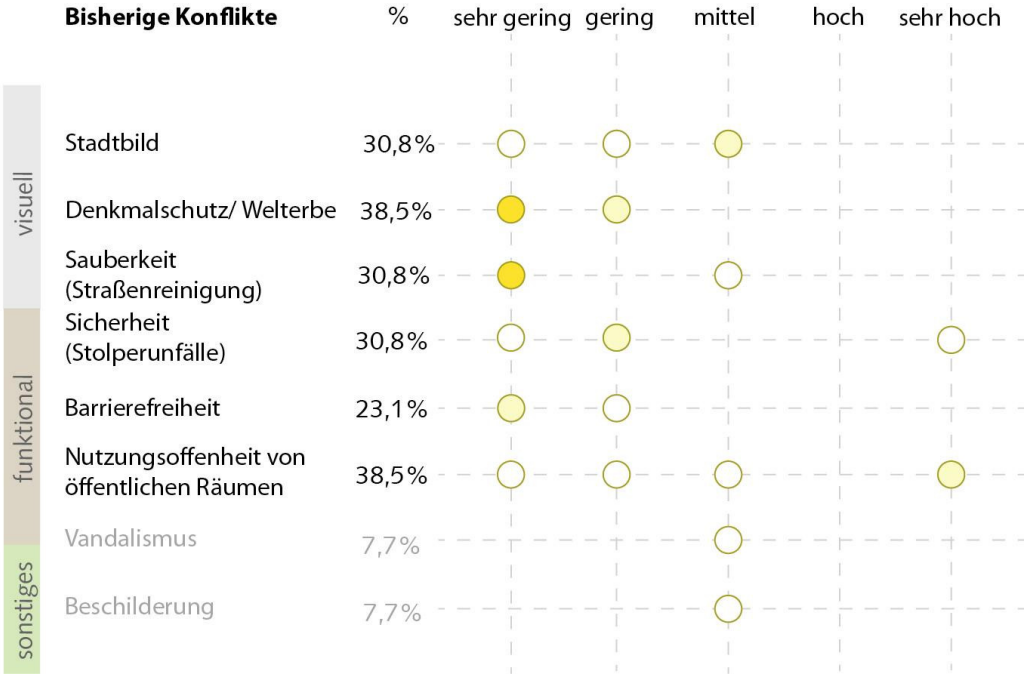
Alle befragten Kommunen sind Städte in den Modellregionen Elektromobilität, so dass die hohe Aufmerksamkeit, die diesem Thema beigemessen wird, zu erwarten war. Es wurde nicht untersucht, inwieweit dieses Interesse auch auf andere Kommunen übertragbar ist.

9.3.4 Frage 4. Wie würden Sie Ihre Beteiligung in Bezug auf Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum beschreiben?



Tab. 124: Die Planungs- und Genehmigungskosten können an die Installations- und Anschaffungskosten heranreichen (ISL)

9.3.5 Frage 5. Sind beim Aufbau von konduktiven Ladestationen für Elektroautos bisher Konflikte aufgetreten?



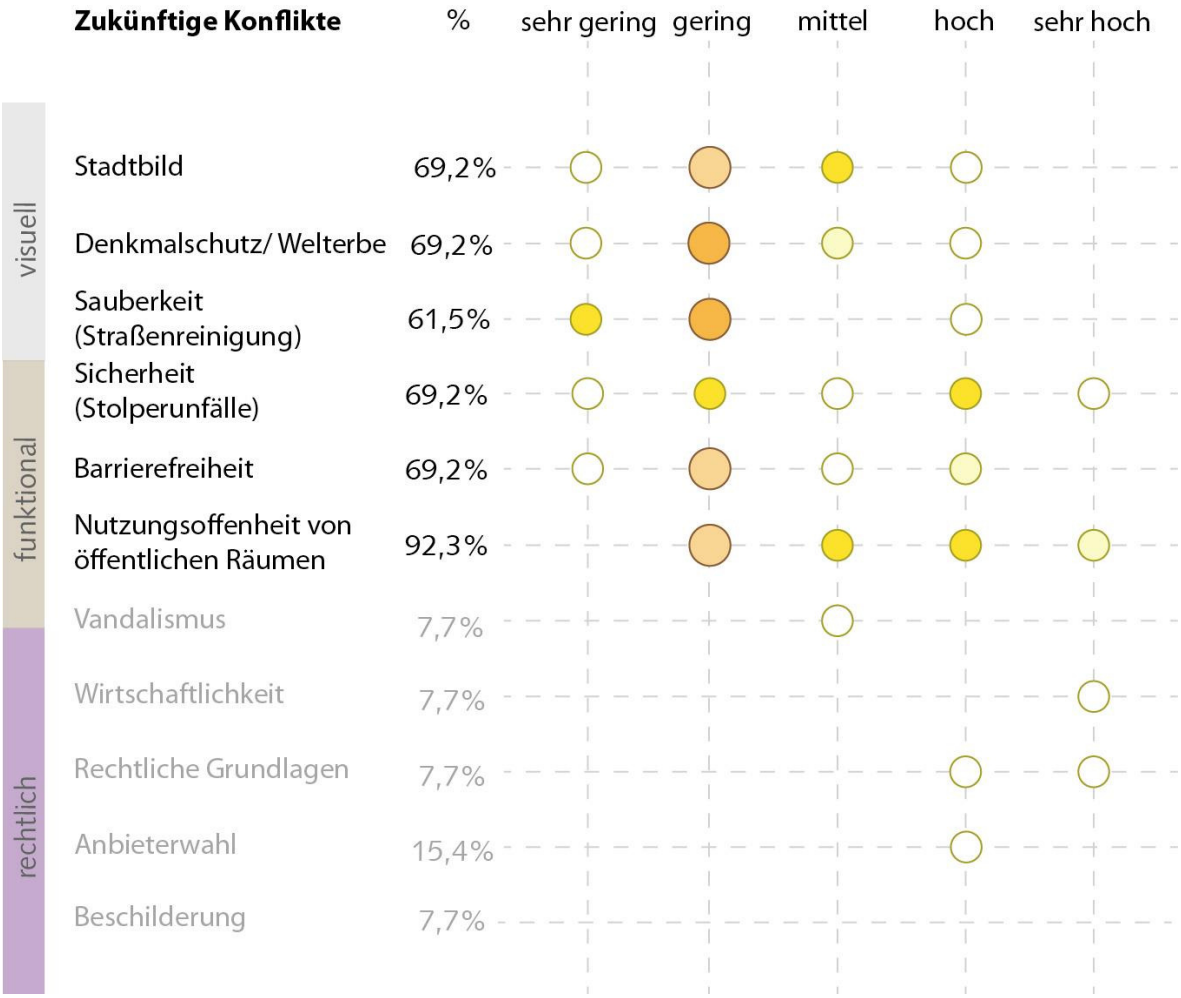
Tab. 125: Bisher werden die Konflikte beim Aufbau von Ladestationen in Bezug auf städtebauliche Kriterien eher gering eingeschätzt (ISL).

Das Konfliktpotential beim Aufbau von Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum ist bisher eher gering. Als Konfliktfelder am häufigsten (38,5 %) genannt werden „Denkmalschutz/Welterbe“ sowie „Nutzungsoffenheit von öffentlichen Räumen“. Die „Nutzungsoffenheit von öffentlichen Räumen“ sowie die „Sicherheit“ werden als besonders kritisch eingestuft.

Fazit:

Die geringfügige Anzahl der bereits realisierten Ladestationen löst offensichtlich noch keine gravierenden, städtebaulichen bzw. stadplanerischen Konflikte aus.

9.3.6 Frage 6. Erwarten Sie in Zukunft bei einem Ausbau der Ladeinfrastruktur Probleme?



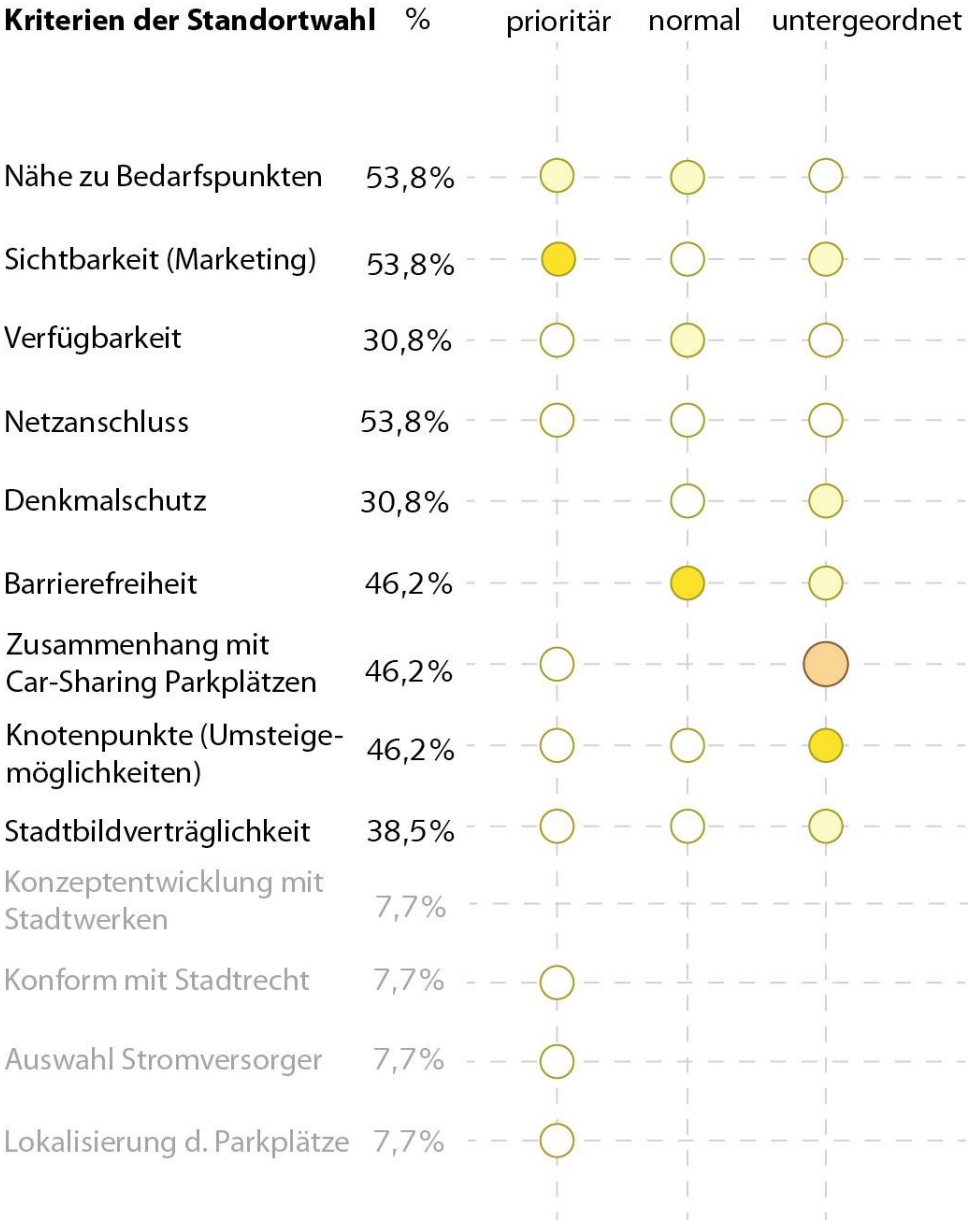
Tab. 126: Das Konfliktpotential wird für die Zukunft höher eingeschätzt – insbesondere hinsichtlich Sicherheit und Barrierefreiheit (ISL)

Das Konfliktpotential bei einem weiteren Ausbau konduktiver Ladestationen im öffentlichen Raum ist erwartungsgemäß deutlich größer als bisher. Besonders häufig genannt werden Konflikte in Bezug auf die „Nutzungsoffenheit von öffentlichen Räumen“ (Konfliktpotential gering bis sehr hoch, Trend: gering), „Stadtbild“ (Konfliktpotential sehr gering bis hoch, Trend: gering), „Denkmalschutz/Weltkulturerbe“ (Konfliktpotential sehr gering bis hoch, Trend: gering) und „Barrierefreiheit“ (Konfliktpotential sehr gering bis hoch, Trend: gering). Eher selten genannt, aber mit einem hohen Konfliktpotential werden die Kriterien „Wirtschaftlichkeit“, „Rechtliche Grundlagen“ und „Anbieterwahl“ beurteilt.

Fazit:

Aus kommunaler Sicht kommt funktionalen (Nutzungsoffenheit, Barrierefreiheit) bzw. operativen Kriterien (Wirtschaftlichkeit, Rechtliche Grundlagen) eine hohe Bedeutung zu.

9.3.7 Frage 7. Sind die Kommunen bisher bei der strategischen Standortwahl für Ladestationen beteiligt worden?



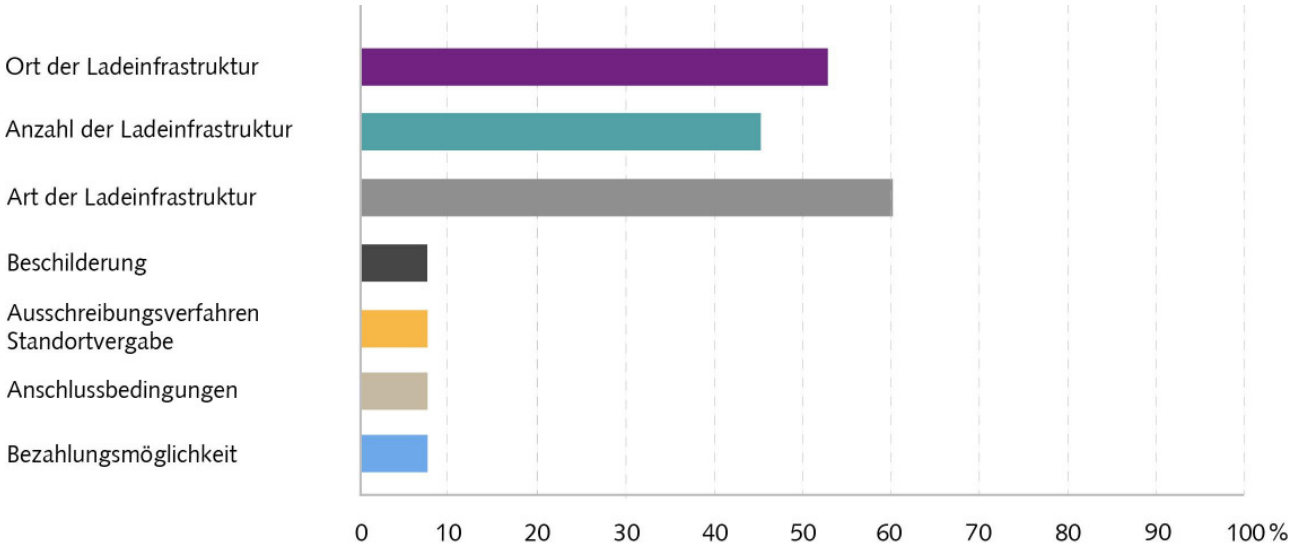
Tab. 127: Die wichtigsten Kriterien für den Standort von Ladeinfrastruktur sind der Netzanschluss und die Sichtbarkeit (ISL)

Die wichtigsten Kriterien bei der Standortwahl für Ladestationen sind die Nähe zu Bedarfspunkten und ihre Sichtbarkeit im öffentlichen Raum. Weitere wichtige Kriterien sind der Netzanschluss und die räumliche Nähe zu Knotenpunkten des öffentlichen Verkehrs bzw. Car-sharing-Plätzen.

Fazit:

Auch für die Standortwahl kommt funktionalen bzw. operativen Kriterien eine hohe Bedeutung zu. Visuelle Kriterien (Stadtbildverträglichkeit, Denkmalschutz) werden von knapp einem Drittel der befragten Städte als „normal“ bzw. „untergeordnet“ bewertet. Das kann u. a. auch daran liegen, dass der bisher durch die Kommunen geschätzte Bedarf an Ladesäulen so gering ist, dass er sich außerhalb sensibler Stadtbereiche realisieren lassen kann.

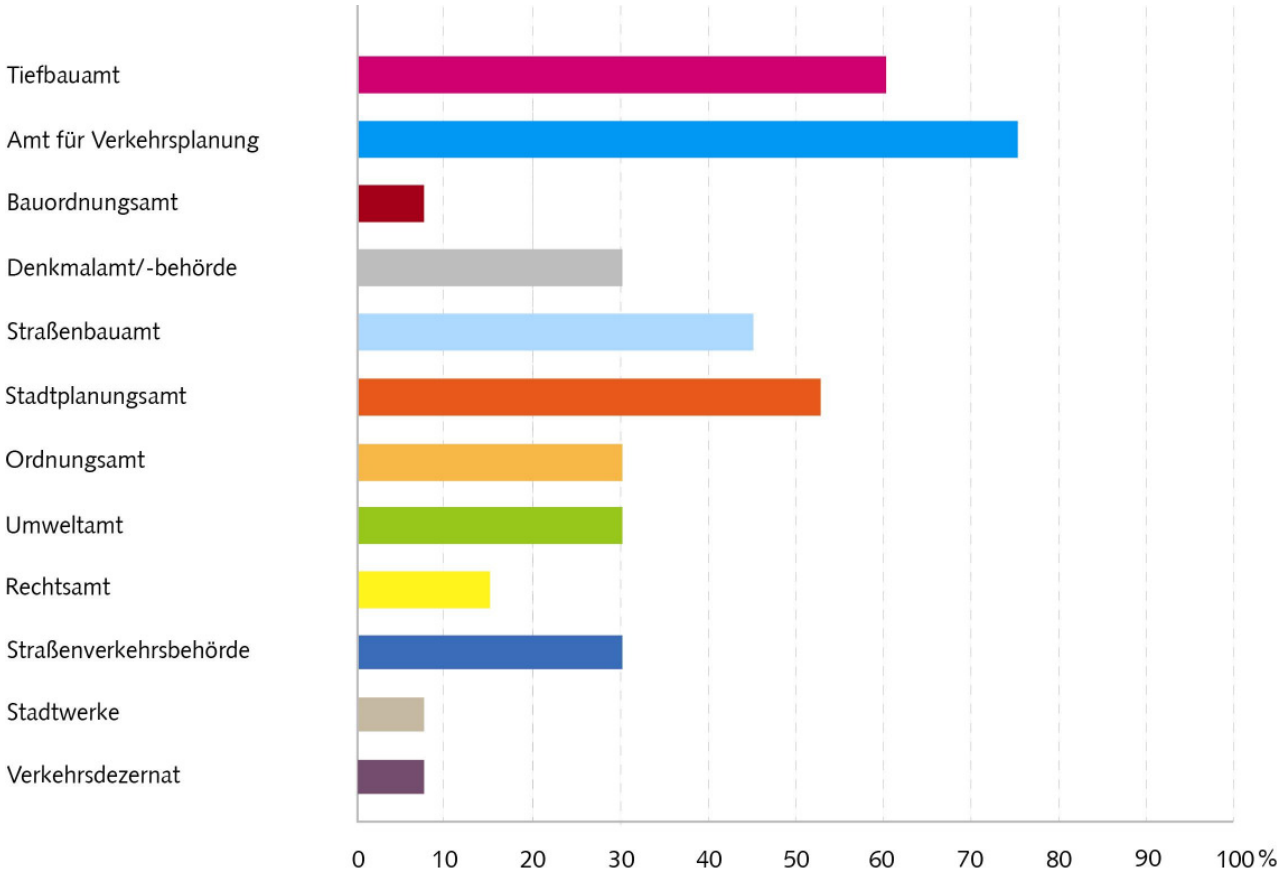
9.3.8 Frage 8. Brauchen Kommunen Steuerungsinstrumente für den Aufbau von Ladeinfrastruktur?



Tab. 128: Die Frage nach der Finanzierbarkeit von öffentlichen Ladepunkten wird noch nur selten gestellt (ISL)

75 % der befragten Kommunen geben an, dass sie Steuerungsinstrumente für den Aufbau von Ladestationen im öffentlichen Raum brauchen.Besonders hohen Regelungsbedarf sehen die Kommunen hinsichtlich der Art und des Orts der Ladeinfrastruktur. Etwas weniger Regelungsbedarf wird hinsichtlich der Anzahl der Ladeinfrastruktur gesehen. Das kann u. a. daran liegen, dass die Netzdichte (Ladesäule/qm Stadtgebiet oder Ladesäule/Einwohner) als eher gering angesehen wird.

9.3.9 Frage 9. Wer wird im Rahmen der Genehmigung von Ladestationen im öffentlichen Raum immer beteiligt?



Tab. 129: In die Genehmigung von Ladepunkten können verschiedenste Behörden eingebunden sein (ISL).

In allen Kommunalverwaltungen werden immer mehrere Stellen (durchschnittlich 4) an der Genehmigung von Ladestationen beteiligt. In fast allen Städten sind das Amt für Verkehrsplanung, das Tiefbauamt und das Stadtplanungsamt zuständig.

Fazit:

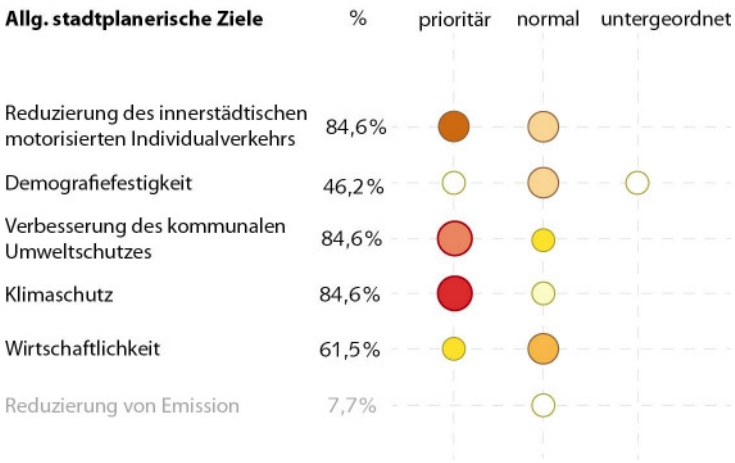
Die Beteiligung mehrere Ämter an der Genehmigung von Ladesäulen wird meistens durch einen zentralen Ansprechpartner (siehe Frage 3) koordiniert werden. Die Genehmigungskosten sind nicht von der Anzahl der beteiligten Stellen abhängig. Genehmigung von Ladestationen im öffentlichen Raum.

9.3.10 Frage 10. Wer wird im Rahmen der Genehmigung von Ladestationen im öffentlichen Raum gegebenenfalls zusätzlich beteiligt?

Einige Kommunen beteiligen gegebenfalls zusätzlich folgende Stellen innerhalb der Kommunalverwaltung am Genehmigungsverfahren:

- Denkmalpflege
- Ordnungsamt
- Polizei
- Träger öffentlicher Belange
- Straßenverkehrsbehörde
- Stadtwerke

9.3.11 Frage 11. Welche der folgenden allgemeinen stadtplanerischen Ziele werden in Ihrer Kommune verfolgt?



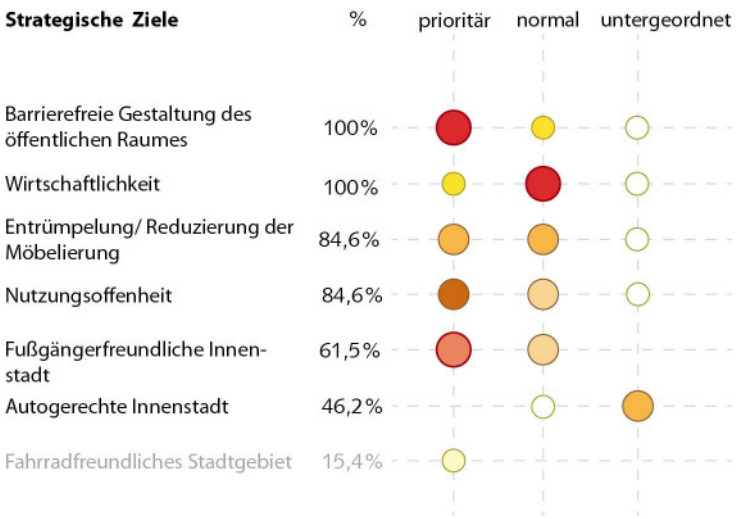
Tab. 130: stadtplanerische Ziele (ISL)

Als allgemeine, stadtplanerische Ziele benennen fast alle Kommunen die „Verbesserung des kommunalen Umweltschutzes“, den „Klimaschutz“ und die „Reduzierung des innerstädtischen, motorisierten Individualverkehrs“. Weniger oft genannt, aber gleichwohl wichtig ist die Wirtschaftlichkeit.

Fazit:

Die durch einen höheren Marktanteil von Elektroautos erzielbare Verbesserung der Lebensqualität in hochverdichteten Innenstadtbereichen (weniger Lärm und Feinstaub) wird ebenso wie die Verbesserung des Klimaschutzes sehr hoch bewertet. Genauso wichtig ist aber die „Reduzierung des innerstädtischen, motorisierten Verkehrs“.

9.3.12 Frage 12. Welche der folgenden strategischen Ziele werden in Ihrer Kommune im Hinblick auf die Gestaltung des öffentlichen Raums verfolgt?



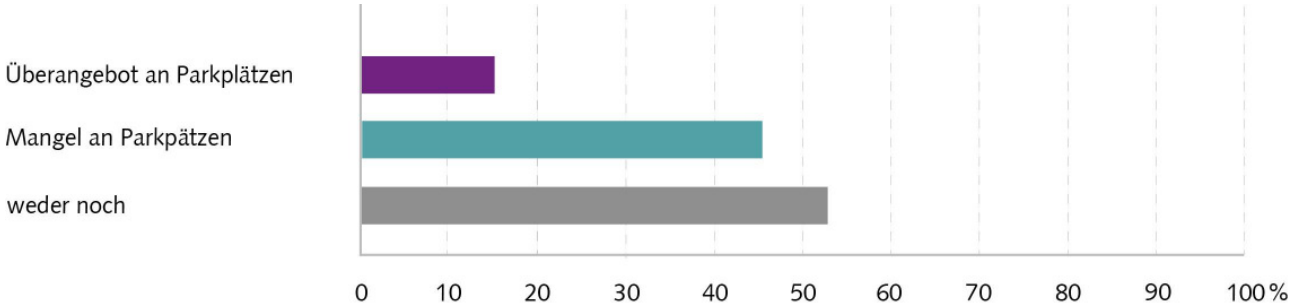
Tab. 131: strategische Ziele (ISL)

Aus kommunaler Sicht sind die „Barrierefreiheit“ und die „Wirtschaftlichkeit“ die wichtigsten strategischen Ziele für die Gestaltung des öffentlichen Raumes. Des Weiteren werden als Ziele sehr oft „Entrümpelung“ und „Nutzungsoffenheit“ genannt.

Fazit:

Die hohe Priorität, die die Barrierefreiheit des öffentlichen Raums genießt, könnte den Aufbau von induktiven Ladestationen begünstigen, wenn diese ohne Benutzersäule und rentabel betrieben werden können. Das Ziel „Fußgängerfreundliche Innenstadt“ fügt sich in das stadtplanerische Ziel, intermodale Verkehrskonzepte zu entwickeln, die den motorisierten Individualverkehr insgesamt reduzieren.

9.3.13 Frage 13. Wie schätzen Sie die Parkplatzsituation im Stadtgebiet ein?



Tab. 132: Bei der gefühlten Parkplatzsituation überwiegen die Wahrnehmung von Mangel und die Gleichgültigkeit (ISL)

Nur wenige Städte haben ein Überangebot an Parkplätzen. Viele Kommunen leiden unter Parkplatzmangel (ca. 42 %). Mehr als die Hälfte der befragten Städte hält das Parkraumangebot für adäquat.

Fazit:

Die Parkraumsituation ist für Groß-, Mittel- und Kleinstädte sehr unterschiedlich. Um hier differenzierte Bewertungen durchführen zu können, müssten zusätzliche, räumlich differenzierte (Innenstadt, Randlage mit/ohne Handel,...) Erhebungen durchgeführt werden. Öffentliches Parken im Stadtgebiet

9.3.14 Frage 14. Wieviele öffentlich zugängliche Parkplätze gibt es im Stadtgebiet?

Stadt	bis 200.000 EW					200.000 bis 500.000 EW		500.000 bis 1.000.000EW				über 1.000.000 EW	
Straßenseitenraum Innenstadt	1.000	-	1.500	-	5.000	-	1.680	-	3.300	365	12.000	16.200	105.000
Straßenseitenraum gesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Park-/Tiefgaragen Innenstadt	4.500	6.000	3.000	4.500	3.400	-	4.229	2.800	10.400	7.800	16.000	10.100	21.000
Park-/Tiefgaragen gesamt	6.000	-	-	-	4.200	-	4.229	3.500	-	-	-	-	-

Tab. 133: Straßenseitenraum (ISL)

Das Verhältnis von Parkmöglichkeiten im Straßenseitenraum zu Parkplätzen in Park-/Tiefgaragen variiert sehr stark, ohne dass ein Zusammenhang mit der Größe der Stadt erkennbar wird. Meistens wurden nur Angaben zur Parkraumsituation in der Innenstadt gemacht.

Fazit:

Es gibt keine standarisierte Erfassung des vorhandenen, kommunalen Parkraumangebots. Die Datenlage ist uneinheitlich und offensichtlich auch nicht vollständig verfügbar.

9.3.15 Frage 15. Gibt es Parkplätze im öffentlichen Raum in denkmalgeschützten Bereichen?

Die Hälfte der befragten Kommunen gibt an, daß keine öffentlichen Parkplätze in denkmalgeschützten Bereichen liegen.

9.3.16 Frage 16. Sind Flächen mit Mehrfachnutzungen vorhanden ?

(Festplätze, die auch als Parkplatz genutzt werden; Marktplätze, auf denen auch geparkt wird; Pkw-Parkplätze, die für Veranstaltungen oder zeitweise als Bausparkplätze genutzt werden usw.).

Stadt	bis 200.000 EW					200.000 bis 500.000 EW		500.000 bis 1.000.000EW				über 1.000.000 EW	
Anzahl der Flächen	1	-	-	1	-	1	2	-	1	-	-	2	-
Betroffene Parkplätze	700	-	-	2.500	-	-	1.067	-	200	-	-	-	-

Tab. 134: Anzahl der Flächen (ISL)

Sechs von 13 Kommunen benennen Flächen mit Mehrfachnutzungen. Davon sind auf vier Flächen Parkplätze vorhanden.

9.3.17 Frage 17. Gibt es Bewohnerparkzonen im Stadtgebiet?

Stadt	bis 200.000 EW					200.000 bis 500.000 EW		500.000 bis 1.000.000EW				über 1.000.000 EW	
Bewohnerparkausweise	3.443	1.000	-	-	-	-	6.643	12.000	1.021	60.000	5.000	3.630	120.000
Parkplätze in Bewohnerzonen	2.900	-	12.000	-	-	-	1.200	10.000	-	-	7.500	4.750	-
Bewirtschaftet Fläche in ha	190	4.500	-	-	6.000	-	-	290	-	-	100	140	-
Zugelassene PKWs in Bewohnerparkzonen	5.000	6.000	-	-	-	-	-	13.000	2.212	-	-	-	-

Tab. 135: Bewohnerparkausweise (ISL)

Fast alle Kommunen haben Bewohnerparkzonen im Stadgebiet. Fast ein Viertel dieser Städte hat deutlich mehr Bewohnerparkausweise ausgegeben als tatsächlich Parkplätze vorhanden sind. Vier Kommunen machen Angaben zur Zahl der zugelassenen Pkw in den ausgewiesenen Bewohnerparkzonen. Hier sind zwischen 50 % - 90 % der Fahrzeughalter auf Parkplätze im öffentlichen Raum angewiesen.

Fazit:

Die Befragung von 13 sehr unterschiedlichen Kommunen lässt hinsichtlich des Themas „Bewohnerparkzonen“ keine verallgemeinerbaren Aussagen zu.

Tab. 136: Nennungen (ISL)

9.4 Anhang Kiefermedia: Das LA-Supplement

Figure 46 Commuting Patterns

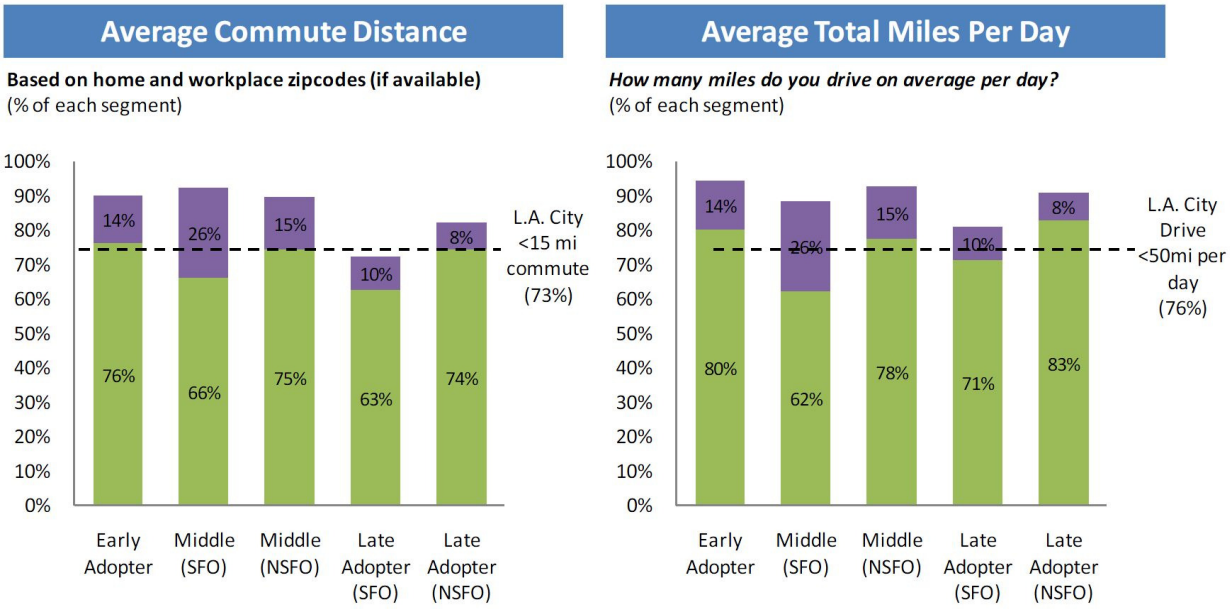


Abb. 103: In LA liegen 73 % der Pendlerrundstrecken unter 15 Meilen und 76 % der Tagesfahrleistungen unter 50 Meilen.

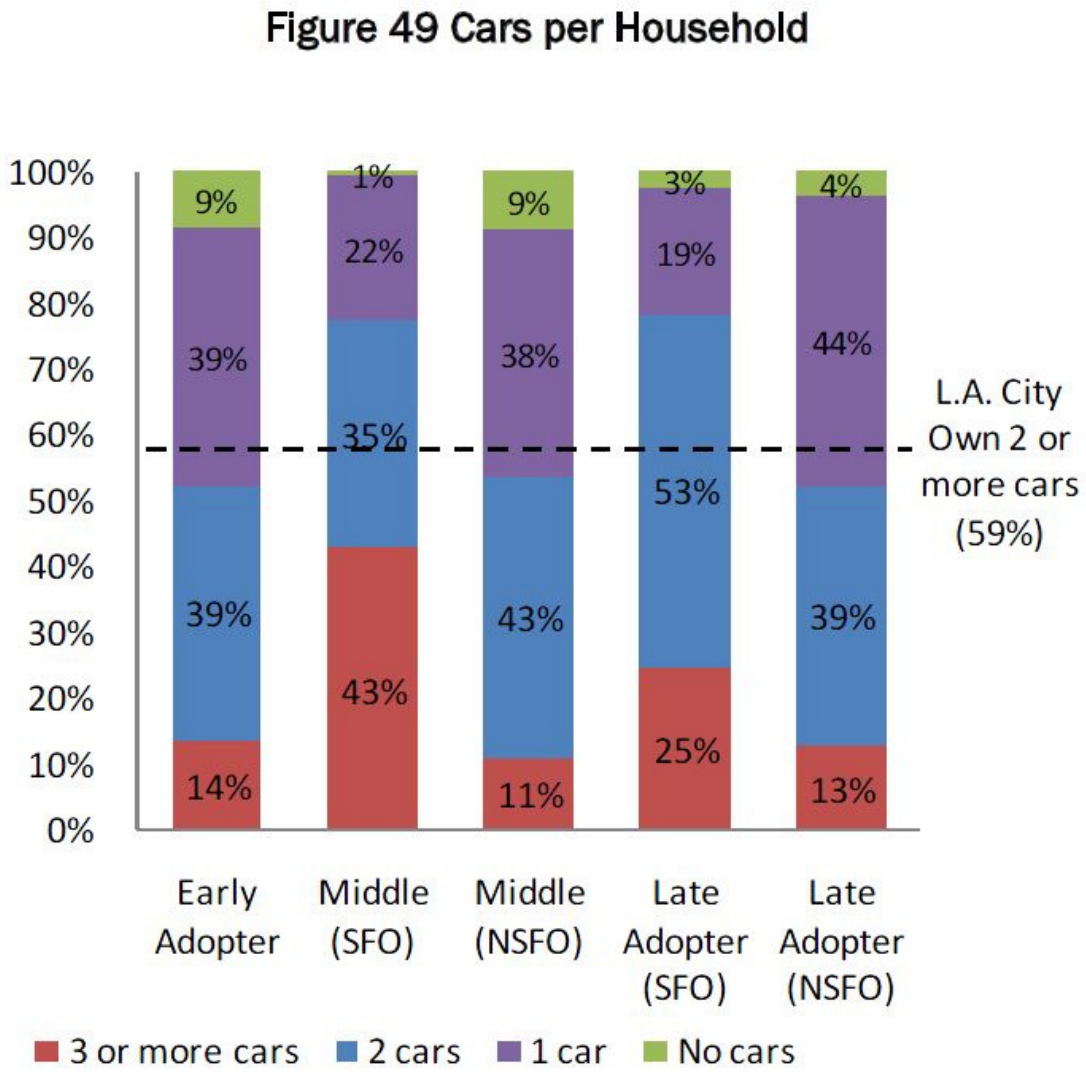


Abb. 104: 53 bis 78 % der der Bürger von LA verfügen über 2 oder 3 Fahrzeuge

9.5 Abkürzungen

AESC	Automotive Energy Supply Corporation, Batterie JV von Nissan und NEC
AVP	Automated Valet Parking
BEV	Batteriefahrzeug (battery electric vehicle)
BGETEM	Berufsgenossenschaft Elektro
BMS	Batterie-Management-System
CV	Nutzfahrzeug, commercial vehicle
DER	Distributed Energy Resources
DoD	Depth of Discharge
DSM	Demand Side Management
EFZ	Elektrofahrzeug
EDV	Electric Drive Vehicle (BEV/EV, FCEV, PHEV, HEV)
EV	Electric Vehicle, Elektrofahrzeug, reines Batterietraktionsfahrzeug (BEV)
EMS	Energiemanagementsystem
EVSE	Electric Vehicle Supply Equipment
ETS	Emissions Trading Scheme
FCEV	Brennstoffzellenfahrzeug (fuel cell electric vehicle)
GWh	Gigawattstunde (1 GWh = 1 Million kWh)
kWh	Kilowattstunde
LG	Laclede Group
NFC	Near Field Communication
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
OEM	Original Equipment Manufacturers
OLEV	Office of Low Emission Vehicles
PHEV	Plug-in-Hybrid-Fahrzeug (plug-in hybrid electric vehicle)
SB	Samsung Bosch, SB LiMotive: Batteriehersteller
SOC	State of Charge, Ladezustand der Batterie
TCO	Total Costs of Ownership
TWh	Terawattstunde (1 TWh = 1 Milliarde kWh)
V2G	Vehicle to Grid
V2B	Vehicle to Building
V2H	Vehicle to Home
Wh	Wattstunden

9.6 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Audi Urban Concept auf der IAA 2011 mit publikumswirksamer Thematisierung des kabellosen Ladens im Zentrum der Präsentation: herausgezogenene Karosserieverkleidung für ausreichend große Ladefläche am Unterboden - das erste Fahrzeug auf Basis der deutschen Anwendungsregel (SEW) 9

Abb. 2: Mit dieser Folie kommunizierte der SAE die Arbeit an der deutschen Anwendungsregel in der internationalen Community, kurz darauf konnte der de-facto-Zusammenschluss auf Arbeitsebene berichtet werden (SAE) 17

Abb. 3: Brake Even laut französischem Livre Vert, allein für die Infrastrukturkosten öffentlicher Ladesäulen, umgelegt auf einen Tankvorgang von 25 kWh: bei 3 kW Ladeleistung 13 €, bei 22 kW schon 24 €. Da das kein Nutzer zahlen würde, zahlen alle Stromkunden per Umlage mit (République Francaise: Livre Vert). 19

Abb. 4: Passend zu Audis Einstieg in die Erzeugung von Windstrom: Prinzipdarstellung des kabellosen Ladens in einer 3D Visualisierung des neuen A2 auf der IAA 2011 (Audi PR) 22

Abb. 5: Weckruf für die Branche: Nissan zeigt bei der Eröffnung des neuen Entwicklungszentrums am 02.08.2009 in Yokohama die ersten Bilder vom kabellosen Laden (Nissan PR) 23

Abb. 6: Google Suchergebnis als Trendindikator: zeitliche Reihung, örtliche Verteilung und Gesamtzahl der Fundstellen zu „Kabeldiebstahl Deutsche Bahn“ (KM) 26

Abb. 7: Chademo-Stecker-Schadensbild nach wenigen Stunden Messebetrieb auf dem Genfer Automobilsalon 2011: Hier fließen ansonsten bis zu 50 kW (KM). 27

Abb. 8: Stolpergefahr als allgemeines Lebensrisiko oder ein Fall für die Haftpflicht? Ist für Ladekabel die KFZ- oder die Privathaftpflicht zuständig? Muss man dann in letzterem Fall eine Privathaftpflicht bei der Zulassung vorweisen? (Frank Hebbert, flickr) 28

Abb. 9: Es gibt Normungsvorschläge für Stecker, das Bemühen um einen einheitlichen Buchsenplatz am Auto hat man aber frühzeitig aufgegeben. Daher sind 5 – 6 m Kabel mitzuführen und zu verlegen. So steigt das Risiko für Beschädigungen der Kabelisolation. 29

Abb. 10: Audi hat auf der IAA 2011 einen Film gezeigt, in dem ein Fahrzeug fahrerlos ausparkt (Audi PR) 30

Abb. 11: Google Firmenparkplatz links mit Ladepunkten, rechts kabellose Überflur-Variante wie im Test am Google Firmensitz: Vorher – Nachher? (Google, Evatran) 31

Abb. 12: Kabelloser MIT City Car sucht sich den passenden Zielparkplatz gemäß minutenaktuellen Preisen selbst – und parkt sich auch selbst weg (Reinventing the Automobile, Mitchell) 31

Abb. 13: Bei einer Ladetiefe von 10 % schafft die Batterie sieben Mal mehr Zyklen als bei 55 %: Das erhöht aber noch nicht die Gesamtkilometerleistung im Produktlebenszyklus (Electropaedia). 32

Abb. 14: Je wärmer eine Batterie wird, desto schneller steigt ihr interner Widerstand an. Es kommt zu irreversiblen Anreicherungen: Nicht so bei kleinen Ladehüben, geringen

Ladetiefen und niedriger Ladeleistung wie beim kabellosen Laden nach deutscher Anwendungsregel (Electropaedia). 32

Abb. 15: Johnson Controls bestätigt hiermit für Hybridbatterien (HEV) eine Zyklenfestigkeit bei kleinen Hüben (10 %), die hundert Mal über großen (90 %) liegt, allerdings bei EVs (Johnson Controls, Sonne Wind Wärme) 33

Abb. 16: Kabelloses Laden (orange) erlaubt immer wieder zwischendurch ein gelegentliches Laden (Opportunity Charging): Die Kapazität sinkt nicht so weit ab wie wenn nur alle 2 – 3 Tage geladen wird (blau) und ist wieder schneller bei 100 % (KM) 33

Abb. 17: Barrierefreie Sammelparkplätze von Car Pools zur Nachverdichtung von Parkflächen mit 100 Fahrzeugen auf der Fläche von 30 Parkplätzen (PR induct.fr) 36

Abb. 18: Beispiel für maximal verdichtete Parkflächen: Der Parkhausautomationssnbieter IHI hat mit dem Kabellos-Lieferanten Witricity eine Allianz geschlossen, weil das Regalsystem mit Kabel und Stecker nicht kompatibel ist (IHI PR) 36

Abb. 19: Öffentliche Ladepunkte und Denkmalschutz in der Altstadt von Florenz nach der Planung des MIT: Die Fahrzeuge laden kabellos (Reinventing the Automobile, Mitchell) 37

Abb. 20: Smartphone Boom als Trendindikator für das kabellose Laden: keine das Stadtbild störende Bedienoberfläche mehr (Audi PR) 38

Abb. 21: Ein Verbotsschild für 8,95 Euro im Internetversandhandel als Indikator für die Akzeptanz von weiteren exponierten Stadtmöbeln, ebenso wie Fundstellenanzahl und –art zu „Pigeon Droppings“ 40

Abb. 22: Die Uni Magdeburg beobachtete das Nutzerverhalten und das System Elektromobilität (OvGU) 45

Abb. 23: Schwerpunkt der OvGU war eine Umfrage auf der Hannover-Messe Industrie sowie eine Telefonbefragung (OvGU) 46

Abb. 24: Der Firmenparkplatz ist mit 79 % der Ort, an dem die meisten Autos zu stehen kommen, sogar noch mehr als am heimischen Stellplatz mit 75 % (UCLA [49]) 51

Abb. 25: Selbst in der Welthauptstadt der Elektromobilität hängen die Fahrer das Ladekabel nicht gern an, laden aber am liebsten nachts (UCLA [49]) 52

Abb. 26: Je nach Fragestellung wird in LA sogar mit Level 1 ein noch langsamerer Ladestandard als die Schukosteckdose bevorzugt (UCLA [49]) 52

Abb. 27: Selbst in LA werden die heutigen Batteriereichweiten von 59 % als unproblematisch angesehen (UCLA [49]) 54

Abb. 28: Auch in Kalifornien sind die Batterieladekosten für 75 % der Elektrofahrzeugfahrer wichtig. Damit wird es für Aufpreise an der Schnellladesäule sehr schwer (UCLA [49]) 55

Abb. 29: Typisches Haushaltslastprofil im Winter: Nachts bleibt in der Schwachlastphase genügend Zeit zum Laden, auch für 2 – 3 Fahrzeuge nacheinander (VDEW) 62

Abb. 30: Einsatz der unterschiedlichen Kraftwerkstechnologien für einen typischen Tagesgang: die Spitzen verteuern den Strom für alle anderen, dürfen also nicht noch spitzer werden (Wikipedia) 64

Abb. 31: Höherer Strompreis = mehr Ertrag durch Eigenverbrauch: Dadurch wird zuhause laden immer interessanter, letztendlich wird man dort sogar für das Laden bezahlt (KM) 66

Abb. 32: Nissan Leaf-Batterien dienen in ihrem zweiten Leben als Sonnenergiespeicher: Die Batteriepakete kommen unverändert in den Schrank - ein Massenmarkt (Nissan) 68

Abb. 33: Vorteil Eigenverbrauch nach aktuellen Vergütungssätzen (1. Juli 2011): Zuhause werden in Zukunft zusätzliche Verbraucher regelrecht gesucht 69

Abb. 34: Trend zu energieeffizienten Neubauten ist ein Trend zum zuhause Laden: Die Ausgangsbasis ist gering, aber ab 2021 gehört für jeden Neubau das zuhause Laden dazu 71

Abb. 35: Der Anstieg der Energieeffizienzmaßnahmen an Bestandsgebäuden bedeutet auch einen Anstieg an Überschussstrom zuhause, der auch zuhause Verbraucher sucht (KM) 72

Abb. 36: 85 % der Pendler und Privatfahrer legen täglich im Durchschnitt bis zu 70 Kilometer zurück: Danach ist eine gängige Elektrofahrzeugbatterie zur Hälfte voll. Wozu schnell laden? (KM) 75

Abb. 37: Tägliche Ankunftszeit am Stellplatz und kumulierte Ankunftszeit: ungesteuertes Laden führt schon bei wenigen Elektrofahrzeugen pro Straße zu einer zwangläufigen Synchronität und Netzüberlastung 77

Abb. 38: Das erste kabellose Elektrofahrzeug in Deutschland mit Straßenzulassung macht gesteuertes Laden automatisch möglich (Mainova PR) 83

Abb. 39: Smart Grid Kreislaufwirtschaft: Volatilenergien, Regelkapazität und Verbrauch über Cloud-Dienstleistung in Ausgleich gebracht (T-Systems) 86

Abb. 40: Smart Home mit Steuerungs- und Datenverarbeitungs-Komponenten, Smart Phone als zentrale Bedienerschnittstelle: ideales Szenario für das zuhause Laden (Quelle EWE) 87

Abb. 41: Zuhausekraftwerke passen zum Zuhauseladen: Kabellosladen bedeutet hier einen steuerbaren Verbraucher größerer Mengen direkt vor Ort (KM) 88

Abb. 42: Toyota testet das Smart Home im Smart Grid mit Einbindung von Elektrofahrzeugen: Toyota testet nicht das Schnellladen. Dazu entsteht eine ganze Stadt. (Bild Toyota) 93

Abb. 43: EDAG Light Car zeigt den Ladevorgang per Licht-Schriftzug an: das erste für das Carsharing komplett neu entwickelte Fahrzeug lädt kabellos 99

Abb. 44: Das City-Car des MIT verbindet Individualverkehr mit Carsharing: Es lädt induktiv. Die Einspeiseelektronik befindet sich in intelligenten Randsteinen. Das GM EN-V kommt der Vorlage des MIT sehr nahe fährt aber nur auf einer Segway Achse (KM [42]) 100

Abb. 45: 3 kW-Ladesäulen von Toyota mit Internetanbindung auf Basis der Cloud 120

Abb. 46: Toyota Smart Center auf Cloud-Basis von Microsoft Azure zur Steuerung von Ladesäulen und Fahrzeugen, ähnlich wie die weltweite Nissan Carwings Leitwarte auf Basis von Hitachi-Telematik und Airbiquity-IT 122

Abb. 47: Mit Second Life Batterien ließe sich der Eigenanteil von PV-Strom entscheidend erhöhen: der von Nissan darstellbare Zielpreis liegt um Faktor 10 bis 20 unter heutigen Speicherpreisen (KM) 138

Abb. 48: Audi präsentiert kabelloses laden auf der IAA 2011 als Technologiehighligt (SEW) 141

Abb. 49: Audi Vision von fahrerlosem Fahrzeug, das auf Parkdeck autonom auf freien Parkplatz fährt, präsentiert auf der IAA 2011: Auch eine Form der Nutzerfreundlichkeit (Audi PR) 142

Abb. 50: IHI-Parkturm mit Transportbändern (li.), Witricity-Ladesystem : Ein Auto an ein Parkregalsystem zu übergeben ist nur sinnvoll, wenn es dann nicht noch eingesteckt werden muss 144

Abb. 51: Strukturkomponenten induktiver und konduktiver Systeme (ifak) 144

Abb. 52: Einzelkomponenten eines kabellosen Energieübertragungssystems (ifak) 146

Abb. 53: Schematische Darstellung der kombinierten induktiven Energie- und Datenübertragung (ifak) 150

Abb. 54: Komponenten eines kontaktlosen Übertragungssystems (ifak) 153

Abb. 55: Nissan Leaf USA, Bedienungsanleitung, 2011, S. 50 ff 156

Abb. 56: Ladeverhalten in Abhängigkeit der Tageszeit (Weber, E. (2010). Flottenversuch MINI E Berlin, Kurani, K. S. et. al. (2010). Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV) Demonstration) 170

Abb. 57: Ladeverhalten in Abhängigkeit der Wochentage (Weber, E. (2010). Flottenversuch MINI E Berlin, Kurani, K. S. et. al. (2010). Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV) Demonstration) 171

Abb. 58: Tägliche Ladehäufigkeit (Kurani, K. S. et. al. (2010). Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV) Demonstration) 171

Abb. 59: Auswirkungen unterschiedlicher Ladestrategien (Kang und Recker [371]) 172

Abb. 60: Ladesteckvorrichtung der Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co KG 173

Abb. 61: VDE-geprüfte Ladesteckvorrichtungen der Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co KG 175

Abb. 62: Ladesteckvorrichtungen von EFZ der Mennekes Elektrotechnik GmbH & Co. KG (deutscher Normentwurf für die internationale Standardisierung) 176

Abb. 63: Lapp-Ladekabel für EFZ 177

Abb. 64: Lapp-Ladekabel 177

Abb. 65: Größte und kleinste Abzugskraft (, Tabelle 16, Seite 44) 179

Abb. 66: Vorrichtung für die Prüfung der Abzugskraft (, Bild 19, Seite 82) 179

Abb. 67: AM-Spot Ladesäulen 182

Abb. 68: Home Charger – Die Ladestation für zu Hause 183

Abb. 69: Das eMobility Starter Package von BOSCH 184

Abb. 70: P-Charge Ladesäule der Schletter GmbH 185

Abb. 71: Neue Ladesteckdose an EFZ von Ford 186

Abb. 72: Park-Assistent PAUL 210

Abb. 73: Unsichtbarer Ladepunkt von eCoupled / Fulton-Innovation (Engadget) 222

Abb. 74: Im Asphalt verlegte Ladepunkte mit Wampfler-IPT-Technologie (Wampfler PR) 222

Abb. 75: Altstadt mit Ladesäulenvisualisierung 230

Abb. 76: Parkplatzbeschilderung in Berlin; Zusatzzeichen gem. Straßenverkehrsordnung (i. V. m. Verkehrszeichenkatalog (VzKat) 1026-60 (vorläufige Nr.) „Elektrofahrzeuge während des Ladevorgangs frei“) 234

Abb. 77: DIN 18070 Öffentlicher Verkehrs- und Freiraum; Quelle:http://din18070.de/normen-richtlinien.htm, abgerufen am 08.02.201 235

Abb. 78: Systematik des Modells SIMONE, Quelle: 2. Bericht der Nationalen Plattform Elektomobilität, Mai 2011 243

Abb. 79: Sharing, Ulm Quelle: www.menekes.de 244

Abb. 80: Motorisierungsgrad in Deutschland; verzerrte Darstellung in Relation zur Einwohnerdichte Quelle: Laufende Raumbeobachtung, BBSR, 2008 246

Abb. 81: Entwicklung des Bedarfs an Ladepunkten, Quelle: Abb. 12, 2. Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, Mai 2011 248

Abb. 82: Marktdurchdringung in Abhängigkeit von der Batteriekapazität Quelle: Wirtschaftlichkeit von Elektroautos, Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM) 252

Abb. 83: Kosten Ladeinfrastruktur (Quelle: Oben: 2. Bericht Nationale Plattform Elektromobilität; unten: Fraunhofer ISI) 253

Abb. 84: Vision vom unsichtbaren Laden bei Siemens 256

Abb. 85: Ladepunkt in den USA mit durchtrennten Kabeln 257

Abb. 86: Kalifornien 2011: Magne Charge Lade-Paddel der 2. Generation v. 1998 für 80 kW .. 260

Abb. 87: Beschädigte Fahrkarten-Automaten in Deutschland , Zerstörter Bancomat während der London Riots 2011 262

Abb. 88: Gefahr für jedes Kabel: Das scharfe Gebiss des Marders 264

Abb. 89: Ein Grauhörnchen an einem Stromversorgungskabel 266

Abb. 90: Nagetierschäden, veröffentlicht von amerikanischen Eichhörnchen-Jägern 267

Abb. 91: Spulengüte und Koppelfaktor (ifak) 269

Abb. 92: T-Ersatzschaltbild (ifak) 270

Abb. 93: Kontaktlose Übertragungsanordnungen (ifak) 270

Abb. 94: Schematische Darstellung des VECTOR21-Modells (Quelle: VECTOR21, DLR) 290

Abb. 95: Schematische Darstellung des iTren2030-Modells (iTren-2030) 291

Abb. 96: Neuzulassungen nach Antriebsarten im Alternativ-Szenario (Shell-Pkw-Studie) 293

Abb. 97: Neuzulassungen nach Antriebsarten im Trend-Szenario (Shell-Pkw-Studie) 293

Abb. 98: Arbeitsbereich „Beschreiben“ des CONSIDEO-Modelers (Consideo) 326

Abb. 99: Arbeitsbereich „Kreativ“ des CONSIDEO-Modelers (Consideo) 326

Abb. 100: Arbeitsbereich „Qualitativ“ des CONSIDEO-Modelers (Consideo) 327

Abb. 101: Arbeitsbereich „Quantitativ“ des CONSIDEO-Modelers (Consideo) 328

Abb. 102: Arbeitsbereich „Simulieren“ des CONSIDEO-Modelers (Consideo) 328

Abb. 103: In LA liegen 73 % der Pendlerrundstrecken unter 15 Meilen und 76 % der Tagesfahrleistungen unter 50 Meilen. 365

Abb. 104: 53 bis 78 % der der Bürger von LA verfügen über 2 oder 3 Fahrzeuge 366

9.7 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Schutzziele des kabellosen Ladens nach der deutschen Anwendungsregel: Das Feld (1) bleibt trotz der Leistung von 3,3 kW so schwach, dass sich keine Gegenstände unter dem Auto erhitzen, und ringsherum (3) strengste Empfehlungen für Felder unterschritten werden (GAK 353.0.1) 10

Tab. 2: Neben den Schutzzielen ist der Ladewirkungsgrad von über 90 % der zweite wichtige Parameter für das Systemlayout nach der deutschen Anwendungsregel (GAK 353.0.1) 11

Tab. 3: Aus Schutzzielen (inkl. Leistung) und Wirkungsgrad (vorige Abbildungen) ergibt sich physikalisch zwingend das resonante Induktionsladen als Technologiegattung und die recht große Übertragungsfläche mittig unter dem Auto, höchstens auf der Fahrzeugseite mit Verkleinerungen (GAK 353.0.1) 12

Tab. 4: Überflurinstallation mit Mindestabstand von 50 mm und Maximalabstand 120 mm zwischen Oberfläche Spulengehäuse und Fahrzeugunterboden (GAK 353.0.1) 13

Tab. 5: Bodengleiche Unterflurinstallation mit Mindestabstand von 100 mm und Maximalabstand 170 mm zwischen Oberfläche Straße/Parplatz und Fahrzeugunterboden (GAK 353.0.1) 13

Tab. 6: Maximaler Versatz zwischen Fläche am Boden und am Fahrzeug in Fahrtrichtung und quer dazu um jeweils 100 mm (GAK 353.0.1) 14

Tab. 7: Schutzziel Erwärmung von Gegenständen im Bereich der aktiven Fläche, unabhängig vom Luftspalt (150 oder 180 mm) (GAK 353.0.1) 14

Tab. 8: In der Nähe des Fahrzeugunterbodens sieht das Feld anders aus, fällt aber zum Rand hin genau so ab wie in Bodennähe (voriges Bild) und erlaubt somit dauerhafte Ganzkörper-Exposition längs entlang des gesamten Türschwellers (GAK 353.0.1) 15

Tab. 9: Der Ladestandard entscheidet sich beim Laden zuhause, weil dort die Stückzahlen anfallen (KM) 59

Tab. 10: Das lange Nachtfenster reicht auch, um mehrere Fahrzeuge sequentiell zu laden: Ein Markt, der aufgrund der Daten viel realistischer ist als das Schnellladen (KM) 60

Tab. 11: Private und Pendlerfahrten aufgeteilt nach Wochenende und Arbeitstagen mit jeweiligem Anteil der Fahrstrecken: Eine Mehrzahl an Fahrzeugen wird an den meisten Tagen gar nicht bewegt, ideal für kabellos (KM) 74

Tab. 12: Glätten der Gesamtlast im Verteilungsnetz durch intelligentes Laden: Die Berechnungen gehen von einer viel zu geringen Strompreisstaffelung aus, da geht viel mehr (KM) 79

Tab. 13: Die Regelleistung von Elektrofahrzeugen kann nur genutzt werden, wenn die Fahrzeuge automatischen geladen werden und, sobald sie parken, am Netz verfügbar sind (KM) 91

Tab. 14: Durch automatisches kabelloses Laden ließe sich die Verfügbarkeit der Fahrzeuge am Netz sicher auf 95 % steigern und die verfügbare Energie wächst überproportional mit an. (KM) 92

Tab. 15: 2011 investierten bisher schon 12 Carsharing-Anbieter in Elektro-Autos (KM) 96

Tab. 16: Fahrprofil Carsharing: Das Fahrzeug muss verfügbar sein, an verschiedenen Orten, nicht an Schnellladesäulen. Kabellos ist komfortabel für den Fahrer, sicher für den Betreiber (KM) 98

Tab. 17: Plausibilitätsabfrage mit Retropolation: Warum sollte die Preisdegression bei Fahrzeugbatterien so viel flacher verlaufen als zuvor bei Consumerbatterien, wenn die Stückzahl schon 2015 über der von Consumerbatterien liegen soll? 101

Tab. 18: Der komplette Antriebstrang eines Elektrofahrzeuges (BMW i3): Batterie, Motor und Umrichter. Viel weniger Teile als bisher und daher potentiell günstiger (BMW) 104

Tab. 19: Plausibilitätsabfrage zu Batteriepreisdegression anhand von PV-Modulen: Vergleichbares Stückzahlwachstum, vergleichbarer Montageaufwand, vergleichbares Degressionspotential 106

Tab. 20: Plausibilitätsabfrage zu Batteriepreisdegression anhand von Montageaufwand: Wie lange bleibt Handarbeit Kalkulationsgrundlage einer Schlüsseltechnologie? 106

Tab. 21: Plausibilitätsabfrage zu Batteriepreisdegression anhand der Stückzahlentwicklung über Marktgrenzen hinweg: Kommt der Preisverfall auch ohne Elektrofahrzeugboom? 109

Tab. 22: Nur auf Leistungsdichte optimierte Batterien können Schnellladen ohne großen Schaden nutzen, Rekuperation bedeutet hingegen nur kurzzeitiges Schnellladen (KM) 109

Tab. 23: Auch ohne Kurve zeigt die Punktewolke einen klaren Trend: Die Battery Parity kommt früher als gemeinhin angenommen, wobei wichtigste Hersteller fehlen, weil sie nichts ankündigen (KM) 112

Tab. 24: Die Reichweiten von BEVs werden mit Verbrennern schneller gleichziehen können als gedacht: Reichweitenangaben hängen immer vom Fahrzeug ab (KM) 115

Tab. 25: Immer häufigere Ankündigungen zu höheren Energiedichten: Nach Gesichtspunkten der Trendforschung ein schulbuchmäßiges Bild für den Durchbruch zum Megatrend.. 117

Tab. 26: Mit Schnellladen ist die Batterie zwar schnell geladen, aber immer nur zu 80 %: die letzten 20 % dauern etwa viermal länger, was den Zeitvorsprung gegenüber Langsamladen minimiert 129

Tab. 27: Auf dem Gebrauchtwagenmarkt spricht man von checkheftgepflegten Garagenautos, auf dem Second-Life-Batteriemarkt wird man von langsam geladenen Garagenbatterien sprechen 136

Tab. 28: Nissan, Toyota und Mitsubishi sind in Japan längst in den Smart Home-Markt eingestiegen: Die Autobatterie bringt 5 mal mehr Kapazität bei einem bei 50 bis 14 % der Wettbewerbspreise..... 138

Tab. 29: Mit komfortabel eingestelltem Zielpreis von 134 € / kWh kann Nissan den stationären Speichermarkt nach Belieben aufrollen oder im Second Life erheblich bessere Renditen erzielen als im Fahrzeugbau oder die Fahrzeugbatterie beliebig subventionieren 140

Tab. 30: Auflistung der Komponentenkosten (ifak) 145

Tab. 31: Darstellung der Kostenunterschiede (ifak) 146

Tab. 32: Vergleich des Energiemehrbedarfs im vorgestellten Szenario (ifak) 152

Tab. 33: Hörbereiche von Menschen und Tieren (KM) 159

Tab. 34: Sicherheitsbedenken beim konduktiven Laden (Quell Studie Krems, Josef F., Technische Universität Chemnitz, Tabelle 10, S. 85, Auszug) 167

Tab. 35: Wo luden die Nutzer? 168

Tab. 36: Auswertung Videosequenz 1 188

Tab. 37: Auswertung Videosequenz 2 188

Tab. 38: Auswertung Videosequenz 3 188

Tab. 39: Auswertung Videosequenz 4 189

Tab. 40: Altersstruktur der Befragungsteilnehmer – HMI 191

Tab. 41: Kenntnisstand der Befragten bezüglich Elektromobilität - HMI 192

Tab. 42: Altersstruktur der Befragungsteilnehmer sortiert nach Expertisegruppen – HMI 192

Tab. 43: Altersstruktur der Befragungsteilnehmer - Internetbefragung 193

Tab. 44: Kaufbereitschaft für ein EFZ - Internetbefragung 194

Tab. 45: Gründe für und gegen den Kauf eines EFZ – Internetumfrage 194

Tab. 46: Konduktives Laden als Grund kein EFZ zu kaufen - HMI 195

Tab. 47: Störfaktor konduktives Ladens bei widrigen Witterungsverhältnissen - HMI 195

Tab. 48: Mehrwert für den Komfortgewinn des induktiven Ladens - HMI 196

Tab. 49: Mehrwert für den Komfortgewinn eines Parkassistenten - HMI 197

Tab. 50: Verteilung der Ladeorte für das EFZ - HMI 198

Tab. 51: Verteilung der Parkdauer, ab der sich das konduktive Laden lohnt (absolut) - HMI 199

Tab. 52: Verteilung der Parkdauer, ab der sich das konduktive Laden lohnt (kumuliert) - HMI 199

Tab. 53: Verteilung der Verweildauer, ab der sich das Laden des Mobiltelefons lohnt (absolut) - HMI 200

Tab. 54: Verteilung der Ladezeiten über den Tag - Internetbefragung 201

Tab. 55: Verteilung der Auslöser für das Laden des EFZ – HMI 201

Tab. 56: Verteilung der Auslöser für das Laden des Mobiltelefons - HMI 202

Tab. 57: Verteilung der Auslöser für das Laden des Mobiltelefons - Internetbefragung 203

Tab. 58: Verteilung der Auslöser für das Betanken des KFZ - HMI 203

Tab. 59: Auswertung Expertenbefragung - Sensortechnik 217

Tab. 60: Auswertung Expertenbefragung – Markteinführung 218

Tab. 61: Auswertung Expertenbefragung – Positioniergenauigkeit 218

Tab. 62: Gesichter von Ladebuchsen am Fahrzeug als internationale Normungsvorschläge, hinzu kommen hauseigene, z. B. von Tesla (Phoenix Contact) 223

Tab. 63: Mitglieder-Zuwachs im WPC /Qi-Standard (KM) 225

Tab. 64: Statistik des NFSI über Instandhaltungskosten bei US-Supermärkten (KM) 227

Tab. 65: Bedeutung von Kabeln bei Stromunfällen 228

Tab. 66: Wohnungen mit bzw. ohne eigenen Stellplatz Quelle: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Haus- und Grundbesitz sowie Wohnverhältnisse privater Haushalte, Fachserie 15, Sonderheft 1 2008, Seite 16ff; eigene Darstellung 251

Tab. 67: Aufbau Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum Quelle: eigene Darstellung 254

Tab. 68: Kabel-Diebstahl bei Deutscher Bahn und British Transport und Schrottpreis 258

Tab. 69: Polizeiliche Kriminalstatistik 2007-2009 (KM) 261

Tab. 70: TCO von Automaten: Anschaffungskosten einer Notrufsäule verdoppeln sich in 10 Jahren durch Vandalismus-Instandhaltungskosten (KM) 262

Tab. 71: Marderbiss-Schäden in Deutschland (KM) 264

Tab. 72: Netzausfallquote durch Kabelbiss bei der US-Telecom (KM) 266

Tab. 73: Frequenzabhängige Übertragungsleistung (ifak) 271

Tab. 74: Prognosen-Vergleich Pike-Research und iSupply (KM) 272

Tab. 75: Weltmarkt für Handys, Smartphones und LTE (KM) 273

Tab. 76: Steckerfirmen investieren in Kabellos-Anwendungen (KM) 274

Tab. 77: Wireless-Laden-Investitionen von OEMs (KM) 274

Tab. 78: Ansicht des JustPark-Wiki 287

Tab. 79: Alphabetische Auflistung der analysierten Szenarienmodelle (ifak) 289

Tab. 80: Gegenüberstellung der Szenarien (ifak) 292

Tab. 81: Parametermatrix (ifak) 299

Tab. 82: Strukturierung des Betrachtungsraums im Normalfall (ifak) 306

Tab. 83: Strukturierung des Betrachtungsraum im Sonderfall überlappender Stories (betrachtete Nutzer sind Teil verschiedener Stories, welche somit eine Schnittmenge bilden) (ifak) 306

Tab. 84: Kausalität: Wirkung einer Größe auf eine andere (ifak) 309

Tab. 85: Aufbau einer Kausalkette anhand eines konkreten Beispiels (ifak) 310

Tab. 86: Fiktives Beispiel „Einfluss leistungsstarker im Vergleich zu herkömmlichen Leuchtmitteln im Gärtnereibereich“ (ifak) 311

Tab. 87: Beispiel – Teil 1: Kardinalität 1:n, ausgehend von der Batterielebensdauer (ifak) 313

Tab. 88: Beispiel – Teil 2: Kardinalität 1:k_1, einwirkend auf die Batterielebensdauer (ifak) 314

Tab. 89: Beispiel – Teil 3: Kardinalität 1:k_x, wobei x = 1,2, ebenfalls einwirkend auf die Batterielebensdauer (ifak) 315

Tab. 90: Beispiel – Teil 4: Kardinalität 1:l, Vervollständigung der Kausalkette auf der Ursachenseite (ifak) 316

Tab. 91: Beispiel – Teil 5: Kardinalitäten 1:$k_{1,2}$, 1:l sowie 1:n (ifak) 317

Tab. 92: Beispiel – Teil 6: Kardinalität m:1:n, bezogen auf die Größe Batterielebensdauer 318

Tab. 93: Allgemeine Vorgehensweise am Beispiel der Telematikfunktion (ifak) 322

Tab. 94: Das Wirkungsmodell für die Abschätzung der Wirkung telematischer Funktionen (ifak) 324

Tab. 95: Schematische Darstellung eines Parametersatzes für ein Szenario (ifak) 324

Tab. 96: Wirkungsmodell für ein Szenario (Bedienoberfläche und Visualisierung) (ifak) 325

Tab. 97: JustPark-Mind Map (KM) 329

Tab. 98: Überführung der JustPark-Mind Map in das CONSIDEO-Modell (ifak) 330

Tab. 99: Überführung der JustPark-Mind Map in das Excel-Modell (ifak) 330

Tab. 100: Qualitatives Modellieren in CONSIDEO am Beispiel der Batterierestlebensdauer (ifak) 331

Tab. 101: Quantitatives Modellieren in CONSIDEO am Beispiel der Batterierestlebensdauer (ifak) 332

Tab. 102: Simulation und Visualisierung in CONSIDEO am Beispiel der Batterierestlebensdauer (ifak) 333

Tab. 103: Änderung der Ausgabegröße durch Veränderung eines Parameters im Modell am Beispiel der Batterierestlebensdauer (ifak) 333

Tab. 104: Simulation und Visualisierung in Excel 334

Tab. 105: Fragebogenstudie (OvGU) 337

Tab. 106: Zusatzfragen (OvGU) 338

Tab. 107: Umfrage (OvGU) 339

Tab. 108: Fragebogen 1 (OvGU) 339

Tab. 109: Fragebogen 2 (OvGU) 340

Tab. 110: Fragebogen 3 (OvGU) 340

Tab. 111: Fragebogen 4 (OvGU) 341

Tab. 112: Fragebogen 5 (OvGU) 341

Tab. 113: Auswertung Internetbefragung (OvGU) 342

Tab. 114: Internetbefragung 1 (OvGU) 343

Tab. 115: Internetbefragung 2 (OvGU) 344

Tab. 116: Internetbefragung 3 (OvGU) 345

Tab. 117: Internetbefragung 4 (OvGU) 346

Tab. 118: Internetbefragung 5 (OvGU) 347

Tab. 119: Internetbefragung 6 (OvGU) 348

Tab. 120: Internetbefragung 7 (OvGU) 349

Tab. 121: Stadtprofile 1 (ISL) 351

Tab. 122: Stadtprofile 2 (ISL) 351

Tab. 123: Die Zuständigkeitsfrage ist einmal mehr das Hauptthema für die deutsche Bürokratie (ISL) 352

Tab. 124: Die Planungs- und Genehmigungskosten können an die Installations- und Anschaffungskosten heranreichen (ISL) 353

Tab. 125: Bisher werden die Konflikte beim Aufbau von Ladestationen in Bezug auf städtebauliche Kriterien eher gering eingeschätzt (ISL). 353

Tab. 126: Das Konfliktpotential wird für die Zukunft höher eingeschätzt – insbesondere hinsichtlich Sicherheit und Barrierefreiheit (ISL) 354

Tab. 127: Die wichtigsten Kriterien für den Standort von Ladeinfrastruktur sind der Netzanschluss und die Sichtbarkeit (ISL) 355

Tab. 128: Die Frage nach der Finanzierbarkeit von öffentlichen Ladepunkten wird noch nur selten gestellt (ISL) 356

Tab. 129: In die Genehmigung von Ladepunkten können verschiedenste Behörden eingebunden sein (ISL). 357

Tab. 130: stadtplanerische Ziele (ISL) 359

Tab. 131: strategische Ziele (ISL) 360

Tab. 132: Bei der gefühlten Parkplatzsituation überwiegen die Wahrnehmung von Mangel und die Gleichgültigkeit (ISL) 361

Tab. 133: Straßenseitenraum (ISL) 362

Tab. 134: Anzahl der Flächen (ISL) 363

Tab. 135: Bewohnerparkausweise (ISL) 364

Tab. 136: Nennungen (ISL) 364

9.8 Literaturverzeichnis

9.8.1 Dokumentationen, Studien

1) "Dense public charging infrastructure not a necessary requirement to drive early EV adoption in Shanghai ... The effect of dense public charging infrastructure availability on early EV adoption is modest" S. 14

2) "It's too troublesome to charge an EV": 46 % strongly agreee, 49 % somewhat agree and somewhat disagree, zweithäufigster Hinderungsgrund nach Reichweitenangst, S. 12

3) 15. Internationale Passivhaus Tagung: Passivhaus weltweit auf Siegeszug, Pressemitteilung

4) Accenture: Changing the game: Plug-in electric vehicle pilots, 2011

5) ADAC Motorwelt, September 2011, Interview mit Professor Kagermann

6) Adolf, J.; Huibers, R.: Automobilität im Wandel, Sonderdruck aus energiewirtschaftliche Tagesfragen, 59. Jg. Heft 8, 2009

7) Agentur für Erneuerbare Energien e.V.: Wenn Elektromobilität, dann erneuerbar! In www.unendlich-vielenergie. de. Stand: 2008. URL: http://www.unendlich-viel energie.de/uploads/media/praesentation_elektromobilitaet_03.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

8) Agentur für erneuerbare Energien/Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.: Stromversorgung 2020 Wege in eine moderne Energiewirtschaft. In www.unendlich-viel-energie.de. Stand: Januar 2009. URL: http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/stromprognose2020_Langfassung.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

9) Ahrend, Prof. Dr.-Ing. Christine/ Technische Universität Berlin, Fakultät Verkehrs- und Maschinensysteme (Hrsg.): E-Mobility 2025 - Szenarien für die Stadt Berlin. In www.verkehrsplanung.tu-berlin.de. URL: http://www.verkehrsplanung.tu-berlin.de/fileadmin/fg93/Dokumente/e-mobility_2025.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

10) Allgemeiner deutscher Fahhrad-Club: Lademöglichkeiten für Elektrofahrräder im öffentlichen Raum. In http://www.adfc.de. Stand: November 2010.URL: http://www.adfc.de/files/2/135/101118_ADFC-Workshop-Lademoeglichkeiten_oeffentlicher_Raum.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

11) AM-Spot – Anschlussfertige Ladesysteme für EFZ http://www.mennekes.de/aktuell_details.html?tx_ttnews %5Btt_news %5D=484&cHash=f17968a0b24a1fad7bd77c8517fb472b (letzter Aufruf 04.10.2011)

12) Annedore Kanngiesser, Daniel Wolf Steffen Schinz, Hellmuth Frey, Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT,

13) ATZ Elektronik: Chemie in Lithium-Ionen-Akkumulatoren, Ausgabe 2011-03, Wiesbaden 2011

14) Austrian Automotive Association Service GmbH: Elektromobilität in Österreich Momentaufnahme der Forschung und Industrie 2010

15) Auto Reporter.Net: Nissan bietet Solarstom für Lithium-Ionen-Batterien an, 15.07.2011

16) Automobil Elektronik:Das Auto lernt zählen: Mobile Metering. 02/2011

17) Automobilzulieferer Kiekert geht mit der Ladesteckerverriegelung für EFZ in Serie http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=4779&ok=15&uk=98&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011) http://www.kiekert.com/index.php?L=1&id=2 (letzter Aufruf 04.10.2011)

18) Baier, Dr.-Ing. Reinhold: Überblick: Parkraumkonzepte in Deutschland Ergebnisse einer Studie im Auftrag der BASt. In www.srl.de. Stand: 11.10.2007. URL: http://www.srl.de/dateien/dokumente/de/aktuelle_praxis_der_kommunalen_parkraumbewirtschaftung_in_deutschland.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

19) Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit/Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie/Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern: Leitfaden Energienutzungsplan, Februar 2011. www.energieatlas.bayern.de

20) BDI Broschüre: Internet der Energie - IKT für Energiemärkte der Zukunft, 2009

21) Beckmann, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus J.: Elektromobilität - Hoffnungsträger oder überschätzte Chance des Stadtverkehrs, difu-Berichte 2/2010

22) Beckmann, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus J.: Elektromobilität und Stadtentwicklung. Vortrag im Rahmen der Konferenz „Elektromobilität in Kommunen“am 07. Oktober 2010, Düsseldorf In www.emobil-nrw.de. Stand: 07.10.2010. URL: http://www.emobil-nrw.de (letzter Abruf: 19.07.2011)

23) Beckmann, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus J.: Stadtentwicklung i Deutschland.Rahmenbedingungen, Trends, Perspektiven. In www.aachen.de. Stand: 29.11.2010. URL: http://www.aachen.de/de/stadt_buerger/planen_bauen/_materialien_planen_bauen/stadtentwicklung/stadt/aachen2030/fachwerkstatt/2010-11-29_Fachwerkstatt_Prof_Dr_Beckmann_Vortrag.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

24) Beiten Burkhardt/Rechtsanwaltsgesellschaft mbH: Rechtsfragen der Elektromobilität, Newsletter Juni 2010

25) Belectric: Workshop und Erfahrungsaustausch für die Versorgungswirtschaft und Kommunen. In: www. belectric.com

26) Bittner, Marc; Tschipan, Claudia: Befragung Elektromobilität. Elektrofahrzeuge in Wien: Einstellungen und Nutzungspotentiale. In www.wien.gv.at. Stand: Dezember 2009. URL: http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/ studien/pdf/b008082a.pdf (letzer Abruf: 19.07.2011)

27) Blum, Wilfried; Stolz, Eduard: Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge. In www.park-charge.ch. Stand: -. URL: http://www.park-charge.ch/documents/Pr %E4sentationP&C_e_mobileGV09.pdf (letzer Abruf: 19.07.2011)

28) BMW AG Werk Regensburg (Hrsg.): Regensburg mobil Handbuch Verkehr und Umwelt Regensburg; Kapitel 2: Parken / Ruhender Verkehr. In www.reglog.de. URL: http://www.reglog.de/3_rmobil/Kapitel2.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

29) BMWi, BMVBS, BMU, BMBF, BMELV: Auszug aus dem Bericht an den Haushaltausschuss Konjunkturpaket II, Ziffer 9 Fokus „Elektromobilität“. In www.bmu.de. Stand: 10.03.2009: URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/elektromobilitaet_konjunkturpaket_ii_bf.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

30) Bombardier: Primove-City, 2011

31) Boston Consulting Group (BCG): Batteries for Electric Cars, Boston 2009 http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf

32) Brachat-Schwarz, Werner; Büringer, Dr. Helmut; Glaser, Dagmar: Die Entwicklung des Pkw-Bestands bis 2025 Eine Vorausrechnung für die Stadt- und Landkreise Baden-Württembergs. In www.statistik.baden-wuerttemberg.de. Stand: Mai 2007. URL: http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Veroeffentl/Monatshefte/PDF/Beitrag07_05_07.pdf (letzer Abruf: 19.07.2011)

33) Brenneisen, Malte, Spindler, Urs und Wehmeier, Julia: Jeder fährt mit jedem. In: Zeit Wissen Nr. 6, Oktober / November 2011, S. 81ff

34) BSV, Aachen: Parkraumsituation in der Bamberger Innenstadt Auszug aus: Stadt Bamberg – Dynamisches Parkleitsystem - Verkehrsuntersuchung zur Wirksamkeit. Stand: Mai 2000

35) Bühler, F., Neumann, I., Cocron, P., Franke, T., Krems, J.F., Schwalm, M., & Keinath, A.: Die Nutzerstudie im Rahmen des Flottenversuchs MINI E Berlin - Methodisches Vorgehen und erste Erfahrungen im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitforschung, In: Mager, T. J. (Hrsg.). Mobilitätsmanagement – Beiträge zur Verkehrspraxis. ksv-Verlag. Köln (2010).

36) Bundesministerium des Inneren: Polizeiliche Kriminalstatistik 2007. In www.bmi.bund.de. Stand: Mai 2008. URL: http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/2008/Polizeiliche_Kriminalstatistik_2007_de.pdf?__blob=publicationFile (letzter Abruf: 19.07.2011)

37) Bundesministerium des Inneren: Polizeiliche Kriminalstatistik 2008. In www.bmi.bund.de. Stand: Mai 2009. URL: http://www.bmi.bund.de/cae/servlet/contentblob/541740/publicationFile/26704/PKS2008.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

38) Bundesministerium des Inneren: Polizeiliche Kriminalstatistik 2009. In www.bmi.bund.de. Stand: Mai 2010. URL: http://www.bmi.bund.de/cae/servlet/contentblob/1069004/publicationFile/65239/PKS2009.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

39) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Endbericht: Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichtes 2011 gemäß § 65 EEG, Vorhaben II c Solare Strahlungsenergie, Berlin 2011, S. 307-308

40) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit/Institut für Zukunftsenergiesysteme: Energie dreifach nutzen - Strom, Wärme, Klimaschutz. Ein Leitfaden für kleine Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (Mini-KWK), Juli 2009

41) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Konzept eines Programms zur Markteinführung von Elektrofahrzeugen - 1. Schritt: Marktaktivierung von 100.000 Elektrofahrzeugen bis 2014. In www.bmu.de. Stand: 15.09.2009. URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/marktaktivierung_elektroauto_schaubilder.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

42) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. In www.erneuerbare-energien.de. Stand: Juli 2011. URL: http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_bf.pdf (letzter Abruf: 19.09.2011)

43) Bundesministerium für Verkehr und Bau und Stadtentwicklung: Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD 2010). In: www.kid2010.de

44) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung/difu: Berliner Gespräche zum Städtebaurecht, Stand: November 2010

45) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung/NOW GmbH/ Fraunhofer IAO: Ideenwettbewerb „Vision - Elektromobile Stadt der Zukunft“, September 2011. In: www.vision.elektromobile-stadt.de

46) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bauen für die Zukunft Plus-Energie-Haus, Druckerei des BMVBS 2010

47) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Elektromobilität – Deutschland als Leitmarkt und Leitanbieter, Juni 2011

48) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Entwurf Weißbuch Innenstadt Starke Zentren für unsere Städte und Gemeinden. In www.bmvbs.de. Stand: 2010. URL: http://www.nationalestadtentwicklungspolitik.de/nn_251568/Content/Publikationen/NSP/weissbuchInnenstadt,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/weissbuchInnenstadt.pdf (letzter Abruf: 16.05.2011)

49) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Grundlagen für die Entwicklung von Klimaschutzmaßnahmen im Gebäudebestand, BBR-Online-Publikation 22/2007

50) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Städtebauförderung – Programmbereich Städtebaulicher Denkmalschutz Sicherung und Erhaltung historischer Stadtkerne in den neuen Ländern – Programmstädte 2008. In www.bmvbs.de. Stand: -. http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/35152/publicationFile/1082/liste-staedtebaulicher-denkmalschutz-2008.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

51) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Umsetzungsbericht zum Förderprogramm „Elektromobilität in Modellregionen“ des BMVBS. In www.bmvbs.de. Stand: August 2010. URL: http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/30880/publicationFile/84/umsetzungsbericht-zum-foerderprogrammmodellregionen-elektromobilitaet-des-bmvbs.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

52) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtenwicklung/NOW GmbH Nationale Organisation Wasserststoff- und Brennstoffzellentechnologie: Umsetzungsbericht zum Förderprogramm „Elektromobilität in Modellregionen“ des BMVBS. In www.bmvbs.de. Stand: August 2010 (Kurzfassung April 2010). URL: http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/30880/publicationFile/84/umsetzungsbericht-zum-foerderprogramm-modellregionen-elektromobilitaet-des-bmvbs.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

53) Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit), Abteilung Mobilität und Verkehrstechnologien (III/I4): Pre-Feasibility-Studie zu „Markteinführung Elektromobilität in Österreich“, Wien 2009

54) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: E-Energy. Auf dem Weg zum Internet der Energie. In www.e-energy.de. Stand: Juni 2010. URL: http://www.e-energy.de/documents/BMWI_Brosch_E_Energy_d_16_6_web.pdf

55) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Elektromobilität Mehr als die Neuerfindung des Autos – Worum geht es? Wie geht es nach dem zweiten Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität weiter?, Mai 2011

56) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Technologieoffensive des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). In www.bmwi.de. Stand: März 2011. URL:

http://http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Service/publikationen,did=384454.html (letzter Abruf: 29.07.2011)

57) Bundesnetzagentur: Bundesnetzagentur veröffentlicht aktuelle Zahlen über den Zubau von Photovoltaikanlagen, Pressemitteilung 16. Juni 2011

58) Bundestransferstelle Städtebaulicher Denkmalschutz: Bilanz und Perspektiven Städtebaulicher Denkmalschutz. In www.staedtebaulicher-denkmalschutz.de. Stand: April 2009. URL: http://www.staedtebaulicherdenkmalschutz.de/service/informationsdienste.php (letzter Abruf: 19.07.2011)

59) Bundesverband Solarwirtschaft, Beitrag zur Energiediskussion, Solarenergie wird wettbewerbsfähig, 2011

60) C40 Cities: Global Report on C40 Cities, Carbon Disclosure Project, KPMG, 2011

61) Canzler, W.; Knie, A.: Automobilität 2.0 Das vernetzte öffentliche Auto in urbanen Räumen, In: Kommune, Forum für Politik, Ökonomie, Kultur 3/2009

62) Canzler, W.; Knie, A.: Grüne Wege aus der Autokrise. Vom Autobauer zum Mobilitätsdienstleister. Ein Strategiepapier. Band 4 der Reihe Ökologie der Heinrich-Böll-Stiftung, Berlin 2009

63) Carl Binding, Dieter Gantenbein, Bernhard Jansen, Olle Sundström,

64) CirCarLife - Recharging Station for Electric Vehicle - Estacion recarga vehiculo electrico http://www.youtube.com/watch?v=eXeZhuJ2X7M&feature=related (letzter Aufruf 07.10.2011)

65) Cirquent mit Ladestellensystem Just Plug auf der E-World http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=6578&ok=15&uk=105&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

66) Comet Electric Vehicle Charging http://www.youtube.com/watch?v=gh-B3nzVwVg (letzter Aufruf 07.10.2011)

67) Conductix Wampfler AG: IPT Charge für elektrisch angetriebene Fahrzeuge, Werbezeitschrift, 2010

68) Conductix-Wampfler: Ganz ohne Kabelsalat: Kabelloses Laden von Elektrofahrzeugen. Stand: November 2009. In www.all-electronics.de. URL: www.all-electronics.de/media/file/16259 (letzter Abruf: 21.07.2011)

69) Credit Suisse: Global Equity Research, Energy Technology, Auto Parts & Equipment, New York 2009 http://www.miaccess24.com/chargeaccess24/electricvehicles.pdf

70) Dagmar Oertel, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim deutschen Bundestag, Energiespeicher – Stand und Perspektiven, 2008

71) Daniel Groß, Katharina Nowak, Andrea May, Matthias Schelling: Energiespeicherung, Transport und Netzmanagement, 2008

72) Datenbasis Gebäudebestand Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand, 2010

73) DCTI Deutsches CleanTech Institut: E-Mobilität, CleanTech Studienreihe Band 4, Bonn 2010 http://www.dcti.de/veroeffentlichungen/dcti-studienreihe.html

74) de Cerreño, Ph.D. Allison L. C.: The Dynamics of On-Street Parking in Large Central Cities. In wagner.nyu.edu. Stand: Dezember 2002. URL: http://wagner.nyu.edu/rudincenter/files/street.pdf (letzter Abruf:19.07.2011)

75) de Wyl, Christian: Rechtliche Aspekte der Elektromobilität – ein Überblick, Vortrag im Rahmen des 5. Greifswalder Forum „Umwelt und Verkehr“ am 15.04.2010

76) Deloitte: Smart Grid – Regulierung und Markt, Juli 2011

77) Department of Transport /Office of Low Emission Vehicles (GB): Making the Connection The Plug-In Vehicle Infrastructure Strategy, June 2011

78) Deutsche Bahn AG: E-Mobility – Neues Geschäftsmodell im Öffentlichen Verkehr?, Stand: Februar 2010. URL: http://www.innoz.de/fileadmin/INNOZ/pdf/präsentationen/20100125_wehrmann_WL-InnoZ.pdf

79) Deutsche Bank: Vehicle Electrification More rapid growth; steeper price declines for batteries, New York 2010 www.ourenergypolicy.org/docs/9/DB_evupdate030810.pdf

80) Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH: Sourcebook Overview, and Cross-cutting Issues of Urban Transport, TZ Verlagsgesellschaft mbH Eschborn, 2002

81) Deutscher Städtetag/Stadt Braunschweig: Demographischer und struktureller Wandel deutscher Großstädte 1992-2000-2004-2020. In www.staedtetag.de. Stand: August 2006. URL: http://www.staedtetag.de/imperia/md/content/schwerpunkte/fachinfos/2006/19.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

82) Deutscher Städtetag: Das Eigene entwickeln. Städtebaulicher Denkmalschutz als Kernelement integrierter Stadtentwicklungspolitik. Zielstellungen, Problemfelder, Lösungsansätze. Deutscher Städtetag, Stadt Göttingen. In www. staedtetag.de. Stand: 30.10.2009. URL: http://www.staedtetag.de/imperia/md/content/schwerpunkte/fachinfos/2010/7.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

83) Deutscher Städtetag: Das Stadtbild im Spannungsfeld von Schutz, Pflege und Gestaltung. Arbeitshilfe der Arbeitsgruppe Kommunale Denkmalpflege des Deutschen Städtetages. Stand: 2005. In www.staedtetagnrw.de. Stand: 19.06.2006. URL: http://www.staedtetag-nrw.de/stnrw/inter/veroeffentlichungen/eildienst/000899/index.html (letzter Abruf: 21.07.2011)

84) Deutscher Städtetag: Leitbild für die Stadt der Zukunft. In www.staedtetag.de. Stand: 15.05.2003. URL: http://www.staedtetag.de/imperia/md/content/schwerpunkte/hv2003/23.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

85) Deutscher Städtetag: Strategien für den öffentlichen Raum. Arbeitsgruppe der Fachkommissionen Stadtentwicklungsplanung und Stadtplanung des Deutschen Städtetages. In www.staedtetag.de. Stand: August

86) Development of Quick Charging System for Electric Vehicle, Takafumi Anegawa, Tokyo Electric Power Company, S.7 McKinsey, “Electric Vehicles in Megacities”

87) Die Bundesregierung: Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung. In www.bmwi.de. Stand: August 2009. URL: http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/nationaler-entwicklungsplanelektromobilitaet-derbundesregierung,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf (letzter Abruf: 16.05.2011)

88) Die Bundesregierung: Regierungsprogramm Elektromobilität, Mai 2011

89) Die Bundesregierung: Stadtentwicklungsbericht 2008, Neue urbane Lebens- und Handlungsräume. Stand: 2009. URL: http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StadtUndLand/Stadtentwicklung/stadtentwicklungsbericht-2008-der-bundesregierung-neue-urbane-lebens-und-handlungsraeume.html (letzter Abruf: 19.09.2011)

90) Die deutschen Fahrzeughersteller einigen sich auf ein modulares Stecksystem für das Laden von EFZ inhttp://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=4757&ok=15&uk=98&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

91) Die neuen Regelenergiebedingungen der Bundesnetzagentur bedeuten im Wesentlichen von einem Monat auf eine Woche verkürzte Ausschreibungspflichten sowie verringerte Mindestmengen, von 5 MW auf 1 MW für Primärregelleistung und von 10 auf 5 MW für Sekundärregelleistung. Das soll den Zugang zum Regelenergiemarkt erleichtern und somit den Wettbewerb stärken. Unter anderem verbessern sich dadurch die Geschäftsmodelle für Virtuelle Kraftwerke und Gesteuertes Laden im Flottenbetrieb von Elektrofahrzeugen. Die konkreten Folgen und Zusammenhänge können bisher mangels Erprobung aber nur abgeschätzt werden.

92) Die P-CHARGE Ladesäulen http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=5934&ok=15&uk=105&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011) http://www.schletter.de/131-0-P-Charge.html?226,69 (letzter Aufruf 04.10.2011)

93) DIN VDE 0620-1 (VDE 0620-1):2010-02 Stecker und Steckdosen für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke

94) Dorsch und Hoffmann: Passiv- und Niedrigstenergiehäuser. Anforderungen bei der Sanierung und dem Neubau. In www.i2fm.de. Stand: 16.11.2010. URL: www.i2fm.de (letzter Abruf: 16.05.2011)

95) Dr. Armin J. Gaul, RWE Deutschland AG, Essen, Bedeutung der Funktionalität der Ladeinfrastruktur für die netztechnische Einbindung, September 2011

96) Dr. Binder, Flaig und Ritterhoff: Beim Denkmalschutz bleibt‘s spannend, Sonne Wind & Wärme 11/2011

97) Dr. Christof Wittwer, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Die Rolle des Speichers bei der Netzintegration von Elektrofahrzeugen, Januar 2010

98) Dr. Clemens Hoffmann, Siemens AG; Dr. Michael Fiedeldey , Allgäuer Überlandwerk: Integration Erneuerbarer Energien und Elektromobilität, September 2011

99) Dr. Douglas Dykeman, IBM Research, SmartGrid, smarter mobility lead the way into a sustainable future Zürich, 2011

100) Dr. Erik Landeck,Vattenfall Europe Distribution Berlin GmbH

101) Dr. Jürgen Waffner, RWE Effizienz GmbH: „Wir bringen grünen Strom auf die Straße.“ November 2010

102) Dr. Peter Asmuth, Stawag, E-Mobility im Stadtwerk der Zukunft ,

103) Dr. Stefan Engelhardt, Industry Business Unit Utilities, SAP AG, Smart Grid und Elektromobilität – Innovative Lösungskonzepte für neue Geschäftsprozesse, September 2011

104) Dr. Wiebke Zimmer, Öko-Institut e.V, Bereich Infrastruktur & Unternehmen,

105) Electric Power Research Institute: Transportation Electrification, technical Report 2011

106) Electrification Coalition, Fleet Electrification Roadmap, November 2010

107) Electrification Coalition: Electrification Roadmap, November 2009

108) Electrification Coalition: Fleet Electrification Roadmap, Washington D.C. 2010 http://www.prtm.com/uploadedFiles/Thought_Leadership/Articles/External_Articles/EC-Fleet-Roadmap-print.pdf

109) Elektrofahrzeugen in Deutschland, 2009

110) eMobility Starter Package für Stadtwerke - Bosch bietet einfachen Einstieg in den Markt der Elektromobilität http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=6688&ok=15&uk=105&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

111) E-Mobility wird i-Mobility http://www.cirquent.de/de/press/Pressemitteilungen/_pressemitteilungen/20110307_PM_i-Mobility/index.html (letzter Aufruf 04.10.2011)

112) ener|gate - con|energy gruppe: Elektromobilität – Städte und Kommunen als Partner der Energieversorger. In www.energate.de. Stand: Juni 2009. URL: http://www.energate.de/download/index.

113) Energie&Management: BHKW-Ranking 2008 zeigt Absatzdelle, Dezember 2009

114) Energie&Management: BHKW-Ranking 2009: Absatzdelle fast ausgebügelt, 15. November 2010

115) Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln, Potentiale der Elektromobilität bis 2050 – Eine szenarienbasierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration, Juni 2010

116) EnergiNet/DK, Dansenergi: Smart Grid in Denmark, Dezember 2010

117) Energy 2.0; Solarstrom für 24 Stunden, Ausgabe 4/2011

118) Engel, Tomi: Das Elektrofahrzeug als Regelenergiekraftwerk des Solarzeitalters, 2006

119) Engel, Tomi: DGS_FASM-Aschaffenburg-Stromstelle 2010. In www.dgs.de. Stand: 15.4.2010. URL: http://www.dgs.de/fileadmin/files/FASM/2010.04-DGS-FASM-Aschaffenburg-Stromstelle.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

120) Engel, Tomi: Die Netzintegration von Elektrofahrzeugen, Teil 6 der Serie: Infrastrukturtypen und Kommunikationsrollen. In: Sonnenenergie, September/Oktober 2010

121) EPIA - European Photovoltaic Industry Association: Solar Photovoltaics- Competing In The Energy Sector, Brusseles 2011, S. 14

122) EPRI - Electric Power Research Institute: Characterizing Consumers' Interest in and Infrastructure Expectations for Electric Vehicles: Research Design and Survey Results. Rosemad, Kalifornien: EPRI, 2010.

123) ETG Mitglieder Information: Netzintegration und Lastmanagement von Plug-in Hybrid und Elektrofahrzeugen, Juni 2010

124) EUPD Research: Speedletter, EEG Novelle verabschiedet: Deutscher Bundestag beschließt Atomausstieg bis 2022. Solarförderung wird wie geplant geändert und Eigenverbrauch befristet. 1. Juli 2011

125) Europäisches Haus der Stadtkultur e.V., Herausgeber der „Blauen Reihe“ der Initiative StadtBauKultur NRW: Hauspark_Parkplatz Parkhäuser und Parkideen im 21. Jahrhundert. Auftraggeber: Ernsting’s Bau und Grund GmbH. In www.stadtbaukultur-nrw.de. Stand: Juni 2006. URL: http://www.stadtbaukultur-nrw.de/pdf/publikationen/StBK_Parken_3MB.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

126) Fachausschuss „Nachhaltiges Energiesystem 2050“des ForschungsVerbunds Erneuerbare Energien: Energiekonzept 2050, Juni 2010

127) Fachveroeffentlichungen/Verkehr/Querschnitt/VerkehrinDeutschlandBlickpunkt10212160690 04,property=file.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

128) Fahrer von Autos mit alternativer Antriebstechnik eher rational orientiert, Hochschule Niederrhein - University of Applied Sciences, http://www.energie-experten.org/experte/meldung-anzeigen/news/fahrer-von-autos-mit-alternativer-antriebstechnik-eher-rational-orientiert-1173.html (letzter Aufruf 30.09.2011)

129) Feller, Diane Feller; de Wyl, Dr. Christian; Missling, Stefan: Ladestationen für Elektromobilität – regulierter Netzbereich oder Wettbewerb?, ZNER Jg. 14/3/2010 Fette, Harald: Strom ins Auto beamen, Mobility 2.0 Ausgabe 1/2011. URL: http://www.mobility20.net/PDF/M20311300 (letzter Abruf: 26.09.2011)

130) FFE Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. Elektrostraßenfahrzeuge – Elektrizitäts-wirtschaftliche Einbindung von Elektrostraßenfahrzeugen, Endbericht, München 2007 http://www.ffe.de/download/langberichte/E.ON_Elektrostrassenfahrzeuge_Endbericht_20080 611.pdf

131) Focus: Die Sonne in der Kiste, 25, 2011

132) Ford puts EV charge port in a user-friendly spot http://reviews.cnet.com/8301-13746_7-20066877-48.html?part=rss&tag=feed&subj=GreenTech (letzter Aufruf 04.10.2011)

133) Ford-Homepage http://www.ford.com/electric/focuselectric/2012/ (letzter Aufruf 07.10.2011)

134) Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. im Auftrag der Stadtwerke München: Modellregion Elektromobilität München. Szenarien für das Potential an Elektrofahrzeugen im Münchner Individualverkehr bis 2030. In www.ffe.de. Stand: November 2010. URL: http://www.ffe.de/download/langberichte/336_MEM/FfE_Modellregion_Elektromobilitaet_End bericht.pdf (letzer Abruf: 19.07.2011)

135) Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft: Lithium-Ionen Batterien: Stand der Technik und Anwendungspotential in Hybrid-, Plug-In-, Hybrid- und Elektro-fahrzeugen, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 7503, Karlsruhe 2009 http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA7503.pdf

136) Frauenhofer IAO/PriceWaterhouseCoopers: Elektromobilität Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand. In www.econsense.de. Stand: Juni 2010. URL: http://www.econsense.de/_CSR_MITGLIEDER/_NACHHALTIGE_PRODUKTE/images/Studi e %20Herausforderung %20der %20Elektromobilitaet %20Juni %202010.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

137) Frauenhofer Institut System- und Innovationforschung: Elektromobilitäts-Roadmap. In www.fraunhofer-isi-cms.de. URL: http://www.fraunhofer-isi-

cms.de/elektromobilitaet/Media/forschungsergebnisse/12795511281406-77.22.102.21-6.0.3._Energie.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

138) Frauenhofer Institut System- und Innovationsforschung: Neue Geschäftsmodelle zur Ladeinfrastruktur, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 5/2011

139) Frauenhofer Institut System-und Innovationforschung: Die Wirtschaftlichkeit von Ladeinfrastrukturkonzepten ist sehr unterschiedlich. In www.fraunhofer-isi-cms.de. URL: http://www.fraunhofer-isi-cms.de/elektromobilitaet/Media/forschungsergebnisse/12795511297019-77.22.102.21-6.1.3._Beladungsinfrastruktur.pdf

140) Fraunhofer IAO, Florian Rothfuss: Elektromobile Stadt – Die Stadt als Katalysator für Elektromobilität, April 2011

141) Fraunhofer IAO/Protoscar: Entwurf Projektbeschreibung Innovationsnetzwerk Elektromobile Stadt. Nachhaltige Konzepte für die elektromobile Stadt der Zukunft. In www.iao.fraunhofer.de. In Stand: www.iao.fraunhofer.de. URL: http://www.iao.fraunhofer.de/presse/projektbeschreibung-elektromobile-stadt.pdf

142) Fraunhofer IOSB, Fraunhofer-Anwendungszentrum Systemtechnik AST; Systemforschung Elektromobilität: Netzintegration und Energiewirtschaftliche Perspektiven, Januar 2011

143) Fraunhofer ISI: Forschungsergebnisse Elektromobilität Ladeinfrastruktur, März 2011

144) Friedrich Ebert Stiftung: Solar Energy in Germany. In www.library.fes.de. Stand: 01.03.2006. URL: http://library.fes.de/pdf-files/bueros/london/03560.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

145) Frost & Sullivan's studies: -N748-18, "Sustainable and Innovative Personal Transport Solutions – Strategic Analysis of Carsharing Market in North America" Februar 2010

146) Future extract cash – and carbon – from the power grid?; Mai 2011

147) Gaëtan Masson Senior Economist, EPIA, PV, a competitive source of energy in Europe, 18. März 2011

148) Gemeinsame Gemschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung: Zwischenbericht der Arbeitsgruppe 3 „Ladeinfrastruktur und Netzintegration“, November 2010. In www.bmbf.de. Stand: 30.11.2010. URL: http://www.bmbf.de/pubRD/agdrei_lade_infrastruktur_netzintegration.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

149) Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (GGEMO): Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität.In www.zvei.org. Stand: 30.11.2010. URL: http://www.zvei.org/fileadmin/

150) Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobiltität der Bundesregierung: 2. Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, Mai 2011

151) Gesellschaftspolitische Fragestellungen der Elektromobilität, Oktober 2011, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

152) Gissler, Andreas/Arthur D. Little: E-mobility in China Challenges and Prerequisites, Vortrag im Rahmen der Veranstaltung „E-Mobility Modellregionen,Wien“ am 28.02.2011

153) Goethe-Institut e. V., Online-Redaktion: Wir brauchen die menschengerechte, nicht die verkehrsgerechte Stadt. In www.goethe.de. Stand: November 2010. URL: http://www.goethe.de/kue/arc/zds/de6846927.htm (letzter Abruf: 29.07.2011)

154) Göhlich, Prof. Dr.-Ing. Dietmar: Forschungsnetzwerk Elektromobilität an der TU Berlin. Technische Universität Berlin. In www.alumni.tu-berlin.de. Stand: Januar 2011. URL: https://www.alumni.tu-berlin.de/fileadmin/Redaktion/ABZ/PDF/TUI/67/TUI67_Goehlich.pdf (letzter Abruf: 16.05.2011)

155) Greater London Authority: The London Plan Spatial Development Strategy for Greater London, Oktober 2009

156) Gregor Hampel, Vattenfall Europe Distribution Berlin GmbH, Integration

157) Haag, Prof. Dr.-Ing. Martin; Baron, Dipl.-Ing. Sascha; Boullie, Cand.-Ing. Matthieu: Verkehrswissenschaftliche Vorabuntersuchung Begegnungszone Bahnhofsplatz Konstanz. Stadt Konstanz - Amt für Stadtplanung und Umwelt. In www.konstanz.de. Stand: 03.02.2010. URL: http://www.konstanz.de/umwelt/01029/02010/03748/index.html?lang=de (letzter Abruf: 21.07.2011)

158) Haas, Holger/ CARS Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH: Modellregion Elektromobilität Ziele •Vorgehensweise •Projekte. In www.iao.fraunhofer.de. Stand: 30.04.2010. URL: http://www.iao.fraunhofer.de/presse/holger-haas_modellregion-fuer-elektomobilitaet.pdf

159) Haas, Holger; Reiner, Dr. Rolf/CARS Wirtschaftsförderung Stadt Stuttgart GmbH: Modellregion Elektromobilität. Pilot- und Demonstrationsprojekte in der Region Stuttgart. CARS / Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH. URL: http://www.bba-bw.de/files/modellregion_elektromobilitaet_stuttgart_dr_reiner_wrs_291110_bba-bw.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

160) Hahner, Uwe (Swarco): Zu Vermieten: Parkplatz plus Steckdose. In www.energy20.net. Stand: 2011. URL: www.energy20.net/pi/index.php?forward=downloadPdf.php

161) Hanke, Stefanie: Elektromobilität und Recht, Vortrag im Rahmen der Konferenz „Elektromobilität in Kommunen“ am 07. Oktober 2010, Düsseldorf

162) Heighway, Jeremy: Of smarter grids, renewables and electric vehicles, Sun & Wind Energy 5/2011

163) Heinrich-Böll-Stiftung: Urban Futures 2050, Reihe Ökologie Band 18, 2011

164) Hessische Straßen- und Verkehrsverwaltung: Leitfaden Unbehinderte Mobilität, Heft 54. 12/2006

165) Hidrue, M. K.; Parsons, G. R.; Kempton, W., Gardner, M. P.: Willingness to pay for electric vehicles and their attributes, Resource and Energy Economics 33 (2011) 686–705.

166) Holtermann, Michael: Market Model Electric Mobility - Cars and Infrastructure. ESMT - European School of Management and Technology, Berlin.

167) htm (letzter Abruf: 21.07.2011)

168) http://luskin.ucla.edu/ev

169) http://www.epia.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/EPIA_docs/publications/epia/Competing_Full_Report.pdf&t=1320103640&hash=aa55657ea7907e07f294681ae730c8bf

170) Hülsmeier, Prof. Frank: Vakuumdämmung – schlankere Konstruktionen durch neue Materialien / Effizienz und Nachhaltigkeit. Architekturfakultät Leipzig. In www.hwk-leipzig.de. Stand: 03.02.2011. URL: http://www.hwk-leipzig.de/3,0,2752.html (letzter Abruf: 21.07.2011)

171) Hybrid –EV: EVs check fleets' risk meter ff.; Vol 2; Issue 9:

172) IEK Institut für Energie- und Klimaforschung: Total Costs of Ownership von Elektrofahrzeugen unter besonderer Berücksichtigung von Batteriekosten, Wertverlust und Batteriealterung, Aachen 2011 www.net-elan.de/.../Total_Costs_of_Ownership_von_Elektrofahrzeugen.pdf

173) IHS iSupply-Studie: Wireless Charging in 2011: Race to A Complete Ecosystem, Colorado, USA, Juni 2011 http://www.isuppli.com/Mobile-and-Wireless-Communications/Pages/Wireless-Charging-in-2011-Race-to-a-Complete-Ecosystem.aspx?PRX

174) infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH / Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) Abt. Energie, Verkehr, Umwelt, Pkw: Mobilität in Deutschland Tabellenband. In www.mobilitaet-in-deutschland.de. Stand: Juli 2003. URL: http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/03_kontiv2002/publikationen.

175) infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH / Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Institut für Verkehrsforschung (DLR), Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: MID 2008 Mobilität in Deutschland 2008 Ergebnisbericht Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends. In www.stroeer.de. Stand: 01.02.2010. URL: http://stroeer.de/fileadmin/user_upload/Bilder/Forschung_Wissen/

176) infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH / Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Institut für Verkehrsforschung (DLR), Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: MiD 2008 – Mobilität in Deutschland 2008 Tabellenband. In www.mobilitaet-in-deutschland.de Stand: Februar 2010. URL: http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Tabellenband.pdf

177) Infas, DLR: Mobilität in Deutschland 2008, Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends, 2010

178) Ingenieurgesellschaft Stolz mbH: Verkehrskonzept Siegburg. In www.einkaufsstadt-siegburg.de. Stand: Juni 2010. URL: http://www.einkaufsstadt-siegburg.de/mam/web/einkaufsstadt/downloads/verkehrskonzept.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

179) Institut für Land- und Seeverkehr (ILS)/Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik: Daten in der Verkehrsplanung. In www.vsp.tu-berlin.de. URL: http://www.vsp.tu-berlin.de/fileadmin/a0533/uploads/lehre/LV/SS09/L050/20090428_03_3handout-datensysteme.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

180) Institut für Zukunftsenergiesysteme: Analyse eines Ausbaus der Kraft-Wärme-Kopplung in Saarbrücken, Eine Studie im Auftrag der Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft Saarbrücken mbH, Saarbrücken Oktober 2010

181) Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Bremer Energie Institut (BEI):

182) Institut Wohnen und Umwelt GmbH: Deutscher Gebäudebestand: Basisdaten und Modellrechnungen bis 2020, 2008

183) International Transport Forum; OECD: Forum 2009 - Höhepunkte Verkehr für eine Globale Wirtschaft Herausforderungen und Chancen in der Wirtschaftskrise. In www.bmvbs.de. URL: http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/61380/publicationFile/32892/weltverkehrsforum-hoehepunkte-2009.pdf (letzter Abruf:21.07.2011)

184) ITP, BVU: Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. In www.dlr.de. Stand: 14.11.2007.URL:

http://www.dlr.de/cs/Portaldata/10/Resources/dokumente/daten_berichte/FE_96_857_2005_Verflechtungsprognose_2025_Gesamtbericht_20071114.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

185) J. Linssen, U. Birnbaum, P. Markewitz, D. Martinsen, S. Vögele, Forschungszentrum Jülich, Institut für Energieforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung, Potentialabschätzung zum Einsatzes von

186) Kang, J. E. & Recker, W. W. (2009). An activity-based assessment of the Potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on energy and emissions using 1-day travel data. *Transportation Research Part D, 14*, 541-556 http://www.mennekes.de/ (letzter Aufruf 04.10.2011)

187) Karl Bedrich, TU Bergakademie FreibergSpeichertechnologien in Elektroautos und für Photovoltaikstrom in Hinblick auf ein autarkes Gesamtsystem, Juli 2010

188) Keine große Zauberei mehr http://www.atzonline.de/Aktuell/Interviews/35/180/Keine-grosse-Zauberei-mehr.html (letzter Aufruf 06.10.2011)

189) KFW Research: Förderung der energetischen Erneuerung von Städten und Gemeinden, Nr 24, Mai 2010

190) Kiefer, S.: Ganz ohne Kabelsalat. Zeitschrift: Sonne, Wind & Wärme (16/2009), S. 32-34.

191) Kiepe, Folkert: Die europäische Stadt – Auslaufmodell oder Kulturgut und Kernelement der Europäischen Union?. In www.staedtetag.de. Stand: 07.05.2007. URL: http://www.staedtetag.de/imperia/md/content/schwerpunkte/fachinfos/2007/26.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

192) Klima- und Energiefonds: e-connected Abschlussbericht, Dezember 2010. In: www.e-connected.at Kohaupt, Bernhard: Barrierefrei im öffentlichen Raum. Planung barrierefreier Wegesysteme/Gesetze und Regelwerke. In www.unbehindertmobil.de. Stand: 18.01.2011. URL: http://www.unbehindertmobil.de/1anforderungenfol.pdf (letzter Abruf: 19.07.2011)

193) Kommission der europäischen Gemeinschaften: Aktionsplan urbane Mobilität. Stand: 30.09.2009. URL:http://rp7.ffg.at/RP7.aspx (letzter Abruf: 21.07.2011)

194) Kompetenzzentrum „Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen“, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): Modernisierung von selbstgenutztem Wohneigentum in Ein- und Zweifamilienhäusern sowie Mehrfamilienhäusern der 50er- und 60er-Jahre“, Berlin, 2005

195) Komplettes Ladesystem für Elektroautos von Lapp und Bals, http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=5005&ok=15&uk=98&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011) http://www.bals.com/content/kooperationsvertrag-zwischen-der-lapp-gruppe-und-der-bals-elektrotechnik-gmbh-unterzeichnet (letzter Aufruf 04.10.2011)

196) Korthauer, Reiner (Hrsg.): Handbuch Elektromobilität, EW Medien und Kongresse GmbH, Frankfurt am Main, 1. Auflage 2010

197) Kraftfahrbundesamt: Emissionen, Kraftstoffe - Zeitreihe 2006 bis 2011; http://www.kba.de/cln_033/nn_269000/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/EmissionenKraftstoffe/b__emi__z__teil__2.html (letzter Aufruf 16.02.2011)

198) Krems, J.; Franke, T.; Neumann, I. & Cocron, P.: Research methods to assess the acceptance of EVs- experiences from an EV user study. In T. Gessner (Ed.), Smart systems Integration: 4th European Conference & Exhibition on integration issues of Miniaturized

Systems – MEMS, MOEMS, ICs and Electronic Components. Como, Italy: VDE Verlag (2010).

199) Krems, Josef F., Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Allgemeine und Arbeitspsychologie (2011). Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen - MINI E 1.0, Teilprojekt: MINIEVatt Berlin - Freude am umweltgerechten Fahren : Schlussbericht ; Berichtszeitraum: 01.12.2008 - 30.11.2010

200) Kurani, K. S. et. al. (2010). Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV) Demonstration and Consumer Education, Outread, and Market Research Program. Verfügbar unter: http://pubs.its.ucdavis.edu/publication_detail.php?id=1438 (letzter Aufruf 11.05.2011).

201) Kurt Rohrig, Fraunhofer-Institut für Windenergie Energiesystemtechnik/Kassel, Chancen und Perspektiven der Elektromobilität, Dez. 2010

202) Lahl, MinDir Prof. Dr. Uwe: Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität Zentrale Handlungsfelder der Bundesregierung. Stand: 22.09.2009. URL: http://www.vdivde-it.de/green-cars/electric-mobility-in-germany/nationaler-entwicklungsplan-elektromobilitaet-1/view (letzter Abruf: 21.07.2011)

203) Landeshauptstadt Düsseldorf, Der Oberbürgermeister, Amt für Verkehrsmanagement: VEP – Verkehrsentwicklungsplan Landeshauptstadt Düsseldorf Teil 4: Das beschlossene Konzept bis 2020 und seine Wirkungen. Stand: April 2007. URL: http://www.duesseldorf.ihk.de/linkableblob/1286722/data/M3_Verkehrsentwicklungsplan_Duesseldorf-data.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

204) Lenz, Univ.-Prof. Dr. Hans Peter: Die Rolle der Infrastruktur für das Automobil der Zukunft, ATZ April 2011

205) Levine, Tom: Planet Auto. Warum wir im Stau immer in der falschen Spur stehen - und andere Rätsel aus dem Autofahrer-Alltag. München 2007

206) LIC Langmatz: Stadtbild-konforme Ladeinfrastruktur. In www.zvei-elektromobilitaet.org. Stand: Februar 2010. URL: http://www.zvei-elektromobilitaet.org/general/ecartec_2010/20-10-10_07_Hunscher.pdf (letzer Abruf: 19.07.2011)

207) Lutz Steiner, Technische Universität Darmstadt, Begleitforschungsstudie Elektromobilität, September 2011-10-26

208) M. Kintner-Meyer, F. Tuffner. Pacific Northwest National Laboratory

209) M4FA-18, "Sustainable and Innovative Personal Transport Solutions – Strategic Analysis of Carsharing Market in Europe" Januar 2010

210) Maggetto, G.; van den Bossche, P.: Inductive Automatic Charging - The Way to Safe, Efficient and User-Friendly Electric Vehicle Infrastructure. In: Electric Vehicle Symposium EVS-18, pp. 20 - 24 October 2001, Berlin, Germany, Seite 5

211) Marc Duvall, Electric Power Research Institut (EPRI),: Transportation Electrification: Grid Impacts of Plug-In Electric Vehicles, 15. März 2010

212) Mark Bost, Dr. Bernd Hirschl, Dr. Astrid Aretz, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Effekte von Eigenverbrauch und Netzparität bei der Photovoltaik, 2011

213) Markus Fürst EnBW Transportnetze AG: Das 50,2Hz-Problem, 19.01.2011

214) Martin Zeumer, TU Darmstadt: Plus-Energie-Haus mit Elektromobilität, Mai 2011

215) Martin, Richard, Wheelock, Clint: Wireless Power. Wireless Charging and Transmission for Mobile Devices, Consumer Electronics, Electric Vehicles, Industrial Markets, and Military Applications, Pike Research, Boulder Colorado, November 2010

216) Marwede, Max; Knoll, Michael (Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung): Dossier Elektromobilität und Dienstleistungen. Stand: 2010. URL: http://www.izt.de/fileadmin/downloads/pdf/ArbeitsBericht_39.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

217) Meißner, Thomas; Behrendt, Frank (TSB Innovationsagentur Berlin GmbH Forschungs- und Anwendungsverbund Verkehrssystemtechnik (FAV) Berlin): 12. Brandenburger Energietag 2010. Stand: 16.09.2010. URL: http://etibrandenburg.de/fileadmin/eti_upload/energietag2010/Energietag2010_Mei %C3 %9Fner_TSB.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

218) Meister, Sandra (Siemens AG): Erfolgskonzepte für die Ladeinfrastruktur. Stand: 01.01.2010. URL: http://www.energy20.net/pi/index.php?StoryID=317&articleID=176942 (letzter Abruf: 16.05.2011)

219) Mennekes: Smart-Spot - Intelligente Ladesysteme für Elektrofahrzeuge, 2011

220) Mercedes-Benz E-Cell
http://www.youtube.com/watch?v=WfEnA170WWM (letzter Aufruf 07.10.2011)

221) Metron Verkehrsplanung AG: Kommunaler Gesamtplan Rheinfelden. In www.rheinfelden.ch. Stand: 01.02.2010. URL: http://www.rheinfelden.ch/dl.php/de/0ddgv-axxen7/KGV_Bericht_2011-01-02_neu_ohne_Anhang.pdf

222) MID-MDS/2010.02_MiD2008_Kurzbericht_I.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

223) Mietzsch, Oliver: Elektromobilität in Kommunen – Versuch einer Bewertung aus kommunaler Sicht des Themenblocks Aufbau der Infrastruktur/ Stadtplanung. In www.emobil-nrw.de. Stand: -. URL: www.emobil-nrw.de/wp-content/plugins/download…(letzer Abruf: 19.07.2011)

224) Ministère de l´Économie, de l´Industrie et de l´Emploi: Groupe de Travail sur les Infrastructures de recharge pour les véhicules électriques ou hybrides rechargeables, Oktober 2009

225) Ministerium für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen: Mobilität in Nordrhein-Westfalen Daten und Fakten 2010. Straßenverkehr – ÖPNV und Eisenbahn – Binnenschiffsverkehr – Luftverkehr. . In www.mbv.nrw.de. Stand: 01.12.2010. URL: http://www.mbv.nrw.de/verkehr/container/Daten_und_Fakten_2010.pdf (letzter Abruf 29.07.2011)

226) Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen/ AutoCluster.NRW: Masterplan Elektromobilität Nordrhein-Westfalen. In www.autocluster.nrw.de. URL: http://www.autocluster.nrw.de/fileadmin/images/PDF/Masterplan_NRW_Elektromobilitaet.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

227) Mobilitätslösungen in Baden-Württemberg. In wiki.iao.fraunhofer.de. Stand: 2010. URL: http://wiki.iao.fraunhofer.de/images/studien/systemanalyse-bwe-mobil.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

228) Molthan, Helge (Siemens AG): Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum Herausforderungen und Lösungen. In Siemens AG. Stand: 28.06.2010. URL: http://e-monday.de/Aktuelles/Aktuelles/downloads_files/Key-Note_Siemens.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

229) Müller, Antje: „aktiv sein – passiv bauen“ Das Passivhaus im Überblick. Sächsische Energieagentur - SAENAGmbH. In www.hwk-leipzig.de. Stand: 03.02.2011. URL: http://www.hwk-leipzig.de/3,0,2752.html (letzterAbruf: 21.07.2011)

230) Mythbuster Elektroauto, Die bekanntesten zehn Halbwahrheiten zur Elektromobilität auf den Kopf gestellt, Innovationsentwicklung der Erneuerbaren Energien, Agentur für Erneuerbare Energien e. V., 2010

231) National Grid Ricardo: Bucks for balancing: Can plug-in vehicles

232) Nationale Plattform Elektromobilität: Bericht der AG-2: Batterietechnologie für den Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, Berlin 2010 http://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Kompetenzzentrum_Elektromobilit %C3 %A4t/Endgueltig-Zwischenbericht-AG2.pdf

233) Nationale Plattform Elektromobilität: Zwischenbericht der Arbeitsgruppe 3 Lade-Infrastruktur und Netzintegration, Berlin 2010 http://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Kompetenzzentrum_Elektromobilit %C3 %A4t/Endgueltig-Zwischenbericht-AG3.pdf

234) Nationale Plattform Elektromobilität: Zwischenbericht der Arbeitsgruppe 5 Materialien und Recycling, Berlin 2010 http://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Kompetenzzentrum_Elektromobilit %C3 %A4t/Endgueltig-Zwischenbericht-AG5.pdf

235) Neumann, I.; Cocron, P.; Franke, T. & Krems, J.F.: Electric vehicles as a solution for green driving in the future? A field study examining the user acceptance of electric vehicles. In J.F. Krems, T. Petzoldt & M. Henning (Hrsg.). Proceedings of the European Conference on Human Interface Design for Intelligent Transport Systems, Berlin, Germany, April 29-30 2010 (S. 445-453). Lyon:Humanist Publications.

236) NISSAN LEAF 2011 Owner´s Manual, http://www.nissan-techinfo.com/refgh0v/og/leaf/2011-nissan-leaf.pdf, (letzter Aufruf 11.11.2011)

237) Nissan Leaf USA, Bedienungsanleitung „2011 Leaf Owner´s Manual“

238) Noerr LLP: Ladeinfrastruktur für E-Mobile: Juristische Kollisionen vermeiden. URL: http://www.energy20.net/PDF/E20211700Noerr LLP: New Mobility, München, Oktober 2010. URL: http://www.noerr.com/PortalData/1/Resources/8_broschueren_newsletter/Noerr_New_Mobility.pdf

239) Nolte, Frank: Elektrofahrzeuge induktiv sicher und effizient laden, ETZ Heft S1/2011 NOW GmbH Nationale Organisation Wasserststoff-und Brennstoffzellentechnologie/Frauenhofer ISI/Fraunhofer IAO: Plattform Sozialwissenschaftliche Begleitforschung

240) Oberste Baubehörde München: Bayerisches Städtebauförderungsprogramm 2010. In www.stmi.bayern.de. Stand: 09.11.2010. URL: http://www.stmi.bayern.de/imperia/md/content/stmi/bauen/staedtebaufoerderung/programm/bl_i_gef_gemeinden_2010.pdf (letzter Abruf: 16.05.2011)

241) Paradigmenwechsel - Elektromobilität als Teil der individuellen Mobilität der Zukunft?, September 2011-10-26

242) Park-Assistent PAUL - Mut zur Lücke http://www.volkswagenag.com/vwag/vwcorp/content/de/innovation/research_vehicles/paul.html (letzter Aufruf 06.10.2011)

243) Pesch, Prof. Dr.-Ing. Franz: Elektromobile Stadt - Integration elektromobiler Konzepte in die Stadtgestaltung. Universität Stuttgart, Städtebau-Institut, Zweckverband Flugfeld Böblingen / Sindelfingen, Frauenhofer Institut IAO. In www.inkoop.iao.fraunhofer.de.

244) Peter Bach Andersen, Francesco Marra, Bjarne Poulsen and Chresten Træholt, IBM Research: Electric Vehicle Fleet Integration in the Danish EDISON Project - A Virtual Power Plant on the Island of Bornholm, Zürich 2010

245) Peters, Dr. Anja; Dütschke, Dr. Elisabeth: Zur Nutzerakzeptanz von Elektromobilität. Ergebnisse aus dem Projekt Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität FSEM; gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). In www.elektromobilitaet.fraunhofer.de. Stand: September 2010 .URL: http://www.elektromobilitaet.fraunhofer.de/Images/FSEM_Ergebnisbericht_Experteninterviews_tcm243-66462.pdf (letzer Abruf: 19.07.2011)

246) Pfeifer, Andreas (STAWAG): Aachen - Elektromobilität für einen innovativen Mittelstand. In www.energyagency.at. Stand: 16.03.2010. URL:http://www.energyagency.at/fileadmin/aea/pdf/publikationen (letzter Abruf: 19.07.2011)

247) Pfeiffer, Andreas (STAWAG): Elektromobilität – Wie kommen die Elektrofahrzeuge an die Steckdose? In www.berliner-energietage.de. Stand: 11.05.2010. URL: http://www.berliner-energietage.de/fileadmin/Redaktion/Berliner %20Energietage/2010/Vortraege/3.6_Pfeiffer.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

248) Photon: Von Mythen und Märchen, PHOTON 2011-08 August 114 sowie Seiten 84 und 122

249) php?view=download&id=3556 (letzter Abruf: 19.07.2011)

250) Pike Research Cleantech Market Intelligence Market Report:

251) Policy options for electric vehicle charging infrastructure in C40 cities | R. Philip & A. Wiederer, 3/10

252) Policy options for electric vehicle charging infrastructure in C40 cities | R. Philip & A. Wiederer, 3/10

253) POLIS&Climate Group: Renault Z.E. - The Renault-Nissan Alliance Strategy, London 2011 http://www.polisnetwork.eu/uploads/Modules/PublicDocuments/POLIS-ClimateGroup-Renault_2011-04-06 %20final-small.pdf

254) Praetorius, Dr. Barbara: Elektromobilität – Kommunale Unternehmen machen nachhaltig mobil. Beitrag zur Konferenz „Elektromobilität in Kommunen“Düsseldorf, 07.10.2010. In www.dstgb.de. Stand: August 2010. URL: http://www.dstgb.de/dstgb/Pressemeldungen/Vorfahrt %20f %C3 %BCr %20Elektromobilit %C3 %A4t %20in %20Deutschland/Pub_Elektromobilit_100901.pdf (letzter Abruf:

255) Price T, Cooper MA: Electrical and Lightning Injuries, Rosen's Emergency Medicine, Concepts and Clinical Practices, 6th Edition, 2006

256) Prof. Dr. Wilhelm Stahl, Projektgruppe Energie und Nachhaltigkeit der Architektenkammer Baden-Württemberg, Zukünftige Gebäude, 2010

257) Prousch, Simon: Auswirkungen von Elektromobilität auf das elektrische Verteilungsnetz. Institut für Elek-trische Anlagen und Energiewirtschaft RWTH Aachen University. In www.h2bz-hessen.de. Stand: 17.02.2010. URL: http://www.h2bz-hessen.de/mm/3_NOW_Metzner.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

258) Ralph O. Harthan, Sabine Gores, Öko-Institut,Bestand und Entwicklung von BHKW – und deren Einbettung in die KWK-Landschaft in Deutschland, Mai 2010

259) Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, http://luskin.ucla.edu/ev

260) Rebstock, Markus et al. (2011): Hinweise für barrierefreie Verkehrsanlagen - H BVA.- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV) – Arbeitsgruppe Straßenentwurf [Hrsg.], FGSV 212, Köln

261) Rehtanz, Prof. Dr.-Ing. Christian; Rolink, Dipl.-Ing. Johannes: Netzintegration und Lastmanagement von Plug-In Hybrid- und Elektrofahrzeugen. Stand: Juni 2010. ETG-Mitgliederinformation

262) Reinventing the Automobile, Personal Urban Mobility for the 21st Century, William J. Mitchell, Christopher E. Borroni-Bird, Lawrence D. Burns

263) Renews Spezial Ausgabe 33/Juni 2010, Hintergrund Informationen der Agentur für Erneuerbare Energien: Erneuerbare Energien und Elektromobilität Finanzielle Hürden zur Markteinführung bis 2020

264) République Francaise: Livre Vert sur les infrastructures de recharge ouvertes au public pour les véhicules « décarbonés », Avril 2011

265) République Francaise: Livre Vert sur les infrastructures de recharge ouvertes au public pour les véhicules « décarbonés », Avril 2011

266) Reva G-Wizz-Bedienungsanleitung

267) Richland, Washington: Using Electric Vehicles to Meet Balancing Requirements Associated with Wind Power, Juli 2011

268) Risk in Connection with Electric Vehicles by. Alex Viladot. Ingemar Pålsson. Helena Jonsson. Håkan Torstensson. SSPA Research Report No. 111, 1999

269) Roland Berger Strategy Consultants/VDMA: Zukunftsfeld Elektromobilität - Chancen und Herausforderungen für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau, Detroit/Munich 2011 http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Zukunftsfeld_Elektromobilitaet_rev_20110509.pdf

270) Roland Berger Strategy Consultants: Elektromobilität – Phantasie oder Treiber eines Paradigmenwechsels?, Graz 2010 http://www.wing-online.at/uploads/media/100324_TU_Graz_E_Mobility.pdf

271) Roland Berger Strategy Consultants: Global Vehicle LiB Market Study, Detroit/Munich 2011 http://www.rolandberger.com/media/publications/2011-09-06-rbsc-pub-Global_Vehicle_LiB_Market_Study.html

272) Rolf Disch Solararchitektur: Häuser als Kraftwerke, 2010

273) Rolf Schumann, CEP Deutschland, Erkenntnisse über den breiten Einsatz von Elektromobilität, März 2010

274) RWE Ladestationen werden mit Standardsteckern von Harting ausgestattet http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=4764&ok=15&uk=98&uuk=0&uuuk=0&typ (letzter Aufruf 16.02.2011)

275) Sachsen.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

276) Sächsische Energieagentur SAENA: Modellregion Elektromobilität Sachsen – Potentiale und Herausforderungen. In www.enso.de. Stand: 19.06. 2010. URL:

http://www.enso.de/enso/home.nsf/Ressourcen/8ED8EE45213D2A18C12577AB001F773F/$file/Vortrag %20Modellregion %20Elektromobilit %C3 %A4t %20

277) SAE Vehicle Electrification: Prime time for batteries - The global lithium-ion battery market heats up, 05/2011, Warrendale, 2011

278) Schill, Wolf-Peter: Elektromobilität: Kurzfristigen Aktionismus vermeiden, langfristige Chancen nutzen. In www.climate-mainstreaming.net. Stand: -. URL: http://www.climate-mainstreaming.net/pub-schill.pdf (letzer Abruf: 19.07.2011)

279) Schmid, Stadermann u.a.: Vision für ein nachhaltiges Energiesystem 2050. URL: http://www.fvee.de/fileadmin/politik/10.06.vision_fuer_nachhaltiges_energiekonzept.pdf

280) Schmidt, Philipp: Elektromobilität in Berlin – von der Vision ins Praxislabor. In www.innomonitor.de. Stand:13.12.2009. URL: http://www.innomonitor.de/druckversion.php?be=881 (letzer Abruf: 19.07.2011)

281) Schmundt, H. (2010). Heizen mit Büchern. Der Spiegel (09/2010).

282) Schraven, S.; Kley, F.; Wietschel, M.: Induktives Laden von Elektromobilen- Eine techno-ökonomische Bewertung, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 8/2010 Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

283) Schrieber, Hauke: Induktives Laden: Erster Prototyp zeigt, wie´s geht, Auto Bild/ Ressort: Autowoche Ausgabe vom 02.07.2010, S. 17

284) Schritte zum autonomen Fahren http://www.atzonline.de/Wissen/Dossiers/1241/Schritte-zum-autonomen-Fahren.html (letzter Aufruf 06.10.2011)

285) Schwarz, Kathrin: Nutzungskonflikte im öffentlichen Raum - Straßenraummanagement als Lösungsansatz für städtische Parks. In www.verkehrsplanung.tu-berlin.de. Stand: Januar 2008. URL: http://www.verkehrsplanung.tu-berlin.de/fileadmin/fg93/IVP-Schriften/IVP_16.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

286) SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG: Elektromobilität Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand, März 2011

287) SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG: Pressemitteilung vom 07.09.2011 zum Bundeswettbewerb „Vision – elektromobile Stadt der Zukunft“

288) Shell Deutschland Oil GmbH: Shell PKW-Szenarien bis 2030 Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Auto-Mobilität, Hamburg 2009. In: www.shell.de/pkwszenarien

289) Sichere und alltagstaugliche Ladetechnik für EFZ von Delphi http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=5321&ok=15&uk=98&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

290) Siemens AG: Induktives Laden für Elektroautos, Siemens Innovation Day 2011

291) Siemens AG: Mit Energie in eine mobile Zukunft. In www.siemens.com. Stand: 2010. URL: http://www.siemens.com/press/pool/de/events/corporate/2010-10-ecartec/WS_Electromobility_DE.pdf (letzter Abruf:29.07.2011)

292) Singer, Daniel: Die Bekämpfung des Vandalismus als öffentliche Aufgabe - dargestellt am Beispiel der Großen Kreisstadt Leutkirch im Allgäu. In www.opus.bsz-bw.de. Stand:

2010/2011. URL: http://opus.bsz-bw.de/fhlb/volltexte/2011/254/pdf/Bachelorarbeit_Vandalismus.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

293) Smole, Erwin (PwC): E-Mobilität Internationaler Status Quo & Trends, Vortrag gehalten im Rahmen derVeranstaltung „e-connected II“ am 17. 1. 2011, Wien

294) Sonne, Wind, Wärme 10/2011: Ein Drittel für die Vollversorgung

295) Sonne, Wind, Wärme: Solare Energie auf Vorrat 13/2011

296) Sozialwissenschaftliche Studiengesellschaft im Auftrag der Stadt Wien, Magistratsabteilung 18 – Stadtentwicklung und Stadtplanung: „Befragung Elektromobilität“. In www.wien.gv.at. Stand: Dezember 2009.URL: http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008082b.pdf (letzer Abruf: 19.07.2011)

297) Sperber, Peter: E-Wald - Modellregion Elektromobilität Bayrischer Wald. In www.e-wald.eu. Stand: Januar 2008. URL: http://www.e-wald.eu/img/ewald_kurzbeschreibung.pdf (letzer Abruf: 19.07.2011)

298) Stadt Aachen – Der Oberbürgermeister, Umweltdezernat: Ökologische Stadt der Zukunft. In www.aachen.de. Stand: Mai 2001. URL: http://www.aachen.de/de/stadt_buerger/pdfs_stadtbuerger/pdf_oesz/oekologische_stadt.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

299) Stadt Aachen: Genehmigung von E-Tankstellen im öffentlichen Straßenraum. Stand: 09.08.2010. Stadt Augsburg/ Fachkommission Stadtentwicklungsplanung des DST AG Demografischer Wandel: Städteabfrage zur Problemsicht über den demografischen Wandel in den Städten. In: www.staedtetag.de. Stand: August 2005. URL: http://www.staedtetag.de/imperia/md/content/schwerpunkte/fachinfos/2006/20.pdf

300) Stadt Bamberg: Satzung der Stadt Bamberg über die Errichtung, Aufstellung, Anbringung, Änderung und den Betrieb von Werbeanlagen und die Gestaltung baulicher Anlagen (Werbeanlagen- und Gestaltungssatzung). In www.stadt.bamberg.de. Stand: 08.11.1999. URL: http://www.stadt.bamberg.de/media/custom/332_729_1.PDF (letzter Abruf: 29.07.2011)

301) Stadt Berlin Senatsverwaltung für Stadtentwicklung: Denkmalliste Berlin. In www.stadtentwicklung.berlin.de. Stand: 01.09.2010. URL: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/denkmal/denkmalliste/ (letzter Abruf:

302) Stadt Stuttgart: Gebührenverzeichnis zur Satzung über Erlaubnisse und Gebühren für Sondernutzungen und an öffentlichen Straßen in Stuttgart . Stand: Januar 2010

303) Stadt Tambach-Dietharz: Satzung über Sondernutzungen an öffentlichen Straßen im Gebiet der Stadt Tambach-Dietharz. In www.tambach-dietharz.de. Stand: 14.08.1995. URL: http://www.tambach-dietharz.de/fileadmin/user_upload/pdf/Sondernutzungssatzung.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

304) Stadt Wien, Magistratsabteilung 18 Stadtentwicklung und Stadtplanung: Internationale Best Practices Öffentlicher Raum und Ruhender Verkehr. . Stand: 2008. URL: http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008011.pdf (letzter Abruf: 21.07.2011)

305) Stadt Wolfsburg/ Büro für Stadtplanung, Braunschweig: Gestaltungssatzung Private Möblierung im öffentlichen Straßenraum - Porschestraße - § 10 (3) BauGBE. In www.wolfsburg.de. URL: http://www.wolfsburg.de/irj/go/km/docs/imperia/mam/portal/buergerdienste/ordnungsamt/01_22/pdf/gestaltungssatzung_m__blierung.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

306) Stadtistisches Bundesamt: Verkehr in Zahlen 2006, Wiesbaden 2006. In www.destatis.de. Stand: 01.09.2006. URL: http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/

307) Stadtplanungsamt Stadt Frankfurt: Begründung zur Gestaltungssatzung für das Dom-Römer-Areal. Frankfurt. Stand: 17.07.2010

308) Stadtwerke Offenbach Holding GmbH/Regionale Projektleitstelle: Modellregion Elektromobilität Rhein-Main. In www.stoffstrom.org. Stand: 05.07.2010. URL: http://www.stoffstrom.org/fileadmin/userdaten/bilder/Veranstaltungen/Solar10/Praesentation_Janine_Mielzarek.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

309) Stark, Dr. Susanne (Stadtwerke Düsseldorf AG): Elektromobilität in Kommunen. In www.emobil-nrw.de. Stand: 07.10.2010. URL: http://www.emobil-nrw.de/wp-content/plugins/download.../download.php?id=12 (letzter Abruf: 16.05.2011)

310) Statistisches Bundesamt: Bauen und Wohnen Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden u.a. nach Bauherren Lange Reihen z. T. ab 1980. Stand: 2009. Wiesbaden, 2010

311) Statistisches Bundesamt: Bauen und Wohnen Baugenehmigungen / Baufertigstellungen Lange Reihen z. T. ab 1949. Stand: 2009. Wiesbaden, 2010. In www.destatis.de. (letzter Abruf: 29.07.2011)

312) Statistisches Bundesamt: Bauen und Wohnen, Bestand an Wohnungen, Fachserie 5 Reihe 3, Wiesbaden, 2010. in www.destatis.de. Stand: 31.12.2009. URL: http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/BauenWohnen/Wohnsituation/BestandWohnungen2050300107004,property=file.pdf Statistisches Bundesamt: Zuhause in Deutschland, Ausstattung und Wohnsituation privater Haushalte. In www.destatis.de. Stand: März 2009. URL:http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/WirtschaftsrechnungenZeitbudget/ZuhauseinDeutschland1023203099004,property=file.pdf

313) Statistisches Bundesamt: Bautätigkeit und Wohnungen Mikrozensus - Zusatzerhebung 2006 Bestand und Struktur der Wohneinheiten Wohnsituation der Haushalte, Fachserie 5 Heft 1, Wiesbaden, 2008

314) Statistisches Bundesamt: Energieverbrauch der privaten Haushalte, Begleitmaterial zur Pressekonferenz 5. November 2008 in Berlin

315) Statistisches Bundesamt: Immobilienwirtschaft in Deutschland 2006, Wiesbaden 2007

316) Statistisches Bundesamt: Wirtschaftsrechnungen Einkommens- und Verbrauchsstichprobe Haus- und Grundbesitz sowie Wohnverhältnisse privater Haushalte. In www.destatis.de. Stand: 30.04.2009. URL: http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/BauenWohnen/BautaetigkeitWohnungsbau/BaufertigstellungenBauherren5311201097004,property=file.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

317) Stephan Kohler, dena, Energieeffizienz in Gebäuden, Perspektiven und Herausforderungen, März 2011

318) Straßen NRW: Leitfaden Barrierefreiheit im Straßenraum, Mai 2009.

319) Straßenverkehrsordnung vom 16. November 1970 (Bundesgesetzblatt, Teil I, S. 1565), zuletzt geändert mit Verordnung vom 1. Dezember 2010 (Bundesgesetzblatt, Teil I, S. 1737)

320) TEC Report 9/2011, Firmen-Carports mit 100 kWp PV-Anlage

321) Technische Universität Darmstadt, EnBW Energie Baden-Württemberg AG: Optimierte Netz- und Marktintegration von Windenergie

322) Technische Universität Wien, Begleitforschung der TU Wien in VLOTTE, 19. April 2010

323) Technology Review, Sonne einkellern, Ausgabe 06/2011

324) Tenkhoff, Christina: Zwischenergebnisse aus den Modellregionen und der Nationalen Plattform. Nationale Organisation Wasserstoff-und Brennstoffzellentechnologie; Modellregion Elektromobilität. In www.emobilnrw.de. Stand: 07.10.2010. URL: www.emobil-nrw.de (letzter Abruf: 16.05.2011)

325) Thomas Kaschub, Marc Mültin, Prof. Dr. Hartmut Schmeck, Prof. Dr. Wolf , Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Dr. Alois Kessler, Forschung und Innovation, EnBW Baden-Württemberg AG: Intelligentes Laden von batterieelektrischen Fahrzeugen im Kontext eines Stadtviertels, Juli 2010

326) Thomas Schlick, Dr. Guido Hertel, Bernhard Hagemann, Dr. Eric Maiser, Michael Kramer, Roland Berger Strategy Consultants, VDMA Studie, Zukunftsfeld Elektromobilität Chancen und Herausforderungen für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau, 5/2011

327) Thomas Theisen, EURELECTRIC Task Force EV, RWE, What are the Benefits of Smart Charging of EVs?, Mai 2011

328) Tirol Zukunftsstiftung/inndata: europäisches Elektromobilitätskonzept technische und wirtschaftliche Machbarkeitsanalyse. In: www.eumobile.at

329) Tomi Engel, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS), Die neue Rolle des Elektroautos, 2009

330) Trend Research/ Klaus Novy Institut: Marktakteure Erneuerbare – Energien – Anlagen in der Stromerzeugung August 2011

331) Uluçay, Ali: Kabellos zu mehr Ladekomfort für Elektrofahrzeuge, Dow Jones E-Mobility, Ausgabe 2010 Nr.4. In: www. www.djnewsletters.de

332) umes-Studie Solarcarports, Studie zur Anwendbarkeit von Solarcarports zum Betrieb von batteriebetriebenen Kraftfahrzeugen, und Photovoltaik durch Einsatz von Energiespeichern, März 2011

333) Umweltbundesamt: Elektromobilität in Österreich, Wien, 2010

334) Unesco-Zentrum für das Erbe der Welt: Richtlinien für die Durchführung des Übereinkommens zum Schutz des Kultur- und Naturerbes der Welt, WHC 08/01, Januar 2008. In www.unesco.at. Stand: Januar 2008.URL: http://www.unesco.at/kultur/basisdokumente/operative_richtlinien_jan2008_de.pdf (letzter Abruf:19.07.2011)

335) Univ.-Prof. Dr- Ing. Armin Schnettler,Dipl.-Ing. Eva Szczechowicz, M.Sc. Thomas Pollok; IFHT, RWTH Aachen: Elektromobilität Forschungsthemen und Auswirkungen auf die Infrastruktur, Februar 2010

336) University of Delaware u.a.: A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System, November 2008

337) University of Wisconsin: Tesla Tomorrow - The Future of Tesla Motors, Madison 2010 http://business.library.wisc.edu/resources/kavajecz/10_Fall/TeslaMotors_Report.pdf

338) user_upload/Kompetenzzentrum_Elektromobilit %C3 %A4t/EndgueltigeFassung-ZwischenberichtNPE.PDF (letzter Abruf: 21.07.2011)

339) Varesi, Andreas (TECHNOMAR): Kurz- und mittelfristige Erschließung des Marktes für Elektroautomobile Deutschland -EU. In www.technomar.de. Stand: Oktober 2009. URL: http://www.technomar.de/studien/studie_emobil_allgemein.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

340) Varesi, Andreas: Breitenbefragung aus weiblicher Sicht Gemeinschaftsuntersuchung. In www.technomar.de. Stand: Oktober 2009. URL: http://www.technomar.de/studien/studie_emobil_weiblich.pdf (letzter Abruf:29.07.2011)

341) Vattenfall Europe Distribution Hamburg GmbH, Möglichkeiten und Grenzen der Laststeuerung! Oder Wer stellt eigentlich den Marktplatz?, smart renewables 2011

342) V-Charge - Autonomous Valet Parking and Charging for e-Mobility http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=proj.document&PJ_LANG=EN&PJ_RCN=11795946&pid=108&q=57F24203FFB3C3496B6EF75CC25158DE&type=pro (letzter Aufruf 06.10.2011)

343) VDE Studie: Dezentrale Energieversorgung, 2020, 2007

344) VDE Studie: Elektrofahrzeuge: Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf, 2010

345) VDE Studie: E-Mobility 2020, Technologien, Infrastruktur, Märkte, 2010 von BHKW und erneuerbaren Energien in das Berliner Verteilungsnetz. 05/2011

346) VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.; Energietechnische Gesellschaft ETG:

347) VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.; Energietechnische Gesellschaft ETG: Elektrofahrzeuge Bedeutung, Stand der Technik und Handlungsbedarf. In www.vde.com. Stand: 2011.URL: http://www.vde.com/de/InfoCenter/Seiten/Details.aspx?eslShopItemID %E2 %80 %A6 (letzer Abruf:19.07.2011)

348) VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.: E□Mobility 2020 Technologien – Infrastruktur– Märkte. Stand: November 2010

349) VDE-Anwendungsregel VDE-AR-E 2623-2-2 „Stecker, Steckdosen, Fahrzeugsteckvorrichtungen und Fahrzeugstecker - Ladung von EFZ - Teil 2-2: Anforderungen an Hauptmaße für die Austauschbarkeit von Stift- und Buchsensteckvorrichtungen"

350) VDE-Studie Elektrofahrzeuge, April 2010

351) Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE): Studie E-Mobility 2020:Technologien, Infrastruktur, Märkte, Frankfurt a.M. 2010

352) Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE): Studie Elektro-fahrzeuge: Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf, Frankfurt a.M. 2010

353) Verband kommuanler Unternehmen e. V.: Der Weg zum Leitmarkt führt über Stadtwerke und Kommunen

354) Verband kommunaler Unternehmen e. V.: Übersicht Stadtwerke und Elektromobilität. In www.energyagency.at. Stand: 28.06.2011. URL: http://www.energyagency.at/fileadmin/aea/pdf/publikationen/veranstaltungen/Session_2_01%20PFEIFFER.pdf (letzer Abruf: 19.07.2011)

355) Verband kommunaler Unternehmen e.V. : Elektromobilität –Kommunale Unternehmen machen nachhaltig mobil. In www.dstgb.de. Stand: August 2010.

356) Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland: Städtebauliche Denkmalpflege Historische Städte in Deutschland, Berichte zu Forschung und Praxis der Denkmalpflege in Deutschland 17a,Wiesbaden 2010

357) Verweyen, Dr. Norbert/RWE Effiziens GmbH: Intelligente Ladeinfrastruktur, Vortrag im Rahmen des Machine-to-Machine Communication Day 2011 am 17.03.2011

358) VKU-Stellungnahme im Hinblick auf den 2. Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE). Stand: Februar 2011

359) Weber, Andreas: Elektromobilität - Chancen und Herausforderungen für eine nachhaltige kommunale Verkehrspolitik.In www.kim.tu-berlin.de. Stand: 14.05.2009. URL: http://www.kim.tu-berlin.de/typo3/fileadmin/documents/kim/konferenz_2009/vortraege/05 %20Raum %2025/02 %20Stra %C3 %9Fenverkehr/vortrag---weber.pdf (letzer Abruf: 19.07.2011)

360) Weber, E. (2010). Flottenversuch MINI E Berlin: Erkenntnisse und nächste Schritte. http://static.fh-wolfenbuettel.de/export/sites/default/de/ifvm/download/4SFM/Vortraege_4SFM/Flottenversuch_MINI_E_Berlin_Erkenntnisse_und_nxchste_Schritte_Weber.pdf (letzter Aufruf 07.10.2011)

361) wieschel-data.ppt (letzer Abruf: 19.07.2011)

362) Wiese, Claudia: Sondergenehmigung für Ladesäulen ist keine Dauerlösung, Dow Jones E-Mobility Newsletter Mai 2010/Nr. 1

363) Wiesspeiner, G.: Drahtlos Akkus aufladen, BTI - Technologie und Innovation, 2009.

364) Wietschel, Prof. Dr. Martin: Die Energiewirtschaftliche Perspektive auf die Elektromobilität. In www.nordschwarzwald.ihk24.de. Stand: 05.05.2010.URL: www.nordschwarzwald.ihk24.de/linkableblob/532926/.../

365) Wietschel, Prof. Dr. Martin: Die Stellschrauben der Elektromoblität: Zur gesellschaftlichen Integration der Elektroautos. In www.mobilityacademy.ch. Stand: 26.01.2010. URL: www.mobilityacademy.ch/Files/Wietschel.pdf (letzer Abruf: 19.07.2011)

366) Wilfried Hennings & Jochen Linssen, Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Energieforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung, Welche Netzdienstleistungen können Elektrofahrzeuge sinnvoll erbringen?, Juli 2010

367) Winfried Hoffmann, vice president EPIA, Solar Photovoltaiks Competing in the enery sector – on the road to competitiveness, September 2011

368) Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg/e-mobil BW GmbH – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie/Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation: Systemanalyse BWe mobil IKT- und Energieinfrastruktur für innovative Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg: Programme der städtebaulichen Erneuerung 2009. In www.stadtumbauwest.de. Stand: Mai 2010. URL: http://www.stadtumbauwest.de/stuw_2008/images/stories/gesamtprogramm %202009-alphabetisch-08-05-2009.pdf (letzter Abruf: 29.07.2011)

369) Ziolek, Dr. Andreas, Albrecht, Marco (EnergieRegion.NRW –Netzwerk Brennstoffzelle und Wasserstoff): Die Einbindung von Kommunen und Stadtwerken in die Modellregion Rhein-Ruhr. In www.emobil-nrw.de.Stand: 07. Oktober 2010. URL: http://www.emobil-nrw.de/wp-content/plugins/download.../download.php?id=21 (letzter Abruf: 16.05.2011)

9.8.2 Einzelbeiträge, Presseartikel

1) Autogreenmag.com (05.05.2010): Nissan Leaf battery pack costs only £6,000 ($9,000) or $375/kWh!
2) http://autogreenmag.com/tag/nissanleafev/page/3/
3) Automotorundsport.de (06.04.2011): Batteriepreise werden noch stark sinken
4) http://www.auto-motor-und-sport.de/news/Volkswagen-Batteriepreise-werden-noch-stark-sinken-3614090.html
5) Autoobserver.com (19.97.2011): Toyota Nixes Fast-Charging RAV4 EV, For Now
6) http://www.autoobserver.com/2011/07/toyota-nixes-fast-charging-rav4-ev-for-now.html
7) Building43.com (10.02.2011): Lithium Air: IBM's quest for the super-battery
8) http://www.building43.com/videos/2011/02/10/lithium-air-ibms-quest-for-the-super-battery/
9) Bundesverband Solarwirtschaft: *Preisindex Photovoltaik*
10) http://www.solarwirtschaft.de/preisindex
11) CleanThinking.de (07.09.2011): Markt für Lithium-Ionen-Batterien: Diese fünf Player teilen sich bis 2015 den Markt
12) http://www.cleanthinking.de/markt-fuer-lithium-ionen-batterien-diese-fuenf-player-teilen-sich-bis-2015-den- markt/18722/
13) Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (29.05.2008): Wunderkind Photovoltaik - mehr Chipherstellung als Automobilproduktion
14) http://www.pressebox.de/pressemeldungen/deutsche-gesellschaft-fuer-sonnenenergie-ev-dgs/boxid/178419
15) Electricvehicleupdate.com (12.07.2011): United States: The battle for better batteries
16) http://analysis.evupdate.com/industry-insight/united-states-battle-better-batteries
17) Elektroniknet.de (31.03.2011): Bringt Fe-C den Durchbruch in der Batterietechnik?
18) http://www.elektroniknet.de/automotive/news/article/77191/
19) Everynear.eu: Was Sie schon immer über e-mobilität mit everynear wissen wollten
20) http://everynear.eu/wordpress/wp-content/uploads/2011/06/Was-Sie-schon-immer- %C3 %BCber-Emobility-wissen- wolltenV3.pdf
21) Futuremobilityblog.de (23.01.2010): Zurückhaltende Prognose für Elektrofahrzeuge
22) http://futuremobility.blog.de/2010/01/23/zurueckhaltende-prognose-elektrofahrzeuge-7858261/
23) Gigaom.com (12.07.2011): There's a severe oversupply of electric car batteries coming
24) http://gigaom.com/cleantech/theres-a-severe-oversupply-of-electric-car-batteries-comin/
25) golem.de (2207.2011):Ein zweites Leben für den Autoakku
26) http://www.golem.de/1107/85165.html
27) Greenautoblog.com (29.04.2011): BYD claims EV fleet rapid-charged batteries show no capacity loss after one year
28) http://green.autoblog.com/2011/04/29/byd-ev-fleet-rapid-charge-batteries-show-no-capacity-loss/
29) Greencarcongress.com (15.09.2011): BNEF study concludes overcapacity will lower Li-ion battery prices but make life difficult for smaller manufacturers
30) http://feedproxy.google.com/~r/greencarcongress/TrBK/~3/66Q27wGzpco/bnef-20110915.html
31) Greencarcongress.com: (04.07.2011): Hydro-Québec, Université de Montréal, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) and Süd-Chemie create entity for sublicensing of lithium iron phosphate battery materials; 4 new sublicensees
32) http://www.greencarcongress.com/2011/07/lfp-20110704.html

33) Greencarcongress.com (12.03.2010): Researchers Develop Novel High-Performance Polymer Tin Sulfur Lithium Ion Battery
34) http://www.greencarcongress.com/2010/03/hassoun-20100312.html
35) Greentechmedia.com (20.07.2011): GM, ABB Begin Testing EV Batteries for the Grid
36) http://www.greentechmedia.com/articles/read/gm-abb-begin-testing-ev-batteries-for-the-grid/
37) Handelsblatt.com (23.02.2010): Warnung vor gewaltiger Batterie-Blase
38) http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/warnung-vor-gewaltiger-batterie-blase/3375708.html
39) HR-Online.de (01.09.2011): Zukunftsforscher Thomsen im Interview - *Das Auto kommt bald vom Energieversorger*
40) http://www.hr-online.de/website/specials/iaa2011/index.jsp?rubrik=67669&key=standard_document_42499132
41) IHS iSuppli Market Research, (05.08.2011): Lithium-Ion Battery Market Set for Boom Courtesy of Hybrid and Electric Vehicles
42) http://www.isuppli.com/semiconductor-value-chain/news/pages/lithium-ion-battery-market-set-for-boom-courtesy-of-hybrid-and-electric-vehicles.aspx
43) International Council on Clean Transportation (10.03.2011): *Vehicle Electrification Policy Study*
44) http://www.theicct.org/2011/03/vehicle-electrification-policy-study/
45) Kfzbetriebvogel.de (20.05.2010): Das E-Mobil ist das iPhone der Autoindustrie
46) http://www.kfz-betrieb.vogel.de/index.cfm?pid=9415&pk=265814&p=3
47) Nextbigfuture.com (05.03.2011) : Low temperature molten-salt battery ten times cheaper than lithium ion by 2015
48) http://nextbigfuture.com/2011/03/low-temperature-molten-salt-battery-ten.html
49)
50) Nitinsnotes.blogspot.com: (07.09.2010): The cost side of the lithium ion batteries
51) http://nitins-notes.blogspot.com/2010/09/cost-side-of-lithium-ion-batteries.html
52) Oekonwes.at:(28.10.2009): NISSAN und Sumitomo planen "Second-Life“-Sparte für Elektroautobatterien
53) http://www.oekonews.at/index.php?mdoc_id=1044650
54) Panorientnews.com (05.01.2011): Sanyo Sees Strong Demand for Rechargeable Batteries and Photovoltaic Cells
55) http://www.panorientnews.com/en/news.php?k=631
56) Plugincars.com (27.09.2011): Eight Tips to Extend Battery Life of Your Electric Car
57) http://www.plugincars.com/eight-tips-extend-battery-life-your-electric-car-107938.html
58) Sciencedaily.com (26.09.2011): Better Lithium-Ion Batteries Are On the Way
59) http://www.sciencedaily.com/releases/2011/09/110923105508.htm
60) Smartenergynews.net (20.07.2011): Tesla Awarded $100 Million Supply Agreement for Toyota RAV4 Electric Powertrain
61) http://smartenergynews.net/2011/07/20/tesla-awarded-100-million-supply-agreement-for-toyota-rav4-electric-powertrain/
62) VDA.de (18.09.2009): Automobil bleibt Wachstumsmotor – Batteriekosten werden sich in den nächsten fünf Jahren halbieren
63) http://www.vda.de/de/meldungen/archiv/2009/09/18/2362/
64) Wiwo.de (14.09.2011): Akkus für Elektroautos werden billiger
65) http://www.wiwo.de/technik-wissen/akkus-fuer-elektroautos-werden-billiger-481420/
66) Yahoofinance.com (13.04.2011): $44 Billion By 2015 Predicted For Lithium-ion Batteries Market With Majority Share Of $18 Billion Going To Power Storage Applications

67) http://finance.yahoo.com/news/44-Billion-By-2015-Predicted-twst-671221215.html?x=0&.v=1
68) Welt.de (12.09.2011): Auto kaufen, Batterie mieten - Daimler will die dritte Generation des Elektro-Smarts mit einem neuen Finanzierungsmodell erschwinglich machen
69) http://www.welt.de/print/die_welt/wirtschaft/article13598896/Auto-kaufen-Batterie-mieten.html

9.8.3 Links

1) Förderinitiative Energiespeicher – 200 Mio. Euro für die Speicherforschung, http://www.bmbf.de/foerderungen/16431.php
2) The green car webside: Electric vehicles could help Britain solve grid balancing problems – study; http://www.thegreencarwebsite.co.uk/blog/index.php/2011/05/10/grid-balancing-could-earn-electric-car-users-cash/
3) Solarserver: Weltweit erste Photovoltaik-Anlage mit Solar-Carports auf einem Parkhaus: Bürgersonnenkraftwerk auf einem Dach der Messe Frankfurt
4) http://www.solarserver.de/solar-magazin/anlage-des-monats/weltweit-erste-photovoltaik-anlage-mit-solar-carports-auf-einem-parkhaus.html
5) Solar charged driving.com: Automakers gearing up on solar EV charging
6) http://solarchargeddriving.com/news/solar-charged-driving/761-automakers-gearing-up-on-solar-ev-charging.html
7) Solarportal 24: Neue Greenpeace-Energy-Studie fordert smarte Speicher für Photovoltaik-Anlagen
8) http://www.solarportal24.de/nachrichten_43081_neue_greenpeace-energy-studie_fordert_smarte_speicher_fuer_ph.html
9) Steve Duda: Off-peak EV charging to get Virginia test, http://www.earthtechling.com/2011/08/off-peak-ev-charging-to-get-virginia-test/
10) Photon: Photovoltaik verursacht Preiseinbruch an Strombörse, http://www.photon.de/newsletter/document/49980.pdf
11) Wolfgang Rudschies, wir wollen mit Ladesystemen Geld verdienen. http://adacemobility.wordpress.com/2011/07/29/wir-wollen-mit-ladesystemen-geld-verdienen/
12) Automotive IT, Plusenergiehaus liefert Strom für Elektroautos,
13) http://www.automotiveit.eu/?s=plusenergiehaus
14) Schon 32.000 Passivhäuser in Europa
15) http://www.tga-fachplaner.de/Newsarchiv/2011/5/Schon-32-000-Passivhaeuser-in-Europa,QUlEPTMxNjU0MCZNSUQ9MTA4NDY2.html
16) NRG Energy, University of Delaware Announce eV2g(sm) Initiative to Develop Electric Vehicle-to-Grid Technology, http://www.finanzen.net/nachricht/NRG-Energy-University-of-Delaware-Announce-eV2g-sm-Initiative-to-Develop-Electric-Vehicle-to-Grid-Technology-1388569
17) Nissan Says Long-Range EV Unnecessary, http://www.autoobserver.com/2011/10/nissan-says-long-range-ev-unnecessary.html
18) Honda signs E-KIZUNA project agreement with City of Saitama for EV http://www.greencarcongress.com/2011/05/honda-20110523.html
19) Projekt „Smart Country“Landwirte bringen die Energiewende, http://www.handelsblatt.com/technologie/energie-umwelt/energie-technik/landwirte-bringen-die-energiewende/4651804.html?p4651804=all

20) Green Car Congress: AC Propulsion sends eBox EV to Denmark for V2G research focused on buffering intermittent renewable energy, http://www.greencarcongress.com/2011/07/acp-20110713.html
21) E.ON: Studie zeigt: Kunden können bis zu 25 Prozent mit variablen Strompreisen sparen, http://www.eon.com/de/media/news-detail.jsp?id=10431
22) Autoblog green: DOE says 5 million smart meters installed in U.S.; http://green.autoblog.com/2011/06/19/doe-says-5-million-smart-meters-installed-in-u-s/
23) VDI Nachrichten.com: 20.05.2011„Mit dem Sonnenhaus Energie intelligent verschwenden“¸ http://www.vdi-nachrichten.com/artikel/Mit-dem-Sonnenhaus-Energie-intelligent-verschwenden/53387/2
24) Oekonews.at: Hybride Stadtspeicher; http://www.oekonews.at/index.php?mdoc_id=1059378
25) Heise.de: Die schlüsselfertige Smart-City http://www.heise.de/tr/blog/artikel/Die-schluesselfertige-Smart-City-1253161.html
26) Tech-ON: The New Charging Infrastructure: Controlling Cars and Homes through Power; http://techon.nikkeibp.co.jp/article/HONSHI/20100419/181964/?P=1
27) Bine Informationsdienst: Virtueller Energiemarkt und intelligente Stromzähler
28) http://www.bine.info/topnavigation/presse/archiv-pressemitteilungen/pressemitteilung/virtueller-energiemarkt-und-intelligente-stromzaehler/
29) Green Car Reports: Why CNBC Is Flat-Out Wrong On Electric-Car Charging; http://www.greencarreports.com/news/1061744_why-cnbc-is-flat-out-wrong-on-electric-car-charging?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed %253A+AllCarsElectric+ %2528All+Cars+Electric %2529
30) Autoblog green: Mini E drivers adapt to their electric vehicles; http://green.autoblog.com/2011/06/14/mini-e-drivers-adapt-to-their-electric-vehicles/
31) Enbausa.de: Intersolar: IBC zeigt PV-Eigenverbrauchslösung; http://www.enbausa.de/solar-geothermie/aktuelles/artikel/intersolar-ibc-zeigt-pv-eigenverbrauchsloesung-2262.html
32) Cars 21.com: Charging stations on display and the true price of recharging the Leaf - ELECTRIC JAPAN WEEKLY No27 http://www.cars21.com/content/articles/61220110629.php
33) Cleanthinking.de: Greenpeace: Intelligente Speicher für Solarstrom gezielt fördern. http://www.cleanthinking.de/intelligente-speicher-fuer-solarstrom-foerdern/16026/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed %3A+Cleanthinking+ %28Cleanthinking.de %29
34) Tech-ON: New Function Enables i-MiEV EV to Power Home Appliances; http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20110708/193211/
35) Cnet Reviews: Nissan using old Leaf batteries in new solar charging stations; http://reviews.cnet.com/8301-13746_7-20080491-48/nissan-using-old-leaf-batteries-in-new-solar-charging-stations/?part=rss&tag=feed&subj=GreenTech
36) Green car reports: Tesla Electric Car Plus Solar Power Equals Zero-Cost Driving; http://www.greencarreports.com/news/1062502_tesla-electric-car-plus-solar-power-equals-zero-cost-driving-video?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed %253A+AllCarsElectric+ %2528All+Cars+Electric %2529
37) Autoblog green: Denmark to test Nuvve vehicle-to-grid technology; http://green.autoblog.com/2011/06/27/denmark-to-test-nuvve-vehicle-to-grid-technology/
38) Electric vehicle news: Toyota City smart homes to use EV´s for standby power; http://electric-vehicles-cars-bikes.blogspot.com/2011/07/toyota-city-smart-homes-to-use-evs-for.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed %3A+blogspot %2FpEcq+ %28Electric+Vehicles %29

39) Electric vehicle news: Mitsubishi debut solar powered vehicle charging station; http://electric-vehicles-cars-bikes.blogspot.com/2011/07/mitsubishi-debut-solar-powered-vehicle.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+blogspot %2FpEcq+ %28Electric+Vehicles %29
40) Solar- und Windenergie.de: Eigenverbrauch Photovoltaik – Die Förderung für selbstverbrauchten Strom im Überblick; http://www.solar-und-windenergie.de/photovoltaik/photovoltaik-eigenverbrauch.html
41) BBC: Electric cars 'viable solution': West Midlands study; http://www.bbc.co.uk/news/uk-england-14141248
42) Pike Research: 64 Percent of Electric Vehicle Charge Points in the United States to be Residential Units; http://www.pikeresearch.com/newsroom/64-percent-of-electric-vehicle-charge-points-in-the-united-states-to-be-residential-units
43) Autoblog green: Study: Electric vehicles 90 % less costly to "refuel" than gasoline vehicles; http://green.autoblog.com/2011/07/18/study-electric-vehicles-90-less-costly-to-refuel-than-gasoli/
44) AZ online: Strom noch zum alten Tarif; http://www.az.com.na/lokales/strom-noch-zum-alten-tarif.109627.php
45) Tech-On: Toyota Housing's Experimental House Powered by PHEV, EV; http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20110704/193081/
46) Alternative Fuels and Advanced Vehicles Data Center: Virginia Incentives and Laws for HEVs / PHEVs: http://www.afdc.energy.gov/afdc/laws/laws/VA/tech/3285

9.8.4 Rechtsgrundlagen

1) Bauordnung NRW vom 1. März 2000 (GV. NRW. S.622), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 24. Mai 2011(GV. NRW. S.272), in Kraft getreten am 4. Juni 2011

2) Behindertengleichstellungsgesetz (BGG) vom 27. April 2002 (BGBl. I S. 1467, 1468), zuletzt geändert durch Artikel 12 des Gesetzes vom 19. Dezember 2007 (BGBl. I S. 3024)

3) Bundesfernstraßengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. Juni 2007 (BGBl. I S. 1206), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585)

4) Denkmalschutzgesetze der Länder (siehe Anhang)

5) DIN 18 024-1, 1998-01 Straßen, Plätze, Wege, öffentliche Verkehrs- und Grünanlagen sowie Spielplätze (Im Juni 2010 wurde mit der Arbeit an der neuen Norm DIN 18040-3 (zwischenzeitlich 18070) Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen. Öffentlicher Verkehrs- und Freiraum begonnen. Diese wird die DIN18024-1 ersetzen.)

6) Energieeinsparungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 1. September 2005 (BGBl. I S. 2684), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 28. März 2009 (BGBl. I S. 643)

7) Energieeinsparungsverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), zuletzt geändert durch Art. 1 ÄndVO vom 29. April 2009 (BGBl. I S. 954)

8) Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des Rechtsrahmens für die Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, Gesetzentwurf der Bundesregierung vom 06.06.2011, Drucksache 341/11

9) Entwurf eines Gesetzes zur Stärkung der klimagerechten Entwicklung in den Städten und Gemeinden, Gesetzentwurf der Fraktionen der CDU/CSU und FDP vom 06.06.2011, Drucksache 17/6076

10) FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [Hrsg.] (2002): Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen: EFA.- [FGSV] Band 288, Köln

11) FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [Hrsg.] (2007): Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen.- RASt 06, [FGSV] Band 200, Köln

12) Straßenverkehrs-Ordnung vom 16. November 1970 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 1. Dezember 2010 (BGBl. I S. 1737)

13) Straßen- und Wegegesetz NRW (GV. NW. 1995 S.1028) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.September 1995, zuletzt geändert durch Artikel 182 des Dritten Befristungsgesetzes vom 5.4.2005 (GV.NRW. S.306), in Kraft getreten am 28. April 2005.

9.9 Endnoten / Fundstellen

---

1 "... Auch die Konverter haben einen deutlichen Preisrückgang erlebt: Von 1990 bis 2004 hat sich der Preis der Geräte pro Watt halbiert, was fünf Prozent Preisrückgang im Jahr ausmacht. Bis heute ist der spezifische Preis gemessen an 1990 sogar um mehr als 75 Prozent gefallen.7 Zugleich stieg der Wirkungsgrad: Die Ausbeute netzgekoppelter Wechselrichter ist seit 1990 von rund 90 Prozent bis heute auf Spitzenwerte von fast 99 Prozent angestiegen. ..."

Innovationsentwicklung der Erneuerbaren Energien, Agentur für Erneuerbare Energien e. V., 2010, S. 10

2 "... Make sure there is no water or foreign materials in the charge port, charge connector or electrical plug, and that they are not damaged or affected by rust or corrosion. If any of these conditions are noticeable, do not charge the Li-ion battery. This may result in a short circuit or electric shock and could cause a fire which may result in serious personal injury or death.

...

To avoid serious personal injury or death when the Li-ion battery is charging, be aware of the following precautions: - Do not touch the metal contacts of the charge port, charge connector or electrical plug.

...

Do not plug in or unplug the plug with wet hands and do not stand in water, liquid or snow. This may cause an electric shock which may result in serious personal injury or death

...

If the charge port is frozen, melt the ice using a hair drier.

...

There is a hole on the charge port for water drainage. If the water drainage hole becomes blocked, or if water gets trapped inside the charge port, do not charge.

...

If the electrical socket generates an abnormal amount of heat, this may cause a fire. ..."

Nissan Leaf USA, Bedienungsanleitung, „2011 Leaf Owner´s Manual“ S. 50 ff

http://www.nissan-techinfo.com/refgh0v/og/leaf/2011-nissan-leaf.pdf

(letzter Aufruf 11.11.2011)

3 "... Im Rahmen von drei Forschungsvorhaben werden Systeme zum kabellosen Laden entwickelt und getestet. Hierbei wird auch die Ertüchtigung der einschlägigen Industrie aus dem Bereich der Automobilzulieferer und der Automobilhersteller (OEM) für das Thema beabsichtigt. Die Arbeiten werden durch den DKE-Arbeitskreis AK 353.0.1 unterstützt, in dem nahezu alle Projektpartner der jeweiligen Verbundprojekte Mitglieder sind. ..."

http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/pkw-feldversuche/w-charge

4 "... How does the picture change if we look at the upcoming Level III charging standard? Simplified one can say that the economics get worse, requiring higher mark ups, but not altering the overall logic developed so far dramatically. The worsening of economics are driven by the investment cost-to-electricity throughput ratio as well as the maintenance and operations cost-to-throughput-ratio. ..."

Policy options for electric vehicle charging infrastructure in C40 cities | R. Philip & A. Wiederer, 3/10, S. 40

5 " ... Mit der kostenlosen Bereitstellung von 400 neuen Schnellladestationen beschleunigt Nissan den Aufbau eines europaweiten Netzes von Stromtankstellen für Elektrofahrzeuge.

Das bestehende Netz wird mit den neuen Ladestationen ausgeweitet und bietet den Fahrern von Elektrofahrzeugen damit erheblich mehr Flexibilität. Mit den Schnellladestationen können die Lithiumionen-Batterien des Elektrofahrzeugs Nissan Leaf in nur 30 Minuten auf 80 Prozent ihrer Kapazität aufgeladen werden. Zusammen mit der Reichweite des Leaf von bis zu 175 Kilometern erlaubt das dichtere Netz von Ladestationen einen noch flexibleren Einsatz des Elektrofahrzeugs auch auf besonders langen Strecken.

Die kostenlose Bereitstellung der Schnellladestationen durch Nissan folgt auf eine Vereinbarung zwischen dem japanischen Automobilhersteller und fünf führenden europäischen Unternehmen auf dem Gebiet der Elektro-Infrastruktur über den beschleunigten Aufbau eines Stromtankstellennetzes. Diese neuen Stationen sind kleiner und etwa um die Hälfte günstiger als bisherige Schnelllader. Ziel ist es, bis Ende 2012 ein Netz von mehreren tausend Stationen in ganz Europa aufzubauen, das bis 2015 auf mehrere zehntausend Stationen wachsen soll.

..."

http://dmm.travel/news/automobil/artikel/lesen/2011/11/nissan-erweitert-stromtankstellennetz-in-europa-39568/

6 "... Alternatively, six to eight hours of Level I recharge every day

would also suffice. ...

Level I charging may be a realistic option to support and incentivize widespread adoption

amongst non-single family homeowners and Mid to Late Adopters. Seventy-three percent of

commutes are below 30 miles (round-trip) and 76 % of total driving is below 50 miles per day. At least 30 % of Mid-Adopters show an interest in Level I charging (and another 30 % of the population remain neutral who might be convinced to try Level I). ...

Given limited driving distances of the majority of L.A. residents, Level I charging may be a realistic opportunity for early to midadopters— especially when charger installation might be difficult. …

Level I charging uses a regular electrical socket and doesn't require installation of a special home charger installation, but takes twice as long to charge than other charging equipment (four to six hours for 35 to 40 miles of range). Early Adopters are interested in Level I charging at a rate of 28 %, compared to 22 % of Mid-SFOs, 32 % of Mid-NSFOs, and a 24 % sample average. …

Also promising is that a significant portion of the population remains neutral about Level I. With more education about how Level I might be enough to support the majority of L.A. drivers' range needs, a significant portion of the 34 % of Early Adopters, 36 % of Mid-SFOs, and 30 % of Mid-NSFOs who remain neutral might consider Level I charging a viable option. ...

When given a choice between charging for 4 to 6 hours for 100 miles of range using a specially installed home charger at $2,000 installation cost (Level II) vs. charging for 4 to 6 hours for 35 miles of range with no home charger installation required (Level I), respondents preferring Level I increased dramatically. ... "

Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, S. 3, 74

7 Mythos 2 " ... Im Durchschnitt steht ein PKW zu 96 Prozent der Zeit. Je nach Standort, zum Beispiel am Arbeitsplatz, können große Teile dieser Zeit zum Laden genutzt werden. Eine Batterie für circa 100 Kilometer Reichweite (20 kWh bei 80 Prozent Entladetiefe = 16 kWh und Verbrauch von 0,16 kWh/km) ist mit einem normalen Hausanschluss in circa vier Stunden aufgeladen (16 kWh/3,7 kW = 4 h 20 min.). Insbesondere über Nacht ist deshalb ausreichend Zeit zur Ladung. Zudem altert eine Batterie bei höherer Ladeleistung schneller. ...", S. 16

Gesellschaftspolitische Fragestellungen der Elektromobilität, Oktober 2011

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

8 Mythos «zu lange Ladezeiten»

"... Ein privates Auto steht im Schnitt mehr als 90 % des Tages still (und zwar nicht im Stau, sondern unbenutzt in der Garage oder auf dem Firmenparkplatz). 90 %, das sind über 21 Stunden am Tag. Das sollte reichen, um eine vollständige Ladezeit einzuplanen, die bei einer Haushaltssteckdose acht Stunden betragen kann. Wird jedoch regelmässig «nachgetankt», so ergeben sich für die zu fahrenden 40 Kilometer bzw. die 55 Kilometer 9 Tagesladezeiten von maximal einem Drittel bzw. der Hälfte der Vollladezeit, also zwischen drei und vier Stunden. Schnellladestationen, die rasch bis zu 80 % der Vollladung liefern können, werden also nur

gebraucht, wenn z.B. vergessen wurde, nachts das Auto aufzuladen oder wenn über die letzten 100 Kilometer kein Blick auf die Batterieanzeige geworfen wurde. ..."

Mythbuster Elektroauto, Die bekanntesten zehn Halbwahrheiten zur Elektromobilität auf den Kopf gestellt, S. 10

http://www.forum-elektromobilitaet.ch/fileadmin/DATA_Forum/Publikationen/Broschuere_Elektroauto_dt.pdf

08. August 2011

9 Myth #1: "... Even if the majority of drivers switched to electric, the existing electrical grid's off-peak/nighttime capacity for power generation is sufficient without building a single new power plant. Studies have shown that electric vehicle owners will largely charge their vehicles at night when there is plenty of capacity on the grid. ..."

http://www.sierraclub.org/electric-vehicles/myths.aspx

Februar 2011

Myth #1: " ... Advanced charging technology will help distribute power loads more evenly, and many home charging stations will operate only during off-peak hours—which is more efficient and usually cheaper. "Smart chargers," slated to hit the market in 2011, will decide when to charge based on the time and distance you commute, local rates, and electricity demand in your neighborhood. ..."

http://motherjones.com/environment/2011/01/electric-car-myths

November 2010

Myth #9: " ... The view is that 95 % or more of all EV miles will be driven on EVs charged during overnight off-peak periods when electricity is cheaper and readily available. ..."

http://www.ibtimes.com/articles/75109/20101023/electric-car-myths-nissan-leaf-chevrolet-volt-department-of-energy.htm

October 23, 2010 7:16 AM

Mythos 1: " ... Eine Studie eines deutschen Premium-Autoherstellers ergab etwa, dass 75 Prozent der großen Luxusautos pro Tag weniger als 50 Kilometer bewegt werden. Bei kleineren Autos der selben Marke fahren insgesamt 83 Prozent der Kunden weniger als 50 Kilometer pro Tag. Jeden Tag 150 Kilometer Reichweite reichen für fast alle Großstädter locker aus.

Mythos 4: "... die Autos können problemlos an der ohnehin vorhandenen 220-Volt-Steckdose in einer Garage aufgeladen werden. ..."

http://eckldorna.com/2009/12/warum-elektroautos-langst-massentauglich-sind/

18. Dezember 2009

10 République Francaise: Livre Vert sur les infrastructures de recharge ouvertes au public pour les véhicules « décarbonés », Avril 2011

11 "... For a single charging station break-even, users would have to pay a substantial mark-up on current electricity prices. Depending whether we are looking at a Level II or Level III charging station, these mark ups would be in a range between 50 % and 125 %. To generate a realistic return on investment, even higher mark-ups would be required. Looking at the prices from this perspective, convenience charging might not be overly attractive to consumers. ..."

Policy options for electric vehicle charging infrastructure in C40 cities | R. Philip & A. Wiederer, 3/10, S. 45

12 Ziel ist es, bis 2020 zwei Millionen Elektro- und Hybridfahrzeuge auf Frankreichs Straßen zu bringen, was ein umfangreiches Ladenetz voraussetzt. Laut der aktuellen Schätzungen sind 400.000 öffentliche Stationen und vier Millionen private Ladestationen notwendig. Das von Louis Nègre veröffentlichte Grünbuch stellt genau heraus, wie diese neuen Infrastrukturen dimensioniert werden müssen und wie das wirtschaftliche und rechtliche Modell für deren Einsatz aussehen soll.

Originalpublikation: " Livre Vert sur les infrastructures de recharge ouvertes au public pour les véhicules "décarbonés" " - 04.2011 -

http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Livre_vert_L-_NEGRE_Infrastrucutres_recharge_pour_les_vehicules_decarbones.pdf

13 "... Prix d'équilibre (pour les coûts d'infrastructures seuls) : si les frais d'infrastructure de recharge devaient être supportés intégralement par le client final, il faudrait alors leur faire payer - pour chaque « plein » de 25 kWh – des prix compris entre 13 ! pour une borne à 3 kVA en charge normale et 36 ! pour une borne de charge rapide à 43 kVA - auxquels pourrait s'ajouter le coût de l'électricité estimé à environ 2! pour ce même plein. ..."

Livre Vert sur les infrastructures de recharge ouvertes au public pour les véhicules « décarbonés », Avril 2011, S. 12

14 "... One has to keep one caveat in mind while discussing the cost of charging infrastructure. The technology is currently relatively new and charging stations are not mass produced – one would therefore expect the cost to decrease over time given the increasing scale of production.

However, our interviews have shown that this anticipation might be misguided. First, approx. 50 % of the investment costs are caused by the physical labor of installing the device at a specific place, getting permits and changing street/parking lot structures. These costs can be expected to be relatively neutral to scale. The other 50 % are caused by the actual charging device. This device mainly consists of low tech electronics and standard commodities like stainless-steel for the body etc. – which prices are again are relatively insensitive to scale. The general expectation is therefore that scale cost reduction will not play a major part for individual charging stations. ..."

Policy options for electric vehicle charging infrastructure in C40 cities | R. Philip & A. Wiederer, 3/10, S. 36

15 “…Nissan has also acknowledged that fast charging is detrimental to battery life. According to the automaker, the gradual capacity loss at 480V charging will be about 10 % more than 220V charging. Nissan LEAF is the only vehicle under production to come with a Level 3 port. …”

Hybrid EV, Vol 2, issue 5, S. 20

16 "... NISSAN recommends using normal charging for

usual charging of the vehicle. Use of quick

charge should be minimized in order to help

prolong Li-ion battery life. ...

NISSAN recommends that quick charging not

be performed more than once a day. ...

Charging may be automatically

terminated, especially with repeated quick charging

in extreme hot weather. ...

During charging, it is possible that the

radio may be inaudible due to noise by

the electromagnetic wave. ...

NISSAN recommends charging the Li-ion battery

using the long life mode to help maximize

the Li-ion battery useful life.

Long life mode can only be set using the

charging timer function. ...

"

Nissan Leaf USA, Bedienungsanleitung „2011 Leaf Owner´s Manual“ S. 55, 56, 68

17 Nissan stellte am 02.08.2009 in Yokohama Induktionsladen von Elektrofahrzeug vor: Größte Sorge von Elektrofahrzeuginteressenten sei laut einer hauseigenen Studie das unpraktische Laden.

Automotive Electronic Systems, 9/09, S. 10

18 “ … Toyota, in cooperation with the Tokyo Institute of Technology and the High Energy Accelerator Research Organization, has developed a prototype battery that can be processed into sheet form. The battery has up to five times the energy storage capacity of existing Li-ion batteries, the Nikkei reported Monday.

The new battery is based on a solid core and its simplified structure means it does not require fire-retardant materials. It eliminates the disadvantages of lithium-ion batteries, which are based on an easily heatable and combustible liquid core.

Toyota plans to improve the battery and commercialize it sometime in 2015 to 2020.

Japan's New Energy and Industrial Technology Development Organization predicted it will be possible to cut the battery production cost to one-fifth to one-tenth the current level by 2020. …"

http://electric-vehicles-cars-bikes.blogspot.com/2011/10/toyota-developing-ev-battery-with-five.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed %3A+blogspot %2FpEcq+ %28Electric+Vehicles %29

19 " ... Mit der kostenlosen Bereitstellung von 400 neuen Schnellladestationen beschleunigt Nissan den Aufbau eines europaweiten Netzes von Stromtankstellen für Elektrofahrzeuge.

Das bestehende Netz wird mit den neuen Ladestationen ausgeweitet und bietet den Fahrern von Elektrofahrzeugen damit erheblich mehr Flexibilität. Mit den Schnellladestationen können die Lithiumionen-Batterien des Elektrofahrzeugs Nissan Leaf in nur 30 Minuten auf 80 Prozent ihrer Kapazität aufgeladen werden. Zusammen mit der Reichweite des Leaf von bis zu 175 Kilometern erlaubt das dichtere Netz von Ladestationen einen noch flexibleren Einsatz des Elektrofahrzeugs auch auf besonders langen Strecken.

Die kostenlose Bereitstellung der Schnellladestationen durch Nissan folgt auf eine Vereinbarung zwischen dem japanischen Automobilhersteller und fünf führenden europäischen Unternehmen auf dem Gebiet der Elektro-Infrastruktur über den beschleunigten Aufbau eines Stromtankstellennetzes. Diese neuen Stationen sind kleiner und etwa um die Hälfte günstiger als bisherige Schnelllader. Ziel ist es, bis Ende 2012 ein Netz von mehreren tausend Stationen in ganz Europa aufzubauen, das bis 2015 auf mehrere zehntausend Stationen wachsen soll.

..."

http://dmm.travel/news/automobil/artikel/lesen/2011/11/nissan-erweitert-stromtankstellennetz-in-europa-39568/

20 "... ein Laternenparker in der Stadt ohne eigenen Stecker in der Garage wird sich eher kein E-Auto kaufen, weil er derzeit nicht viele Möglichkeiten zum Aufladen hat", sagt Florian Klausmann, Mitarbeiter des Bereichs Mobility Innovation vom Fraunhofer Institut IAO.

Gibt es ein Geschäftsmodell?

Das Problem ist, dass es ein wirklich griffiges Geschäftsmodell, das die Ladestationen für ihre Betreiber rentabel macht, derzeit noch nicht gibt. Der Energieversorger Eon etwa betreibt derzeit 50 bis 100 Ladestationen in Deutschland. "Wir sehen da aber nicht die Chance, dass sich die rentieren", sagt Eon-Sprecher Stefan Pursche.

Und auch Fraunhofer-Experte Klausmann ist skeptisch: "Der Aufbau und Betrieb öffentlicher Ladestationen kann durch den reinen Stromverkauf alleine nicht sinnvoll refinanziert werden."

Eon-Sprecher Pursche macht eine einfache Rechnung auf: Eine Ladesäule koste rund 5000 Euro, der Aufbau je nach Standort noch mal die gleich Summe. Selbst wenn ein Auto zweimal am Tag aufgeladen werde, koste der entsprechende Strom jedoch nur etwa fünf Euro.

Bei Eon etwa sieht man die Ladestationen eher als Gelegenheit für Dienstleistungsunternehmen, ihren Kunden eine Zusatzleistung anzubieten. Auch der Automobilclub ADAC teilt diese Einschätzung. Unternehmenssprecher Christian Buric sieht beispielsweise Chancen für Parkplatzbetreiber und Supermärkte. "Inzwischen bieten sogar manche Imbissbuden Stromtankstellen an", sagt er. "Es werden völlig neue Geschäftsmodelle entstehen."

Denkbar ist auch, dass Unternehmen Ladestationen für ihre Mitarbeiter anbieten. Während sie arbeiten, lädt sich die Batterie für den Heimweg auf. Mit normalem Strom kann eine volle Ladung schließlich bis zu acht Stunden dauern. Bei Eon gebe es dazu bereits Gespräche, sagt Unternehmenssprecher Pursche. "Das ist sicher ein Markt". ...“

HB, 03.11.10

21 "... Ladekabel für alle französichen Elektroautos

220Volt/ 16 Ampere neu lieferbar

Preis: EUR 404,60 incl. MWST plus Versand ..."

http://www.stueber-automobile.de/5.html

22 electric car charging point

Frank Hebbert, flickr

http://www.flickr.com/photos/f-r-a-n-k/359123912/lightbox/

23 "... Electrical burns account for 4 % to 6.5 % of all admissions to burn units in the

United States and for approximately 1000 fatalities per year in the United

States ..."

Price T, Cooper MA: Electrical and Lightning Injuries, Rosen's Emergency Medicine, Concepts and Clinical Practices, 6th Edition, 2006, S. 1

http://www.uic.edu/labs/lightninginjury/Electr&Ltn.pdf

24 „... The charging operations will involve common people handling high voltages, which translates into a high risk of equipment mishandling and subsequently electricity related hazards, such as electric shocks, electric faults, current leaks etc. …

The major safety concern is the exposure of the public to electrical hazards as they work with the recharging system and connecting vehicles to that system. …

Moreover, for the first time in history, consumers, members of the general public of all ages, would be asked to make a high power electrical connection … outdoors and in all types of weather perhaps once or twice a day. …

Eventually, with millions of Evs being charged around the clock, the probability for injurious or lethal electric shock will not be negligible. …

Battery charger connections will be subjected to severe handling and abuse. Moreover, connections may need to be made with vehicles that are wet with road salt or during heavy rains. The risk is increased if the vehicle suffers an accident while it is being charged. …"

S. 12, 167, 169, 193

Risk in Connection with Electric Vehicles by. Alex Viladot. Ingemar Pålsson. Helena Jonsson. Håkan Torstensson. SSPA Research Report No. 111, 1999

25 "… However, with new technology and new products comes unknown risks and challenges, something which has made insurance companies nervous about the mass arrival of EVs. There are many concerns over new components such as charging cables …

There is an increased public liability risk when a customer is charging their vehicle, laying the charging lead from the home out to the street or across the office car park. …"

http://www.sbd.co.uk/uknews/post/Insurance-companies-nervous-over-Electric-Vehicle-theft-threats-12520202.aspx

26 "... Vehicles that partially drive themselves will be available by the middle of the decade with more sophisticated self-driving systems by the end of the decade, General Motors Vice President of Global Research and Development Alan Taub told the Intelligent Transport Systems World Congress in Orlando on Sunday. These advances in autonomous vehicle technology are built on leading-edge advanced active safety systems, Taub said. ...

The EN-V's capabilities being demonstrated at the ITS World Congress include pedestrian detection, collision avoidance, platooning and automated parking and retrieval, where the EN-V drops off its driver, parks itself and then returns to pick up the driver via commands from a smartphone. ..."

http://www.greencarcongress.com/2011/10/taub-20111017.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+greencarcongress %2FTrBK+ %28Green+Car+Congress %29

27 "... Nissan is grappling with its recent consumer research, which revealed that 61 % of potential electric car customers were most worried about the inconvenience of recharging. As well as inductive charging, its technological solutions include developing fast-charging facilities, which they hope to see in place in shopping car parks and motorway service stations. "So while you're shopping, or having a cup of tea, the battery will refill to 80 % of its capacity, in about 25 minutes," explained Larry Haddad, general manager of product strategy and planning at Nissan Europe.

In addition to these charging innovations, Nissan believes the ZEV has what it takes to compete against established electric models such as the TH!NK City and G-Wiz. Nissan claims it will be the

first "dedicated" electric car on the market, arguing that most rival cars have been rehashes of existing models.

The ZEV is a five-seater family-sized car with a top speed of 90mph, a battery range of around 100 miles and surprisingly impressive acceleration. Redmer van der Meer, Nissan's European electric vehicle product manager, said that he is confident the range will be significantly extended in the next few years, and that cars will be built so new, improved batteries can be retro-fitted. Van der Meer said the car is deliberately conventional in style: "We don't want to make a shock in the market, an egg-shaped car or something. We want to make a transition. You could do mad things but we really don't want to."

Nissan's electric car is set to go on sale in the US and Japan next year, before arriving in the UK and rest of Europe by 2012. Pricing is yet to be announced. ..."

http://www.guardian.co.uk/business/2009/jul/20/nissan-electric-car-plug-free

28 "... Der Fahrer genießt dank seiner zentralen Position ein komplett neues Fahrerlebnis - und muss sich um das leidige Thema Parkplatzsuche ebenfalls keine Gedanken machen. Auf entsprechend ausgerüsteten Parkplätzen der Zukunft kann der PIVO 3 dank des automatischen Einparksystems AVP (Automated Valet Parking) selbstständig Parkplätze orten und ansteuern. Auch das Aufladen der Batterien erledigt der PIVO 3 selbst und kann im Anschluss per Smartphone-Anruf zurück zur Parkplatzausfahrt beordert werden. ..."

http://www.newsroom.nissan-europe.com/de/de-de/Media/Media.aspx?mediaid=85542&utm_campaign=NewsAlert_85544&utm_medium=Email&utm_source=newsroom.nissan-europe.com/de/de-de

29 "... Products based on disruptive technologies are typically cheaper,

simpler, smaller, and, frequently, more convenient to use.

And more importantly, it means that disruptive technologies that may

underperform today, relative to what users in the market demand, may be

fully performance-competitive in that same market tomorrow.

...

Hence, most companies with a practiced discipline of listening to their

best customers and identifying new products that promise greater

profitability and growth are rarely able to build a case for investing

in disruptive technologies until it is too late.

...

But the electric car is a disruptive technology and potential future threat. The innovator's task is to ensure that this innovation - the disruptive technology that doesn't make sense – is taken seriously within the company without putting at risk the needs of present customers who provide profit and growth.

...

IBM, the industry's first leader, sold its mainframe computers to the central accounting and data processing departments of large organizations. The emergence of the minicomputer represented a disruptive technology to IBM and its competitors. Their customers had no use for it; it promised lower, not higher, margins; and the market initially was significantly smaller.

..."

"The Innovators Dilemma", von Clayton M. Christensen

30 Google Test von kabellosem Laden mit Plugless Power

http://www.google.de/imgres?imgurl=http://img.paper.li/ %3Furl %3Dwww.treehugger.com/chargepoint-ev-electric-car-charging-station-photo-02.jpg %26h %3D150&imgrefurl=http://paper.li/activepei/activetransportation&usg= ySA-4RNJi3TQsNREu5_CXPuqAB0=&h=150&w=208&sz=24&hl=de&start=50&zoom=1&tbnid=icZB63eGegvEoM:&tbnh=120&tbnw=166&ei=UvzBTvrCHYj34QT-vriNDQ&prev=/search %3Fq %3DElectric %2BCar %2Bcharger %2Binjury %26hl %3Dde %26newwindow %3D1 %26safe %3Dactive %26client %3Dfirefox-a %26rls %3Dorg.mozilla:de:official %26biw %3D1080 %26bih %3D967 %26tbm %3Disch&itbs=1&iact=rc&dur=171&sig=112886733475722686106&page=3&ndsp=25&ved=1t:429,r:15,s:50&tx=127&ty=65&biw=1080&bih=967

http://www.runningonsun.com/2011/04/google-installs-wireless-ev-charging.html

31 "... Zehn Prozent der rund 31000 Google-Beschäftigten befassen sich mit innovativen Projekten jenseits des Google-Kerngeschäfts.Das mit Abstand wichtigste dieser neuen Projekte sei laut Brin das autonome Fahren.

Nicht nur bei Google.Autohersteller, Zulieferer und zahlreiche Forschungseinrichtungen drängen in das Feld.Continental, Bosch und Daimler haben Kameras entwickelt, die Fußgänger und Radler

besser erkennen, vor einer Kollision bremsen und Autos sicher durch enge Baustellen navigieren können, Volkswagen lässt seinen Autopiloten zeitweise alleine fahren.Autos von BMW, Ford, Volkswagen, Daimler und Audi sprechen miteinander, damit sie Informationen über Staus und Glatteis schnell weiterleiten.

"Wir wissen, dass unsere Kunden im Stau gerne einen Autopiloten hätten", sagt Ralf Guido Herrtwich, der die Erforschung und Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen bei Daimler in Stuttgart leitet.Den sollen sie nun bekommen.

Bereits heute liefert der Autokonzern weltweit mehr als jede zweite S-Klasse mit Assistenzsystemen aus.Beim Nachfolgemodell, das 2012 erscheint, sollen es schon mehr als 60 Prozent sein.Das US-Marktforschungsunternehmen Strategy Analytics rechnet damit, dass sich der weltweite Umsatz mit Assistenzsystemen von knapp 800 Millionen Dollar im Jahr 2010 auf 3,2 Milliarden Dollar im Jahr 2014 vervierfachen wird. ..."

Wirtschaftswoche, 14.11.2011

32 Reinventing the Automobile, Personal Urban Mobility for the 21st Century, William J. Mitchell, Christopher E. Borroni-Bird, Lawrence D. Burns

33 "... The above graph was constructed for a Lead acid battery, but with different scaling factors, it is typical for all cell chemistries including Lithium-ion. This is because battery life depends on the total energy throughput that the active chemicals can tolerate. ...

There are important lessons here both for designers and users. By restricting the possible DOD in the application, the designer can dramatically improve the cycle life of the product. Similarly the user can get a much longer life out of the battery by using cells with a capacity slightly more than required or by topping the battery up before it becomes completely discharged. For cells used for "microcycle" applications (small current discharge and charging pulses) a cycle life of 300,000 to 500,000 cycles is common....

Mobile phone users typically recharge their batteries when the DOD is only about 25 to 30 percent. At this low DOD a lithium-ion battery can be expected to achieve between 5 and 6 times the specified cycle life of the battery which assumes complete discharge every cycle. Thus the cycle life improves dramatically if the DOD is reduced. ..."

http://www.mpoweruk.com/life.htm#dod

34 "... The hotter the battery, the faster chemical reactions will occur. High temperatures can thus provide increased performance, but at the same time the rate of the unwanted chemical reactions will increase resulting in a corresponding loss of battery life. ...

Temperature therefore affects both the shelf life and the cycle life as well as charge retention since they are all due to chemical reactions. Even batteries which are specifically designed around high

temperature chemical reactions, (such as Zebra batteries) are not immune to heat induced failures which are the result of parasitic reactions within the cells. ...

There are two key factors influencing calendar life, namely temperature and time, and empirical evidence shows that these effects can be represented by two relatively simple mathematical dependencies. The Arrhenius Law (see below) describes how the speed of chemical reactions increases with temperature, in this case the rate that the slow deterioration of the active chemicals increases. ...

Thus, an hour at 35 ℃ is equivalent in battery life to two hours at 25 ℃. Heat is the enemy of the battery and as Arrhenius shows, even small increases in temperature will have a major influence on battery performance affecting both the desired and undesired chemical reactions. ...

http://www.mpoweruk.com/life.htm#dod

35 "… Battery lifetimes are a further issue which need to be considered here. Johnson Controls, who also own the Varta brand of batteries, for example, held a presentation at the Mobilitec Forum in which they confidently stated battery lifetimes for full electric vehicles of at least 3,000 capacity turnovers (see diagram). Using batteries in a small discharge range, as in hybrid vehicles, keeps the batteries healthy enough to even enable tens of thousands of capacity turnovers. This is also the expected state of affairs in grid balancing mode, and a valuable service may thus be available fairly cheaply in terms of additional battery wear if this business opportunity is seized. A more cautious forecast of battery lifetimes is still being given by most sellers of electric vehicles, but even 1,500 capacity turnovers equates to 150,000 km for a vehicle with a 100 km range, and an assumption of 8 years of good use may also correspond closely to the physical lifetime of the battery. After their mobile lifetimes it is also quite conceivable that batteries will then perform real storage functions for several years before needing to be recycled, but for this we

will have to wait and see."

SWWengl., 5/11, 41

36 Dr. Detlev Repenning, geschäftsführerender Gesellschafter beim Batteriehersteller OMT, im Gespräch mit Kiefermedia auf der IAA 2011.

37 "... It's too troublesome to charge an EV: ... 46 % strongly agreee, 49 % somewhat agree and somewhat disagree ..."

McKinsey, "Electric Vehicles in Megacities, ShanghaiCharges Up" S. 12, Januar 2010

38 Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, http://luskin.ucla.edu/ev

UCLA Luskin Center's Electric Vehicle research programs

39 "… Almost 50 % of the sample indicated that they do not want to charge their car every day. Early Adopters and Mid-NSFOs are more willing to adjust to the daily recharging, if necessary. Only 35 % of Early Adopters and 42 % of Mid-NSFOs do not want to recharge every day. However, Late Adopters and Mid-SFOs are less inclined to accommodate daily recharging. …"

Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, S. 73

"… The relative disinclination to recharge daily and the desire for shorter charging time might seem like a barrier for EV adoption. However, presenting the charging schedule that would be realistically required by the majority of L.A. drivers would help attract more Mid to Late Adopters …"

Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, S. 73

40 "... Wer E-Autos mit netzfreundlicher Technologie kauft und diese möglichst oft mit dem Stromnetz verbindet, der soll dafür finanziell entlastet werden. Bei dreiphasiger Netzanbindung könnte dieser Ausgleich bis zu 1.000 Euro pro Jahr betragen. Die Vergütung sollte nicht pauschal, sondern abhängig von den Stunden der Netzverfügbarkeit des jeweiligen E-Mobils berechnet werden. .."

Tomi Engel, 28.03.2011

http://www.dgs.de/index.2738.0.html

41 "... L'une des innovations de MODULGO est le parking dense robotisé :

Le parking met automatiquement MODULGO à la disposition des utilisateurs à partir d'une réservation sur Internet, d'un Smartphone ou d'un terminal tactile à l'entrée.

A son retour, le conducteur laisse MODULGO à l'entrée du parking. Celui-ci gare MODULGO (haute densité de stationnement - 100 MODULGO sur 30 places de parking standard) et gère la charge et l'attribution à un nouvel utilisateur. ..."

http://induct.fr/MODULGO-un-Smartphone-sur-4-roues_a30.html

42 Reinventing the Automobile, Personal Urban Mobility for the 21st Century, William J. Mitchell, Christopher E. Borroni-Bird, Lawrence D. Burns, 2010

43 Erreger auf Zapfpistolen: Zapfpistolen sind die am meisten mit Erregern infizierten Gegenstände, mit denen Verbraucher im Alltag in Berührung kommen können: „...Here's another reason to buy an EV and fuel it by plugging it in at home -- the YECH! factor.

Confirming what many of us have known all along, a recently released study has found that gas pump handles are the most germ-infested surfaces we touch on a regular basis.

Why?

Sneeze-in-hand, then pump
First, because so many people touch gas pump handles, frequently with extremely filthy hands.

Think about the guy who just sneezed into his hand before grabbing the pump, or who just took a trip to the Pay-n-Pump can and didn't wash his hands afterward, and you get the picture -- probably one you didn't want to get ;-)

Second -- and this we'll let one of the researchers say for us because he does it so well:

"It comes down to the fact that nobody cleans the things that you're going to touch on a daily basis," said Dr. Kelly Arehart, program leader of Kimberly-Clark's Healthy Workplace Project, which conducted the study. …"

http://solarchargeddriving.com/editors-blog/on-sun-a-fossil-fuels/840-you-dont-want-to-touch-this-gas-pump-handles.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+solarchargeddriving %2Fxobf+ %28SolarChargedDriving.Com-2 %29

44 "... Das Auto der Zukunft zu betanken ist in diesen Tagen eine schmutzige Angelegenheit.Denn die Steckdose des graublauen Toyota Prius befindet sich im vorderen Kotflügel, getarnt unter einer Tankklappe.Dort wird das mitgelieferte, sechs Meter lange Ladekabel angeschlossen.Doch da fangen die Probleme auch schon an: Weil es in der Tiefgarage in der Altstadt Bonns keine Steckdose gibt, reicht das Kabel nicht.Eine Verlängerungsschnur muss her.Und beim Hantieren mit dem schneematschbeschmierten Kabel ist schnell die Hose ruiniert ... "

Wirtschaftswoche, 10.01.11

45 http://de.wikipedia.org/wiki/Regelleistung_%28Energie %29

46 „... Almost 50 % of the sample indicated that they do not want to charge their car every day. Early Adopters and Mid-NSFOs are more willing to adjust to the daily recharging, if necessary.

Only 35 % of Early Adopters and 42 % of Mid-NSFOs [non-single family homeowners and Mid to Late Adopters] do not want to recharge every day. However, Late Adopters and Mid-SFOs are less inclined to accommodate daily recharging. …

The relative disinclination to recharge daily and the desire for shorter charging time might seem like a barrier for EV adoption. However, presenting the charging schedule that would be realistically required by the majority of L.A. drivers would help attract more Mid to Late Adopters …"

Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, S. 73

47 Integration Erneuerbarer Energien und Elektromobilität, Dr. Clemens Hoffmann (Siemens AG), 9. September 2011, auf der Lebenswelt „Elektromobilität" in Mannheim

48 Gesellschaftspolitische Fragestellungen der Elektromobilität, Oktober 2011, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

49 Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, http://luskin.ucla.edu/ev

UCLA Luskin Center's Electric Vehicle research programs

50 Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): Verkehr in Zahlen 2009/2010

51 "Betting on Science: Disruptive Technologies in Transport Fuels," Accenture, 2009

52 Siehe auch: Bain&Company: E-Mobility Studie: http://www.bain.de/home/presse/news_archiv_2010/e-mobility-studie:_bis_2020_hat_die_h%C3%A4lfte_aller_neuen_autos_einen_elektroantrieb.htm

53 VDE-Studie "Elektrofahrzeuge – Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf", April 2010

54 http://www.focus.de/auto/news/elektroautos-30-millionen-ohne-neues-kraftwerk_aid_366102.html

55 Das ergab eine repräsentative Umfrage, die das Institut für empirische Sozial- und Wirtschaftsforschung der Universität Köln im Auftrag der ARD-Wissensshow „Wie bewegt sich Deutschland" für die ARD-Themenwoche „Der mobile Mensch" erhoben hat Mai 2011 und http://www.vcoe.at/de/publikationen/vcoe-factsheets/details/items/Factsheet2011-006

56 Transportation Electrification, Grid Impacts of Plug-In Electric Vehicles, Mark Duvall,Director, Electric Transportation and

Energy Storage March 15, 2010, http://files.eesi.org/duvall_031510.pdf

57 Der Begriff Zuhause wird im Folgenden als Synonym für einen festen Stellplatz verwendet, er steht weniger für den Ort und schon gar nicht für die heimische Garage.

58 OLEV also favours a controlled public charging network on the basis of a claim that around 65 % of households in the UK have off-street parking. The proportion is likely to be much higher among early adopters of EV tech-nology, the reason domestic charging will work for a majority of plug-in vehicle purchasers in the short-term.

Hybrid-EV, 7/11, S. 16

59 Fraunhofer ISI : Forschungsergebnisse, Elektromobilität, Ladeinfrastruktur (März 2011) http://www.fraunhofer-isi-cms.de/elektromobilitaet/Media/forschungsergebnisse/13062438235908-10.92.21.153-Forschungsergebnisse_Elektromobilit %C3 %A4t_Ladeinfrastrukturaufbau.pdf

60 Das Laden nachts wird hier gesondert betrachtet, da sich durch das Laden am Tag als auch nachts wichtige Auswirkungen auf die Ladeinfrastruktur, den Ladeprozess und die Energieverfügbarkeit ergeben. auf die es für die Ladeinfrastruktur, den Ladeprozess und die Energieverfügbarkeit wichtige Unterscheidungen zwischen

61 "… A recent report from the Department for Transport (DfT), however, states that 'an extensive public charging infrastructure would be underutilised and uneconomic' as vehicles are mostly charged at home. The report has sparked debates in political circles and invited criticism from opposition parties. The govern-ment, however, states that putting a charge point at every corner is not the right approach and that it is most convenient for drivers and best for the energy system, if the majority of charging were to happen at home.

It may be true that most of the regular charging takes place at home and suits current EV owners, as also demonstrated under vari-ous ongoing EV trials in the UK. …"

Hybrid-EV, 7/11, S. 16

62 http://www.greencarreports.com/news/1066861_teslas-2012-model-s-charging-equipment-redesign-for-redesigns-sake

63 VDE Studie Elektrofahrzeuge April/Nov 2010 http://www.vde.com/de/InfoCenter/Seiten/Details.aspx?eslShopItemID=21f73d14-ad26-4188-a62e-0793af440806

64 Tomi Engel: Sonnenenergie 2010/3,die Netzintegration von Elektrofahrzeugen http://www.sonnenenergie.de/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=26

65 Wirtschaftswoche 19.09.2011 Parkhauskette kritisiert Verkaufsverbot von Strom, http://www.wiwo.de/unternehmen-maerkte/parkhauskette-kritisiert-verkaufsverbot-fuer-strom-481895/

66 "... Ein einphasiger 3,7 kW-Netzanschluss reicht

für das Nachladen nach durchschnittlichen Fahrstrecken aus, wenn dies in den

üblichen Stillstandszeiten im Stundenbereich erfolgt. Wenn die Batterie

allerdings vor einer längeren Fahrt in einer kurzen Stillstandszeit

nachgeladen werden muss, ist eine erheblich höhere Leistung erforderlich.

Eine Nachladung für beispielsweise 100 km Wegstrecke innerhalb von 15 min

würde eine Leistung von rund 75 kW erfordern. Dies ist bereits deutlich mehr

als die gesamte Anschlussleistung eines Einfamilienhauses und bedeutend mehr

als die durchschnittliche Antriebsleistung des Elektromotors. Eine derartige

Anforderung würde auf Seiten der Batterie zu erheblichen Mehrkosten führen. ..."

Die Quelle dazu lautet: VDE Dialog, 8/10, S. 4

67 "… It was clear at the conference that companies are struggling to find a business model that funds the new infrastructure, particularly when one of the main selling points is the cheapness of electricity compared with petrol or diesel.

Charging your car while it is parked or while you are at work might cost a pound or two, but would block the charging post for most of the day, meaning the revenue from the post might be less than £5 per day for a busy site. For a widely spread infrastructure that would have to be regularly checked and maintained that wouldn't enough to pay for the maintenance, let alone the installation. The problem is compounded during the early stages of EV adoption when charging posts would have to be installed well ahead of any substantial demand for them.

The high currents required to charge the batteries are also a concern. With electric cars requiring 20-30KWh for a full charge the maths shows that currents of 100A or more are required to charge a car within an hour. With the target being 15 minutes or less for charging it is clear that massive currents would be required, overwhelming the current cabling and substations. Smart Metering can mitigate some of the effects for overnight charging but that still leaves the issue of daytime charging. …"

http://www.smartmeters.com/the-news/renewable-energy-news/2287-electric-cars-wheres-the-money.html

68 "... 82 percent used a wall-mounted charging box at home for 90 percent of their recharging needs ..."

http://www.greencarreports.com/news/1064491_bmws-uk-mini-e-test-ends-drivers-happy-but

69 Off-peak EV Charging to get Virginia Test

http://www.earthtechling.com/2011/08/off-peak-ev-charging-to-get-virginia-test/

70 Typisches Haushaltsprofil im Winter, Abbildung, VDEW

http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Lastprofil_VDEW_H0_Winter.png

[71] RWE Effizienz GmbH Geschäftsführer Ingo Alphéus: Wir wollen mit Ladesystemen Geld verdienen,

http://adacemobility.wordpress.com/2011/07/29/wir-wollen-mit-ladesystemen-geld-verdienen/

[72]

http://www.t-systems.de/tsip/de/380936/startseite/loesungen/news/details/2011-05-30-schlauer-strom-to-go

[73]

http://www.mvv.de/cms/konzernportal/de/mvv_energie_gruppe/mvv_energie_/innovation/modellstadt_mannheim/moma_startseite.jsp

[74] Deloitte Studie zu smart grid: http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Germany/Local%20Assets/Documents/07_EnergyAndResoruces/2011/ER_Studie_Smart_Grid_Executive_Summary_neu.pdf

[75] Power Grid International 6/11, Seiet 16

[76] Welche Netzdienstleistungen können Elektrofahrzeuge sinnvoll erbringen? http://www.net-elan.de/lw_resource/datapool/publications/Beitraege_EFz_zur_Netzstabilisierung_Poster.pdf

[77] Die Abbildung zeigt schematisch den Einsatz der unterschiedlichen Kraftwerkstechnologien für einen typischen Tagesgang (Werktag in einer Herbstwoche) des Stromverbrauches (sogenannter Lastgang) im deutschen Elektrizitätsnetz. Quelle: Seisofrei Wikipedia

[78] Aus Cars21.com: "Charging stations on display and the true price of recharging the Leaf - ELECTRIC JAPAN WEEKLY No27"

http://www.cars21.com/content/articles/61220110629.php

[79] Electric vehicles and smart charging can help integrate renewable energy http://www.pnnl.gov/news/release.aspx?id=887

[80] World energy Outlook 2010, Seite 10, http://www.iea.org/weo/docs/weo2010/weo2010_es_german.pdf

[81] Automakers gearing up on solar EV charging;

http://solarchargeddriving.com/news/solar-charged-driving/761-automakers-gearing-up-on-solar-ev-charging.html

sowie http://www.juwi.de/fileadmin/user_upload/de/pdf/PMs_Elektromobilit %C3 %A4t/PM_Er %C3 %B6ffnung_Solarcarport_2011.02.pdf

82 Photovoltaik verursacht Preiseinbruch an Strombörse, http://www.cleanenergy-project.de/17862/

83 http://www.welt.de/print/wams/vermischtes/article13450583/Der-grosse-Solarschwindel.html

84 Eigene Recherche sowie PHOTON 2011-08 August, Seite 114, Sonne Wind & Wärme 13/2011

85 Nissan, Second Life Batteriespeicher, Abbildung

http://newsroom.nissan-europe.com/de/de-de/multimediacenter/images.aspx?filt

86 Nissan using old leaf Batteries in new solar charging station http://reviews.cnet.com/8301-13746_7-20080491-48/nissan-using-old-leaf-batteries-in-new-solar-charging-stations/?part=rss&tag=feed&subj=GreenTech

87 Plugincars.com: "Eight Tips to Extend Battery Life of Your Electric Car"

http://www.plugincars.com/eight-tips-extend-battery-life-your-electric-car-107938.html

88 15. Internationale Passivhaustagung , Juni 2011,
http://www.passivhaustagung.de/fuenfzehnte/download/Presse/15IPHT_PM_Nachlese_DE.pdf

89 TU Darmstadt „Plus-Energie-Haus mit Elektromobilität“ http://www.energycenter.tu-darmstadt.de/media/energycenter/energy_center_pdfs/energiekolloquium_2011/252011fgee_dashaus.pdf

90 Bine Informationsdienst:: Mehr Häuser sollen Kraftwerke sein.
http://www.bine.info/hauptnavigation/themen/news/mehr-haeuser-sollen-kraftwerke-sein/

91 http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/B/niedrigenergiehaeuser-im-bestand.html

92 15. Internationale Passivhaustagung 2011,
http://www.passivhaustagung.de/fuenfzehnte/download/Presse/15IPHT_PM_Nachlese_DE.pdf

93 Stephan Kohler, Deutschen Energie Agentur: Energieeffizienz in Gebäuden,
http://www.dena.de/download/komm/Vortrag_Stephan_Kohler.pdf

94 http://www.baupraxis-blog.de/niedrigstenergiehaus/

95 Elektromobilität in Österreich, Momentaufnahme der Forschung und Industrie 2010
http://www.acstyria.com/uploads/Broschuere %20Elektromobilitaet.pdf

96 San Francisco smoothes path for electric car chargers in every new home,
http://www.businessgreen.com/bg/news/1803751/san-francisco-smooths-path-electric-car-chargers-home

97 Dr. Jürgen Waffner, RWE: Wir bringen grünen Strom auf die Straße.
http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/de/535144/data/535218/2/rwe-studienfoerderung/rwe-

hochschuldialog/hochschuldialog-2010/vortraege/E-mobility-Wir-bringen-gruenen-Strom-auf-die-Strasse.pdf

98 „Elektromobilität Forschungsthemen und Auswirkungen auf die Infrastruktur, RWTH Aachen, IFHT, 2010, http://www.nrwspartenergie.de/_database/_data/datainfopool/FK2010-B-Schnettler.pdf

99 „Paradigmenwechsel - Elektromobilität als Teil der individuellen Mobilität der Zukunft?“ Öko-Institut 2011 http://www.oeko.de/oekodoc/1267/2011-402-de.pdf

100 http://ww2.autoscout24.de/mz_home.aspx?article=253997&intcidm=RSS

101 Mobilität in Deutschland; http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Kurzbericht_I.pdf

102 VDE-Studie "Elektrofahrzeuge – Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf", April 2010, Seite 209,210

103 6. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien 2009, http://eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/events/iewt/iewt2009/papers/3C_4_BIRNBAUM_U_P.pdf

104 BMU Pressedienst Nr. 129/11 -- Erneuerbare Energien

105 Abb.:Tägliche Ankunftszeit am Stellplatz und kumulierte Ankunftszeit. Quelle: Electric Power Research Institute 2011

106 RWE Elektromobilität „wir bringen grünen Strom auf die Straße http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/de/535144/data/535218/2/rwe-studienfoerderung/rwe-hochschuldialog/hochschuldialog-2010/vortraege/E-mobility-Wir-bringen-gruenen-Strom-auf-die-Strasse.pdf

107 Elektromobilität Forschungsthemen und Auswirkungen auf die Infrastruktur http://www.nrwspartenergie.de/_database/_data/datainfopool/FK2010-B-Schnettler.pdf

108 Dr. Peter Asmuth: E-Mobility im Stadtwerk der Zukunft, 8.August 2011

109 Electric Power Research Institute: Transportation Electrification

http://my.epri.com/portal/server.pt?space=CommunityPage&cached=true&parentname=ObjMgr&parentid=2&control=SetCommunity&CommunityID=405

110 http://www.greencarcongress.com/2011/07/pjmbetter-place-study-finds-unmanaged-charging-of-1m-electric-cars-could-add-750m-in-annual-wholesal.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+greencarcongress %2FTrBK+ %28Green+Car+Congress %29

111 http://meregiomobil.forschung.kit.edu/downloads/VDE-Kongress_2010_Kaschub_Mueltin.pdf

[112] Fleet Electrification Roadmap, November 2010, Seite 88; http://www.prtm.com/uploadedFiles/Thought_Leadership/Articles/External_Articles/EC-Fleet-Roadmap-print.pdf

[113] http://www.greencarcongress.com/2011/02/accenture-study-finds-pev-rollouts-challenged-by-cost-of-charging-infrastructure-and-grid-management.html

[114] Electrification Coalition: Fleet Electrification Roadmap; Seite 12; http://www.prtm.com/uploadedFiles/Thought_Leadership/Articles/External_Articles/EC-Fleet-Roadmap-print.pdf

[115] http://www.vmf-fuhrparkmanagement.de/branche.html

[116] http://www.newfleet.de/news/artikel/lesen/2011/06/studie-elektromobilitaet-in-deutschen-fuhrparks-36890/

[117] "... Battery wear is a function of kWh throughput, depth of

discharge (as discussed in our companion article), and overheating

(running high-current discharging or charging long

enough to heat the battery, especially in hot weather)...." S. 5

Kempton, Willett and Tomic, Jasna (2004): Vehicle-to-Grid power implementation:

From Stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. Journal of

Power Sources

http://www.udel.edu/V2G/KempTom-V2G-Implementation05.PDF

[118] Energiewirtschaftliches Institut der Universität Köln: Potential der Elektromobiliät bis 2050. http://www.ewi.uni-koeln.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Studien/Politik_und_Gesellschaft/2010/EWI_2010-07-02_Elektromobilitaet-Studie.pdf

[119] Technology Review Oktober 2004 , Seite 104 .105; http://www.udel.edu/V2G/docs/Heuer-TechReviewV2G-04.pdf

[120] Hybrid-EV, Vol2, Issue 9; www.hybrid-ev.com

[121] http://www.energie-experten.org/experte/meldung-anzeigen/news/neue-ausschreibungsbedingungen-fuer-regelenergie-2369.htm l

[122] Mainova, erstes kabelloses Elektrofahrzeug mit Straßenzulassung,

http://www.mainova.de/unternehmen/presse/bilder_aktuelles.html

123 http://www.e-mobility-21.de/nc/related-e-auto-news/artikel/52865-mainova-und-lufthansa-testen-induktives-laden-am-flughafen-frankfurt-e-mobility-21de/187/

124 http://www.powersmartpricing.org/media/2011-Program-Guide.pdf

125 Energiekolloquium TU Darmstadt Energy Center, 8.2.2010. Elektrische Energieversorgungsnetze –

von Smart Grids, Verbundsystemen und Fernübertragungen,

http://www.energycenter.tu-Darmstadt.de/media/energycenter/energy_center_pdfs/elektrische_energieversogungsnetze_2010_02_08_v1_printversion.pdf

126 Marktakteure Erneuerbare – Energien – Anlagen In der Stromerzeugung Im Rahmen http://www.kni.de/pages/posts/neue-studie-bdquomarktakteure-erneuerbare-energien-anlagen-in-der-stromerzeugungldquo-32.php

127 Smart Home mit Steuerungs- und Datenverarbeitungs-Komponenten. Quelle EWE

128 Telefoninterview mit Professor Armin Schnettler am 05.010.2011

129 Wilfried Hennings & Jochen Linssen, Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Energieforschung - Systemforschung

und Technologische Entwicklung (IEF-STE) http://www.net-elan.de/lw_resource/datapool/publications/Netzdienstleistungen_Hennings_2010.pdf

130 Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse der dena Netzstudie 1, Seite 16; http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Dokumente/Projekte/ESD/netzstudie1/dena_netzstudie_I_zusammenfassung.pdf

131 Regelleistung gewährleistet die Versorgung der Stromkunden mit genau der benötigten elektrischer Leistung bei unvorhergesehenen Ereignissen im Stromnetz., vgl.: http://de.wikipedia.org/wiki/Regelleistung_%28Energie%29#Kosten_f.C3.BCr_Regelleistung

132 VDI 38/11: „Weiter Unsicherheiten nach EEG Novelle; http://www.vdi-nachrichten.com/artikel/Weiter-Unsicherheiten-auch-nach-EEG-Novelle/55061/2

133

http://www.handelsblatt.com/technologie/energie-umwelt/energie-technik/landwirte-bringen-die-energiewende/4651804.html?p4651804=all

134 http://www.autoobserver.com/2011/10/nissan-says-long-range-ev-unnecessary.html

135 http://www.lebenswelt-elektromobilitaet.de/media/Pr %C3 %A4sentationen/Engelhardt.pdf

136 Potentiale der Elektromobilität bis 2020; http://www.ewi.uni-koeln.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Studien/Politik_und_Gesellschaft/2010/EWI_2010-07-02_Elektromobilitaet-Studie.pdf

137 ADAC Motorwelt, 9/11 S. 33

138 "... people and processes in a mainstream organization cannot be expected to allocate freely the critical financial and human resources needed to carve out a strong position in the small, emerging market. Companies whose investment processes demand quantification of market sizes and financial returns before they can enter a market get paralyzed or make serious mistakes when faced with disruptive technologies. They demand market data when none exists and make judgments based upon financial projections when neither revenues or costs can, in fact, be known. ..."
"The Innovators Dilemma", von Clayton M. Christensen

139 http://www.economist.com/blogs/babbage/2011/05/electric_cars

140 Bucks for balancing: Can plug-in vehicles of the future extract cash – and carbon – from the power grid?; http://www.ricardo.com/Documents/Downloads/White %20Paper/Plug %20In %20Vehicle %20of %20Future/Bucks %20for %20balancing %20- %20can %20plug-in %20vehicles %20of %20the %20future %20extract %20cash %20 %E2 %80 %93 %20and %20carbon %20 %E2 %80 %93 %20from %20the %20power %20grid.pdf

141 Abb.: Toyota testet das Smart Home im Smart Grid mit Einbindung von Elektrofahrzeugen (Bild Toyota)

142 Mitsubishi beteiligt sich an der Entwicklung intelligenter Stromnetze; http://presse.mitsubishi-motors.de/press.php?id=201012080

143 Toyota arbeitet am intelligenten Stromnetz; http://www.toyota.de/about/news/details_2011_15.tmex

144 Honda signs E-Kizuna projekt..¸ http://www.greencarcongress.com/2011/05/honda-20110523.html

145 Bereitstellung der Strommenge für Elektromobilität ist keine große Herausforderung http://www.fraunhofer-isi-cms.de/elektromobilitaet/Media/forschungsergebnisse/13062438129058-10.92.21.153-Forschungsergebnisse_Elektromobilit %C3 %A4t_Energiewirtschaftl._Einbindung.pdf

146 http://www.lebenswelt-elektromobilitaet.de/media/Pr %C3 %A4sentationen/Steiner.pdf

147 Siehe: http://pv.energytrend.com/NRG_EV_20110927

148 http://www.innovations-report.de/html/berichte/studien/icar_junge_generation_vernetzte_auto_167196.html

149 Frost und Sullivan im Februar 2010

150 http://www.dir-info.de/finanzen/carsharing-geld-beim-autofahren-sparen.html

151 Repräsentative Umfrage der Universität Köln: http://www.isg-institut.de/Kontakt.php?id=0 http://www.motorvision.de/artikel/23-stunden-standzeit-autos-oft-ungenutzt,9301.html

152 http://whipcar.wordpress.com/

153 http://daily.sightline.org/2011/06/22/legalize-personal-car-sharing/

154 Telefonat mit Car2Go-Projektleiter Andreas Leo am 29. Juni 2011

155 http://www.kfz-betrieb.vogel.de/neuwagen/handel/articles/332093/

156 Telefonat am 28.09.2011

157 http://www.heise.de/autos/artikel/Daimler-will-in-drei-Jahren-mit-Car2Go-Gewinn-machen-1342731.html

158 http://www.reuters.com/article/2011/09/30/us-autos-france-bluecar-idUSTRE78T2EF20110930

159 http://www.youtube.com/watch?v=43bSUcmss_Q

160 Maggetto, G.; van den Bossche, P.: Inductive Automatic Charging - The Way to Safe, Efficient and User-Friendly Electrich Vehicle Infrastructure.In: Electric Vehicle Symposium EVS-18, pp. 20 - 24 October 2001, Berlin, Germany, Seite 5 http://scholar.google.de/scholar?hl=de&num=100&q=nductive+Automatic+Charging+ %E2 %80 %93+The+Way+to+Safe %2C+Efficient+and+User-Friendly+Electrich+Vehicle+Infrastructur&btnG=Suche&lr=&as_ylo=&as_vis=1

161 http://pubsindex.trb.org/view.aspx?id=491954

162 http://www.chinapost.com.tw/taiwan/local/taipei/2011/04/20/299309/Electric-vehicles.htm

163 Interview auf der IAA am 14.9.2011

164 Telefon-Interview am 28.4.2011

165 http://www.edag.de/pr/press/pressemeldungen_2011/pm_02_02_2011/de

166 http://www.technologicvehicles.com/en/actualite-mobilite-verte/487/geneve-2011-edag-light-car

167 http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA7503.pdf

[168] http://www.hr-online.de/website/specials/iaa2011/index.jsp?rubrik=67669&key=standard_document_42499132

[169] http://nitins-notes.blogspot.com/2010/09/cost-side-of-lithium-ion-batteries.html

[170] http://www.vda.de/de/meldungen/archiv/2009/09/18/2362/

[171] "... In the U.S., much of the government-funded R&D is performed by three DOE groups: Basic Energy Sciences, Advanced Research Projects Agency-Energy, and the Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE) Vehicle Technologies Program. They have a $94 million budget for fiscal year 2011, with EERE getting the bulk of the funding. Teams meet every few weeks to ensure that all three are current with developments and to prevent overlap, Howell noted.

The DOE research labs are working on long-term technologies. “My goal is to get these technologies to the point that automakers may pick them up in 2020,” Howell said. ..."

http://www.sae.org/mags/AEI/10172

[172] http://autogreenmag.com/tag/nissanleafev/page/3/

[173] http://www.theicct.org/2011/03/vehicle-electrification-policy-study/

[174] http://analysis.evupdate.com/industry-insight/united-states-battle-better-batteries

[175] www.net-elan.de/.../Total_Costs_of_Ownership_von_Elektrofahrzeugen.pdf

[176] http://futuremobility.blog.de/2010/01/23/zurueckhaltende-prognose-elektrofahrzeuge-7858261/

[177] www.business.library.wisc.edu/resources/kavajecz/10.../TeslaMotors_Report.pdf

[178] http://www.kfz-betrieb.vogel.de/index.cfm?pid=9415&pk=265814&p=3

[179] www.ourenergypolicy.org/docs/9/DB_evupdate030810.pdf

[180] http://www.miaccess24.com/chargeaccess24/electricvehicles.pdf

[181] http://www.hr-online.de/website/specials/iaa2011/index.jsp?rubrik=67669&key=standard_document_42499132

[182] Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts gemäß § 65 EEG ─

Endbericht des Vorhabens II c Solare Strahlungsenergie vom 01.06.2011, S. 190 - 207

[183] For companies, it may cost them INR30 to 40 for a full day charge, so it‘s such a small amount for their employees, so it is easy for them (companies) to add this as a feature for their employees.

Hybrid-EV, 3/11, S. 10

In Bangalore, where a number of REVA EVs are on the road, there is no designated public EV charging infrastructure ...

Policy options for electric vehicle charging infrastructure in C40 cities | R. Philip & A. Wiederer, März 2010, S. 23

184 Photon, 4/11, S. 40

185 http://www.epia.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/EPIA_docs/publications/epia/Competing_Full_Report.pdf&t=1320103640&hash=aa55657ea7907e07f294681ae730c8bf S. 14

186 pv magazine, 7/11, S. 78 pvXchange

187 Photon Profi, 7/09, S. 68: 2,49 USD/W im Juni 2009.

Photon Profi, 11/11, S. 64: 1,20 USD/W im September 2011

188 Bill Gates hat kürzlich auf der Computermesse Comdex Parallelen zwischen den Entwicklungsgeschwindigkeiten der Automobil- und der Computerindustrie gezogen:

"Wenn die Autoindustrie mit der Technologie so mitgehalten hätte, wie die Computerindustrie, dann würden Autos heute 25 Dollar kosten und ein 0,04 l-Auto sein."

http://www.pressebox.de/pressemeldungen/deutsche-gesellschaft-fuer-sonnenenergie-ev-dgs/boxid/178419

189 http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=photon %20modulpreisindex %202011&source=web&cd=16&ved=0CEIQFjAFOAo&url=http %3A %2F %2Fwww.bmu.de %2Ffiles %2Fpdfs %2Fallgemein %2Fapplication %2Fpdf %2Feeg_eb_2011_solare_strahlung_bf.pdf&ei=h7WtTtzyHsXLsgacnIXPDw&usg=AFQjCNG3EC1ofn1DvPnC0U5tTbekzawwBA&cad=rjt

Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichtes 2011 gemäß § 65 EEG, S. 307-308

190 http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Zukunftsfeld_Elektromobilitaet_rev_20110509.pdf

191 http://autogreenmag.com/tag/nissanleafev/page/3/

192 http://www.auto-motor-und-sport.de/news/Volkswagen-Batteriepreise-werden-noch-stark-sinken-3614090.html

193 http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Zukunftsfeld_Elektromobilitaet_rev_20110509.pdf

194 http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf

195 http://www.wiwo.de/technik-wissen/akkus-fuer-elektroautos-werden-billiger-481420/

196 http://finance.yahoo.com/news/44-Billion-By-2015-Predicted-twst-671221215.html?x=0&.v=1

http://www.panorientnews.com/en/news.php?k=631

197 Toyota Motor Corp's top engineer said the batteries that would power the electric RAV4 crossover being developed with Tesla Motors could cost as little as one-third of the electric car batteries being developed by conventional automakers.

http://www.reuters.com/article/2011/01/11/retire-us-autoshow-toyota-idUSTRE70A4QY20110111

198 VW testet Tesla: " … Gelingt es jedoch, Laptopzellen einzusetzen, könnte Volkswagen die Kosten um zwei Drittel senken – und der deutsche Nachzügler plötzlich der Konkurrenz vorauseilen. ..."

http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/volkswagen-will-rivalen-mit-laptopzellen-ueberholen/3509362.html?p3509362=all

199 http://www.greencarcongress.com/2011/11/tesla-20111103.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed %3A+greencarcongress %2FTrBK+ %28Green+Car+Congress %29

200 http://www.isuppli.com/semiconductor-value-chain/news/pages/lithium-ion-battery-market-set-for-boom-courtesy-of-hybrid-and-electric-vehicles.aspx

201 http://www.isuppli.com/semiconductor-value-chain/news/pages/lithium-ion-battery-market-set-for-boom-courtesy-of-hybrid-and-electric-vehicles.aspx

202 http://www.cleanthinking.de/markt-fuer-lithium-ionen-batterien-diese-fuenf-player-teilen-sich-bis-2015-den- markt/18722/

203 http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/warnung-vor-gewaltiger-batterie-blase/3375708.html

204 http://feedproxy.google.com/~r/greencarcongress/TrBK/~3/66Q27wGzpco/bnef-20110915.html

205 http://gigaom.com/cleantech/theres-a-severe-oversupply-of-electric-car-batteries-comin/

206 http://blog.mercedes-benz-passion.com/2011/09/die-neuen-preise-fur-den-smart-electric-drive-16-000-euro-steuer-zzgl-60-euro-pro-monat-fur-die-batteriemiete/

207 http://de.wikipedia.org/wiki/Kraftstoff#Vergleich_von_Kraftstoffen

208 http://www.vde.com/de/E-Mobility/Fahrzeugtechnik/Batteriesystem/Seiten/default.aspx

209 1.) Zink-Luft = 11.000 Wh/kg theoretische Energiedichte, Lithium-Schwefel = 3.350 Wh/kg theoretische Energiedichte

in: Zukunft der Akkutechnologien, S.13, ATZ Elektronik: Titelthema Zellchemie in Akkumulatoren, Ausgabe 2011-03, 6. Jahrgang Wiesbaden 2011

2.) Lithium-Luft = 13.000 Wh/kg theoretische Energiedichte

in: Universität Siegen: Fachbereich Maschinenbau, Institut für Fertigungstechnik, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Montage

http://wiki.zimt.uni-siegen.de/fertigungsautomatisierung/index.php/Energiespeicher/_Energiebereitstellung_f %C3 %BCr_Elektrofahrzeuge_ %E2 %80 %93_Alternativen_zur_Lithium-Ionen_Batterie_und_deren_Fertigung

210 http://de.wikipedia.org/wiki/Lithium-Ionen-Akkumulator#Lithium-Luft-Akkumulator

211 http://www.greencarcongress.com/2010/03/hassoun-20100312.html

212 http://www.building43.com/videos/2011/02/10/lithium-air-ibms-quest-for-the-super-battery/

213 http://www.sciencedaily.com/releases/2011/09/110923105508.htm

214 http://www.elektroniknet.de/automotive/news/article/77191/

215 Gespräch mit kiefermedia, 13.09.2011, IAA Frankfurt

216 Gespräch mit kiefermedia, 13.09.2011, IAA Frankfurt

217 Gespräch mit kiefermedia, 14.09.2011, IAA Frankfurt

218 Gespräch mit kiefermedia, 13.09.2011, IAA Frankfurt

219 http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/zwischenbericht-ag5,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf

220 http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/zwischenbericht-ag5,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf

221 http://en.wikipedia.org/wiki/BYD_e6#China

222 http://www.greencarcongress.com/2011/07/lfp-20110704.html

223 (1) Schnellladen von Elektrofahrzeugen in nur 5 Minuten

Dennoch bilden Reichweitenängste, d.h. die Befürchtung liegen zu bleiben und mehrere Stunden warten zu müssen, bis das Fahrzeug wieder aufgeladen ist, eine bedeutende psychologische Hürde bei der Nutzung von Elektroautos. So wurde bei einem 2007 in Tokio durchgeführten Feldversuch deutlich, dass die Teilnehmer der Studie die Batteriekapazität ihrer Fahrzeuge auf

Grund der Reichweitenangst bei weitem nicht ausschöpften. Wie ein weiterer Feldversuch in Tokio im Jahr 2008 gezeigt hat, wurde durch den Einsatz von nur zwei Schnellladesäulen im Stadtgebiet die durchschnittliche monatliche Fahrleistung von Elektroautos verfünffacht." (1)

http://www.ureader.de/msg/14548003.aspx

(2) 11.10.2011:Tesla Model S Evolution in der Wüste

Tatsächlich aber wurden die Säulen nach ihrer Aufstellung kaum genutzt, während die E-Auto-Fahrer, die sie hätten nutzen können, plötzlich viel weitere Strecken als zuvor zurücklegten. Diese Ladestationen waren also eher von psychologischer Bedeutung und brachten lediglich ein höheres "Sicherheitsfeeling" mit sich (2).

http://www.sueddeutsche.de/auto/tesla-model-s-evolution-in-der-wueste-1.1158395

(3) E-Laterne Anforderungen an eine Ladeinfrastruktur.

Tatsächlich fokussiert sich der Bedarf an Schnellladen auf einige wenige Bedarfsfälle (3)

http://e-auto-infrastruktur.com/anforderungen.php

224 McKinsey, “Electric Vehicles in Megacities”

EV driving range too short, 69 % Strongly agree and agree, 28 % Somewhat agree and somewhat disagree

"Dense public charging infrastructure not a necessary requirement to drive early EV adoption in Shanghai ... The effect of dense public charging infrastructure availability on early EV adoption is modest" S. 14

http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=mckinsey %2C %20 %E2 %80 %9Celectric %20vehicles %20in&source=web&cd=7&sqi=2&ved=0CGMQFjAG&url=http %3A %2F %2Fonline.wsj.com %2Fpublic %2Fresources %2Fdocuments %2Fmckinsey_electric_vehicle_0113.pdf&ei=VqmxTu_jHcOQswb1xMVw&usg=AFQjCNES_jpjiAsrfZdSAgwWt7nmcSnwSg&cad=rjt

225 “… The Nikkei reports that Toyota Motor Corp. and its partners the Tokyo Institute of Technology and the High Energy Accelerator Research Organization have devised a prototype solid-state Li-ion storage battery and aim to improve and then commercialize it in the 2015-2020 timeframe.

Since the battery can easily be processed into sheet form, it can store several times the amount of electricity, volume for volume, than the current generation of electric vehicle batteries, according to the developers. This added capacity may extend the maximum driving distance per charge for compact EVs to around 1,000 km [621 miles] from the 200 km or so for existing vehicles.

Currently, Li-ion batteries with high energy and power densities used organic liquid electrolytes; these, however, require relatively stringent safety precautions, making large-scale systems more

complicated and expensive. The use of solid electrolytes—which would address many of those issues associated with the liquid electrolytes—is currently limited by their conductivities.

Toyota and its partners earlier this year published a paper in the journal Nature describing the development of a lithium superionic conductor Li10GeP2S12 that has a new three-dimensional framework structure. Kamaya et al. reported that the new material exhibits an extremely high lithium ionic conductivity of 12□mS□cm−1 at room temperature, representing the highest conductivity achieved in a solid electrolyte, exceeding even those of liquid organic electrolytes.

The new solid-state battery electrolyte has many advantages in terms of device fabrication (facile shaping, patterning and integration); stability (non-volatile); safety (non-explosive); and excellent electrochemical properties (high conductivity and wide potential window).

Resources

Noriaki Kamaya, Kenji Homma, Yuichiro Yamakawa, Masaaki Hirayama, Ryoji Kanno, Masao Yonemura, Takashi Kamiyama, Yuki Kato, Shigenori Hama, Koji Kawamoto and Akio Mitsui (2011) A lithium superionic conductor. Nat Mat. 10, 682–686 (2011) DOI: 10.1038/nmat3066 … »

http://www.greencarcongress.com/2011/10/toyota-20111019.html

226 Sakti3 Feststoffbatterie halbiert Bauraum und Kosten bzw. verdoppelt Reichweite

http://www.technologyreview.com/energy/37199/

227 "Researchers from the Karlsruher Institut für Technologie (KIT) have developed and demonstrated secondary (i.e., rechargeable) battery cells based on a fluoride shuttle. A paper on their work is published in the RSC Journal of Materials Chemistry. The team also presented the work at the recent 220th meeting of the Electrochemical Society (ECS) in Boston.

Metal fluorides may be applied as conversion materials in lithium-ion batteries. They also can enable lithium-free batteries comprising a fluoride-containing electrolyte; a metal anode; and metal fluoride cathode. Instead of the lithium cation (as in Li-ion batteries), the fluoride anion takes over charge transfer. The resulting fluoride-ion batteries can reach a much better storage capacity and possess improved safety properties, according to the team.

As several electrons per metal atom can be transferred, this concept allows to reach extraordinarily high energy densities—up to ten times as high as those of conventional lithium-ion batteries. ..."

http://www.greencarcongress.com/2011/10/kit-20111021.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+greencarcongress %2FTrBK+ %28Green+Car+Congress %29

228 "... Ein neues Speichermaterial für Lithium-Ionen-Akkus von Elektroautos hat das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickelt. Die Eisen-Kohlenstoff-Struktur soll dank der Durchsetzung mit Kohlenstoffdrähten deutlich mehr Energie auf kleinem Raum speichern können als

herkömmliche Materialien. Die Speicherdichte von Lithium-Ionen-Batterien soll sich dadurch um den Faktor fünf verbessern, was für eine höhere Reichweite von Elektroautos bei gleicher Akkugröße sorgt. Vorgestellt wird die Technologie nun auf der IAA in Frankfurt (15. Bis 25. September).

Die Halbierung der Herstellkosten für Batterie und Antriebsstrang in Elektroautos bis 2018 ist möglich, wenn die Lücken in der Innovationskette geschlossen werden. Für dieses Ziel entwickeln Die Wissenschaftler des KIT wollen industrienahe Lösungen für Energiespeicher und Antriebssysteme entwickeln und sie auf Systemebene zusammenführen. ..."

http://www.automobil-industrie.vogel.de/index.cfm?pid=8698&pk=330470&cmp=rss-bep

229 GM rechnet mit Feststoffbatterien und 300 % höherer Energiedichte zu halbem Preis bereits in 5 Jahren

"... This fundamental materials breakthrough, coupled with our proprietary low-cost manufacturing process, will render traditional chemical batteries obsolete. It will allow solid-state battery fabrication that will enable manufacturers to increase their capacity by 200 to 300 percent, while reducing costs more than 50 percent.

Bill Wallace, General Motors' director of global battery systems engineering, states:

Though risky, we do believe that solid-state lithium ion batteries have merit and we are working on their development. We see them on a potential five-year time horizon, assuming certain significant shortcomings can be resolved. ..."

http://green.autoblog.com/2011/10/07/solid-state-battery-updates/

230 Toyota Tests And Rejects Lithium-ion Batteries For The Prius

Yesterday and this morning we learned that after secretly testing a fleet of 126 Prius Hatchbacks with lithium-ion battery packs for three years, Toyota Motors (TM) has decided to stick with its tried and true nickel metal hydride, or NiMH, battery technology for the foreseeable future.

http://www.altenergystocks.com/archives/2009/09/toyota_tests_and_rejects_lithiumion_batteries_for_the_prius_1.html

231 Göschel in der ATZ: "...Statt in der Lithium- Ionen-Technik, einer vergleichsweise alten Batteriechemie, den Japanern und Koreanern hinterher zu laufen, sollten wir uns in der Forschung einen weiten Sprung nach vorne wagen.

Sie meinen Lithium-Luft-Technik?

Wenn der Hochtechnologiestandort Deutschland eine wahrhafte Führungsrolle beanspruchen möchte, dann bietet sich diese Technologie nach heutigem Kenntnisstand an. Der Weg dorthin ist noch weit. Aber IBM investiert heute schon hohe Summen in Lithium-Luft-Batterie. Eine fünffach

höhere Energiedichte ist schon eine tolle Perspektive. IBM ist auf einem guten Weg ist. Produktionstechnisch ist das dann noch einmal Neuland. Deutsche Firmen sollten auf die Überholspur.

http://www.atzonline.de/Aktuell/Interviews/35/232/Das-Tempo-ist-schon-enorm-hoch.html

232 " … Batteries are a key technology in modern society1, 2. They are used to power electric and hybrid electric vehicles and to store wind and solar energy in smart grids. Electrochemical devices with high energy and power densities can currently be powered only by batteries with organic liquid electrolytes. However, such batteries require relatively stringent safety precautions, making large-scale systems very complicated and expensive. The application of solid electrolytes is currently limited because they attain practically useful conductivities (10–2□S□cm–1) only at 50–80□°C, which is one order of magnitude lower than those of organic liquid electrolytes3, 4, 5, 6, 7, 8. Here, we report a lithium superionic conductor, Li10GeP2S12 that has a new three-dimensional framework structure. It exhibits an extremely high lithium ionic conductivity of 12□mS□cm–1 at room temperature. This represents the highest conductivity achieved in a solid electrolyte, exceeding even those of liquid organic electrolytes. This new solid-state battery electrolyte has many advantages in terms of device fabrication (facile shaping, patterning and integration), stability (non-volatile), safety (non-explosive) and excellent electrochemical properties (high conductivity and wide potential window)9, 10, 11. …"

http://www.nature.com/nmat/journal/v10/n9/full/nmat3066.html

233 "… NISSAN recommends using normal charging for

usual charging of the vehicle. Use of quick

charge should be minimized in order to help

prolong Li-ion battery life. …"

Nissan Leaf USA, Bedienungsanleitung, „2011 Leaf Owner´s Manual", S. 55

234 " … Toyota, in cooperation with the Tokyo Institute of Technology and the High Energy Accelerator Research Organization, has developed a prototype battery that can be processed into sheet form. The battery has up to five times the energy storage capacity of existing Li-ion batteries, the Nikkei reported Monday.

The new battery is based on a solid core and its simplified structure means it does not require fire-retardant materials. It eliminates the disadvantages of lithium-ion batteries, which are based on an easily heatable and combustible liquid core.

Toyota plans to improve the battery and commercialize it sometime in 2015 to 2020.

Japan's New Energy and Industrial Technology Development Organization predicted it will be possible to cut the battery production cost to one-fifth to one-tenth the current level by 2020. …"

http://electric-vehicles-cars-bikes.blogspot.com/2011/10/toyota-developing-ev-battery-with-five.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed %3A+blogspot %2FpEcq+ %28Electric+Vehicles %29

235 Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität

"Die Lithium-Ionen-Technologie bietet zurzeit die beste Batterieoption zur Erzielung akzeptabler Reichweiten für die Applikationen EV-, Plug-In und Range-Extended-Fahrzeuge. Ausgedehnte Forschung an Post-Li-Ionen-Technologien, wie Li-S- und Li/Luft-Systeme, bieten neue Optionen für 2025+." S. 19

236 Both G-Stations (Type A and Type B) are compatible with the vast majority of plug-in vehicles. The Type A (standard) charging station will be priced at 280,000 yen ($3,469 U.S. at the current exchange rate) and the Type B (advanced) charger will cost 448,000 yen ($5,549 U.S.). Toyota claims that Type A G-Station will be the industry's most affordable charger with telecommunications capabilities.

green.autoblog.com/2011/06/22/toyota-to-sell-g-station-chargers-starting-in-july/

"Die Standardversion ist für umgerechnet rund 2.420 Euro (zzgl. MwSt.) erhältlich und damit das

preisgünstigste Ladegerät mit Telekommunikationsfunktion auf dem japanischen Markt."

Toyota Pressemitteilung v. 22.06.11

237 Die durchschnittliche Fahrleistung von Privat-Pkw nahm in Deutschland - nach einer einheitsbedingten Zunahme zu Beginn der 1990er Jahre - ab: 1970 lag sie noch bei 15.300 km/a, 2004 bei 13.000 km/a und 2006 nur noch bei 12.600 km/a [BMVBS07s, S. 157]. Ursachen für diesen Rückgang sind vor allem eine höhere Pkw-Dichte bzw. eine gestiegene Anzahl von Pkw je Haushalt [BMVBS06i, S. 53]. Nach [infas10] liegt die Jahresfahrleistung aktuell bei 14.300 km/a (Benzinfahrzeuge 11.800 km, Dieselfahrzeuge 22.300 km). [infas10, Ergebnisbericht, S. 164] Problematisch bei diesen aktuellen Angaben ist, dass seit 2007 die durchschnittlichen Fahrleistungen ohne vorübergehend abgemeldete Fahrzeuge in den Statistiken dargestellt werden.

Gemäß [DIW03d] fahren von den Erst-Pkw je Haushalt 27 % weniger als 10.000 km/a [DIW03d, Haushalte, S. 66]. Bei den Zweit- und Dritt-Pkw fahren jeweils 36 % weniger als 10.000 km/a. 8 % der Zweitwagen und 15 % der Drittwagen werden sogar weniger als 5.000 km/a genutzt. Dies sind Größenordnungen in denen die Nutzung von CarSharing-Angeboten (soweit vorhanden) für den Pkw-Nutzer in der Regel günstiger ist. Nur 17 % der Zweit- und Drittwagen werden mehr als 20.000 km/a gefahren (vgl. Abb. 1) [DIW03d, S. 68ff]. Solche Auswertungen sind in [infas10] nicht mehr enthalten. Jedoch liegt die Jahresfahrleistung bei 34,3 % aller Pkw bei unter 10.000 km/a. [infas10, Autos, S. 25]

http://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/80865/

238 Normally, most of your

requirements for city mobility are

during the day. Hence, charging

at night will not interfere in your

daily travel plans.

2. If the temperature of the

environment where you are

charging your car is cool, the

life of the Power Pack will be

extended.

Reva, G Wizz Bedienungsanleitung S. 41

239 NISSAN recommends that you connect the

normal charge cable when getting out of the

vehicle, even if it is not going to be used.

Nissan Leaf USA, Bedienungsanleitung, S. 55

240 "AM TAG FAHREN – NACHTS LADEN"

Datenblatt i-MiEV, Stand April 2011

241 Tesla recommends plugging your Model S in each night or when convenient to maintain optimum driving range and battery health.

http://www.teslamotors.com/models/facts

242 NISSAN recommends using normal charging for

usual charging of the vehicle. Use of quick

charge should be minimized in order to help

prolong Li-ion battery life.

...

Nissan Leaf USA, Bedienungsanleitung, S. 55

243 In November 2010, Shenzhen‘s Vice-Mayor Tang Jie said the city plans to have 35,000 electric cars on its roads within three years. ...

The Chinese government aims to install a total of 12,750 charging points in Shenzhen over the next few years.

In October 2010, the Shenzhen city govern-ment also announced to earmark CNY50bn (US$7.53) to build a clean energy vehicle manufacturing base in the city by 2015. The site will be spread

across an area of 10-15km2 and will house combined manufacturing equip-ment from a number of clean vehicle makers. The base expects to produce up to 300,000 vehicles per year apart from developing parts such as batteries and engines. By 2015, the government aims to generate annual sales revenue of over CNY80bn (US$11.98bn) from the site.

Shenzhen also became the first Chinese city to deploy a fleet of 30 electric taxis in May 2010. The taxis were e6 electric vehicles sup-plied by BYD to local taxi operator Pengcheng Taxi Company.

Hybrid-EV, 1/11, S. 13

244 Though the term did not enter popular use in the U.S. until the California electricity crisis of the early 2000s, outages had indeed occurred previously. The outages were almost always triggered by unusually hot temperatures during the summer, which causes a surge in demand due to heavy use of air conditioning.

http://en.wikipedia.org/wiki/Rolling_blackout#California

While the winter power projection shortfalls are new, since April Chinese power plants have been battling electric power shortages due to a perfect storm of increasing demand, higher coal prices and a drought in southern China diminishing hydroelectric electrical output, as precipitation was 50 percent below recent annual averages, which in turn caused a 20 percent reduction in projected hydroelectric power generation growth.

http://www.energychinaforum.com/news/56451.shtml

Euphemistically called "load sharing," such brownouts are common in Bangalore.

http://www.wired.com/wired/archive/4.02/bangalore_pr.html

India is the fifth largest producer and con-sumer of electricity in the world, with an estimated installed capacity of 160GW in 2010. For the next decade, the government has laid out a strategy to diversify its energy mix and add significant renewable energy capacity. Dr. Farooq Abdullah, Minister of New and Renew-able Energy says, —Although we have seen impressive increase in installed capacity addi-tion, from barely about 1.3GW at the time of independence (1947) to about 160GW today; over 90GW of new capacity is required in the next seven years. A corresponding investment is required in transmission and distribution.

Hybrid-EV, 3/11, S. 13

245 PG&E's Time-of-Use (TOU) Low Emission Vehicle rate is known as the "E-9 rate" (Schedule E-9). The E-9 rate is mandatory for those customers that are currently on a residential electric rate and who plan on refueling an EV on their premises. The rate is as low as 5 cents/kWh and as high as 28 cents/kWh depending on the time of day, day of the week and time of year.

http://www.newrules.org/environment/rules/plugin-electric-vehicles/electric-vehicle-charging-rates

246 In India, nearly 85,000 units of electric two-wheelers are produced annually. With the incentives in place, SIAM predicts a growth of 100 % in the Indian electric two-wheelers industry in the coming two years.

Hybrid-EV, 3/11, S. 13

247 … connect the

normal charge cable when getting out of the

vehicle, … By

doing this, you can get the most out of the

remote climate control and A/C-heater timer

(Climate Ctrl. Timer) functions the next time

you use the vehicle.

Nissan Leaf USA, Bedienungsanleitung, S. 55

248 Toyota testet im zur Zeit im Rahmen eines Projektes das Toyota Smart Center System zur Steuerung intelligenter Häuser. Das System regelt die Speicherung elektrischer Energie in Batterien und die elektrische Wasserheizung unter Berücksichtigung von Verbrauchsmustern und Ladezuständen.

http://www.wattgehtab.com/images/stories/news/toyota/g-station_schema_150611.jpg

249 As and electric vehicle owner, you should charge up your vehicle as often as possible. Do not wait till it gets empty since it will decrease the life of your battery. The depth of discharge (DOD) dramatically affects your battery. Ideally you should plug in your vehicle to recharge after every drive.

http://www.evfuture.com/articles/maximizing_battery_life/

250 Toyota bietet für die nächsten beiden EFZ schon gar kein Schnellladen mehr an, nennt Batterielebendauer als Grund

"Toyota Motor Corp. confirmed that a battery-powered version of the RAV4

SUV that it is developing with Tesla Motors will be sold to the general

public, but the company has no plans to offer fast-charging options for

the vehicle. The company also said an all-electric version of the Scion

iQ city car that debuts later this year will be sold only to fleets when

production of the electric vehicle begins in 2012. Toyota refuted

earlier reports that the RAV4 EV would be sold as a fleet-only vehicle.

The automaker will provide only so-called Level 1 (110 volt) and Level

2 (220 volt) charging capabilities for the RAV4 EV, which will start

production next year.

Toyota is waiting for the Society of Automotive Engineers International (SAE) to reach an agreement on the standardization of fast-charging products and will further study fast-charging's impact on battery life before providing such capability on any of its battery-electric or plug-in hybrid electric vehicles, Toyota spokesman John Hanson told AutoObserver in an e-mail. Industry watchers are looking at fast-charging systems as a key factor to accelerating electric-drive vehicle sales because many potential buyers may balk at the eight to 12 hours it takes to fully recharge an electric-vehicle battery with a Level 2 charger. Fast chargers (typically 450 to 480 volts) can cut the recharge time down to less than an hour and may provide as many as 30 miles worth of juice in as little as 10 minutes. ..."

http://www.autoobserver.com/2011/07/toyota-nixes-fast-charging-rav4-ev-for-now.html

251 Panasonic Invests $30 Million in Tesla

http://www.wired.com/autopia/?p=29220

252 Toyota gets Tesla stake, Tesla gets Toyota factory

http://www.reuters.com/article/2010/05/21/tesla-toyota-idUSN2023511120100521

253 Tesla S Ladetechnik

http://www.teslamotors.com/models/facts

254 Besides Nissan, the only other automaker which supports fast charging is Tesla Motors, although limited to 240V, 70A. The OEM‘s flag-ship Roadster electric is designed to accept charge at the maximum rate of 16.8kW meaning that the 53kWh lithium-ion battery can be spruced up in less than four hours. Designed in the early days of vehicle electrification when even lesser standards were around, Teslas Roadster does not support Level 3 charging but the 70A charge acceptance feature makes up for the extraordinarily large battery.

The charger designed by Clipper Creek, works on a single phase and thus, can be used by residential as well as commercial establishments. For its upcoming Model S sedan, Tesla plans to offer DC fast charging option. Tesla has managed the heat issue with a cooling system that works even when the vehicle is being charged. Similar actions are expected from other automakers.

Advancements in battery chemistry are also likely to reduce the negative effects of fast charging and that could aid in the wider acceptance of EVs. ..."

Hybrid EV, Vol 2, issue 5, 3/11, S. 20

255 Charging Time

Q: I've heard those new super-batteries with nanotechnology can be charged in only ten minutes! Can the Tesla Roadster?

No. The commodity Li-ion cells used by Tesla can't accept a charge that fast. Even if the battery could take it, fast charging would require some very special -- and very expensive -- equipment to provide enough current. According to AltairNano, their fast-charging system requires 480 volts and 500-1000 amps of current. In comparison, the standard Tesla charging station draws 70 amps at 220 volts, which is about as much as you can reasonably get in a residential setting. This allows a complete dead-to-full charge in about 4 hours. It's still a lot faster than most EVs of the past.

Charging from a 50-amp RV hookup (using the Tesla portable charging kit) takes about six hours. Charging from a 110-volt outlet would take over 30 hours.

All this waiting comes into play only when the battery is really empty and you need to wait for it to charge up. Usually you won't be doing it this way at all so charging time looses much of its importance. Usually you'll arrive home with some charge left in the battery and just plug it in. Next day in the morning you'll find your car at full ready for another 200 miles or so. Owning an EV needs some mental adjusting, you treat it a little differently than a gas car.

http://www.teslamotorsclub.com/faq.php#chargetime

256 "... We need to learn from the reality of how people use plug-in vehicle infrastructure, not base it on how people use petrol / diesel cars ..." [The London OLEV spokesperson]

Hybrid-EV, 7/11, S. 17

257 "... It may not be necessary to install so many quick chargers because daily driving

range is limited and chargers are not used so often...."

Development of Quick Charging System for Electric Vehicle, Takafumi Anegawa, Tokyo Electric Power Company, S.10

258 "... We found that quick chargers weren’t used frequently and numbers of quick charging didn’t increase even after installation.

Why quick chargers weren’t used frequently even though average cruising range increased considerably? ...

We think that this is a psychological effect of the quick charger to EV users.

Based on these experiences, we can say the following things.

…

- too many quick chargers are not needed to satisfy EV users ..."

Development of Quick Charging System for Electric Vehicle, Takafumi Anegawa, Tokyo Electric Power Company, S.7

259 „… TEPCO proposes non-exclusive quick charger concept cooperate with Mitsubishi,

Subaru, Nissan and some other automakers."

Development of Quick Charging System for Electric Vehicle, Takafumi Anegawa, Tokyo Electric Power Company, S.10

260 " ... Mit der kostenlosen Bereitstellung von 400 neuen Schnellladestationen beschleunigt Nissan den Aufbau eines europaweiten Netzes von Stromtankstellen für Elektrofahrzeuge.

Das bestehende Netz wird mit den neuen Ladestationen ausgeweitet und bietet den Fahrern von Elektrofahrzeugen damit erheblich mehr Flexibilität. Mit den Schnellladestationen können die Lithiumionen-Batterien des Elektrofahrzeugs Nissan Leaf in nur 30 Minuten auf 80 Prozent ihrer Kapazität aufgeladen werden. Zusammen mit der Reichweite des Leaf von bis zu 175 Kilometern erlaubt das dichtere Netz von Ladestationen einen noch flexibleren Einsatz des Elektrofahrzeugs auch auf besonders langen Strecken.

Die kostenlose Bereitstellung der Schnellladestationen durch Nissan folgt auf eine Vereinbarung zwischen dem japanischen Automobilhersteller und fünf führenden europäischen Unternehmen auf dem Gebiet der Elektro-Infrastruktur über den beschleunigten Aufbau eines Stromtankstellennetzes. Diese neuen Stationen sind kleiner und etwa um die Hälfte günstiger als bisherige Schnelllader. Ziel ist es, bis Ende 2012 ein Netz von mehreren tausend Stationen in ganz Europa aufzubauen, das bis 2015 auf mehrere zehntausend Stationen wachsen soll.

..."

http://dmm.travel/news/automobil/artikel/lesen/2011/11/nissan-erweitert-stromtankstellennetz-in-europa-39568/

261 "... Japanese government "Ministry of Economy, Trade and Industry(METI)" offers a

grant to the purchasers of EV or quick charger. In case of EV purchase, they can receive

a grant equivalent to half of the differences between EV and the same size of gas

vehicle. And in case of the quick charger, a grant is equivalent to half of the standard

price determined by the average retail price of quick chargers.

From this year, Mitsubishi Motors and Nissan will start selling their EV to ordinary

people in not only Japan but also the U.S. and Europe. ..."

Development of Quick Charging System for Electric Vehicle, Takafumi Anegawa, Tokyo Electric Power Company, S. 9

262 "... We’ve named this association “CHAdeMO” and made

its trademark ... . This is an abbreviation of

“CHArge de MOve", equivalent to “charge and move”.

This association will the check the compatibility of EV

and quick chargers with the quick charging

specifications ..."

Development of Quick Charging System for Electric Vehicle, Takafumi Anegawa, Tokyo Electric Power Company, S.10

263 CHAdeMO is short for Charge de Move, equivalent to "charge for moving". It is a pun for the Japanese phrase "O cha demo ikaga desuka", meaning:

"Let's have a cup of tea while charging"

http://park-charge.com/index.php?pageId=29

264 „ ... It’s very important to standardize the designing

specifications of the quick charger in order to secure

the charger versatility to all kinds of EV and to

prevent the spread of charger imitations.

To realize the standardization, TEPCO and EV makers

decided to establish the association to discuss

technical issues or other ones regarding the EV

promotion. ...“

Development of Quick Charging System for Electric Vehicle, Takafumi Anegawa, Tokyo Electric Power Company, S.10

265 "If you're considering a Nissan Leaf optioned with Level 3 DC quick-charging, you've probably been told, as we have, that you shouldn't make too regular a habit of getting a quick charge. Doing it daily, or even a few times a week, is probably a little too often. …

… Bryan Arnett, manager of EV product strategy for Mitsubishi Motors North America …

It would be bad if the battery were to be quick-charged every time, he said, but not in the context of extending range midday, between overnight charges. ..."

http://www.greencarreports.com/news/1067070_dc-quick-charging-mitsubishi-says-you-can-do-it-every-day

266 "... It’s not necessary to make a business model that a few companies install chargers in a large scale, like gas stands. ..."

Development of Quick Charging System for Electric Vehicle, Takafumi Anegawa, Tokyo Electric Power Company, S.9

267 "... Toyota could learn a lot from Tesla's entrepreneurial drive.

"Toyota was once a start-up company," he said through a translator at the news conference, also attended by California Governor Arnold Schwarzenegger.

"Working with Tesla will provide us with a powerful stimulus," he said. ..."

http://www.reuters.com/article/2010/05/21/tesla-toyota-idUSN2023511120100521

268 http://www.americanvanadium.com/lithium-vanadium-batteries.php

269 http://news.consumerreports.org/cars/2011/11/toyota-bundles-installation-with-ev-charger-for-prius-plug-in.html

270 http://www.sae.org/mags/AEI/10312

271 http://www.cleanthinking.de/streitgespraech-zwischen-opel-und-daimler-beim-e-monday/21328/?

272 This device mainly consists of low tech electronics and standard commodities like stainless-steel for the body etc. – which prices

are again are relatively insensitive to scale. The general expectation is therefore that scale cost reduction will not play a major part for individual charging stations.

Policy options for electric vehicle charging infrastructure in C40 cities | R. Philip & A. Wiederer

273 The battle to bring down prices could be a long and difficult one, especially if we are to achieve the recommendation from the Commit-tee on Climate Change of getting 1.7 million plug-in electric vehicles on the road by 2020.□ adds Glaister.

Hybrid-EV, 7/11, S. 17

274 Early to Mid-Adopters will likely be younger, more affluent and educated, and politically liberal than Late Adopters.

Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, S. 50

275 http://www.autoobserver.com/2011/10/nissan-says-long-range-ev-unnecessary.html

276 "... BEVs with a 100-mile range is a realistic possibility for most drivers in L.A.—even accounting for reduced range in urban terrain. However, there is a disconnect between actual and perceived range needs. Greater education regarding true range needs of L.A. residents and how EVs can be integrated into actual driving patterns will help mitigate range anxiety for much of the population.

 If 30 to 50 miles of range is enough for over 70 % of L.A.'s population, 4 to 6 hours of Level I charging per night may be enough to meet the needs of the majority of L.A. drivers...."

Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, S. 66

277 " … Position the EV as an additional vehicle for households with multiple vehicles. Households with multiple vehicles may have the greatest opportunity to accommodate an EV because of the flexibility provided by multiple vehicle options. L.A. is especially suited for EV ownership, with 59 % of respondents saying the own two or more vehicles. The SFO segments in particular have higher rates of multiple car ownership per household. Almost 80 % of Mid-SFOs and Late-SFOs have two or more cars. Note that of all segments, Mid-SFOs are especially well-positioned for EV ownership, with the highest rate of access to three or more cars. …

Estimates indicate that between 75-90 % of charging will occur in the home, but the availability of public charging facilities will help ease range anxiety [Interviews with OEMs, EV Infrastructure Companies, Other Industry Stakeholders, 2010]. …"

Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, S. 13, S. 50

278 http://www.autoobserver.com/2011/10/nissan-says-long-range-ev-unnecessary.html

279 DGS, 6/11, S. 41

280 " … A competitive EV rate structure that is well-communicated will be critical to raising the perceived value of EVs amongst Mid-Adopters. While the City may not have the ability to affect gas prices, it can deliver fuel savings through a competitive rate structure that lowers battery charging costs.

Almost 90 % of Mid-SFOs and 84 % of Mid-NSFOs care about battery recharge cost, compared with

75 % of the sample average and 66 % of Early Adopters, 60 % of Late-SFOs and 70 % of Late-NSFOs.

Note that it is important not only to formulate a pricing scheme that delivers lowers TCO, but to communicate that value clearly to the public to raise the perceived value of EVs. …"

Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, S. 60

281 Other cities believe that 20-30 minutes is unrealistic in satisfying customer demands for “fast” charging and are wary of investing in this

technology (Austin).

Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, S. 6

282 DGS, 6/11, S. 41

283 Nissan has also acknowledged that fast charging is detrimental to battery life. According to the automaker, the gradual capacity loss at 480V charging will be about 10 % more than 220V charging. Nissan LEAF is the only vehicle under production to come with a Level 3 port.

Hybrid EV, Vol 2, issue 5, 3/11, S. 20

284 Car Charging Group, an early entrant to the EV charging business with private funds, plans to price its services at US$0.5 per kWh for public charging – almost four times the rate most people pay at home for electricity

Hybrid EV, Vol 2, issue 5, 3/11, S. 20

285 “There is a problem with them [fast chargers] and that problem is heat. Charging at this high voltage heats the batteries up too much and reduces battery life,” agrees Edens [President of Thurso Power Systems].

Hybrid EV, Vol 2, issue 5, 3/11, S. 20

286 http://bmbf.org/pubRD/agdrei_lade_infrastruktur_netzintegration.pdf

287

http://www.ffe.de/download/langberichte/E.ON_Elektrostrassenfahrzeuge_Endbericht_20080611.pdf

288 Johnson Controls bestätigt explizit höhere Lebensdauer von Batterien bei häufigeren, kleineren Ladevorgängen

"Battery lifetimes are a further issue which need to be

considered here. Johnson Controls, who also own the Varta

brand of batteries, for example, held a presentation at the

Mobilitec Forum in which they confidently stated battery

lifetimes for full electric vehicles of at least 3,000 capacity

turnovers (see diagram). Using batteries in a small discharge

range, as in hybrid vehicles, keeps the batteries

healthy enough to even enable tens of thousands of capacity

turnovers. This is also the expected state of affairs in

grid balancing mode, and a valuable service may thus be

available fairly cheaply in terms of additional battery wear if this business opportunity is seized. A more cautious forecast of battery lifetimes is still being given by most sellers of electric vehicles, but even 1,500 capacity turnovers equates to 150,000 km for a vehicle with a 100 km range, and an assumption of 8 years of good use may also correspond closely to the physical lifetime of the battery. After their mobile lifetimes it is also quite conceivable that batteries will then perform real storage functions for several years before needing to be recycled, but for this we will have to wait and see."

SWWengl., 5/11, 41

289 http://www.electrificationcoalition.org/sites/default/files/EC-Fleet-Roadmap-screen.pdf

290 " ... their costs are up to 7-9 times higher than those of ordinary slow and fast chargers. Especially for rapid chargers there is also a significant difference in installation cost between different countries – dependent on how modern the underlying grid is. Whereas most German and French grids can handle rapid chargers without significant additional grid investments, most American grids would probably need to be upgraded ..."

Policy options for electric vehicle charging infrastructure in C40 cities | R. Philip & A. Wiederer, März 2010, S. 35

291 Most automakers warn against regular use of rapid-charging for their all-electric vehicles, as it is claimed to affect battery's durability in the long term.

Hybrid-EV, 5/11, S. 24

292 http://everynear.eu/wordpress/wp-content/uploads/2011/06/Was-Sie-schon-immer- %C3 %BCber-Emobility-wissen- wolltenV3.pdf

293 Charging may be automatically terminated, especially with repeated quick charging in extreme hot weather.

Nissan Leaf USA, Bedienungsanleitung, S. 56

294 Level III charging is expensive, requires extensive infrastructure upgrades, can negatively affect battery life and performance …

Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, S. 13

295 “What's being discussed is oversizing battery packs to compensate for the reduction in battery life; however this increases up-front vehicle costs which are already high relative to ICEs,” he says.

Hybrid EV, Vol 2, issue 5, 3/11, S. 20

296 "We found that quick chargers weren’t used frequently and numbers of quick charging didn’t increase even after installation ... We think that this is a psychological effect of the

quick charger to EV users. ..."

Development of Quick Charging System for Electric Vehicle, Takafumi Anegawa, Tokyo Electric Power Company, S.7

http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=takafumi %20anegawa %20tepco %20tokyo %202008 %20range %20anxiety %2C %20fast %20charging&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CBwQFjAA&url=http %3A %2F %2Fwww.worldenergy.org %2Fdocuments %2Fcongresspapers %2F322.pdf&ei=3KOxTqqYBYb3sgas84w3&usg=AFQjCNE29TivuMpDZFRMJ86Pz33w9TzJcA&cad=rjt

297 Ford, which foresees 20-25 % of its fleet having some degree of electrification by 2020, has ruled out the Level 3 chargers for now for the 2012 Focus electric car. Instead, the company believes that a 240V AC wall-mounted charger will be good enough for the majority of the EV users.

Hybrid EV, Vol 2, issue 5, 3/11, S. 20

Ford has developed EV charging unit for residential use in conjunction with Leviton, North American producer of electrical devices. The equipment features a nonpermanent style de-sign, which gives the flexibility to the owner to remove and replace it, as and when required. The unit plugs into a 240V power outlet without the need to hard wire into the electrical breaker box.

Hybrid-EV, 1/11, S. 25

Similarly, Chevrolet Volt owners will have to be content with 240V chargers. The need for a quick charge is somewhat less for a Chevrolet Volt, as the range extender engine is always available to compensate for a low battery, but GM has had serious reservations against 480V DC chargers.

Britta Gross, Director of GM‘s Global Energy Systems & Infrastructure Commercialisation unit attributes the OEM‘s reservations to two reasons. First, fast charging reduces battery life, “batteries don‘t want to be rapid-cycled and don‘t want to be deeply discharged. You have to control it to 80 % of the charge,” she says. GM‘s reservations are justified as the automaker has already achieved the disrepute of killing the electric car. The company just can‘t afford to allow battery performance erosion in two to three years only to face disgruntled owners with 20-30-mile electric range Chevrolet Volts. GM has designed the Volt battery to not accommodate a 480V fast charge.

Hybrid EV, Vol 2, issue 5, 3/11, S. 20

298 Gespräch mit kiefermedia, 13.09.2011, IAA Frankfurt

299 Gespräch mit kiefermedia, 14.09.2011, IAA Frankfurt

300 Gespräch mit kiefermedia, 14.09.2011, IAA Frankfurt

301 Gespräch mit kiefermedia, 13.09.2011, IAA Frankfurt

302 Gespräch mit kiefermedia, 27.10.2011

303 Gespräch mit kiefermedia, 27.10.2011

304 "…Nissan has also acknowledged that fast charging is detrimental to battery life. According to the automaker, the gradual capacity loss at 480V charging will be about 10 % more than 220V charging. Nissan LEAF is the only vehicle under production to come with a Level 3 port. …"

Hybrid EV, Vol 2, issue 5, S. 20

305 "…GM has designed the Volt battery to not accommodate a 480V fast charge. "There is a problem with them [fast chargers] and that problem is heat. Charging at this high voltage heats the batteries up too much and reduces battery life," agrees Edens. "What's being discussed is oversizing battery packs to compensate for the reduction in battery life; however this increases up-front vehicle costs which are already high relative to ICEs," he says. …"

Hybrid EV, Vol 2, issue 5, S. 20

306 http://www.autoobserver.com/2011/07/toyota-nixes-fast-charging-rav4-ev-for-now.html

307 http://smartenergynews.net/2011/07/20/tesla-awarded-100-million-supply-agreement-for-toyota-rav4-electric-powertrain/

308 BYD plans to expand the tests

Hybrid-EV, 5/11, S. 24

http://green.autoblog.com/2011/04/29/byd-ev-fleet-rapid-charge-batteries-show-no-capacity-loss/

309 http://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/iui.proelek/Dokumente/vortraege/f02-wille.pdf

310 Gespräch mit kiefermedia, 27.10.2011

311 http://www.energytrend.com/Delta_20111011

312 https://www.press.bmwgroup.com/pressclub/p/de/pressDetail.html?outputChannelId=7&id=T0122497DE&left_menu_item=node__2379

313 Increasing the lifespan of EV batteries can significantly impact consumer adoption and the U.S. DOE has significantly invested in research to achieve a 14-year EV battery lifespan– similar to current ICE vehicles – by 2015 [US DOE, 2010].

Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, S. 14

314 http://www.electrificationcoalition.org/sites/default/files/EC-Fleet-Roadmap-screen.pdf

315 http://www.plugincars.com/eight-tips-extend-battery-life-your-electric-car-107938.html

316 Mitsubishi: "It would be bad if the battery were to be quick-charged every time"

"If you're considering a Nissan Leaf optioned with Level 3 DC quick-charging, you've probably been told, as we have, that you shouldn't make too regular a habit of getting a quick charge. Doing it daily, or even a few times a week, is probably a little too often.

But the answer from Mitsubishi officials, regarding the quick-charge option on the new 2012 Mitsubishi i, is quite different.

“We expect a daily quick charge not to have a significant toll on battery life,” said Bryan Arnett, manager of EV product strategy for Mitsubishi Motors North America.

According to Arnett, the company has expected that its batteries will retain 80 percent of their original charge after ten years—and that includes a consideration that the battery might be frequently quick-charged. It would be bad if the battery were to be quick-charged every time, he said, but not in the context of extending range midday, between overnight charges. ..."

http://www.greencarreports.com/news/1067070_dc-quick-charging-mitsubishi-says-you-can-do-it-every-day

317 http://www.mitsubishitechinfo.eu/Index.aspx

318 http://www.electrificationcoalition.org/sites/default/files/EC-Fleet-Roadmap-screen.pdf

319 http://www.golem.de/1107/85165.html

320 http://www.polisnetwork.eu/uploads/Modules/PublicDocuments/POLIS-ClimateGroup-Renault_2011-04-06 %20final-small.pdf

321 http://www.welt.de/print/die_welt/wirtschaft/article13598896/Auto-kaufen-Batterie-mieten.html

322 http://www.oekonews.at/index.php?mdoc_id=1044650

323 http://www.greentechmedia.com/articles/read/gm-abb-begin-testing-ev-batteries-for-the-grid/

324 http://www.mein-elektroauto.com/2011/02/2011-werden-100000-elektroautos-zugelassen-aber-wie-viel-werden-davon-verkauft/2174/

325 Gespräch, IAA am 13.09.2011

326 "... Der Fahrer genießt dank seiner zentralen Position ein komplett neues Fahrerlebnis - und muss sich um das leidige Thema Parkplatzsuche ebenfalls keine Gedanken machen. Auf entsprechend ausgerüsteten Parkplätzen der Zukunft kann der PIVO 3 dank des automatischen Einparksystems AVP (Automated Valet Parking) selbstständig Parkplätze orten und ansteuern. Auch das Aufladen der Batterien erledigt der PIVO 3 selbst und kann im Anschluss per Smartphone-Anruf zurück zur Parkplatzausfahrt beordert werden. ..."

http://www.newsroom.nissan-europe.com/de/de-de/Media/Media.aspx?mediaid=85542&utm_campaign=NewsAlert_85544&utm_medium=Email&utm_source=newsroom.nissan-europe.com/de/de-de

327 http://www.derberater.de/motor-technik/auto-motorrad/know-how/roboter-autos-wann-konnen-sie-ganz-allein-fahren.htm

328 http://itbuyerguide.org/witricity-corporation-ihi-corporation-and-mitsubishi-motors-corporation-combine-to-develop-easily-deployable-wireless-charging-systems-for-electric-vehicles.htm

329 http://www.atzonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/14525/Valeo-Leicht-Einparkenkomma-ohne-im-Auto-zu-sitzen.html

330 http://www.n-tv.de/auto/IAA/Fahrer-kann-vorher-aussteigen-article4353701.html

331 http://www.wasistwas.de/technik/eure-fragen/autos/link//d081b90e15/article/wird-es-autos-geben-die-von-alleine-fahren-koennen-und-wenn-ja-wann.html

332 http://www.iadc-club.net/DK4/iadc/pr2/eng_con.asp

333 Abb. links: http://abava.net/en/parking.shtml, Abb. rechts: http://www.fareastgizmos.com/other_stuff/witricity_ihi_and_mitsubishi_motors_join_forces_to_develop_easily_deployable_wireless_charging_systems_for_electric_vehi.php

334 DKE/GAK 353.0.1: Berührungsloses Laden von Elektrofahrzeugen

335 Alle 22 in deutschland vorkommenden Arten stehen auf der Roten Liste der vom aussterben bedrohten Arten

http://www.fledermausschutz.de/index.php?id=258

336 Email am 6. April 2011

337 Telefonat am 12. August 2011

338 Email am 16. August 2011

339 Email aus Panama am 17. August 2011

340 Email am 20. September 2011

341 Kraftfahrbundesamt: Emissionen, Kraftstoffe - Zeitreihe 2006 bis 2011;

http://www.kba.de/cln_033/nn_269000/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/EmissionenKraftstoffe/b__emi__z__teil__2.html (letzter Aufruf 16.02.2011)

342 Kraftfahrbundesamt: Emissionen, Kraftstoffe - Zeitreihe 2006 bis 2011;

http://www.kba.de/cln_033/nn_269000/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/EmissionenKraftstoffe/b__emi__z__teil__2.html (letzter Aufruf 16.02.2011)

343 Conductix Wampfler AG: IPT Charge für elektrisch angetriebene Fahrzeuge, Werbezeitschrift, 2010

EPRI - Electric Power Research Institute: Characterizing Consumers' Interest in and Infrastructure Expectations for Electric Vehicles: Research Design and Survey Results. Rosemad, Kalifornien: EPRI, 2010.

Krems, J.; Franke, T.; Neumann, I. & Cocron, P.: Research methods to assess the acceptance of EVs- experiences from an EV user study. In T. Gessner (Ed.), Smart systems Integration: 4th European Conference & Exhibition on integration issues of Miniaturized Systems – MEMS, MOEMS, ICs and Electronic Components. Como, Italy: VDE Verlag (2010).

344 Schmundt, H. (2010). Heizen mit Büchern. Der Spiegel (09/2010)

345 Kiefer, S.: Ganz ohne Kabelsalat. Zeitschrift: Sonne, Wind & Wärme (16/2009), S. 32-34.

346 Kiefer, S.: Ganz ohne Kabelsalat. Zeitschrift: Sonne, Wind & Wärme (16/2009), S. 32-34.

347 Schmundt, H. (2010). Heizen mit Büchern. Der Spiegel (09/2010).

Kiefer, S.: Ganz ohne Kabelsalat. Zeitschrift: Sonne, Wind & Wärme (16/2009), S. 32-34.

Wiesspeiner, G.: Drahtlos Akkus aufladen, BTI - Technologie und Innovation, 2009.

348 Conductix Wampfler AG: IPT Charge für elektrisch angetriebene Fahrzeuge, Werbezeitschrift, 2010

Kiefer, S.: Ganz ohne Kabelsalat. Zeitschrift: Sonne, Wind & Wärme (16/2009), S. 32-34.

349 Schraven, S.; Kley, F.; Wietschel, M.: Induktives Laden von Elektromobilen- Eine techno-ökonomische Bewertung, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 8/2010 Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

350 Conductix Wampfler AG: IPT Charge für elektrisch angetriebene Fahrzeuge, Werbezeitschrift, 2010

351 Conductix Wampfler AG: IPT Charge für elektrisch angetriebene Fahrzeuge, Werbezeitschrift, 2010

Kiefer, S.: Ganz ohne Kabelsalat. Zeitschrift: Sonne, Wind & Wärme (16/2009), S. 32-34.

Schraven, S.; Kley, F.; Wietschel, M.: Induktives Laden von Elektromobilen- Eine techno-ökonomische Bewertung, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 8/2010 Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

352 Kiefer, S.: Ganz ohne Kabelsalat. Zeitschrift: Sonne, Wind & Wärme (16/2009), S. 32-34.

353 Schraven, S.; Kley, F.; Wietschel, M.: Induktives Laden von Elektromobilen- Eine techno-ökonomische Bewertung, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 8/2010 Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

354 Fahrer von Autos mit alternativer Antriebstechnik eher rational orientiert,

Hochschule Niederrhein - University of Applied Sciences,

http://www.energie-experten.org/experte/meldung-anzeigen/news/fahrer-von-autos-mit-alternativer-antriebstechnik-eher-rational-orientiert-1173.html (letzter Aufruf 30.09.2011)

355 Weber, E. (2010). Flottenversuch MINI E Berlin: Erkenntnisse und nächste Schritte.

http://static.fh-wolfenbuettel.de/export/sites/default/de/ifvm/download/4SFM/Vortraege_4SFM/Flottenversuch_MINI_E_Berlin_Erkenntnisse_und_nxchste_Schritte_Weber.pdf (letzter Aufruf 07.10.2011)

356 Krems, Josef F., Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Allgemeine und Arbeitspsychologie (2011).

Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen - MINI E 1.0, Teilprojekt: MINIEVatt Berlin - Freude am umweltgerechten Fahren : Schlussbericht ;

Berichtszeitraum: 01.12.2008 - 30.11.2010

357 Krems, Josef F., Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Allgemeine und Arbeitspsychologie (2011).

Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen - MINI E 1.0, Teilprojekt: MINIEVatt Berlin - Freude am umweltgerechten Fahren : Schlussbericht ;

Berichtszeitraum: 01.12.2008 - 30.11.2010

358 Krems, Josef F., Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Allgemeine und Arbeitspsychologie (2011).

Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen - MINI E 1.0, Teilprojekt: MINIEVatt Berlin - Freude am umweltgerechten Fahren : Schlussbericht ;

Berichtszeitraum: 01.12.2008 - 30.11.2010

359 Krems, Josef F., Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Allgemeine und Arbeitspsychologie (2011).

Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen - MINI E 1.0, Teilprojekt: MINIEVatt Berlin - Freude am umweltgerechten Fahren : Schlussbericht ;

Berichtszeitraum: 01.12.2008 - 30.11.2010

360 Krems, Josef F., Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Allgemeine und Arbeitspsychologie (2011).

Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen - MINI E 1.0, Teilprojekt: MINIEVatt Berlin - Freude am umweltgerechten Fahren : Schlussbericht ;

Berichtszeitraum: 01.12.2008 - 30.11.2010

361 Krems, Josef F., Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Allgemeine und Arbeitspsychologie (2011).

Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen - MINI E 1.0, Teilprojekt: MINIEVatt Berlin - Freude am umweltgerechten Fahren : Schlussbericht ;

Berichtszeitraum: 01.12.2008 - 30.11.2010

362 Krems, Josef F., Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Allgemeine und Arbeitspsychologie (2011).

Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen - MINI E 1.0, Teilprojekt: MINIEVatt Berlin - Freude am umweltgerechten Fahren : Schlussbericht ;

Berichtszeitraum: 01.12.2008 - 30.11.2010

363 Krems, Josef F., Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Allgemeine und Arbeitspsychologie (2011).

Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen - MINI E 1.0, Teilprojekt: MINIEVatt Berlin - Freude am umweltgerechten Fahren : Schlussbericht ;

Berichtszeitraum: 01.12.2008 - 30.11.2010, S. 68

364 Weber, E. (2010). Flottenversuch MINI E Berlin: Erkenntnisse und nächste Schritte.

http://static.fh-wolfenbuettel.de/export/sites/default/de/ifvm/download/4SFM/Vortraege_4SFM/Flottenversuch_MINI_E_Berlin_Erkenntnisse_und_nxchste_Schritte_Weber.pdf (letzter Aufruf 07.10.2011)

365 Krems, Josef F., Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Allgemeine und Arbeitspsychologie (2011).

Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen - MINI E 1.0, Teilprojekt: MINIEVatt Berlin - Freude am umweltgerechten Fahren : Schlussbericht ;

Berichtszeitraum: 01.12.2008 - 30.11.2010

366 Krems, Josef F., Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Allgemeine und Arbeitspsychologie (2011).

Verbundprojekt: Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen - MINI E 1.0, Teilprojekt: MINIEVatt Berlin - Freude am umweltgerechten Fahren : Schlussbericht ;

Berichtszeitraum: 01.12.2008 - 30.11.2010

367 Weber, E. (2010). Flottenversuch MINI E Berlin: Erkenntnisse und nächste Schritte.

http://static.fh-wolfenbuettel.de/export/sites/default/de/ifvm/download/4SFM/Vortraege_4SFM/Flottenversuch_MINI_E_Berlin_Erkenntnisse_und_nxchste_Schritte_Weber.pdf (letzter Aufruf 07.10.2011)

368 Kurani, K. S. et. al. (2010). Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV) Demonstration and Consumer Education, Outread, and Market Research Program. Verfügbar unter: http://pubs.its.ucdavis.edu/publication_detail.php?id=1438 (letzter Aufruf 11.05.2011).

369 Weber, E. (2010). Flottenversuch MINI E Berlin: Erkenntnisse und nächste Schritte.

http://static.fh-wolfenbuettel.de/export/sites/default/de/ifvm/download/4SFM/Vortraege_4SFM/Flottenversuch_MINI_E_Berlin_Erkenntnisse_und_nxchste_Schritte_Weber.pdf (letzter Aufruf 07.10.2011)

370 Kurani, K. S. et. al. (2010). Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV) Demonstration and Consumer Education, Outread, and Market Research Program. Verfügbar unter: http://pubs.its.ucdavis.edu/publication_detail.php?id=1438 (letzter Aufruf 11.05.2011).

371 Kang, J. E. & Recker, W. W. (2009). An activity-based assessment of the potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on energy and emissions using 1-day travel data. Transportation Research Part D, 14, 541-556.

372 http://www.mennekes.de/ (letzter Aufruf 04.10.2011)

373 Die deutschen Fahrzeughersteller einigen sich auf ein modulares Stecksystem für das Laden von EFZ

inhttp://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=4757&ok=15&uk=98&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

374 VDE-Anwendungsregel VDE-AR-E 2623-2-2 „Stecker, Steckdosen, Fahrzeugsteckvorrichtungen und Fahrzeugstecker - Ladung von EFZ - Teil 2-2: Anforderungen an Hauptmaße für die Austauschbarkeit von Stift- und Buchsensteckvorrichtungen"

375 http://www.mennekes.de/ (letzter Aufruf 04.10.2011)

376 http://www.mennekes.de/ (letzter Aufruf 04.10.2011)

377 http://www.mennekes.de/ (letzter Aufruf 04.10.2011)

378 Komplettes Ladesystem für Elektroautos von Lapp und Bals,

http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=5005&ok=15&uk=98&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

http://www.bals.com/content/kooperationsvertrag-zwischen-der-lapp-gruppe-und-der-bals-elektrotechnik-gmbh-unterzeichnet (letzter Aufruf 04.10.2011)

379 Komplettes Ladesystem für Elektroautos von Lapp und Bals,

http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=5005&ok=15&uk=98&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

380 Komplettes Ladesystem für Elektroautos von Lapp und Bals,

http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=5005&ok=15&uk=98&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

381 RWE Ladestationen werden mit Standardsteckern von Harting ausgestattet

http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=4764&ok=15&uk=98&uuk=0&uuuk=0&typ (letzter Aufruf 16.02.2011)

382 Sichere und alltagstaugliche Ladetechnik für EFZ von Delphi

http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=5321&ok=15&uk=98&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

383 DIN VDE 0620-1 (VDE 0620-1):2010-02 Stecker und Steckdosen für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke

384 DIN VDE 0620-1 (VDE 0620-1):2010-02 Stecker und Steckdosen für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke

385 DIN VDE 0620-1 (VDE 0620-1):2010-02 Stecker und Steckdosen für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke, Bild 19, Seite 82

386 AM-Spot – Anschlussfertige Ladesysteme für EFZ

http://www.mennekes.de/aktuell_details.html?tx_ttnews %5Btt_news %5D=484&cHash=f17968a0b24a1fad7bd77c8517fb472b (letzter Aufruf 04.10.2011)

387 AM-Spot – Anschlussfertige Ladesysteme für EFZ

http://www.mennekes.de/aktuell_details.html?tx_ttnews %5Btt_news %5D=484&cHash=f17968a0b24a1fad7bd77c8517fb472b (letzter Aufruf 04.10.2011)

388 AM-Spot – Anschlussfertige Ladesysteme für EFZ

http://www.mennekes.de/aktuell_details.html?tx_ttnews %5Btt_news %5D=484&cHash=f17968a0b24a1fad7bd77c8517fb472b (letzter Aufruf 04.10.2011)

389 AM-Spot – Anschlussfertige Ladesysteme für EFZ

http://www.mennekes.de/aktuell_details.html?tx_ttnews %5Btt_news %5D=484&cHash=f17968a0b24a1fad7bd77c8517fb472b (letzter Aufruf 04.10.2011)

390 AM-Spot – Anschlussfertige Ladesysteme für EFZ

http://www.mennekes.de/aktuell_details.html?tx_ttnews %5Btt_news %5D=484&cHash=f17968a0b24a1fad7bd77c8517fb472b (letzter Aufruf 04.10.2011)

391 eMobility Starter Package für Stadtwerke - Bosch bietet einfachen Einstieg in den Markt der Elektromobilität

http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=6688&ok=15&uk=105&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

392 eMobility Starter Package für Stadtwerke - Bosch bietet einfachen Einstieg in den Markt der Elektromobilität

http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=6688&ok=15&uk=105&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

393 Die P-CHARGE Ladesäulen

http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=5934&ok=15&uk=105&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

http://www.schletter.de/131-0-P-Charge.html?226,69 (letzter Aufruf 04.10.2011)

394 Die P-CHARGE Ladesäulen

http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=5934&ok=15&uk=105&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

http://www.schletter.de/131-0-P-Charge.html?226,69 (letzter Aufruf 04.10.2011)

395 http://www.schletter.de/131-0-P-Charge.html?226,69 (letzter Aufruf 04.10.2011)

396 Aus E-Mobility wird i-Mobility

http://www.cirquent.de/de/press/Pressemitteilungen/_pressemitteilungen/20110307_PM_i-Mobility/index.html (letzter Aufruf 04.10.2011)

Cirquent mit Ladestellensystem Just Plug auf der E-World

http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=6578&ok=15&uk=105&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

397 Aus E-Mobility wird i-Mobility

http://www.cirquent.de/de/press/Pressemitteilungen/_pressemitteilungen/20110307_PM_i-Mobility/index.html (letzter Aufruf 04.10.2011)

Cirquent mit Ladestellensystem Just Plug auf der E-World

http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=6578&ok=15&uk=105&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

398 Automobilzulieferer Kiekert geht mit der Ladesteckerverriegelung für EFZ in Serie

http://www.solar-driver.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=4779&ok=15&uk=98&uuk=0&uuuk=0&typ= (letzter Aufruf 16.02.2011)

http://www.kiekert.com/index.php?L=1&id=2 (letzter Aufruf 04.10.2011)

399 Ford puts EV charge port in a user-friendly spot

http://reviews.cnet.com/8301-13746_7-20066877-48.html?part=rss&tag=feed&subj=GreenTech (letzter Aufruf 04.10.2011)

Ford-Homepage

http://www.ford.com/electric/focuselectric/2012/ (letzter Aufruf 07.10.2011)

400 Ford puts EV charge port in a user-friendly spot

http://reviews.cnet.com/8301-13746_7-20066877-48.html?part=rss&tag=feed&subj=GreenTech (letzter Aufruf 04.10.2011)

Ford-Homepage

http://www.ford.com/electric/focuselectric/2012/ (letzter Aufruf 07.10.2011)

401 Ford puts EV charge port in a user-friendly spot

http://reviews.cnet.com/8301-13746_7-20066877-48.html?part=rss&tag=feed&subj=GreenTech (letzter Aufruf 04.10.2011)

Ford-Homepage

http://www.ford.com/electric/focuselectric/2012/ (letzter Aufruf 07.10.2011)

402 Comet Electric Vehicle Charging

http://www.youtube.com/watch?v=gh-B3nzVwVg (letzter Aufruf 07.10.2011)

403 CirCarLife - Recharging Station for Electric Vehicle - Estacion recarga vehiculo electrico

http://www.youtube.com/watch?v=eXeZhuJ2X7M&feature=related (letzter Aufruf 07.10.2011)

404 CirCarLife - Recharging Station for Electric Vehicle - Estacion recarga vehiculo electrico

http://www.youtube.com/watch?v=eXeZhuJ2X7M&feature=related (letzter Aufruf 07.10.2011)

405 Mercedes-Benz E-Cell

http://www.youtube.com/watch?v=WfEnA170WWM (letzter Aufruf 07.10.2011)

406 Hidrue, M. K.; Parsons, G. R.; Kempton, W., Gardner, M. P.: Willingness to pay for electric vehicles and their attributes, Resource and Energy Economics 33 (2011) 686–705.

407 EPRI - Electric Power Research Institute: Characterizing Consumers' Interest in and Infrastructure Expectations for Electric Vehicles: Research Design and Survey Results. Rosemad, Kalifornien: EPRI, 2010.

408 Krems, J.; Franke, T.; Neumann, I. & Cocron, P.: Research methods to assess the acceptance of EVs- experiences from an EV user study. In T. Gessner (Ed.), Smart systems Integration: 4th European Conference & Exhibition on integration issues of Miniaturized Systems – MEMS, MOEMS, ICs and Electronic Components. Como, Italy: VDE Verlag (2010).

Neumann, I.; Cocron, P.; Franke, T. & Krems, J.F.: Electric vehicles as a solution for green driving in the future? A field study examining the user acceptance of electric vehicles. In J.F. Krems, T. Petzoldt & M. Henning (Hrsg.). Proceedings of the European Conference on Human Interface Design for Intelligent Transport Systems, Berlin, Germany, April 29-30 2010 (S. 445-453). Lyon:Humanist Publications.

409 Schraven, S.; Kley, F.; Wietschel, M.: Induktives Laden von Elektromobilen- Eine techno-ökonomische Bewertung, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 8/2010 Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

410 EPRI - Electric Power Research Institute: Characterizing Consumers' Interest in and Infrastructure Expectations for Electric Vehicles: Research Design and Survey Results. Rosemad, Kalifornien: EPRI, 2010.

411 Hidrue, M. K.; Parsons, G. R.; Kempton, W., Gardner, M. P.: Willingness to pay for electric vehicles and their attributes, Resource and Energy Economics 33 (2011) 686–705.

412 Bühler, F., Neumann, I., Cocron, P., Franke, T., Krems, J.F., Schwalm, M., & Keinath, A.: Die Nutzerstudie im Rahmen des Flottenversuchs MINI E Berlin - Methodisches Vorgehen und erste Erfahrungen im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitforschung, In: Mager, T. J. (Hrsg.). Mobilitätsmanagement – Beiträge zur Verkehrspraxis. ksv-Verlag. Köln (2010).

413 Schraven, S.; Kley, F.; Wietschel, M.: Induktives Laden von Elektromobilen- Eine techno-ökonomische Bewertung, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 8/2010 Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

414 Schraven, S.; Kley, F.; Wietschel, M.: Induktives Laden von Elektromobilen- Eine techno-ökonomische Bewertung, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 8/2010 Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

415 Schritte zum autonomen Fahren

http://www.atzonline.de/Wissen/Dossiers/1241/Schritte-zum-autonomen-Fahren.html (letzter Aufruf 06.10.2011)

416 Keine große Zauberei mehr

http://www.atzonline.de/Aktuell/Interviews/35/180/Keine-grosse-Zauberei-mehr.html (letzter Aufruf 06.10.2011)

417 Park-Assistent PAUL - Mut zur Lücke
http://www.volkswagenag.com/vwag/vwcorp/content/de/innovation/research_vehicles/paul.html (letzter Aufruf 06.10.2011)

418 Park-Assistent PAUL - Mut zur Lücke
http://www.volkswagenag.com/vwag/vwcorp/content/de/innovation/research_vehicles/paul.html (letzter Aufruf 06.10.2011)

419 Park-Assistent PAUL - Mut zur Lücke
http://www.volkswagenag.com/vwag/vwcorp/content/de/innovation/research_vehicles/paul.html (letzter Aufruf 06.10.2011)

420 Park-Assistent PAUL - Mut zur Lücke
http://www.volkswagenag.com/vwag/vwcorp/content/de/innovation/research_vehicles/paul.html (letzter Aufruf 06.10.2011)

421 An arbitrary approach littering the streets with public charging infrastructure in places where they will not be used makes no sense.

Hybrid-EV, 7/11, S. 16

422 http://www.greencarcongress.com/2011/09/delphiwireless-20110916.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed %3A+greencarcongress %2FTrBK+ %28Green+Car+Congress %29

423 http://www.blogcdn.com/www.engadget.com/media/2011/01/fulton-innovations-2011-01-06-600-08.jpg

424 Conductix Wampfler PR

425 http://vda.de/de/meldungen/news/20110922-7.html

426 "... Überblick über die unterschiedlichen AC- und DC-Ladestecksysteme weltweit. ..."

http://www.phoenixcontact.de/industriestecker/25791_71188.htm

http://www.teslamotorsclub.com/showthread.php/1381-Charging-Station-standards/page51

427 Telefonat am 21. Juni 2011

428 SAE-Agenda einsehbar unter :
http://www.google.de/url?sa=t&source=web&cd=8&ved=0CFEQFjAH&url=http %3A %2F %2Fwww.sae.org %2Fservlets %2Fworks %2FupcomingmeetingResources.do %3FeventGenNum

%3D12008&rct=j&q=Jesse %20Schneider %20BMW&ei=s_9-TrPDOIq20QXamsDSCQ&usg=AFQjCNEBhqidH06sx90XfX20iQX3ipGYlQ

429 http://www.greencarcongress.com/2011/01/j2954-20110107.html

430 http://analysis.evupdate.com/industry-insight/ev-charging-infrastructure-rapidly-spreads-across-eu?utm_source=http %3a %2f %2fuk.telematicsupdate.com %2ffc_tele_evupdatelz %2f&utm_medium=email&utm_campaign=EV+WW+7+9+11&utm_term=EV+charging+infrastructure+rapidly+spreads+across+EU-+EV+Update %27s+weekly+brief&utm_content=2378

431 http://www.auto.de/magazin/showArticle/article/53574/Elektroautos-Dem-kabellosem-Laden-gehoert-die-Zukunft

432 http://kurier.at/freizeit/motor/3917785.php

433 http://www.rtl.de/cms/ratgeber/elektroauto-opel-ampera-der-ist-komplex-18130-6e2f-75-801624.html

434 http://www.automobil-industrie.vogel.de/iaa2011/articles/327101/

435 Ausgenommen Verkehrsunfälle; Quelle: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizinhttp://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Arbeitsstaetten/Trittsicherheit/Trittsicherheit.html

436 "... Jedes Jahr verunfallen in der Schweiz rund 295.000 Menschen wegen Stolpern und Stürzen ..."

Bei 7.825.000 Schweizern entspricht das 4 % der Bevölkerung.

http://www.sapros.ch/images/supplier/220/pdf/88242_d.pdf

437 http://www.suva.ch/startseite-suva/die-suva-suva/medien-suva/medienmitteilungen-suva/2010/erwerbstaetige-stolpern-fuer-rund-eine-milliarde-franken/medienmitteilung-detail-suva.htm

438 National Vital Statistics Reports 2005

439 http://uk.ibtimes.com/articles/20110919/ikea-tops-list-popular-london-charging-points.htm

440 https://project.ifak.eu/redmine/projects/justpark/wiki/Unf %C3 %A4lle_durch_Strom

441 http://www.bgetem.de/bilder/pdf/infosifa_4-03.pdf

442 http://www.esc.org.uk/industry/policies-and-research/statistics/

443 Blandow, Volker, Global Head E-Mobility Tüv Süd, am 28.11.2011

444 http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/diebstahl-kostet-die-bahn-millionen/5840054.html

445 Euwid Europäischer Wirtschaftsdienst Kunststoff, 24/11, S. 9

446 http://www.mynissanleaf.com/viewtopic.php?f=4&t=3330

447 http://www.mynissanleaf.com/viewtopic.php?f=26&t=5742

448 Prof. Dr. Andreas Knie, Bereichsleiter DB Rent, mündlich, 06.09., 13:00

449http://m.faz.net/Rub58BA8E456DE64F1890E34F4803239F4D/Doc~E12F226FF590941F2BCB9FB13863DE988~ATpl~Epartner~Ssevenval~Scontent.xml

450 http://www.fbi.gov/stats-services/publications/copper-thefts

451 http://extratip.de/2011/07/10/polizei-metall-diebstaehle-seit-2010-verdoppelt/

452 http://www.derwesten.de/staedte/menden/Kabeldiebe-kappten-die-Rohre-bis-zur-Wasseruhr-id4002237.html

453 KOM, 5/11, S. 30

454 http://www.rhein-zeitung.de/regionales_artikel,-Polizei-schiesst-auf-Metalldiebe-Wilde-Verfolgungsjagd-durch-den-Rhein-Lahn-Kreis-_arid,270810.html

455 http://www.ftd.de/politik/international/:kabeldiebe-legen-bahnstrecke-drei-stunden-lahm/60101996.html

456 http://www.fbi.gov/stats-services/publications/copper-thefts

457 http://www.fbi.gov/stats-services/publications/copper-thefts

458 http://www.energybulletin.net/node/22790

459 http://www.sacci.org.za/index.php?option=com_content&view=article&id=355:press-release-copper-theft-barometer&catid=9:press-office&Itemid=40

460 http://www.ewn.co.za/Story.aspx?Id=66621

461 http://www.accessmylibrary.com/coms2/summary_0286-9147758_ITM

462 http://www.evchargernews.com/regions/93023_2.htm

463 http://www.mdr.de/brisant/bombenleger100_zc-d3f5b083_zs-199ad683.html

464 http://www.uic.org/IMG/pdf/20091123-praeventionszug.pdf

465 dpa über: http://www.berlin.de/aktuelles/berlin/2043304-958092-wieder-autos-in-berlin-angezuendet.html

466 http://www.reuters.com/article/2011/08/11/britain-riots-cost-idUSWLA357120110811

467 "... there are only about 2,100 electric cars in London currently ..."

Hybrid-EV, 7/11, S. 17
"We have around 1300 Reva's in Bangalore and around 1100 Gwiz in London." Regards, , Chetan Maini, Mahindra Reva, per Email, Oktober 2011

2011 1422 new EVs in LA

Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market, 5/11, S. 33, Table 10

468 Frank Schmidt, LVZ online http://nachrichten.lvz-online.de/region/grimma/festnahmen-im-bombenleger-fall-von-grimma-und-riesa/r-grimma-a-73943.html

469 Harris, Olivia für Reuters In: http://in.news.yahoo.com/widescreen--riots-leave-london-burning.html

470 http://www.handelsblatt.com/auto/ratgeber-service/aus-fuer-rund-2-000-notrufsaeulen/4337588.html

471 http://www.bz-berlin.de/ratgeber/mietenwohnen/die-aktuellsten-urteile-zum-mietrecht-article796067.html

472 http://www.ah.novartis.de/page/content/index.asp?MenuID=237&ID=277&Menu=5&Item=7.1.2

473 http://de.wikipedia.org/wiki/Nagetiere#Nagez.C3.A4hne

474 http://www.photovoltaik.eu/heftarchiv/artikel/beitrag/teurer-knabberspa-_100005981/86/?tx_ttnews

475 Foto: Beate Ludwig

476http://www.mittelbayerische.de/region/regensburg/artikel/tv_empfang_gestoert_sind_naget/622894/tv_empfang_gestoert_sind_naget.html

477 http://www.photovoltaik.eu/heftarchiv/artikel/beitrag/teurer-knabberspa-_100005981/86/?tx_ttnews

478 http://www.photovoltaik.eu/heftarchiv/artikel/beitrag/teurer-knabberspa-_100005981/86/?tx_ttnews

479 Email vom 10. August 2011

480 R.L. Sherman: Bell Telephone Laboratories: Gray squirrel cable damage research project, Massachussetts 1950

481 http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,861824,00.html#ixzz1YbLZRNVn

482 http://www.usa-reise.net/forum/smf/index.php?topic=22774.30;wap2

483 http://www.spiegel.de/netzwelt/gadgets/0,1518,779218,00.html

484 http://www.aaanimalcontrol.com/Professional-Trapper/nationwide-trappers.htm

http://www.batguys.com/services/squirrels/

485 www.squirrelsatemywiring.com

http://cr4.globalspec.com/thread/47360?from_rss=1

486 Foto: Steve Pulley; http://www.flickr.com/photos/swpulley/470702017/

487 http://www.rodentstrobe.com/getridofsquirrelsinattic.html

488 http://bit.ly/nYimrH

489 http://www.articlesbase.com/news-and-society-articles/electric-cables-chewed-through-by-squirrels-are-a-common-cause-of-house-fires-and-causing-thousands-of-pounds-in-damage-4381750.html

490 http://www.dailymail.co.uk/news/article-1298984/Squirrels-chew-electrical-wires--burn-luxury-400-000-home.html

491 http://www.stern.de/news2/aktuell/britische-polizei-ueberfuehrt-eichhoernchen-des-vandalismus-1614353.html

492 http://www.iata.org/whatwedo/cargo/live_animals/Pages/index.aspx

493 http://www.sueddeutsche.de/reise/nagetier-an-bord-maus-stoppt-flug-nach-bangkok-1.1139535

494 http://www.spiegel.de/panorama/0,1518,466510,00.html

495 http://www.isuppli.com/mobile-and-wireless-communications/marketwatch/pages/up-over-600-percent-wireless-charging-market-to-reach-new-heights-in-2011.aspx

496 Gfk-Umfrage im Auftrag der Apotheken-Umschau:
http://www.strahlentelex.de/Stx_03_386_E01.pdf

497 http://www.bhak-weiz.ac.at/joomla/images/stories/downloads/elektrosmog.pdf

498 http://blog.toptarif.de/2011/02/17/deutschland-und-die-furcht-vor-dem-elektrosmog/

499 http://www.microwave-eetimes.com/en/News/?fnid=222902059