



Rike Carpentier

Analyse der Messdaten zum Betrieb und zur Ladung von Elektrofahrzeugen

Teilbericht im Rahmen der Umweltbegleitforschung Elektromobilität
im Förderschwerpunkt „Modellregionen Elektromobilität“
(FKZ 03KP5003)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung

Koordiniert durch:



Wuppertal, im Februar 2012

Inhalt

1. Einleitung.....	5
2. Untersuchungsansatz.....	6
3. Datenkollektiv	8
4. Datenqualität	11
5. Befunde	12
5.1 Fahrten	12
5.2 Ladevorgänge.....	31
6. Zusammenfassung.....	47
Literatur	48
Anhang	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Minimaldatenset Fahrten und Ladevorgänge	7
Tabelle 2	Einbezogene Fahrzeuge nach Segmenten und Modellreihen	8
Tabelle 3	Empirische Basis: Einsatzzeiträume und Anzahlen von Tagen mit Beobachtungen	9
Tabelle 4	Empirische Basis: Nutzungsvorgänge	10
Tabelle 5	Plausibilitätskriterien der gemessenen Parameter	11

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Verteilung der Fahrtenlängen: alle Fahrten (Histogramm).....	12
Abbildung 2	Zurückgelegte Strecken: Kumulierte Anteile nach Streckenlänge	13
Abbildung 3	Zurückgelegte Strecken: Kumulierte Anteile nach Streckenlänge (Ausschnitt)	13
Abbildung 4	Verteilung der Fahrtenlängen: Fahrten innerhalb der Segmente (Histogramme)	14
Abbildung 5	Zurückgelegte Strecken der Vergleichsgruppen: Kumulierte Anteile nach Streckenlänge	15
Abbildung 6	Zurückgelegte Strecken der Vergleichsgruppen: Kumulierte Anteile nach Streckenlänge (Ausschnitt)	15
Abbildung 7	Verteilung der Betriebsdauern: alle Fahrten (Histogramm)	16
Abbildung 8	Betriebsdauern aller Fahrten: Kumulierte Anteile der Fahrten nach Dauer	17
Abbildung 9	Betriebsdauern aller Fahrten: Kumulierte Anteile der Fahrten nach Dauer (Ausschnitt)	17
Abbildung 10	Verteilung der Betriebsdauern : Fahrten innerhalb der Segmente (Histogramme)	18
Abbildung 11	Betriebsdauern der Fahrten innerhalb der einzelnen Segmente: Kumulierte Anteile der Fahrten nach Dauer.....	19
Abbildung 12	Betriebsdauern der Fahrten innerhalb der einzelnen Segmente: Kumulierte Anteile der Fahrten nach Dauer (Ausschnitt).....	19
Abbildung 13	Tagesgänge aller Fahrten	20
Abbildung 14	Tagesgänge der Fahrten mit Minis und Kleinwagen.....	21
Abbildung 15	Tagesgänge der Fahrten mit Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse	21
Abbildung 16	Tagesgänge der Fahrten mit leichten Nutzfahrzeugen (Utilities).....	22
Abbildung 17	Durchschnittsgeschwindigkeiten der einzelnen Fahrzeuge	23
Abbildung 18	Durchschnittsgeschwindigkeiten der Einzelfahrten.....	23
Abbildung 19	Durchschnittsgeschwindigkeiten aller Fahrten: Kumulierte Anteile	24
Abbildung 20	Durchschnittsgeschwindigkeiten der Fahrten innerhalb der Segmente: Kumulierte Anteile	25
Abbildung 21	Durchschnittsgeschwindigkeiten der Einzelfahrten: Minis und Kleinwagen....	25
Abbildung 22	Durchschnittsgeschwindigkeiten der Einzelfahrten: Kompakt- und Mittelklasse	26
Abbildung 23	Durchschnittsgeschwindigkeiten der Einzelfahrten: Utilities	26
Abbildung 24	Energieverbräuche der einzelnen Fahrten.....	27
Abbildung 25	Energieverbräuche der einzelnen Fahrten: Minis und Kleinwagen.....	28

Abbildung 26	Spezifische Energieverbräuche der Demonstrationsfahrzeuge: Minis und Kleinwagen	28
Abbildung 27	Energieverbräuche der einzelnen Fahrten: Kompakt- und Mittelklasse	29
Abbildung 28	Spezifische Energieverbräuche der Demonstrationsfahrzeuge: Kompakt- und Mittelklasse	29
Abbildung 29	Energieverbräuche der einzelnen Fahrten: Utilities	30
Abbildung 30	Spezifische Energieverbräuche der Demonstrationsfahrzeuge: Utilities	30
Abbildung 31	Spezifische Energieverbräuche (allgemein und differenziert nach Pkw und Nutzfahrzeugen)	31
Abbildung 32	Abgenommene Energiemengen (Ladevorgänge).....	32
Abbildung 33	Abgenommene Energiemengen: Kumulierte Anteile an Ladevorgängen	33
Abbildung 34	Abgenommene Energiemengen (Ladevorgänge): Minis und Kleinwagen	34
Abbildung 35	Abgenommene Energiemengen (Ladevorgänge): Utilities	34
Abbildung 36	Abgenommene Energiemengen: Kumulierte Anteile an Ladevorgängen innerhalb der Segmente.....	35
Abbildung 37	Ladedauern aller Fahrzeuge	36
Abbildung 38	Ladedauern insgesamt: Kumulierte Anteile nach Dauer	36
Abbildung 39	Ladedauern insgesamt: Kumulierte Anteile nach Dauer (Ausschnitt).....	37
Abbildung 40	Ladedauern: Minis und Kleinwagen	38
Abbildung 41	Ladedauern: Kompakt- und Mittelklasse.....	38
Abbildung 42	Ladedauern: Utilities	39
Abbildung 43	Ladedauern der Fahrten innerhalb der einzelnen Segmente: Kumulierte Anteile nach Dauer	40
Abbildung 44	Ladedauern der Fahrten innerhalb der einzelnen Segmente: Kumulierte Anteile nach Dauer (Ausschnitt)	40
Abbildung 45	Verteilung der Ladevorgänge im Tagesverlauf	41
Abbildung 46	Verteilung der Ladevorgänge im Tagesverlauf: Minis und Kleinwagen	42
Abbildung 47	Verteilung der Ladevorgänge im Tagesverlauf: Kompakt- und Mittelklasse... ..	42
Abbildung 48	Verteilung der Ladevorgänge im Tagesverlauf: Utilities	43
Abbildung 49	Ladedauern und abgenommene Energiemengen: alle Fahrzeuge.....	44
Abbildung 50	Ladedauern und abgenommene Energiemengen: Minis und Kleinwagen	45
Abbildung 51	Ladedauern und abgenommene Energiemengen: Utilities	46

1. Einleitung

Wie sieht der reale Praxisbetrieb von Elektrofahrzeugen aus, welche Entfernungen werden zurückgelegt und mit welcher Häufigkeit? Wie stellt sich der zeitliche Einsatz der Fahrzeuge hinsichtlich Fahrten und Beladung der Antriebsbatterie dar? Welche spezifischen Energieverbräuche sind damit verbunden und welche Energiemengen werden dem Netz entnommen?

Die vorliegenden Auswertungen nutzen die erstmals in dieser Breite vorhandene empirische Basis zum Einsatz von Elektrofahrzeugen und geben Antworten auf die obigen Fragen und weitere damit zusammenhängende Fragestellungen. Sie fußen auf den Ergebnissen und Erfahrungen zahlreicher Einzelprojekte, die innerhalb des Förderprogramms „Modellregionen Elektromobilität“ in den acht Modellregionen durchgeführt worden sind.

Als einer von fünf Teilberichten¹ zur Umweltbegleitforschung Elektromobilität stellt dieses Paper damit eine wichtige Grundlage für die Abschätzung der Umweltwirkungen von Elektrofahrzeugen auf Einzelfahrtenbasis dar und liefert einen Beitrag zur Herausstellungen von Anforderungen und Potenzialen einer umweltfreundlichen Elektromobilität.

Untersucht werden Messdaten zum Fahrzeugbetrieb und zu Ladevorgängen von Elektro-Pkw und leichten Nutzfahrzeugen, die innerhalb der Fahrzeuge gewonnen wurden und von Einzelprojekten, Modellregionen und Fahrzeugherstellern für eine gemeinsame Analyse im Rahmen der projektübergreifenden Plattform Umweltbegleitforschung bereitgestellt wurden. Die Integration der im Rahmen des Förderprogramms „Modellregionen Elektromobilität“ gewonnenen Daten zum Fahrzeugbetrieb war möglich über ein einheitliches Format, das innerhalb der Plattformarbeit entwickelt wurde. Zur Abwicklung des Datentransfers und zur technischen Unterstützung des Datenmanagements wurden PE International als Partner herangezogen und die SoFi-Software als Datenschnittstelle genutzt.

Dieser Teilbericht gliedert sich in sechs Abschnitte: Nach dieser Einleitung (Abschnitt 1) wird in Abschnitt 2 der Untersuchungsansatz des vorliegenden Teilberichts dargestellt. Es folgen Erläuterungen zum Komplex Datengrundlage in Abschnitt 3. Die Handhabung der Daten, Datenqualität und qualitätssichernde Maßnahmen werden in Abschnitt 4 erörtert. In Abschnitt 5, dem Hauptteil dieses Teilberichts, werden die Ergebnisse der quantitativen Analysen der Messdaten dargestellt. Abschließend erfolgt in Abschnitt 6 eine kurze resümierende Zusammenfassung der Ergebnisse.

¹ Weitere Teilberichte zu den Themenkomplexen „Vergleichsfahrzeuge“, „Strommix“, „Lärm und Schadstoffe“ und „Ökobilanzen“.

2. Untersuchungsansatz

Grundlage der vorliegenden Analysen sind Messdaten. Diese wurden von den beteiligten Projektpartnern wie z.B. Fahrzeugherstellern oder Forschungsinstituten bzw. deren Unterauftragnehmern im Rahmen der Einsatzzeiträume der geförderten Fahrzeuge gewonnen. Praktisch erfolgte die Datengewinnung innerhalb der Einzelprojekte auf zwei unterschiedlichen Wegen:

- a) durch Auslesen bestimmter Informationen über technische Geräte wie Datenlogger, die über entsprechende Schnittstellen mit den Elektrofahrzeugen verbunden worden sind und die fahrzeuginterne Sensorik nutzen können. Oder
- b) über zusätzlich verbaute Messtechnik, wie z.B. Geräte zur Bestimmung der GPS-Position.

In der Regel erfolgte eine kombinierte Gewinnung von verschiedenen Daten über beide Wege.

Um die Vielzahl der unterschiedlichen so gewonnenen Daten auf ein einheitliches Niveau zu bringen und die Daten integriert betrachten zu können, wurde im Rahmen der Umweltbegleitforschung ein standardisiertes Datenformat definiert. Nach Festlegung der für die Forschungsfrage der Umweltbegleitforschung zentralen Parameter wurde im Rahmen der Plattform zusammen mit den Teilnehmern aus Projekten und den Partnern aus Industrie und Forschung ein Minimaldatenset entwickelt und ein angemessenes Aggregationsniveau definiert. Dies geschah unter Ausbalancierung der Anforderungen der Umweltbegleitforschung einerseits und dem technisch machbaren, wirtschaftlich vertretbaren und unter Marktgesichtspunkten Leistbaren der entsprechenden Datenlieferanten andererseits.

Bezüglich der Merkmalsträger wurde festgelegt, die beiden wichtigsten Vorgänge der Elektrofahrzeuge zu betrachten:

- a) Fahrten
- b) und Ladevorgänge.

Betrachtet werden Einzelvorgänge, wobei jeder Einzelvorgang mit einer bestimmten Anzahl weiterer forschungsrelevanter Informationen verknüpft ist, sodass eine adäquate Analyse des Fahrzeugeinsatzes im Hinblick auf die Grundlagen zur Beantwortung der Forschungsleitfragen der Umweltbegleitforschung möglich ist.

Ausgewertet werden Informationen zu dem Ort der Messung (das Fahrzeug), der Dauer des Vorgangs, zurückgelegter Strecke und verbrauchter Energiemenge (bei Fahrten) bzw. Kilometerstand und aufgenommener Energiemenge (bei Ladevorgängen). Grob lassen sich die jeweiligen Parameter Tabelle 1 unten entnehmen. Konkret sind die spezifischen Parameter der Schnittstellenspezifikation von PE-International dokumentiert, welche darüber hinaus auch Details zur organisatorisch-technischen Abwicklung des Datentransfers liefert (s. Anhang 2).

Tabelle 1 Minimaldatenset Fahrten und Ladevorgänge*

Einzelfahrt	Ladevorgang
- Jahr der Messung	- Jahr der Messung
- Modellregion	- Modellregion
- Fahrzeug (ID)	- Fahrzeug (ID)
- Quellenangabe (Bereitsteller)	- Quellenangabe (Bereitsteller)
- Datum der Fahrt	- Datum des Ladevorgangs
- Anfangszeitpunkt der Fahrt	- Anfangszeitpunkt des Ladevorgangs
- Endzeitpunkt der Fahrt	- Endzeitpunkt des Ladevorgangs
- Dauer der Fahrt	- Dauer des Ladevorgangs
- Kilometerstand zu Anfang der Fahrt	- Kilometerstand zu Beginn des Ladevorgangs
- Kilometerstand zu Ende der Fahrt	
- Zurückgelegte Strecke	
- Energiestand zu Anfang der Fahrt	- Energiestand zu Anfang des Ladevorgangs
- Energiestand zu Ende der Fahrt	- Energiestand zu Ende des Ladevorgangs
- Verbrauchte Energiemenge	- Abgenommene Energiemenge

* Alle Werte zuzüglich der Angaben der verwendeten Messeinheiten.

Als mögliche Kandidaten für einen Beitrag zur empirischen Basis der Umweltbegleitforschung kommen all diejenigen Projekte in Betracht, in denen Pkw und/oder leichte Nutzfahrzeuge eingesetzt werden. Voraussetzung ist weiterhin, dass im Rahmen der Projekte Messungen innerhalb der Fahrzeuge vorgenommen werden, welche die geforderten Parameter beinhalten oder aus denen sich die geforderten Parameter (z.B. durch Berechnung, Zusammenfassung, Ableitung etc.) konstruieren lassen. Nachdem all diese Projekte mit den dazugehörigen Ansprechpartner in Erfahrung gebracht worden waren, erfolgten zahlreiche individuelle Abstimmungsprozesse über Art der lieferbaren Daten, Untersuchungszeiträume, Bereitstellung von bestimmtem Datenmaterial etc.

Es erwies sich in diesem Zusammenhang als notwendig, nicht nur die technischen Details in Form der Schnittstellenspezifikation² zu klären, sondern im Rahmen der Plattform auch eine zentrale Datenaustauschrichtlinie³ zu erarbeiten, um Konditionen der Datenbereitstellung und unterschiedliche Vertraulichkeitsstufen zu regeln und den Datenlieferanten eine Zusicherung über die vertrauliche Verwendung des bereitgestellten Datenmaterials zu geben. Diese Richtlinie wurde sowohl von der Plattformkoordination anerkannt als auch nach und nach von den jeweiligen Datenlieferanten, teils aus Voraussetzung für eine Datenbereitstellung, angenommen.

² Vergleiche Anhang 2.

³ Vergleiche Anhang 1.

3. Datenkollektiv

Grundsätzlich lassen sich zwei verschiedene Arten von Datenmaterial unterscheiden, die für die Bearbeitung der Forschungsfragen der Umweltbegleitforschung aus den Einzelprojekten und Modellregionen heraus bereitgestellt und in verschiedenen Stufen einbezogen wurden:

- Standard(mess)daten und
- ergänzende Materialien.

Die Spezifikationen der Standarddaten gemäß des vereinbarten Minimaldatensets wurden bereits oben erläutert. Die Standarddaten stellen die empirische Grundlage dar und sind (neben den aufbauend zu treffenden Annahmen über Strommix und Vergleichsfahrzeuge) essentiell für die Ableitung der Umweltwirkungen des Einsatzes von Elektrofahrzeugen. Der weitere Verlauf dieser Darstellungen ist der Bewertung und Analyse der Standarddaten gewidmet. Die darüber hinaus aufgenommenen Sonderdaten dienen dabei vor allem der Absicherung eines übergeordneten Rahmens zur Einordnung der Ergebnisse der Umweltbegleitforschung.⁴

Wie in Abschnitt 2 erläutert, ergibt sich die potenzielle Grundlage der Untersuchungen der Umweltbegleitforschung aus den in den Einzelprojekten eingesetzten Fahrzeugen, den jeweiligen Forschungsschwerpunkten und dem Forschungsdesign der Einzelprojekte. So standen nicht in allen Projekten verwertbare Messdaten (Standarddaten) zur Verfügung bzw. konnten nicht von allen Projekten verfügbar gemacht werden. Die nachfolgende Tabelle 2 gibt einen Überblick über die im Untersuchungskollektiv vorhandenen Modellreihen, differenziert nach KBA-Klassierung (KBA 2011).

Tabelle 2 Einbezogene Fahrzeuge nach Segmenten und Modellreihen

Segment	Anzahl	Modellreihen
Mini	151	smart fortwo ED, Think City, Mitsubishi i-MiEV, e-WOLF Delta-1, Fiat 500 (Umrüstkfahrzeug), Citysax
Kleinwagen	11	Fräger Stromos
Kompaktklasse	111	Mercedes A-Klasse E-Cell, VW eGolf
Mittelklasse	1	Renault Fluence Z.E.
Utilities (klein)	36	Renault Kangoo Z.E., Fiat E-Fiorino, Ford Transit Connect Electric, EcoCraft Eco Carrier, Goupil G3
Utilities (groß)	35	Mercedes Vito e-cell, Ford Transit BEV, Modec
Insgesamt	345	

Quelle: eigene Auswertungen

⁴ Spezialdaten wurden in ganz unterschiedlicher Form bereitgestellt und einbezogen, z.B. als detaillierte Messdaten in geringer zeitlicher Taktung oder als Mobilitätstagebücher, die einen ausschnitthafter tieferen Einblick in die Untersuchungsgegenstände geben und so eine bessere Einschätzung der aggregierten Standarddaten ermöglichen. Sonderdaten wie z.B. stark aggregierte Auswertungen von Messdaten aus anderen, jedoch ähnlichen Kontexten wie z.B. Großprojekten/Feldversuchen in anderen Ländern ermöglichen eine vergleichende Einschätzung der eigenen Ergebnisse vor dem Hintergrund vorhandener (z.T. Unternehmens-)Forschung in diesem Bereich.

Die oben abgegrenzten Fahrzeugsegmente umfassen ein breites Spektrum unterschiedlich ausgelegter und gestalteter Fahrzeuge und damit korrespondierend unterschiedlicher Einsatzmöglichkeiten. Daher ist im weiteren Verlauf eine Differenzierung der Segmente in unterschiedliche Analysegruppen angezeigt. Diese orientiert sich an der gängigen Klassierung des Kraftfahrt-Bundesamtes und fasst die klassischen KBA-Segmente in die drei Vergleichsgruppen Minis und Kleinwagen, Kompakt- und Mittelklasse und Utilities zusammen.⁵ Diese drei Gruppen ermöglichen eine angemessene Berücksichtigung der unterschiedlichen Fahrzeugauslegung und Einsatzmöglichkeiten, stellen aber durch Zusammenfassung jeweils mehrerer vergleichbarer Modellreihen noch immer den nötigen Datenschutz sicher.

Nach grundlegenden Maßnahmen zur Sicherungen der Datenqualität (s. dazu mehr in Abschnitt 4) ergibt sich eine empirische Basis von Beobachtungen von Elektro-Pkw und leichten Nutzfahrzeugen (Utilities), die sich über den Einsatzzeitraum von insgesamt gut 56.100 einzelnen Einsatztagen erstreckt.⁶ Innerhalb dieses Einsatzzeitraums wurden an insgesamt etwas weniger als der Hälfte (ca. 25.300 Tagen) Beobachtungen (Fahrten oder Ladevorgänge) dokumentiert; überwiegend Fahrten (an ca. 24.400 Einsatztagen) und weniger Ladevorgänge (an ca. 12.400 Einsatztagen). Tabelle 3 gibt hierüber einen Überblick.

Tabelle 3 Empirische Basis: Einsatzzeiträume und Anzahlen von Tagen mit Beobachtungen

Segment	Einsatzzeitraum (Tage)	Tage mit Beobachtungen		
		insgesamt	Tage mit Fahrten	Tage mit Ladevorgängen
Minis und Kleinwagen	38 087	15 890	14 726	7 257
Kompakt- und Mittelklasse	12 615	7 461	7 262	3 902
Utilities	10 442	4 585	4 056	1 270
Gesamt	56 119	25 304	24 359	12 429

Quelle: eigene Auswertungen

Konkret sind in der oben genannten Summe der Einsatzzeiträume der betrachteten Fahrzeuge insgesamt gut 152.000 Nutzungsvorgänge dokumentiert, davon ca. 84 % Fahrten und 16 % Ladevorgänge (s. Tabelle 4).

Angemerkt werden muss zu dieser empirischen Basis, dass nicht alle Datenreihen zu Nutzungsvorgängen durchgehend Angaben zu allen im Minimaldatenset festgelegten Parametern haben. Tatsächlich gibt es im Bereich der Fahrten vor allem bezüglich der Energieverbräuche zahlreiche fehlende Werte. Im Bereich der Ladevorgänge treten den Angaben zur abgenommenen Energiemenge gehäuft fehlenden Werte auf. Mehr dazu im 2. Absatz des folgenden Kapitels 4.

⁵ Zur KBA-Klassierung siehe auch den Teilbericht zu Vergleichsfahrzeugen (Schallaböck/Carpantier 2012).

⁶ Summe aller Einsatzzeiträume (in Tagen) über alle beobachteten Fahrzeuge.

Tabelle 4 Empirische Basis: Nutzungsvorgänge

Segment	Nutzungsvorgänge insgesamt	Fahrten**	Ladevorgänge**
Minis und Kleinwagen	88 793	73 160	15 633
Kompakt- und Mittelklasse	53 701	47 541	6 160
Utilities*	9 854	7 854	2 000
Gesamt	152 348	128 555	23 793

* Utilities im Bereich der großen leichten Nutzfahrzeuge ohne Einzelfahrten für die Modellreihen Mercedes Vito e-cell und Modec (Daten lagen nur in aggregierter Form als Tagessummen vor).

** In großem Umfang unvollständige Messreihen (fehlende Angaben zu einem oder mehreren relevanten Merkmalen des Vorgangs).

Quelle: eigene Auswertungen

4. Datenqualität

Vorgeschalteter Schritt vor der Untersuchung der eigentlich interessierenden Fragestellungen und Auswertungsgegenständen war die detaillierte Prüfung der Datenqualität der zur Verfügung gestellten Messdaten, teils in enger Abstimmung mit den Datenlieferanten selber. Nicht nur der Pionier-Charakter des Forschungsvorhabens, die dezentrale Datenerhebung und Lieferung und die damit verbundenen fallweisen detailtechnischen Probleme gebieten dies. Der regelmäßige Austausch zwischen Wuppertal Institut, PE International und Datenlieferanten bildete deswegen eine Voraussetzung für die Gewährleistung einer guten Datenqualität.

Gleichwohl war es nur für einen Teil der dokumentierten Fahrzeuge, Fahrten und Ladevorgänge möglich, hinreichend plausible und vollständige Datensätze in die statistischen Auswertungen einzubeziehen. Für einen nicht unerheblichen Teil der dokumentierten Fahrten fehlen (in Abhängigkeit vom jeweiligen Datenlieferanten) entweder die Angaben zur Länge der Fahrtstrecke, zum Energieverbrauch aus der Batterie, oder zu beiden. Bei den Ladevorgängen fehlen vor allem Angaben zur abgenommenen Energiemenge.

Über das Problem fehlender Werte hinaus mussten sowohl bei Nutzungs- als auch bei Ladevorgängen vergleichsweise wenige Datensätze wegen verschiedener unplausibler Einzelangaben ausgeschlossen werden, während bei einer größeren Anzahl der Fahrten die Marginalitätskriterien nicht erfüllt wurden. Die nachfolgende Tabelle 5 gibt einen Überblick über die angelegten Prüfkriterien und die qualitätssichernden Maßnahmen zum Umgang mit unplausiblen Werten und Ausreißern.

Tabelle 5 Plausibilitätskriterien der gemessenen Parameter

Merkmal bzw. Merkmalskombination	Plausibilitätskriterien*	Qualitätssichernde Maßnahmen (Umgang mit Abweichungen)
Fahrten		
Anfangs- und Endzeitpunkt der Fahrt	Beginn des Vorgangs liegt zeitlich vor dem Ende des Vorgangs	Korrektur systematischer (Vorzeichen-)Fehler nach Rücksprache mit Hersteller, ansonsten Fallausschluss (vollständig)
Länge der Fahrt	Minimal 150 m, maximal 250 km	Fallausschluss (vollständig)
Dauer der Fahrt	Minimal 30 sek, maximal 10 Stunden	Fallausschluss (vollständig)
Energieverbrauch der Fahrt	Minimal größer 0, maximal 25 kWh	Fallausschluss (vollständig)
Ladevorgänge		
Anfangs- und Endzeitpunkt des Ladevorgangs	Beginn des Vorgangs liegt zeitlich vor dem Ende des Vorgangs	Korrektur systematischer (Vorzeichen-)Fehler nach Rücksprache mit Hersteller, ansonsten Fallausschluss (vollständig)
Dauer des Ladevorgangs	Minimal 1 min, maximal 3 Tage	Fallausschluss (vollständig)
Abgenommene Energiemenge	Minimal größer 0, maximal 30 kWh	Fallausschluss (vollständig)

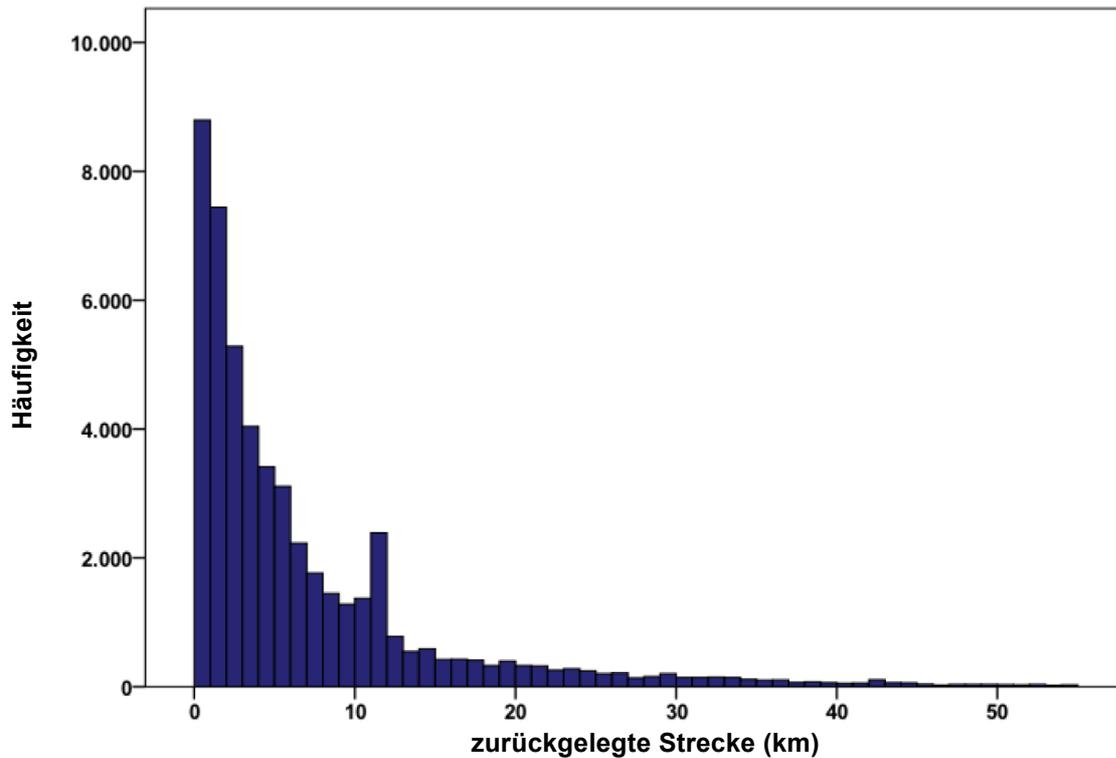
* In Einzelfällen darüber hinausgehende Maßnahmen zur Ausreißerkontrolle werden bei den entsprechenden Analysen dargestellt.

5. Befunde

5.1 Fahrten

Fahrleistungen (Strecken)

Abbildung 1 Verteilung der Fahrtenlängen: alle Fahrten (Histogramm)

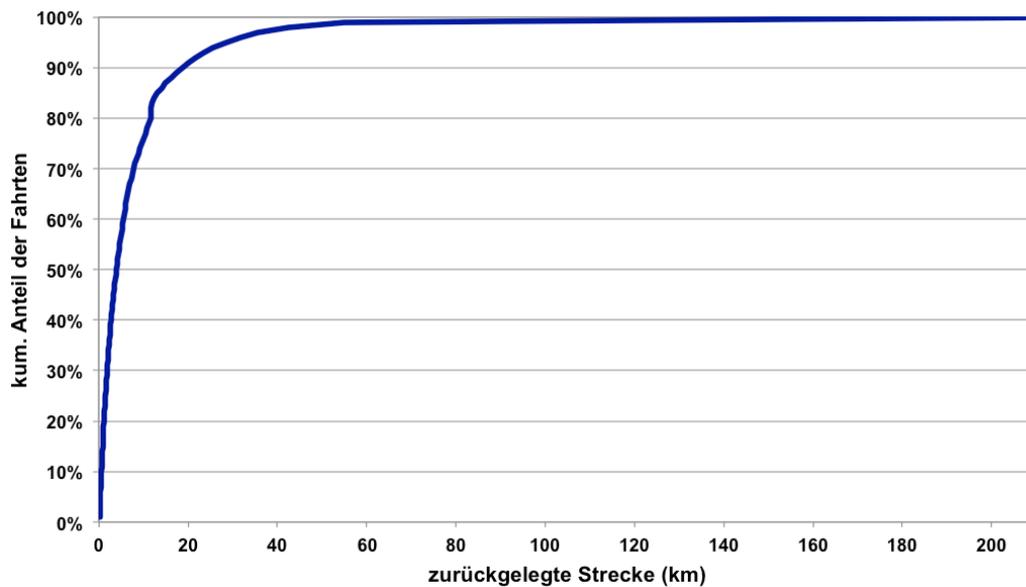


N = 51.097 Fahrten. Abgebildet werden hier nur Fahrten bis zu einer Länge von 55 km, weniger als 1 % aller Fahrten liegen in dem in der Abbildung nicht dargestellten Wertebereich.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

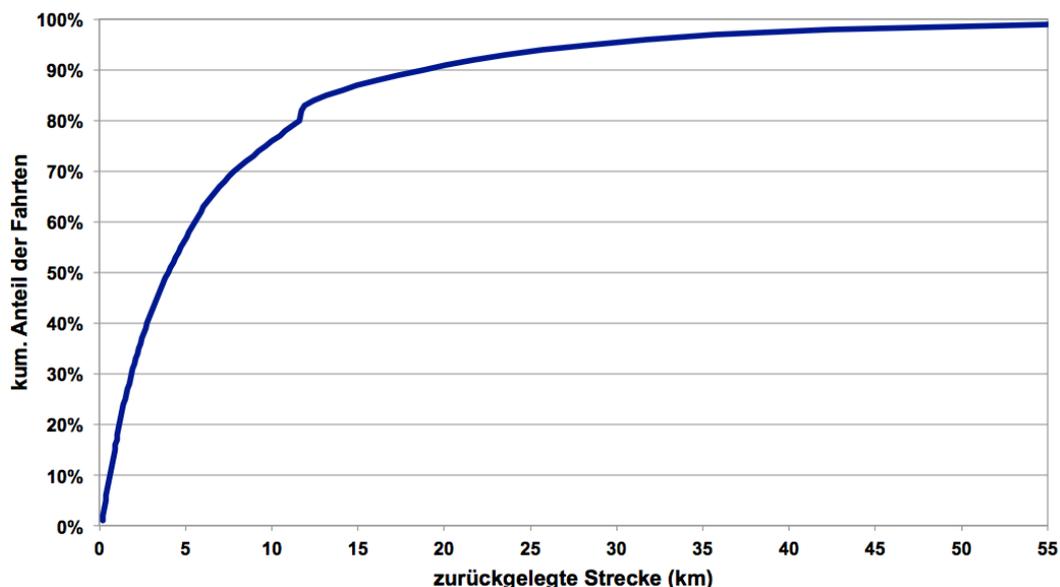
Die durchschnittliche Fahrtenlänge der untersuchten Elektrofahrzeuge liegt bei 7,7 km (Standardabweichung 10,8 km). Abbildung 1 bis Abbildung 3 zeigen, dass sich ein Großteil der Fahrten im Bereich bis zu 10 km bewegt, nämlich gut 3/4 aller Fahrten. Trotz Beschränkung der Betrachtungen auf Fahrten mit einer Länge über 150 m⁷ gibt es einen erheblichen Anteil an Fahrten mit weniger als einem Kilometer Distanz (17 % aller Fahrten). Der Median der Verteilung liegt bei nur 4 km und somit deutlich unter dem arithmetischen Mittel. Die gegenüber dem Mittelwert relativ hohe Standardabweichung ergibt sich durch einen kleinen Anteil von Fahrten, die deutlich länger als die durchschnittliche Fahrt sind und im oberen Teil der Verteilung in Einzelfällen bis zu einer Länge von gut 200 km reichen. Gut die Hälfte aller Fahrten liegt zwischen 1,5 und knapp 10 Kilometern, jeweils ein Viertel darunter und ein Viertel darüber.

⁷ Siehe Tabelle 5 zu Minimalanforderungen/Plausibilitätskriterien.

Abbildung 2 Zurückgelegte Strecken: Kumulierte Anteile nach Streckenlänge

N = 51.097 Fahrten.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Abbildung 3 Zurückgelegte Strecken: Kumulierte Anteile nach Streckenlänge (Ausschnitt*)

N = 51.097 Fahrten.

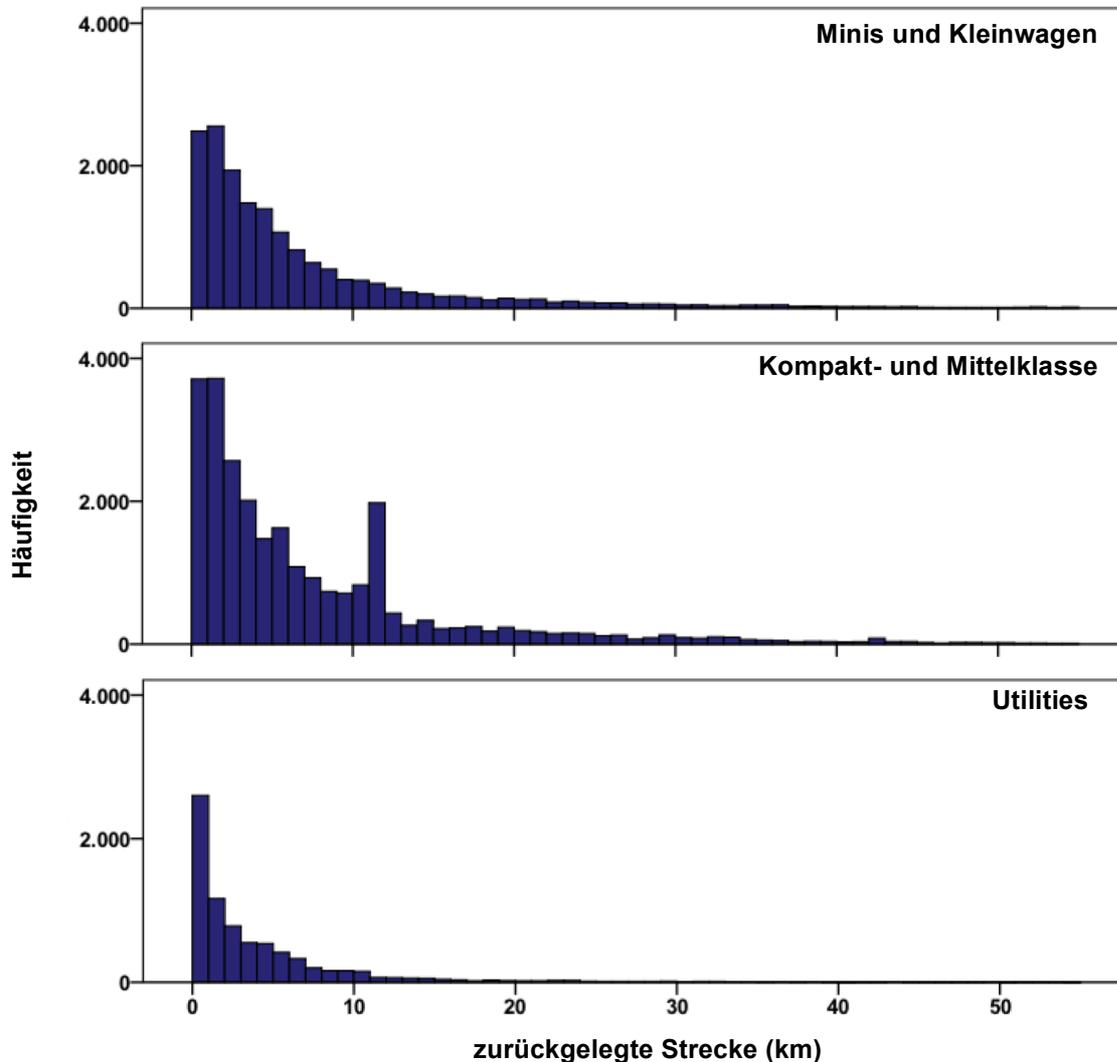
* Abgebildet werden in diesem Ausschnitt nur Fahrten bis zu einer Länge von 55 km, weniger als 1 % aller Fahrten liegen in dem in der Abbildung nicht dargestellten Wertebereich.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Die Gegenüberstellung der Einzelstrecken innerhalb der drei Vergleichsgruppen in Abbildung 4 bis Abbildung 6 zeigt im Wesentlichen gleiche Verteilungsmuster, wobei die leichten Nutzfahrzeuge (Utilities) durch etwas kürzere Strecken und die Fahrzeuge der Mittel- und Kompaktklasse durch eine Anhäufung von Fahrten im Bereich um 12 km hervortreten. Einzelfahrten von Minis und Kleinwagen und Fahrzeuge der Kompakt- und Mittelklasse sind im Mittel 7,9 bzw. 8,4 km lang und streuen im Schnitt etwa gleich (Standardabweichung 11,1 km). Der

niedrigere Durchschnittswert liegt bei den leichten Nutzfahrzeugen bei 4,8 km. Auch ist die Verteilung bei den leichten Nutzfahrzeugen insbesondere im oberen Bereich etwas homogener, was zu einer Standardabweichung von nur 8,5 km führt.

Abbildung 4 Verteilung der Fahrtenlängen: Fahrten innerhalb der Segmente (Histogramme)



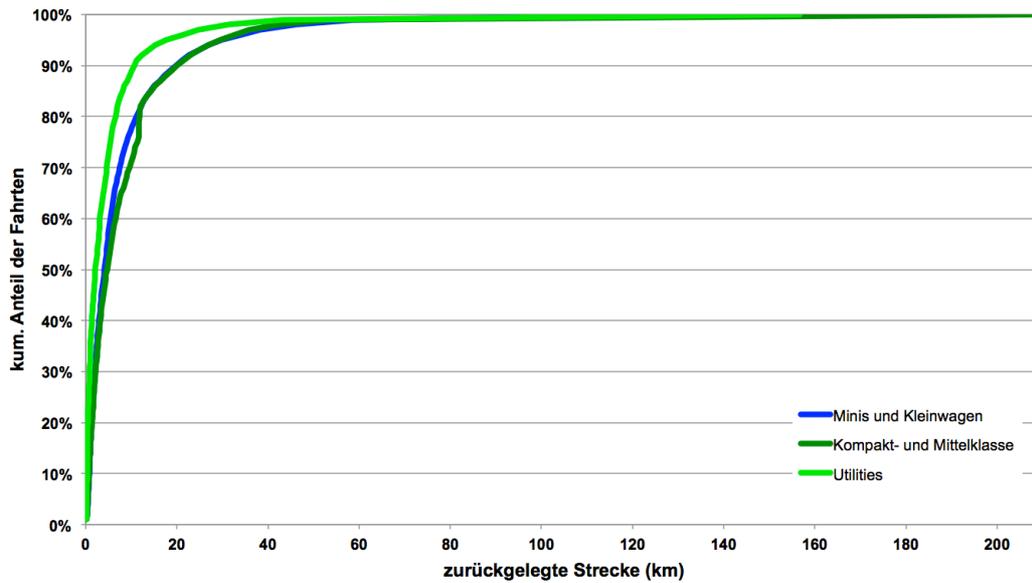
N = 17.201 / 26.110 / 7.786 Fahrten (Minis und Kleinwagen / Kompakt- und Mittelklasse / Utilities).

Abgebildet werden hier nur Fahrten bis zu einer Länge von 55 km, weniger als 1 % aller Fahrten liegen in dem in der Abbildung nicht dargestellten Wertebereich.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

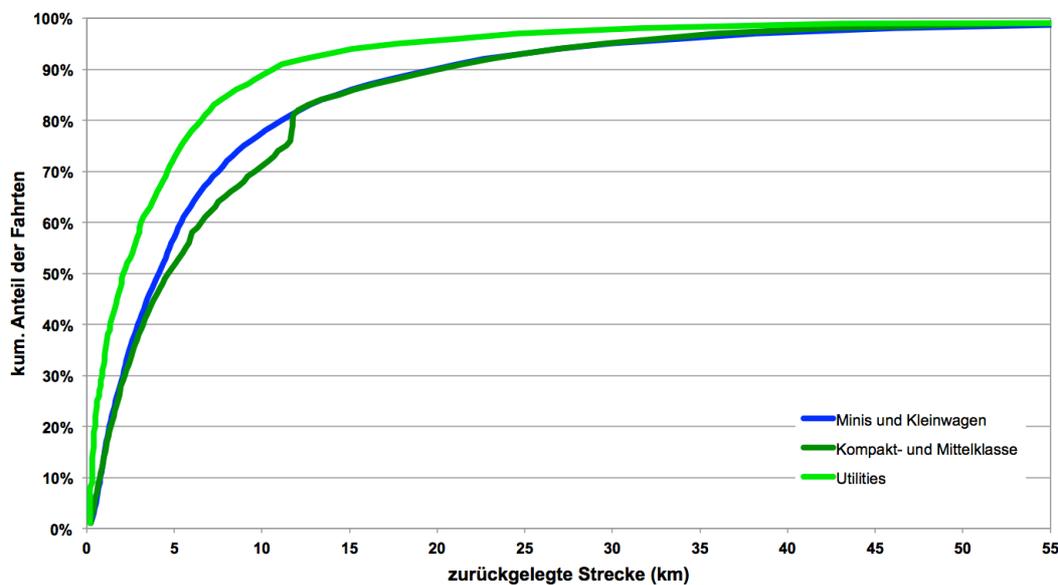
Bei Minis und Kleinwagen sowie bei Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse liegen jeweils knapp 15 % der Fahrten unter einem Kilometer Länge, bei den leichten Nutzfahrzeugen, vermutlich durch den spezifischen Einsatz im Lieferverkehr bedingt, sogar ein knappes Drittel der Fahrten. Im Bereich bis zu 10 km Distanz liegen bei den Minis und Kleinwagen gut 77 % der Fahrten, innerhalb der Kompakt- und Mittelklasse etwas über 71 % und bei den leichten Nutzfahrzeugen sogar über 88 % der Fahrten. Mediane liegen bei etwas unter 4,1 km, knapp 4,7 km und bei nur knapp 2,9 km (Reihenfolge: Minis und Kleinwagen, Kompakt- und Mittelklasse, leichte Nutzfahrzeuge).

Abbildung 5 Zurückgelegte Strecken der Vergleichsgruppen: Kumulierte Anteile nach Streckenlänge



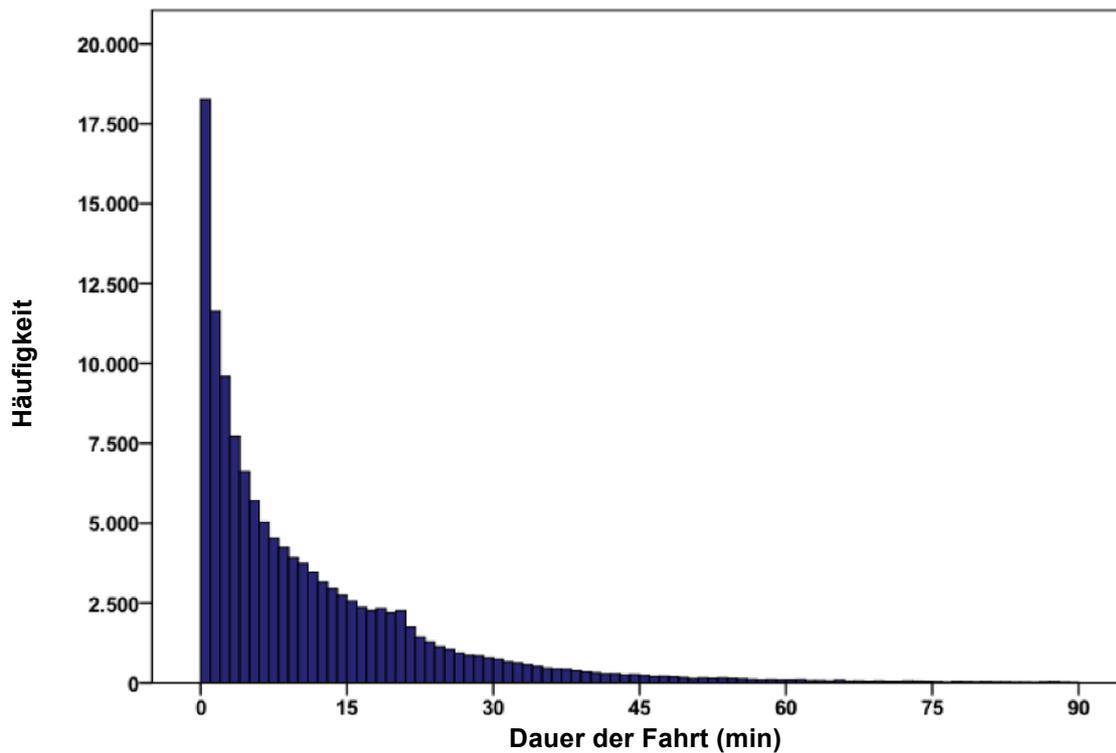
N = 17.201 / 26.110 / 7.786 Fahrten (Minis und Kleinwagen / Kompakt- und Mittelklasse / Utilities).
 Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Abbildung 6 Zurückgelegte Strecken der Vergleichsgruppen: Kumulierte Anteile nach Streckenlänge (Ausschnitt*)



N = 17.201 / 26.110 / 7.786 Fahrten (Minis und Kleinwagen / Kompakt- und Mittelklasse / Utilities).
 * Abgebildet werden in diesem Ausschnitt nur Fahrten bis zu einer Länge von 55 km, weniger als 1 % aller Fahrten liegen in dem in der Abbildung nicht dargestellten Wertebereich.
 Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Innerhalb der drei Vergleichsgruppen sind es die Fahrzeuge der Kompakt- und Mittelklasse, welche den größten Anteil an Ausreißern nach oben haben (Maximum 208 km), Minis und Kleinwagen sowie leichte Nutzfahrzeuge fahren selbst bei relativ langen Strecken nicht so weit (Maxima bei 136 und 157 km).

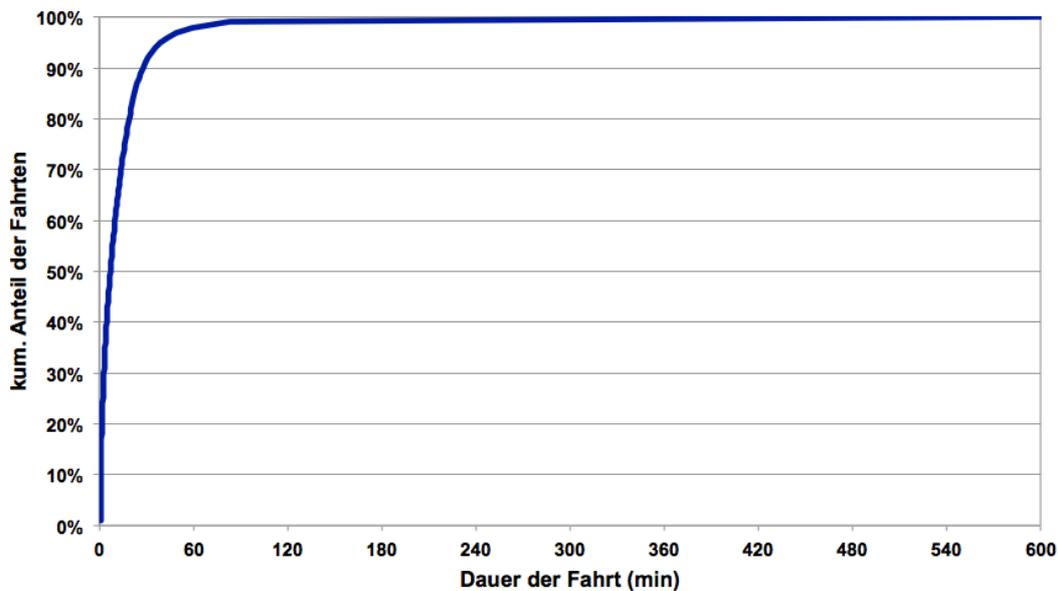
Fahrt dauern/Betriebsdauern**Abbildung 7** Verteilung der Betriebsdauern: alle Fahrten (Histogramm)

N = 128.555 Fahrten.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

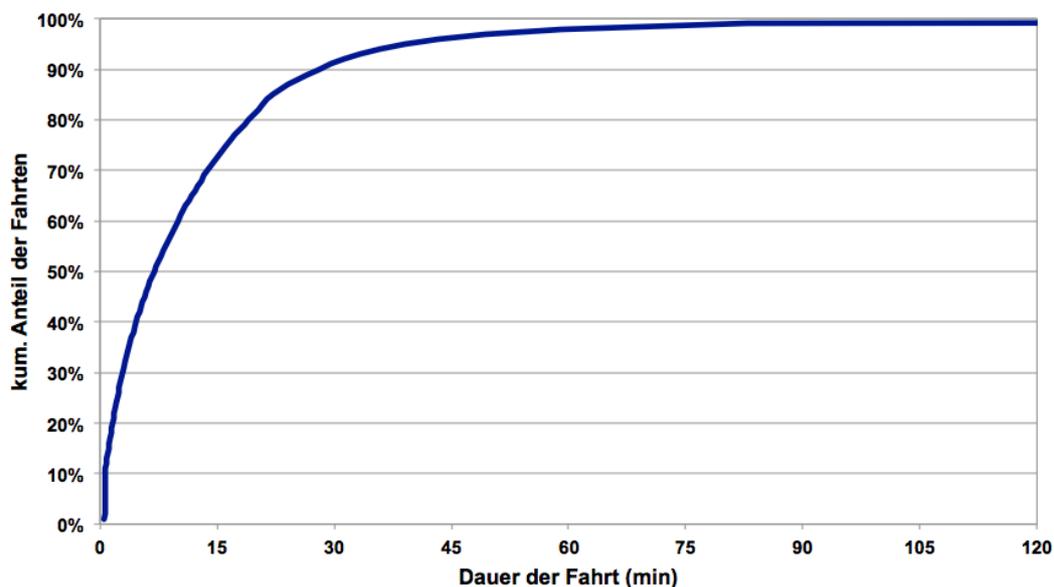
Die beobachteten Fahrten mit Elektrofahrzeugen sind meist relativ kurz, die Hälfte aller Fahrten ist nicht länger als 7 min. Im Mittel dauern sie ca. 12:40 min und streuen mit einer Standardabweichung von knapp 23 min. Obwohl hier nur Fahrten ab einer minimalen Dauer von 30 sek. betrachtet werden⁸, dauern noch knapp 15 % aller beobachteten Fahrten weniger als 1 min. Über einer Dauer von 1 Std. befinden sich weniger als 2 % der Fahrten, diese reichen aber in Einzelfällen bis zu einer Dauer von knapp 10 Std. Diese sehr wenigen extremen Ausreißer könnten im Rahmen der Plausibilitätsprüfungen nicht mit Sicherheit als Messfehler ausgeschlossen werden. Denkbar ist auch, dass es sich um „Tests“ der Pkw-Betreiber handelt, in denen die maximale Akkuhaltbarkeit der „im Standbetrieb“ Fahrzeuge herausgefunden werden sollte. Bei der Interpretation der Standardabweichung der Fahrtdauer muss allerdings berücksichtigt werden, dass diese extrem langen Betriebsdauern den Wert deutlich in die Höhe treiben, während die maßgebliche Verteilung der Fahrtauern relativ homogen ist.

⁸ Vgl. Tabelle 5 zu Minimalanforderungen/Plausibilitätskriterien.

Abbildung 8 Betriebsdauern aller Fahrten: Kumulierte Anteile der Fahrten nach Dauer

N = 128.555 Fahrten.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Abbildung 9 Betriebsdauern aller Fahrten: Kumulierte Anteile der Fahrten nach Dauer (Ausschnitt*)

N = 128.555 Fahrten.

* Dargestellt werden nur Fahrten bis zu einer Dauer von 120 min./2 Std., weniger als 1 % der Fälle entfallen.

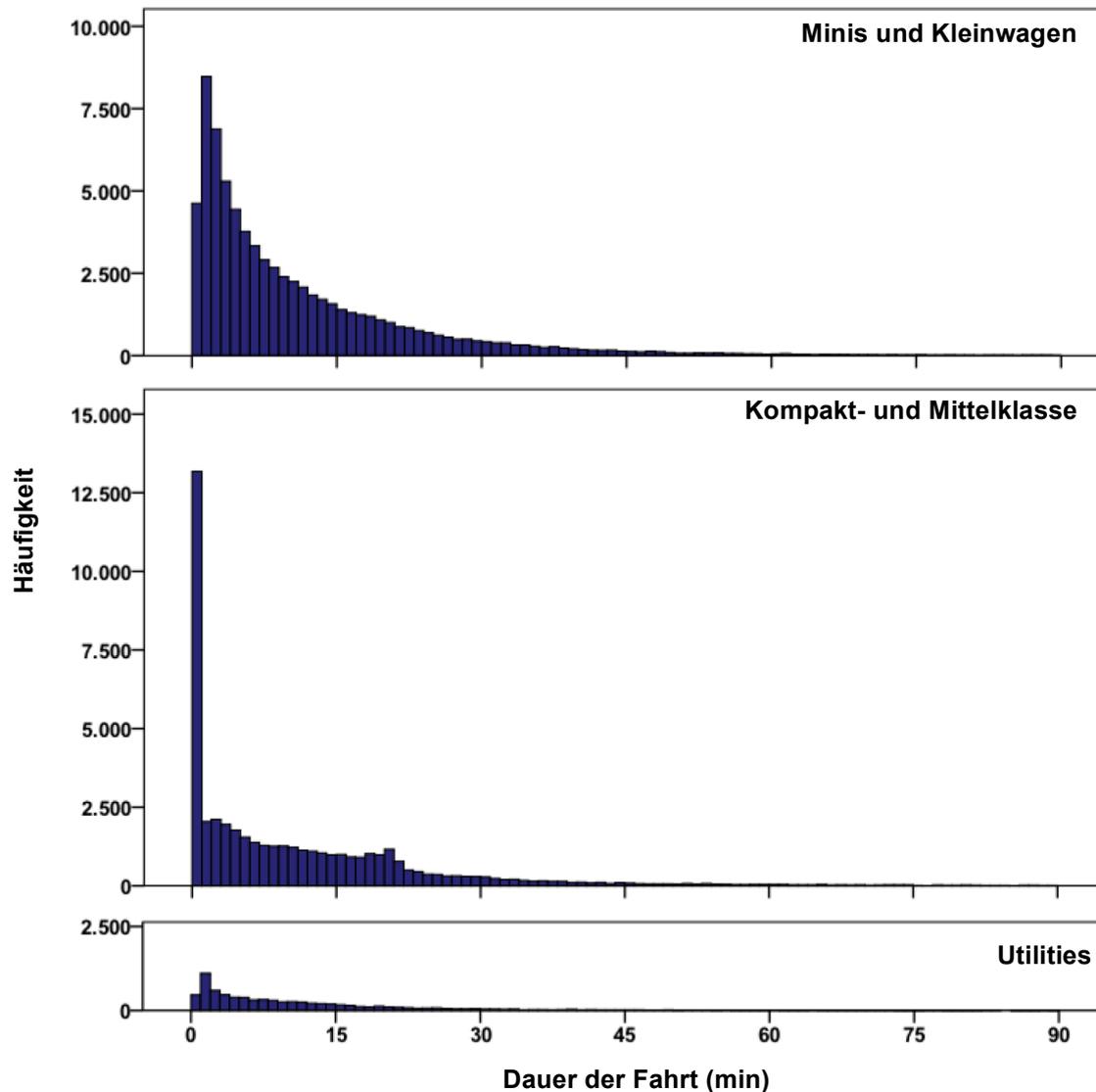
Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

50 % der Fahrten dauern zwischen zwei und 16 Minuten, knapp halb so viele Fahrten (24 %) sind kürzer, etwas mehr als die Hälfte dauern länger (26 %).

Differenziert man nun nach den drei Vergleichsgruppen, ergeben sich in den unteren Teilen der Verteilungen deutliche Unterschiede. Es stellt sich heraus, dass die hohen Anzahlen extrem kurzer Fahrten vor allem durch die Fahrzeuge der Kompakt- und Mittelklasse zustande

kommen. Bei diesen haben über 27 % der Fahrten eine Dauer unter einer Minute. Dem stehen Anteile von knapp 7 % bei Minis und Kleinwagen und 6 % bei leichten Nutzfahrzeugen entgegen.

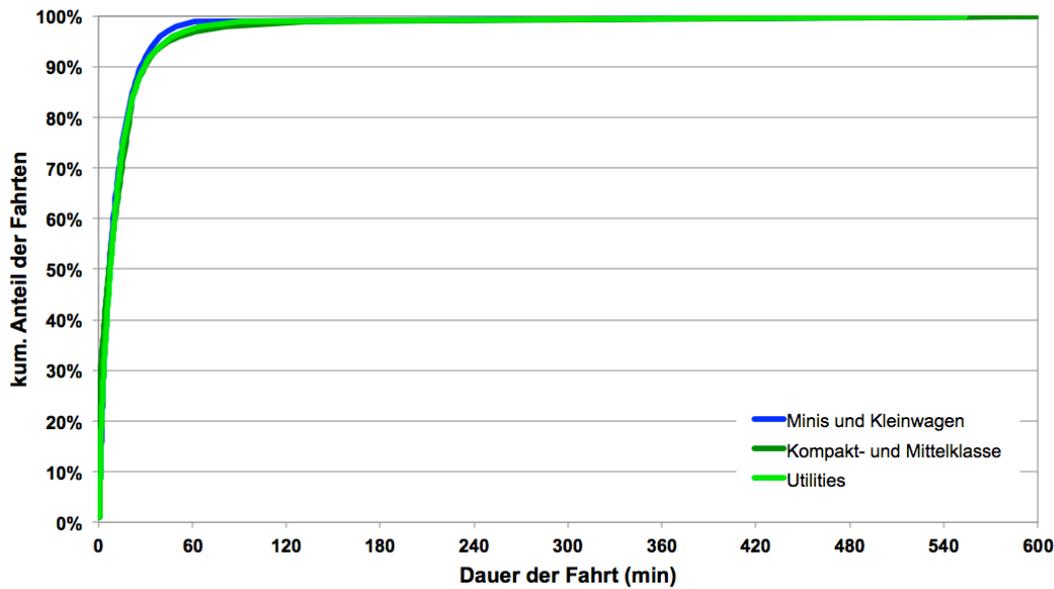
Abbildung 10 Verteilung der Betriebsdauern : Fahrten innerhalb der Segmente (Histogramme)



N = 73.160 / 47.541 / 7.854 Fahrten (Minis und Kleinwagen / Kompakt- und Mittelklasse / Utilities).
 Dargestellt werden nur Fahrten bis zu einer Dauer von 120 min./2 Std., weniger als 1 % der Fälle entfallen.
 Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

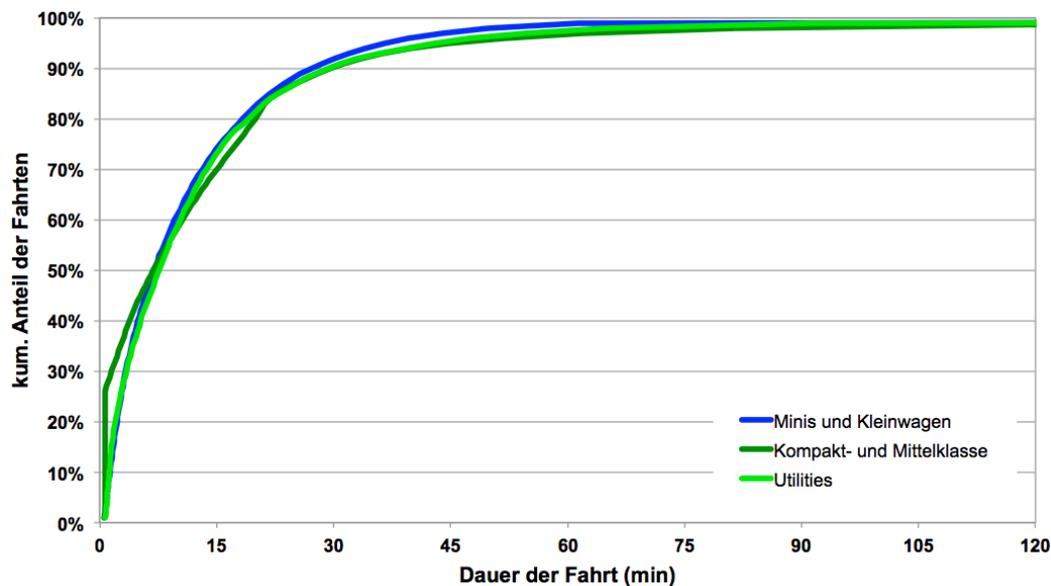
Im Bereich bis 10 min Fahrdauer befinden sich bei den drei Vergleichsgruppen dann wieder ähnliche Anteile, in etwa gut 61 % bei Minis und Kleinwagen und knapp 59 % bei Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse und bei leichten Nutzfahrzeugen. Insb. Abbildung 12 zeigt, dass sich die Unterschiede in den Verteilungen der drei Gruppen ab ca. einem Anteil von 50 % der Fahrten (sortiert nach Dauer) wieder annähern. Im Bereich über 1 Std. Dauer liegen in allen drei Gruppen sehr wenige Fahrten, jeweils etwas über 1, knapp über 3 und ca. 2,5 % (Reihenfolge: Minis und Kleinwagen, Kompakt- und Mittelklasse, leichte Nutzfahrzeuge).

Abbildung 11 Betriebsdauern der Fahrten innerhalb der einzelnen Segmente: Kumulierte Anteile der Fahrten nach Dauer



N = 73.160 / 47.541 / 7.854 Fahrten (Minis und Kleinwagen / Kompakt- und Mittelklasse / Utilities).
 Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Abbildung 12 Betriebsdauern der Fahrten innerhalb der einzelnen Segmente: Kumulierte Anteile der Fahrten nach Dauer (Ausschnitt*)



N = 73.160 / 47.541 / 7.854 Fahrten (Minis und Kleinwagen / Kompakt- und Mittelklasse / Utilities).
 Dargestellt werden nur Fahrten bis zu einer Dauer von 120 min./2 Std., weniger als 1 % der Fälle entfallen.
 Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Die arithmetischen Mittel liegen ebenfalls nahe beieinander, es ergeben sich Werte von 11,5 und 12,9 min bei Minis und Kleinwagen und in der Klasse der leichten Nutzfahrzeuge, der Wert der Kompaktklasse liegt bei 14,4 min. Die Standardabweichungen sind entsprechend der unterschiedlichen Anteile von Werten im äußeren Rand der Verteilung auf die drei Grup-

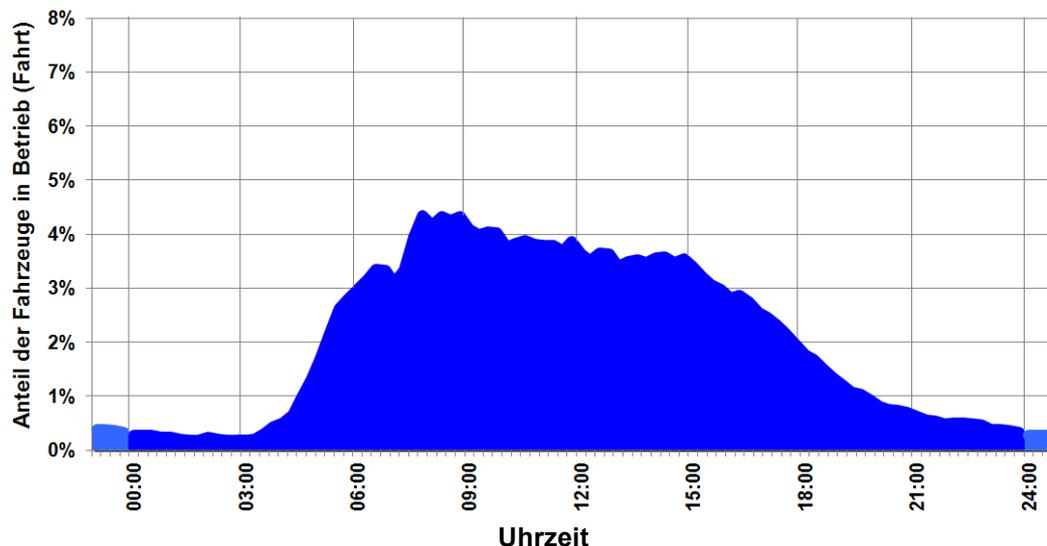
pen recht unterschiedlich und liegen bei 14,6 min für Minis und Kleinwagen, 32,2 min bei Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse und 18,8 min bei den leichten Nutzfahrzeugen.

Tagesgänge Fahrten

Die Tagesgänge der Fahrzeugeinsätze werden in rechtsoffenen Viertelstundenintervallen angegeben und bezeichnen jeweils den Anteil der Fahrzeuge, die in diesem Zeitraum gefahren werden.

Bezogen auf alle Fahrten lässt sich anhand Abbildung 13 erkennen, dass maximal 4,3 % aller Fahrzeuge innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls im Rahmen einer Fahrt unterwegs waren. Die Peaks liegen in den Intervallen [7:45, 8:00[und [8:15, 9:00[. Zwischen ca. 4 und ca. 6:45 Uhr gibt es einen relativ starken Anstieg in der Fahrtenhäufigkeit, bis ca. 15 Uhr folgt dann die Zeit des stärksten Fahrzeugeinsatzes. Zwischen 15 bis ca. 20 Uhr flaut dieser gleichmäßig ab und stabilisiert sich innerhalb der Nachtstunden bei einem Wert von unter 0,5 % der Fahrzeuge.

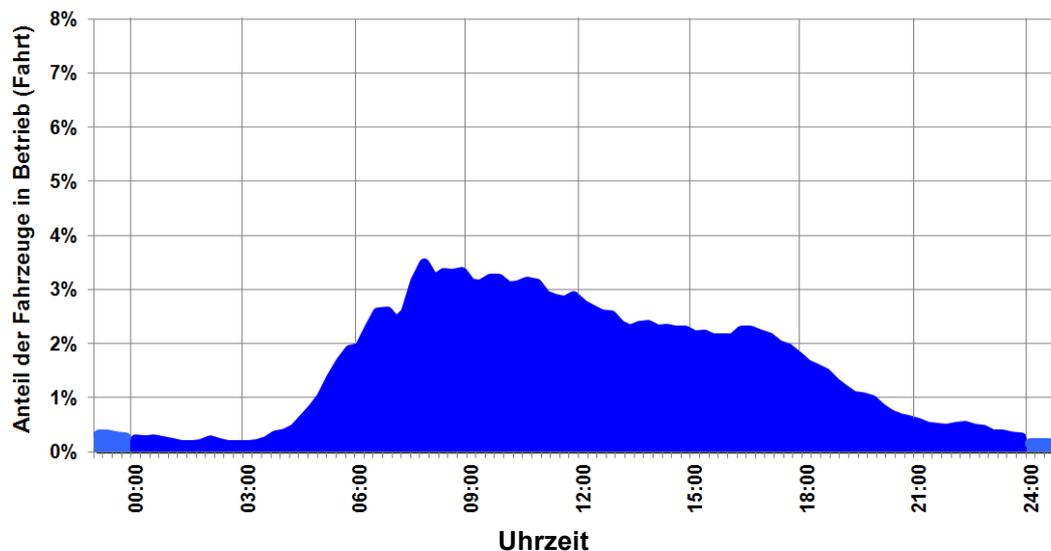
Abbildung 13 Tagesgänge aller Fahrten



N = 128.555 Fahrten. Viertelstundenintervalle; Anteile der durchschnittlich fahrenden Fahrzeuge im Beobachtungszeitraum.

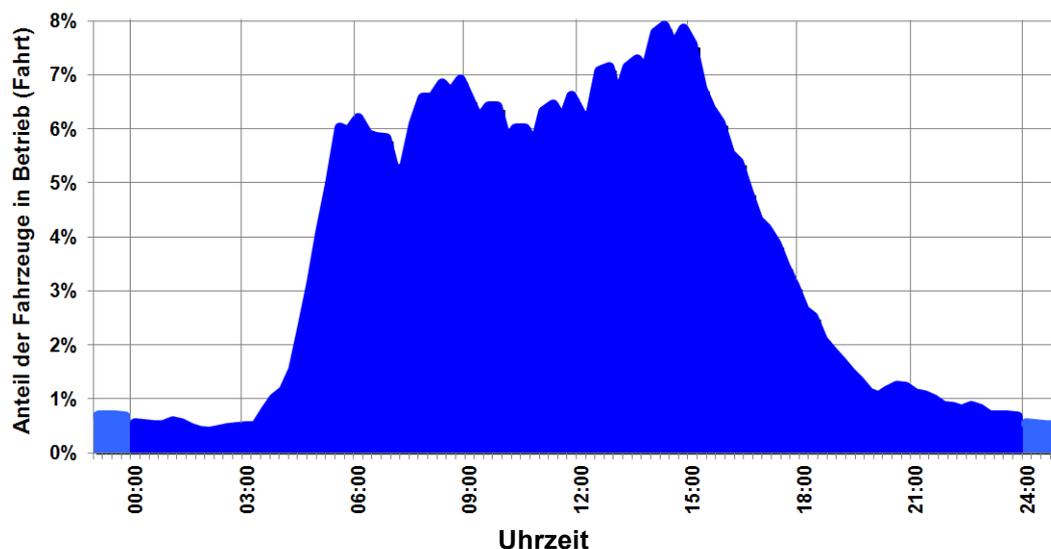
Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Stellt man die drei Gruppen Minis und Kleinwagen, Kompakt- und Mittelklasse sowie leichte Nutzfahrzeuge gegenüber, werden leicht unterschiedliche Einsatzprofile deutlich. Innerhalb der folgenden drei Abbildungen ist die Skalierung der Y-Achse gleich gehalten, sodass auch im direkten Vergleich gut ersichtlich ist, dass die Anteile der Fahrzeuge „im Einsatz“ innerhalb der Fahrzeuge der Kompakt- und Mittelklasse am größten sind, gefolgt von denen der leichten Nutzfahrzeuge (bis Abbildung 16). Auch die Verteilungsmuster sind unterschiedlich. So liegt der Peak bei den Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse in den frühen Nachmittagsstunden zwischen 12 und 15 Uhr und erreicht Anteilswerte von 7,9 % der Fahrzeuge (vgl. Abbildung 15).

Abbildung 14 Tagesgänge der Fahrten mit Minis und Kleinwagen

N = 73.160 Fahrten. Viertelstundenintervalle; Anteile der durchschnittlich fahrenden Fahrzeuge im Beobachtungszeitraum.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Abbildung 15 Tagesgänge der Fahrten mit Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse

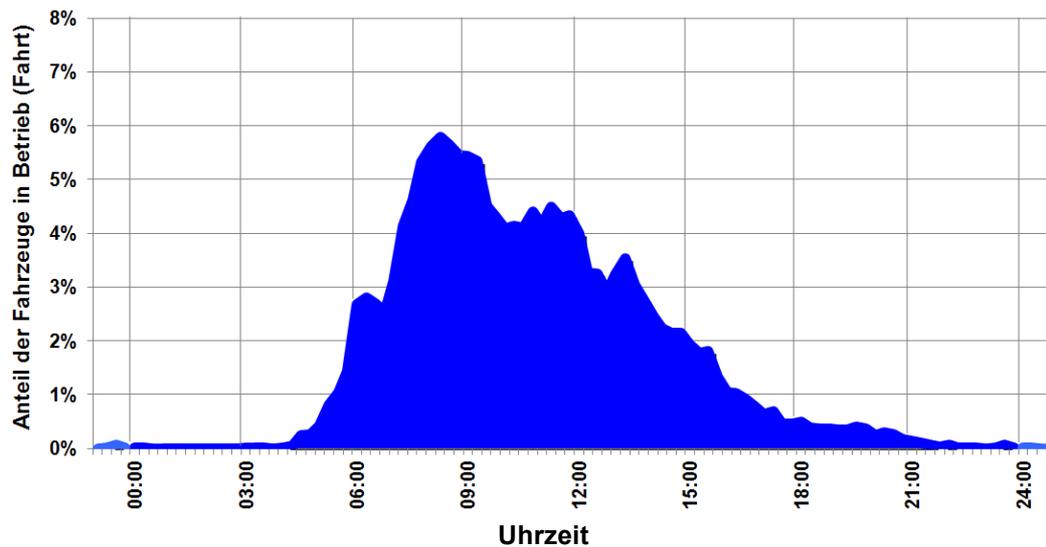
N = 47.541 Fahrten. Viertelstundenintervalle; Anteile der durchschnittlich fahrenden Fahrzeuge im Beobachtungszeitraum.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Bei den leichten Nutzfahrzeugen werden die höchsten Einsatzanteile in den Morgenstunden zwischen 8:45 und 9:30 erreicht und gehen hinauf bis zu 5,8 % der Utilities. Auch ist die Zeitspanne der Einsatzzeiten bei den leichten Nutzfahrzeugen deutlich geringer und konzentriert sich stark auf den Bereich zwischen 5:00 und 18:00 Uhr. Nur wenige Fahrzeuge (maximal 0,5 %) sind noch später unterwegs, nach 21 Uhr fast gar keine mehr (höchstens 1 %, siehe Abbildung 16). Nimmt man bei den leichten Nutzfahrzeugen einen fast ausschließlich gewerblichen Einsatz an, passen die Tagesgänge zu den in diesem Bereich üblichen Einsatzzeiten.

Insgesamt die geringsten Einsatzanteile weisen im Rahmen der drei Vergleichsgruppen die Fahrzeuge der Mini- und Kleinwagenklasse auf. Diese sind dafür über einen breiteren Teil des Tages im Einsatz, nämlich vermehrt von ca. 5:00 bis ca. 19:30 Uhr. Der Peak wird innerhalb dieser Modellreihen bei ungefähr 8:00 Uhr erreicht, die Verteilung flacht danach allerdings eher langsam bis zu einer Tageszeit von ca. 17:00 Uhr ab, ab 17:00 Uhr dann stärker.

Abbildung 16 Tagesgänge der Fahrten mit leichten Nutzfahrzeugen (Utilities)



N = 7.854 Fahrten. Viertelstundenintervalle; Anteile der durchschnittlich fahrenden Fahrzeuge im Beobachtungszeitraum.

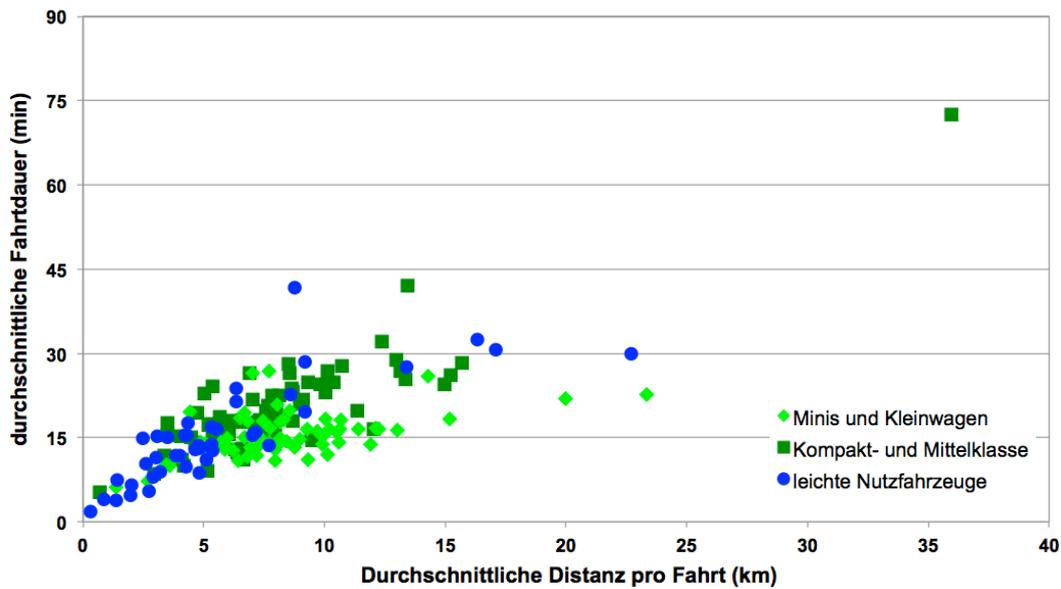
Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Geschwindigkeiten

Durchschnittsgeschwindigkeiten ergeben sich als Quotient aus den zurückgelegten Kilometern und den dazugehörigen Zeiteinheiten und können in unterschiedlichen Bezügen berechnet werden. Auf Ebene der Einzelfahrten haben sich in Einzelfällen einige unplausible Durchschnittsgeschwindigkeiten mit z.T. deutlich über 100 km/h ergeben. Diese werden auf Fehlmessungen zurückgeführt, deren Werte zwar im Einzelnen (bezogen auf jeweils nur ein Merkmal) nicht außerhalb der zulässigen Wertebereiche liegen, als Kombination aber unplausibel sind. Zur Verbesserung der Datenqualität wurden daher sämtliche Fahrten mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von über 96,35 km/h (= 1 % der Fälle) aus den nachfolgenden Analysen ausgeschlossen.

An dieser Stelle werden zuerst die fahrzeug- und segmentspezifischen Werte über den gesamten Beobachtungszeitraum dargestellt und danach die Ergebnisse auf Ebene der disaggregierten Einzelfahrten.

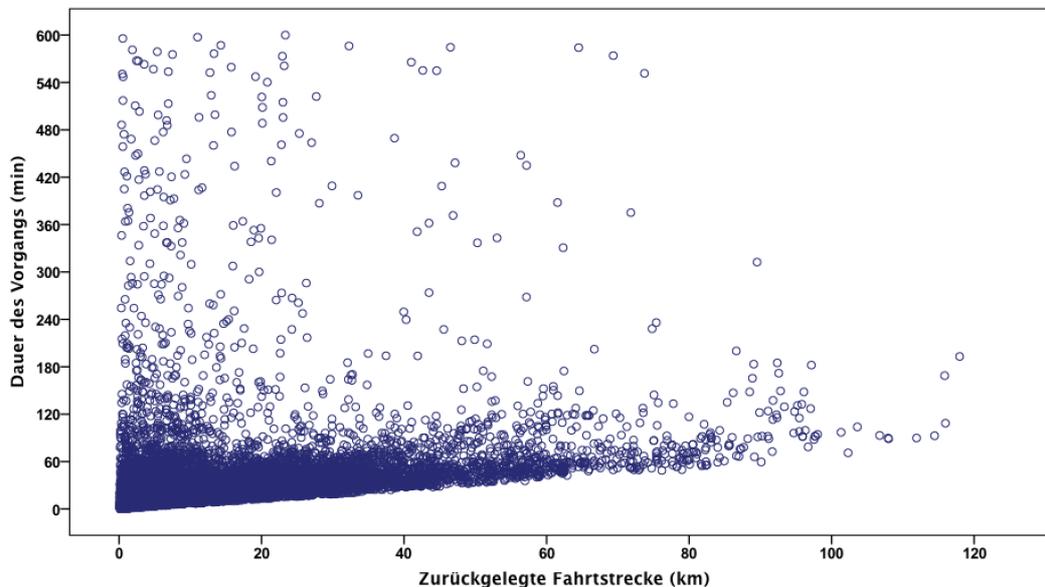
Im Mittel über alle zurückgelegten Kilometer und alle dabei aufgewendete Fahrzeit ergibt sich eine Durchschnittsgeschwindigkeit der untersuchten Elektrofahrzeuge von 26,3 km/h. Innerhalb der drei Vergleichsgruppen ist zu beobachten, dass die kleineren Fahrzeuge mit durchschnittlich 33,7 km/h deutlich schneller unterwegs sind und die leichten Nutzfahrzeuge mit einem Wert von 21,9 km/h deutlich langsamer. Fahrzeuge der Kompakt- und Mittelklasse liegen bei 23,8 km/h.

Abbildung 17 Durchschnittsgeschwindigkeiten der einzelnen Fahrzeuge

N = 17.182 / 25.660 / 7.745 Fahrten von 63 / 80 / 42 Fahrzeugen (Minis und Kleinwagen / Kompakt- und Mittelklasse / Utilities).

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Innerhalb der drei Gruppen streuen die einzelnen Fahrzeuge zwar, doch wie sich Abbildung 17 oben entnehmen lässt, bleiben die beschriebenen Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und Fahrzeuggröße klar erkennbar.

Abbildung 18 Durchschnittsgeschwindigkeiten der Einzelfahrten

N = 50.587 Fahrten.

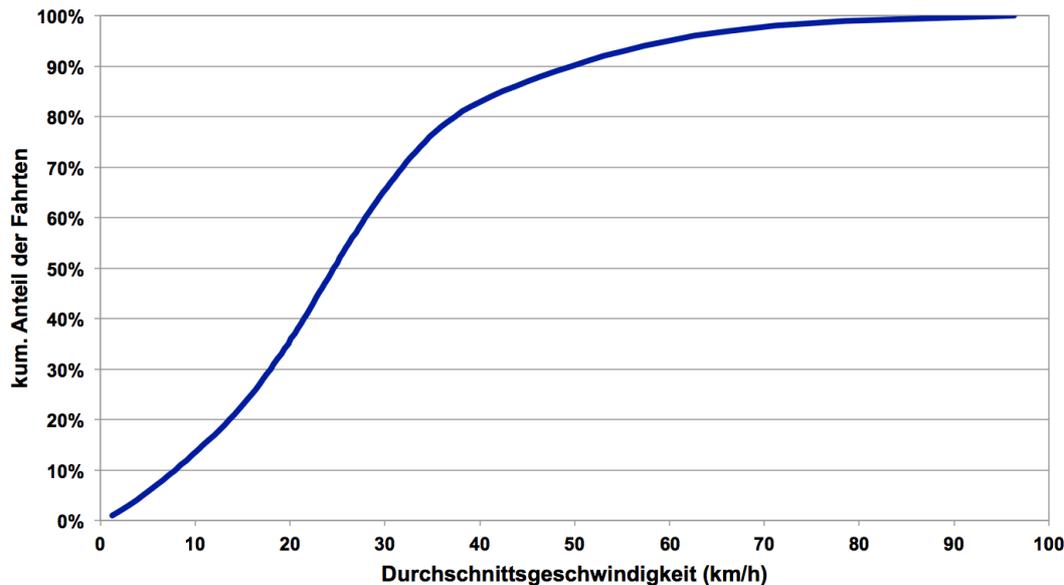
Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Die grafische Veranschaulichung aller Strecken- und Zeitpaare in Abbildung 18 zeigt (neben den starken Ballungen entlang einer zu denkenden Trendlinie im unteren Bereich) im oberen Bereich der Abbildung eine ganze Reihe von recht langen Vorgängen, bei denen verhältnis-

mäßig kurze Strecken zurückgelegt wurden. Nicht auszuschließen ist, dass hier Fahrten mit erheblichen Anteilen Standzeit enthalten sind, bei denen der Motor jedoch nicht abgeschaltet wurde.

Betrachtet man die Verteilung der Durchschnittsgeschwindigkeiten der einzelnen Fahrten in Abbildung 19, erkennt man einen S-förmigen Kurvenverlauf mit Wendepunkt nach etwa 50 bis 60 % der Fahrten. Die Hälfte aller Einzelfahrten liegt bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen knapp 16 und gut 34 km/h, jeweils ein Viertel darunter und ein Viertel darüber.

Abbildung 19 Durchschnittsgeschwindigkeiten aller Fahrten: Kumulierte Anteile

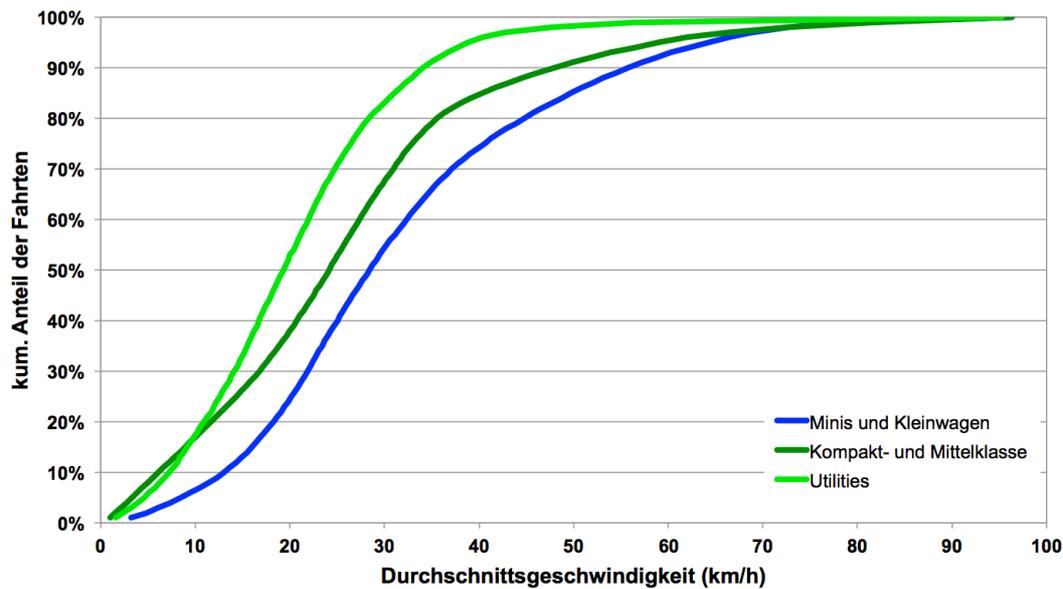


N = 50.587 Fahrten.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Bei Betrachtung der Verteilungen innerhalb der Vergleichsgruppen zeigt sich, insb. in Abbildung 20, dass nicht nur die Geschwindigkeits-Mittelwerte der kleineren Fahrzeuge tendenziell höher liegen, sondern dass auch die Einzelfahrten kleinerer Fahrzeuge schneller zurückgelegt werden. Ab einer Durchschnittsgeschwindigkeit von ca. 10 km/h liegen die Summenhäufigkeitskurven der drei Vergleichsgruppen mit klarem Abstand übereinander; oben die verhältnismäßig größeren und schwereren Utilities, darunter die Fahrzeuge der Kompakt- und Mittelklasse und darunter die Minis und Kleinwagen mit den zügigsten Fahrten.

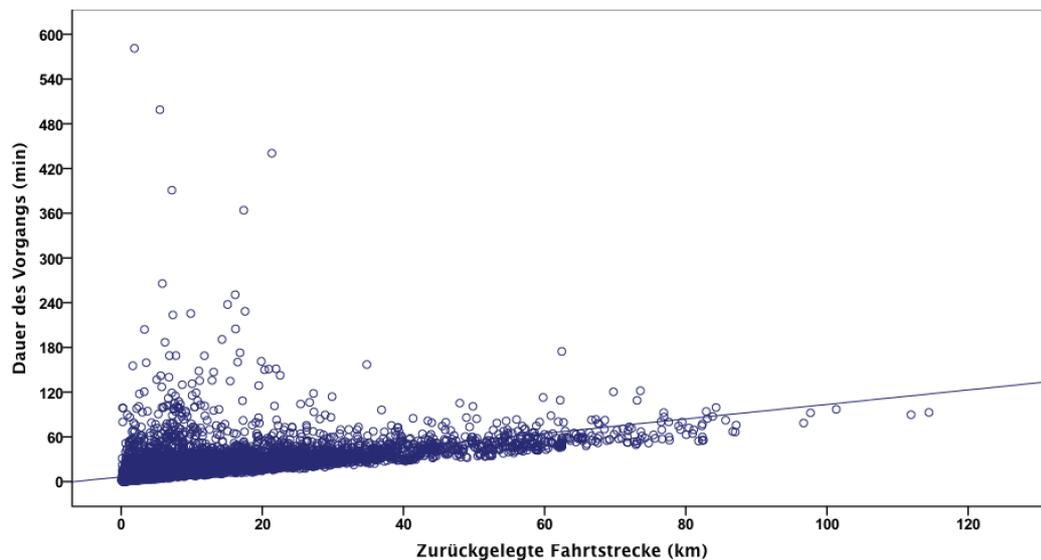
Abbildung 20 Durchschnittsgeschwindigkeiten der Fahrten innerhalb der Segmente: Kumulierte Anteile



N = 17.182 / 25.660 / 7.745 Fahrten (Minis und Kleinwagen / Kompakt- und Mittelklasse / Utilities).
 Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Schaut man sich die Streuungen der Wertepaare von zurückgelegter Strecke und dafür benötigter Zeit in Abbildung 20 bis Abbildung 22 an, zeigt sich bei den Minis und Kleinwagen sowie bei den leichten Nutzfahrzeugen ein relativ homogenes Bild. Die Fahrten der Kompakt- und Mittelklassefahrzeuge in Abbildung 21 streuen hingegen außergewöhnlich stark.

Abbildung 21 Durchschnittsgeschwindigkeiten der Einzelfahrten: Minis und Kleinwagen

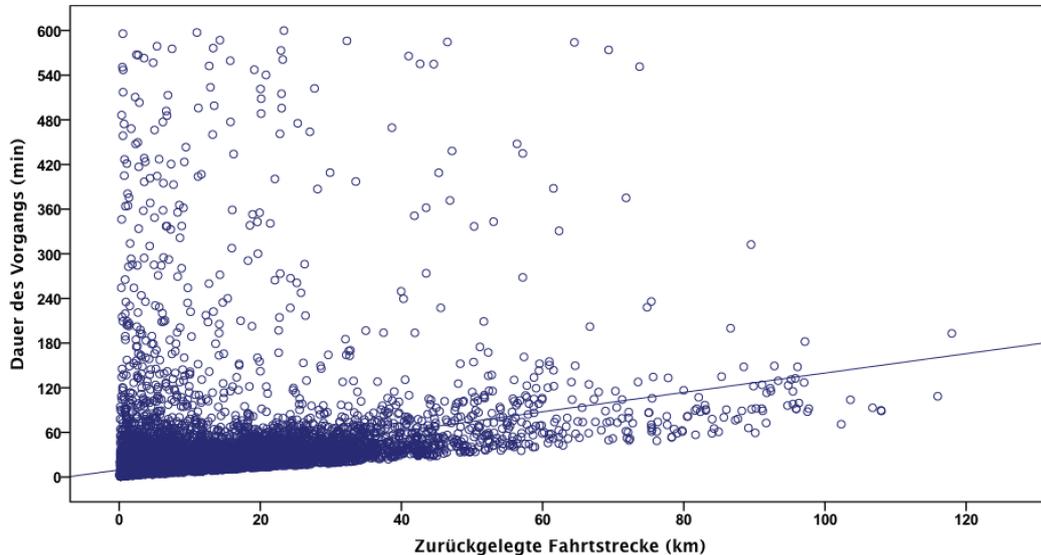


N = 17.182 Fahrten.
 Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Die in den drei Abbildungen eingezeichneten Trendlinien folgen der Steigung, wenn man die Durchschnittsverbräuche der einzelnen Fahrten (unabhängig von den dabei zurückgelegten

Kilometern) mittelt und sind nicht zu verwechseln mit der Funktion des mittleren Verbrauchs innerhalb einer jeden Vergleichsgruppe. Gleichwohl zeigt sich auch hier das Bild langsamerer Nutzfahrzeuge und schnellerer Minis und Kleinwagen.

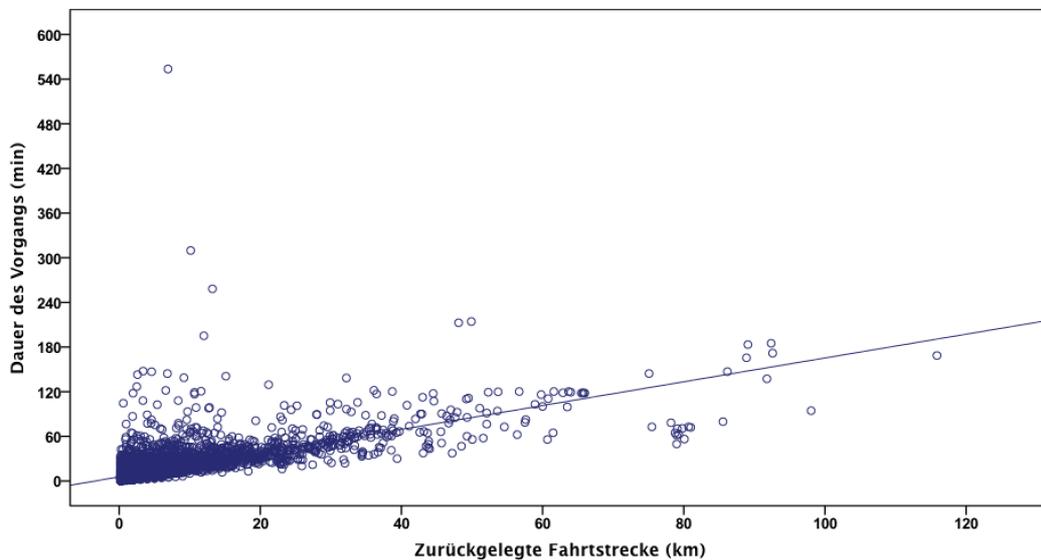
Abbildung 22 Durchschnittsgeschwindigkeiten der Einzelfahrten: Kompakt- und Mittelklasse



N = 25.660 Fahrten.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Abbildung 23 Durchschnittsgeschwindigkeiten der Einzelfahrten: Utilities



N = 7.745 Fahrten.

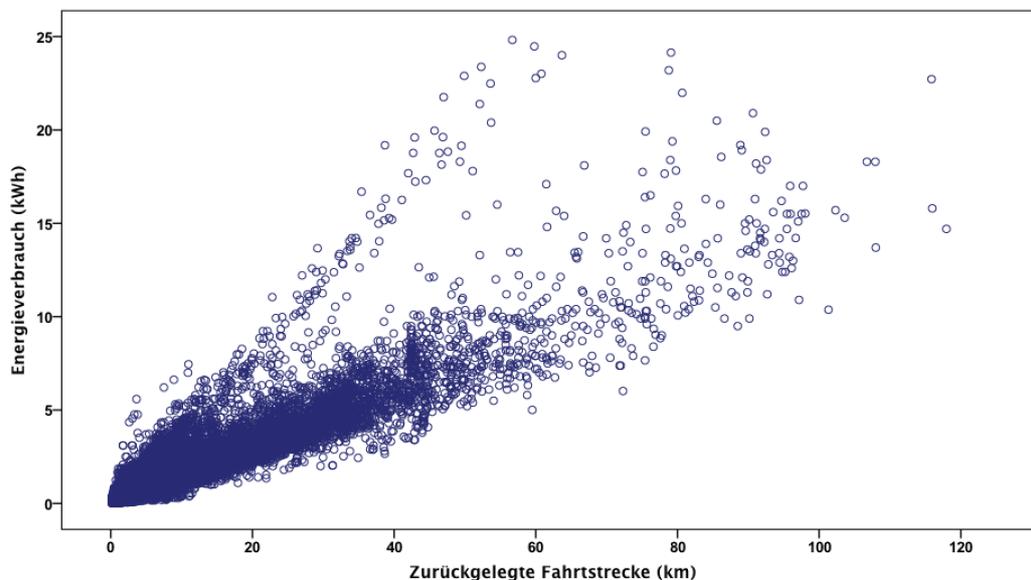
Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Spezifische Energieverbräuche (kWh pro 100 km)

Sowohl für die Bewertung der monetären Verbrauchskosten als auch für die Umweltwirkungen der Fahrten mit Elektrofahrzeugen sind, neben anderen Faktoren, die spezifischen Energieverbrauchswerte der Elektrofahrzeuge maßgeblich. Diese berechnen sich aus dem Quotienten der verbrauchten Energiemenge und der zurückgelegten Strecke und werden in kWh pro 100 km angegeben. Aufgrund von Mess- und Rundungsungenauigkeiten, die insb. bei kurzen Fahrten stärker ins Gewicht fallen, ergibt sich in der Praxis eine erhebliche Spannweite der spezifischen Verbräuche der Einzelfahrten. Daher wurde zur Ausreißerkontrolle innerhalb der drei Vergleichsgruppen Minis und Kleinwagen, Kompakt- und Mittelklassefahrzeuge sowie leichte Nutzfahrzeuge (Utilities) jeweils ein Prozent am oberen und am unteren Rand der Verteilung abgeschnitten.

Folgende Abbildung 24 zeigt die zurückgelegten Strecken mit den dazugehörigen Energieverbräuchen aller verbleibender Einzelfahrten. Sichtbar ist eine relativ starke Streuung.

Abbildung 24 Energieverbräuche der einzelnen Fahrten



N = 39.559 Fahrten.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

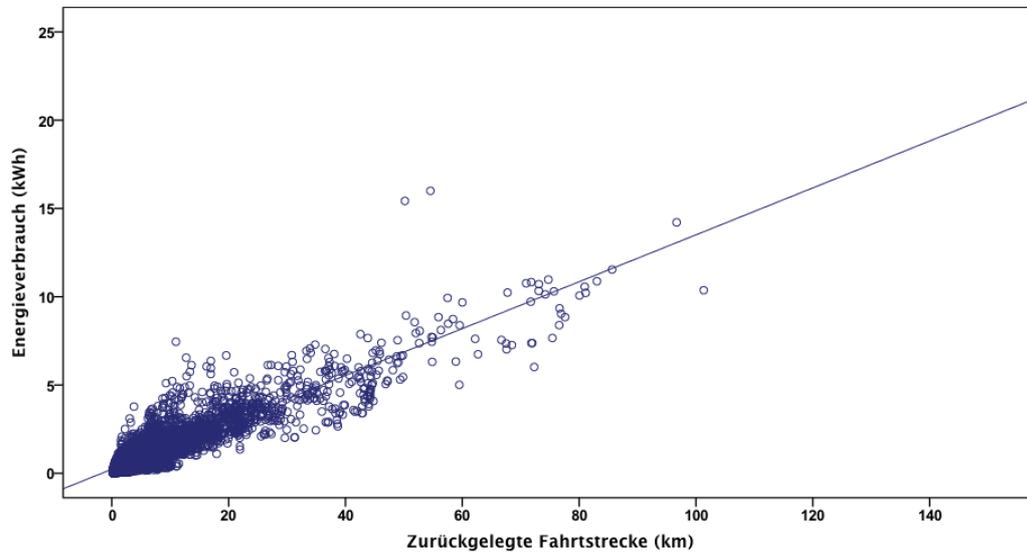
Innerhalb der Segmente zeigen sich deutlich homogenere Bilder, wenngleich auch ersichtlich ist, dass es zwischen den einzelnen Fahrten noch deutliche Variationen in den Verbrauchswerten gibt.

Abbildung 25 zeigt die Streuung um eine (über die Verbrauchswerte der Einzelfahrten gebildete) Trendlinie bei den Fahrzeugen der Klassen Minis und Kleinwagen.⁹ Diese verbrauchen

⁹ Die Trendlinie spiegelt nicht den mittleren spezifischen Verbrauch insgesamt, sondern nur den Mittelwert über die spezifischen Verbräuche der Fahrten. Kurze Fahrten fallen dabei gegenüber einer Mittelwertbildung aller Kilometer über alle dabei verbrauchten Energiemengen stärker ins Gewicht, lange Fahrten entsprechend weniger. Aufgrund spezifischer Energieverbrauchseigenschaften im Fahrtenverlauf sind die kurzen Fahrten in der Regel (relativ) energieintensiver, was dazu führt, dass die

im Schnitt 17,2 kWh pro 100 km und liegen damit im Bereich der von den Herstellern angegebenen Verbräuche.

Abbildung 25 Energieverbräuche der einzelnen Fahrten: Minis und Kleinwagen

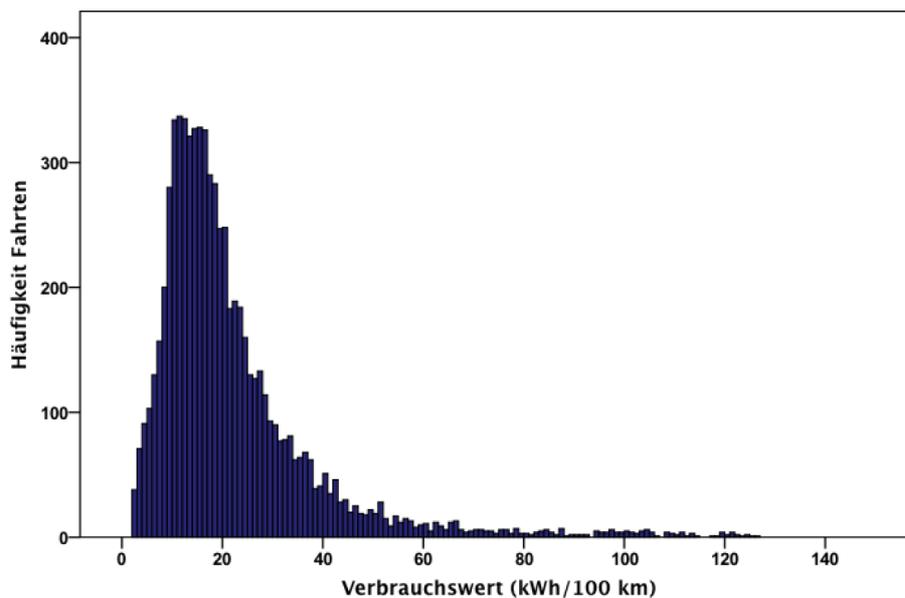


N = 7.128 Fahrten.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Abbildung 26 zeigt die Streuung der einzelnen Verbrauchswerte um diesen Wert anschaulich.

Abbildung 26 Spezifische Energieverbräuche der Demonstrationsfahrzeuge: Minis und Kleinwagen



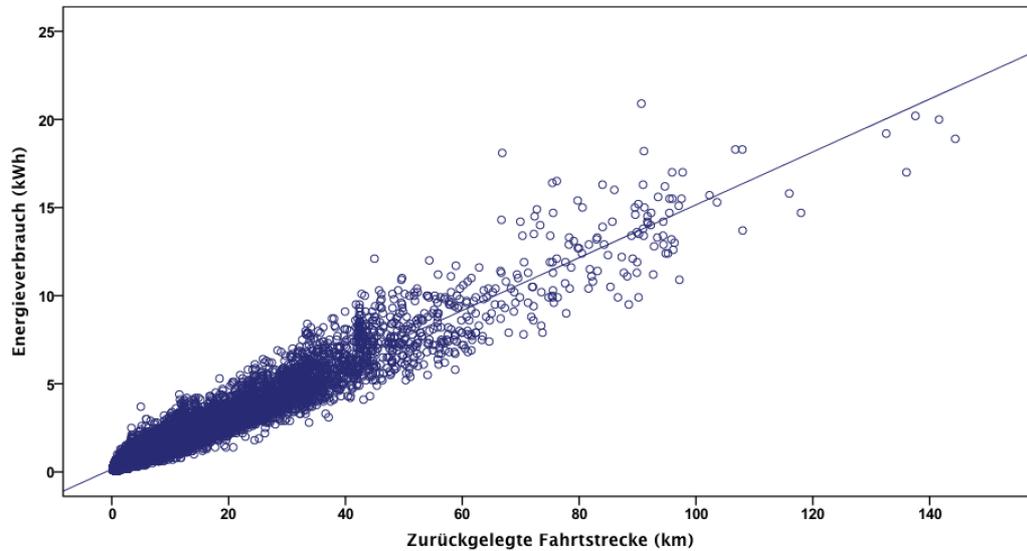
N = 7.128 Fahrten.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

abgebildete Steigung (ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Fahrtenlängen) nicht die – für gewöhnlich angegebenen – Durchschnittsverbräuche der Fahrzeuge angibt.

Ein ähnliches Bild wie bei Minis und Kleinwagen ergibt sich auch bei den Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse (siehe Abbildung 27 und Abbildung 28). Im Vergleich zu den vorherigen Darstellungen ist die Streuung der Verbrauchswerte der Einzelfahrzeuge etwas geringer, was sich auch im Diagramm zeigt. Im Mittel verbrauchen die Fahrzeuge der Kompakt- und Mittelklasse mit 16,9 kWh pro 100 km trotz größerer Fahrzeugmassen etwas weniger Energie, was auf den geringeren Anteil relativ verbrauchsintensiverer kürzerer Strecken zurückgeführt werden kann, der sich im Praxiseinsatz ergeben hat.

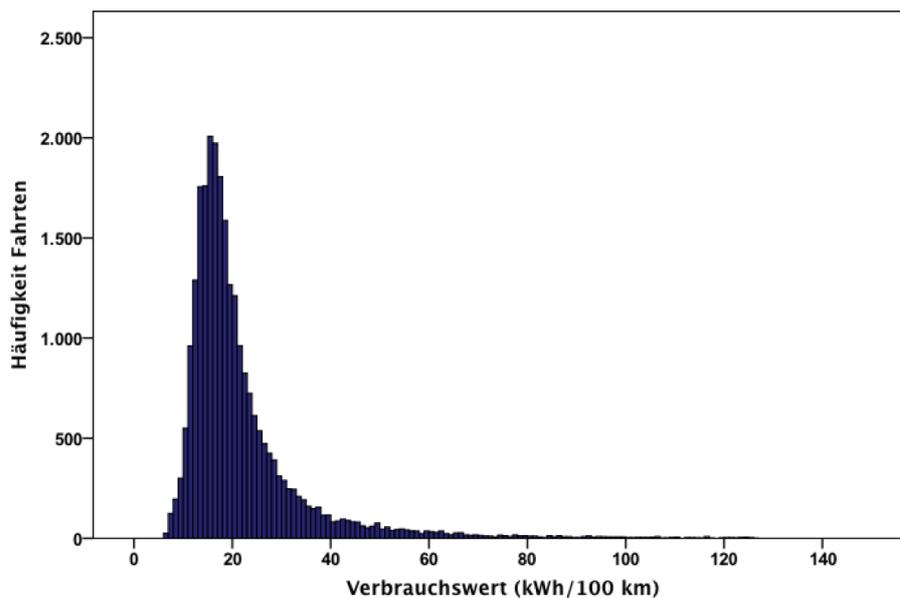
Abbildung 27 Energieverbräuche der einzelnen Fahrten: Kompakt- und Mittelklasse



N = 25.765.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Abbildung 28 Spezifische Energieverbräuche der Demonstrationsfahrzeuge: Kompakt- und Mittelklasse

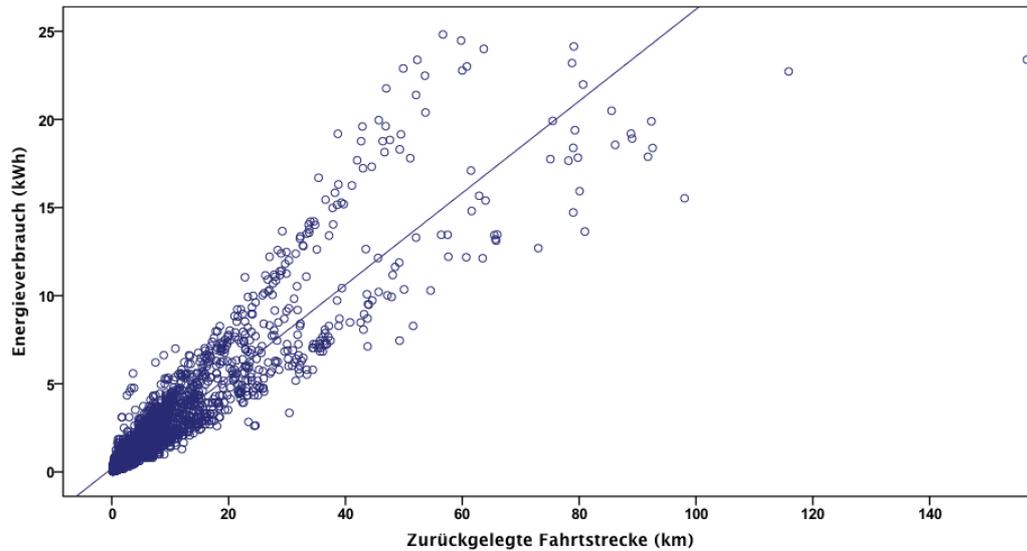


N = 25.765 Fahrten.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Innerhalb der Vergleichsgruppe der leichten Nutzfahrzeuge (s. Abbildung 29 und Abbildung 30) ist erkennbar, dass diese mit den kleinen leichten Nutzfahrzeugen und den großen leichten Nutzfahrzeugen doch noch recht unterschiedliche Modellreihen enthält. So scheinen sich ab einer Strecke von ca. 20 km in Abbildung 29 zwei unterschiedliche Ansammlungen von Verbrauchswerten abzuzeichnen, eine Gruppe im Bereich von grob 30 bis 50 kWh/100 km und eine im Bereich zwischen grob 15 bis 25 kWh/100 km. Rechnerisch ergibt sich ein durchschnittlicher Verbrauchswert aller leichten Nutzfahrzeuge von 30,4 kWh pro 100 km.

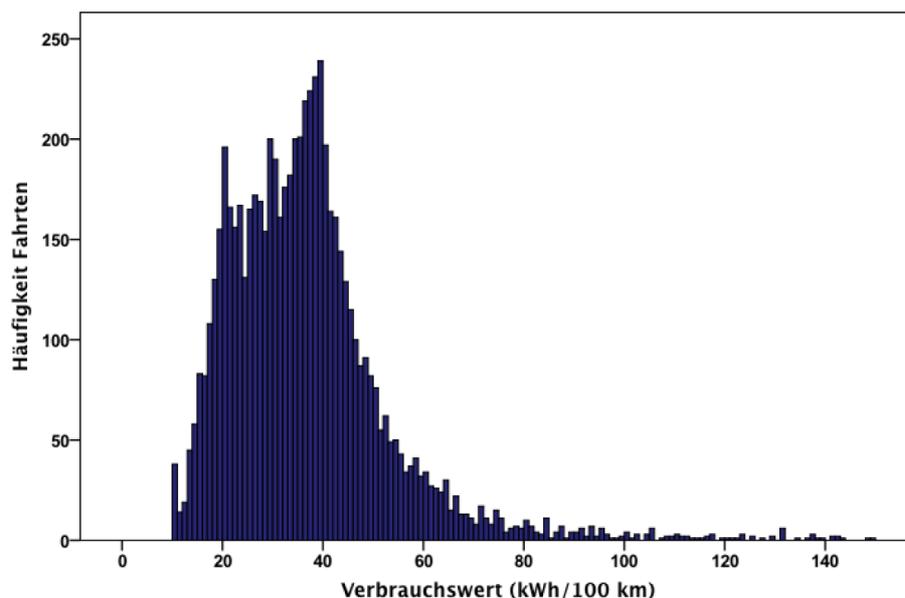
Abbildung 29 Energieverbräuche der einzelnen Fahrten: Utilities



N = 6.666 Fahrten.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Abbildung 30 Spezifische Energieverbräuche der Demonstrationsfahrzeuge: Utilities

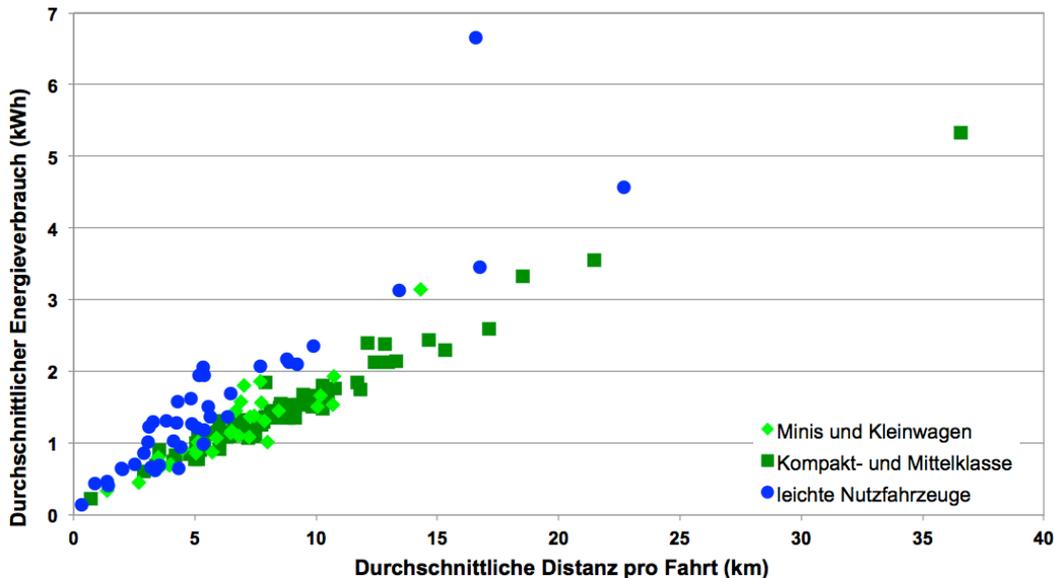


N = 6.666 Fahrten.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Die (relative) Heterogenität der leichten Nutzfahrzeuge hinsichtlich der Verbräuche zeigt sich auch anhand des Histogramms in Abbildung 30, in dem kein klares Maximum zu erkennen ist. Stattdessen zeigen sich mehrere Maxima im breiten Bereich zwischen ca. 17-18 kWh/100 km und 40 kWh/100 km.

Abbildung 31 Spezifische Energieverbräuche (allgemein und differenziert nach Pkw und Nutzfahrzeugen)



N = 7.128 / 25.765 / 6.666 Fahrten von 31 / 81 / 40 Fahrzeugen (Minis und Kleinwagen / Kompakt- und Mittelklasse / Utilities).

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Zuletzt werden an dieser Stelle noch die spezifischen Energieverbrauchswerte der einzelnen Fahrzeuge dargestellt. Abbildung 31 zeigt diese, nach Vergleichsgruppen segmentiert, als Funktion von durchschnittlichem Energieverbrauch pro Strecke und durchschnittlicher Streckenlänge. Die Werte der einzelnen Fahrzeuge liegen hier mit einiger Streuung im Bereich der segmentspezifischen mittleren Verbräuche von 17,2 (Minis und Kleinwagen), 16,9 (Kompakt- und Mittelklasse) und 30,4 kWh pro 100 km.

5.2 Ladevorgänge

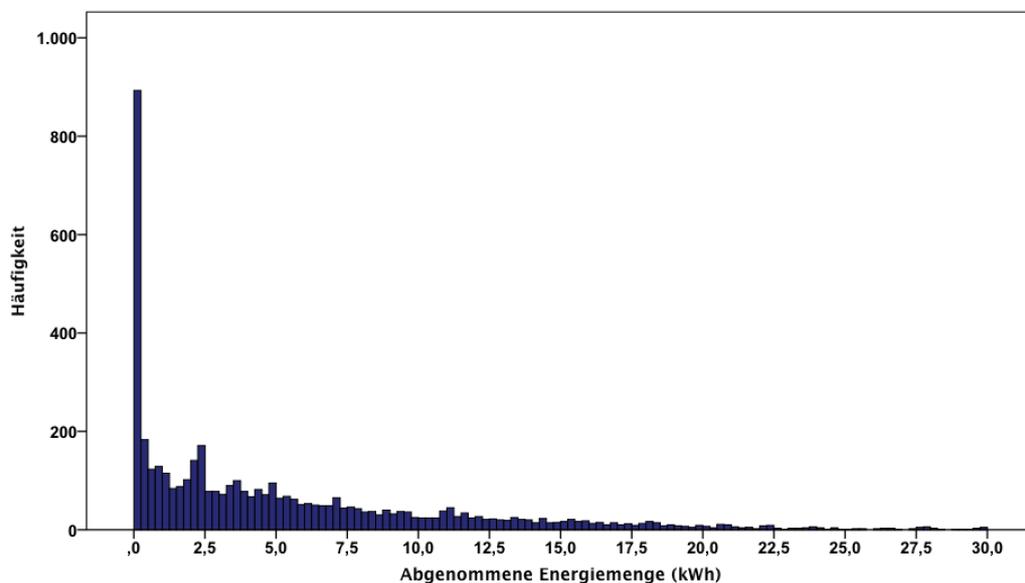
Zur Interpretation der Auswertungen der Ladevorgänge muss vorab angemerkt werden, dass „Ladevorgang“ in diesen Untersuchungen in der Regel über die Verbindung von Stecker und Fahrzeug definiert wird. Dies hat messtechnische Gründe und steht in Abgrenzung zum tatsächlichen „Laden“, bei dem Energie durch das Fahrzeug abgenommen wird. Somit wird als „Ladevorgang“ meist der gesamte Zeitraum bezeichnet, innerhalb dessen eine Verbindung zwischen Fahrzeug und Stromnetz vorhanden war, unabhängig davon, ob die Batterie vorher maßgeblich entleert war, ob nur „ein wenig nachgeladen“ wurde oder ob die Batterie sogar ganz voll war und gar kein Strom mehr floss. In Bezug auf mögliche Ableitungen hinsichtlich gesteuerten Ladens bedeutet dies u.a., dass die Energieflüsse innerhalb des gesamten hier berücksichtigten Ladevorgangs theoretisch weitestgehend flexibel gesteuert werden könnten.

Weiterhin muss angemerkt werden, dass die eingesetzte Sensorik nur „Normalladungen“ erfasst und keine Schnellladungen mit Starkstrom oder induktives Laden.

Abgenommene Energiemenge

Insgesamt bewegen sich die Mengen der abgenommenen Energie in Relation zu den Ladekapazitäten der betrachteten Elektrofahrzeuge überwiegend im Bereich verhältnismäßig kleiner Größen. In der Praxis heißt das also, dass entweder häufig nicht vollgeladen wurde, oder, was wahrscheinlicher ist, nur wenig entleerte Akkus an die Ladevorrichtungen angeschlossen wurden. Die durchschnittlich pro Ladevorgang abgenommene Energiemenge beträgt 5,3 kWh und bei 63 % der einzelnen Ladevorgänge wird sogar weniger Energie abgenommen. Mit einer Größe von 5,8 kWh ist die Standardabweichung nicht unerheblich, was unter anderem auf einen sehr großen Anteil an Ladevorgängen, bei denen unter 1 kWh Energie abgenommen wird, zustande kommt (bei fast 29 % der Ladevorgänge). Unter 0,5 kWh liegen dabei gut 23 % aller Ladevorgänge.¹⁰

Abbildung 32 Abgenommene Energiemengen (Ladevorgänge)

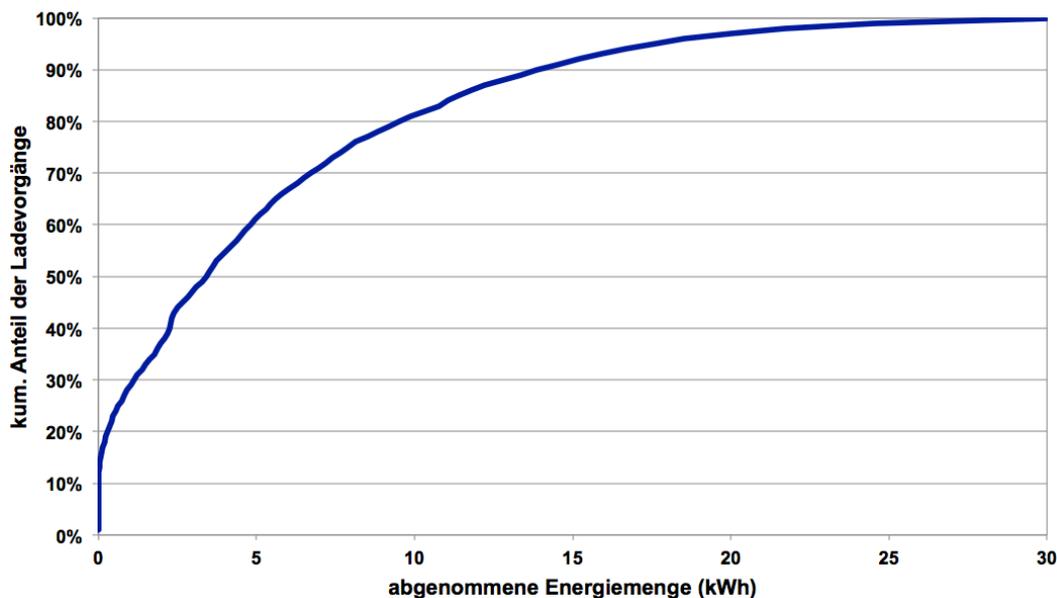


N = 4.623 Ladevorgänge.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Knapp über 81 % der Ladevorgänge liegen im Bereich bis zu 10 kWh, im Bereich bis 15 kWh weitere 10 %. Ladevorgänge mit einer abgenommenen Energiemenge darüber hinaus machen gute 8 % aus.

¹⁰ Betrachtet werden nur hier nur Ladevorgänge mit einer Energieabnahme > 0, Verbindungen mit dem Stromnetz vollkommen ohne Energieabnahme sind also schon ausgeschlossen.

Abbildung 33 Abgenommene Energiemengen: Kumulierte Anteile an Ladevorgängen

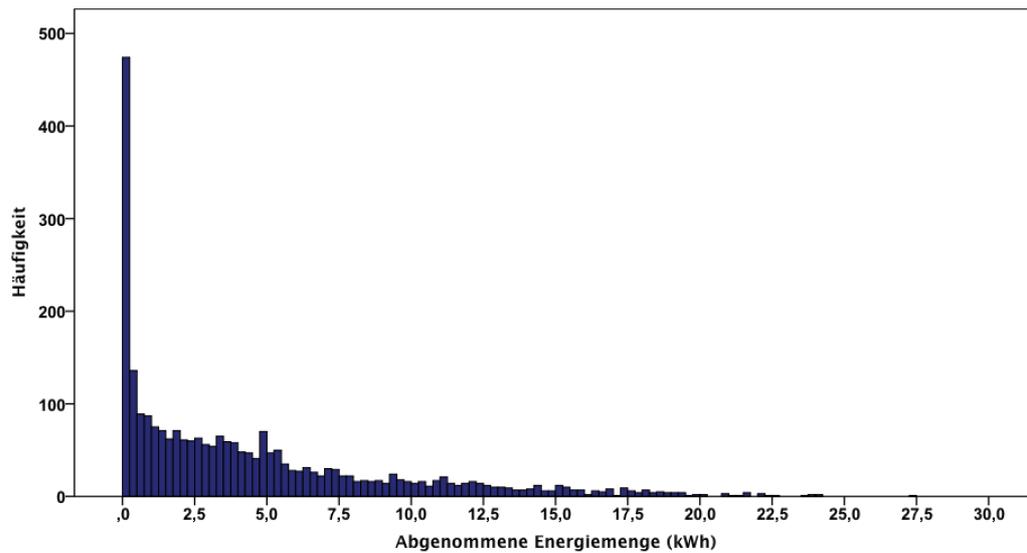
N = 4.623 Ladevorgänge.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Der segmentweisen Betrachtung muss der Hinweis vorweggenommen werden, dass an dieser Stelle nur Fahrzeuge der Klassen Minis und Kleinwagen und leichte Nutzfahrzeuge betrachtet werden können. Die Darstellung von Analyseergebnissen zu Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse muss aufgrund fehlender Angaben zu abgenommenen Energiemengen einzelner Datenquellen leider entfallen.¹¹

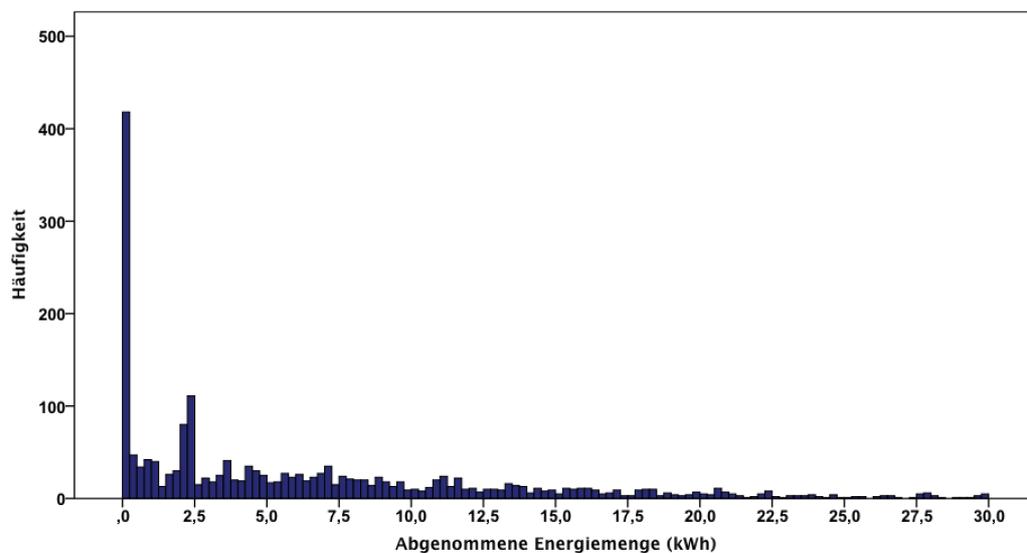
Der oben genannte Befund zahlreicher „kleiner“ Ladungen zeigt sich sowohl bei Minis und Kleinwagen, als auch bei leichten Nutzfahrzeugen und ist somit keine Besonderheit z.B. einzelner Modellreihen. Bei Minis und Kleinwagen liegen gute 30 % der abgenommenen Energiemengen unter 1 kWh, bei leichten Nutzfahrzeugen etwas mehr als 28 %. Unter 0,5 kWh liegen in beiden Gruppen 23 % der Ladevorgänge. Bezüglich der Mittelwerte gibt es klare Unterschiede; die Fahrzeuge der Klassen Minis und Kleinwagen nehmen durch ihre fahrzeugspezifisch auch kleineren Batterien mit durchschnittlich 4,5 kWh fast 2 kWh weniger Energie auf als die leichten Nutzfahrzeuge (6,1 kWh). Die Standardabweichungen variieren ebenfalls mit der Ladekapazität und durchschnittlichen Lademenge der Fahrzeuge und liegen bei Minis und Kleinwagen bei 4,8 und bei leichten Nutzfahrzeugen bei 6,8 kWh.

¹¹ Insb. wäre bei der Darstellung der wenigen vorhandenen Daten keine Anonymität bezogen auf die konkrete Modellreihe mehr gewährleistet.

Abbildung 34 Abgenommene Energiemengen (Ladevorgänge): Minis und Kleinwagen

N = 2.620 Ladevorgänge.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

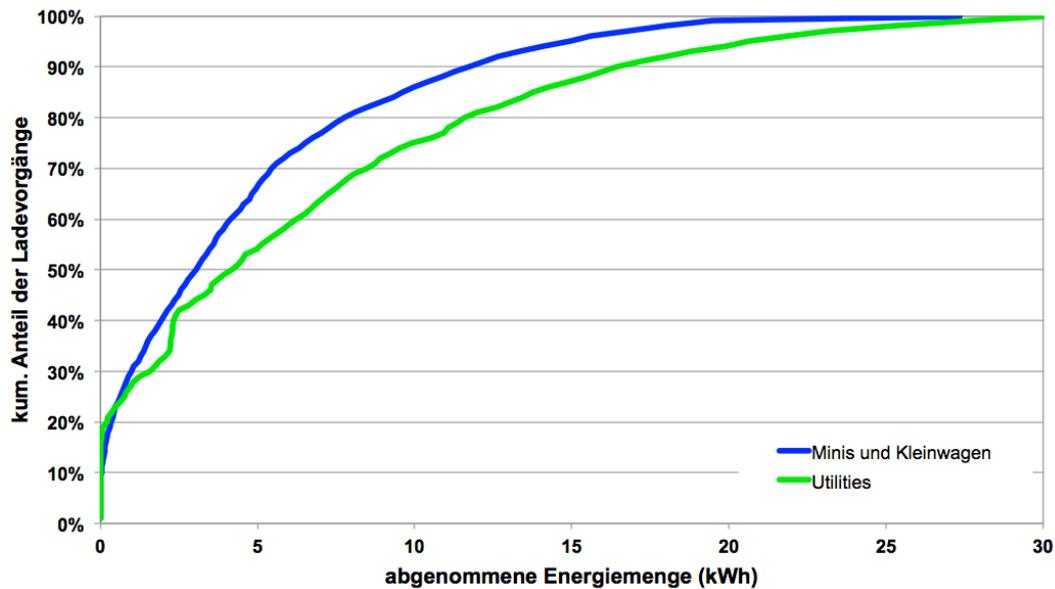
Abbildung 35 Abgenommene Energiemengen (Ladevorgänge): Utilities

N = 1.999 Ladevorgänge.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Die direkte Gegenüberstellung der Summenhäufigkeitskurven der zwei Vergleichsgruppen in Abbildung 36 zeigt die Zusammenhänge zwischen Fahrzeuggröße und abgenommener Energiemenge deutlich. Generell ist der Funktionsgraph der leichten Nutzfahrzeuge (Utilities) zwar am Anfang ungleichmäßiger und schneidet bzw. berührt die Kurve, ab ca. 40 % der Ladevorgänge stellen sich die leichten Nutzfahrzeuge jedoch als diejenigen mit überwiegend größeren abgenommenen Energiemengen heraus.

Abbildung 36 Abgenommene Energiemengen: Kumulierte Anteile an Ladevorgängen innerhalb der Segmente

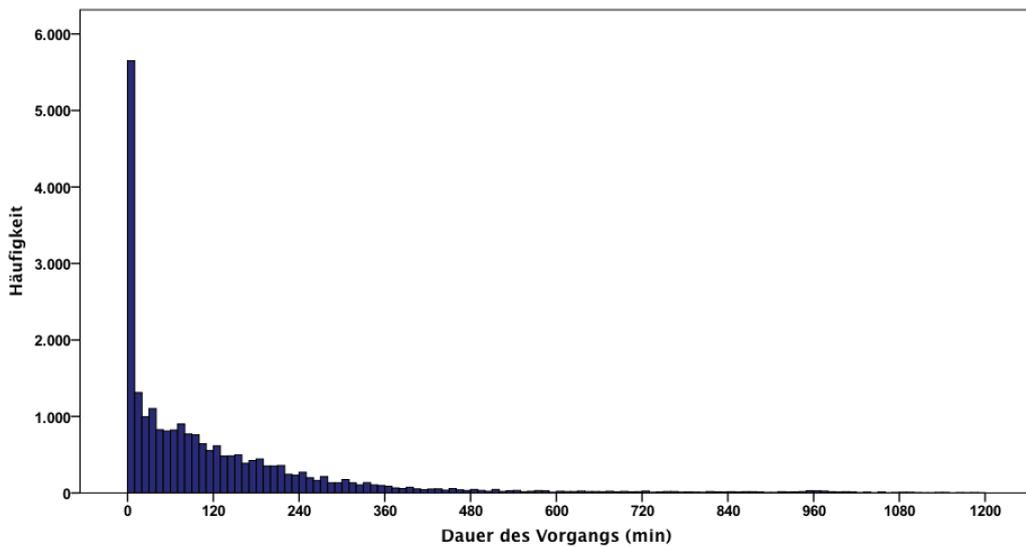


N = 2.620 / 1.999 Ladevorgänge (Minis und Kleinwagen / Utilities).

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Ladedauern

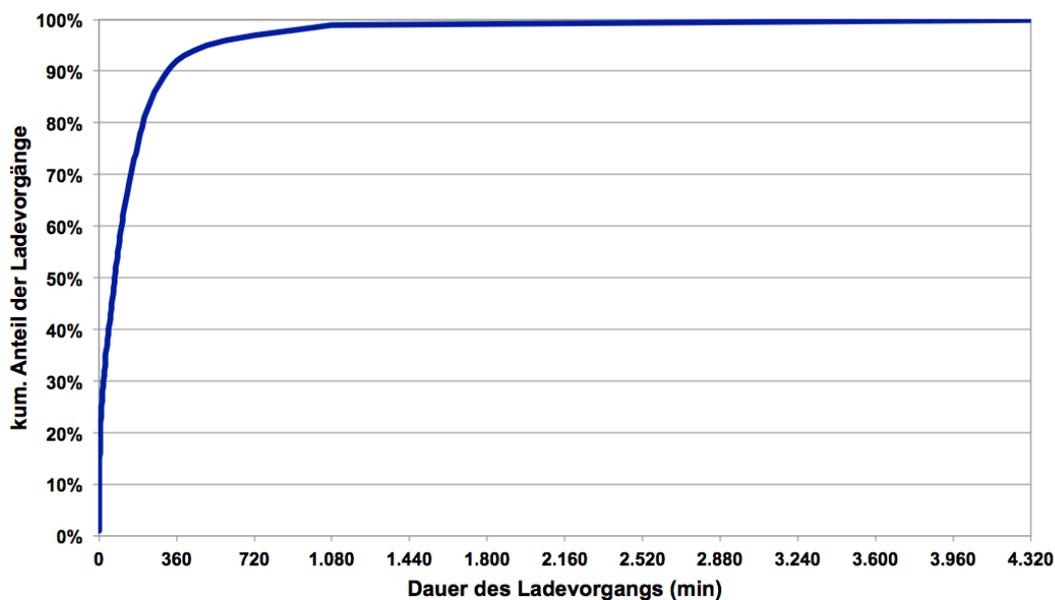
Abgenommene Energiemengen stehen in einem klaren Bezug zu Ladedauern; und wie aus den folgenden Abbildungen (Abbildung 37 bis Abbildung 39) zu entnehmen ist, können die geringen abgenommenen Energiemengen auch für die vorliegenden Messdaten zumindest zum Teil mit kurzen Ladedauern in Verbindung gebracht werden. Über ein Viertel der Ladevorgänge dauern nicht mehr als eine Viertelstunde, gut 33 % sind kürzer als eine halbe Stunde. Der durchschnittliche Ladevorgang – sofern man das bei einer Standardabweichung von gut vier Stunden sagen kann – dauert 141 Minuten, also 2:21 Std. Es sind weitaus mehr Ladungen kürzer, nämlich über 68 % aller Ladungen. Vor allem gibt es aber einen nicht unerheblichen Anteil an Ladevorgängen, die deutlich über die potenziell zum Vollladen benötigte Zeit hinausgehen. Insgesamt 3 % der Ladevorgänge erstrecken sich über einen halben Tag, einige davon (unter 1 %) sogar über einen Tag. Im Rahmen der qualitätssichernden Maßnahmen wurden Ladevorgänge über drei Tagen Dauer ausgeschlossen; das deckt zwar z.B. noch ein Wochenende an der Ladevorrichtung ab, soll aber eine unangemessene Verzerrung der Gesamtergebnisse verhindern.

Abbildung 37 Ladedauern aller Fahrzeuge

N = 23.792 Ladevorgänge.

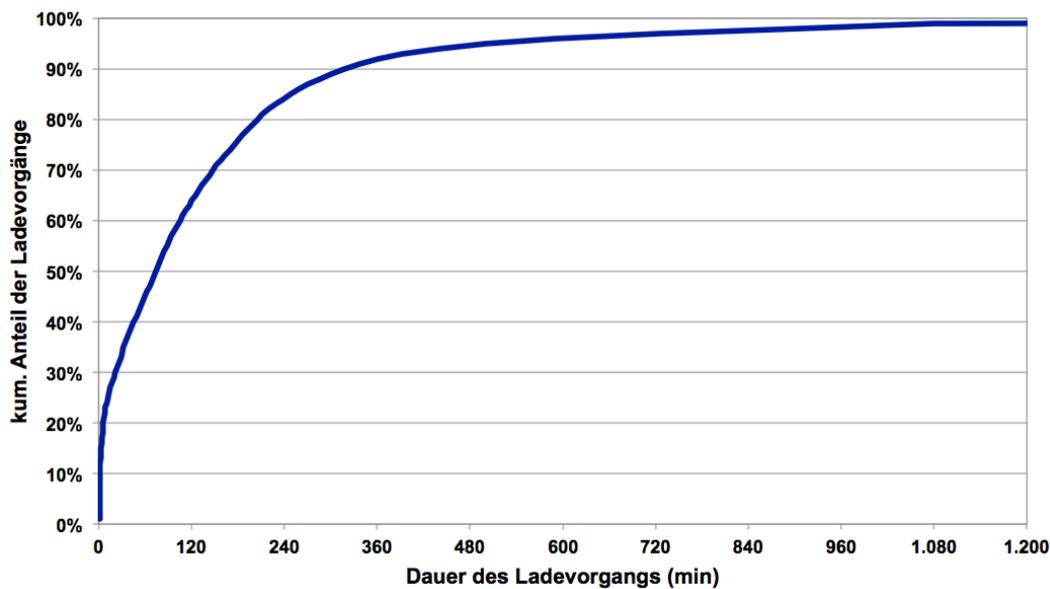
Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Als maßgebliche Ladedauer kann, wie Abbildung 38 und als Ausschnitt daraus auch Abbildung 39 zeigen, der Bereich bis 6 Stunden (360 min) angesehen werden, in dem knapp 92 % der Ladevorgänge liegen.

Abbildung 38 Ladedauern insgesamt: Kumulierte Anteile nach Dauer

N = 23.792 Ladevorgänge.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

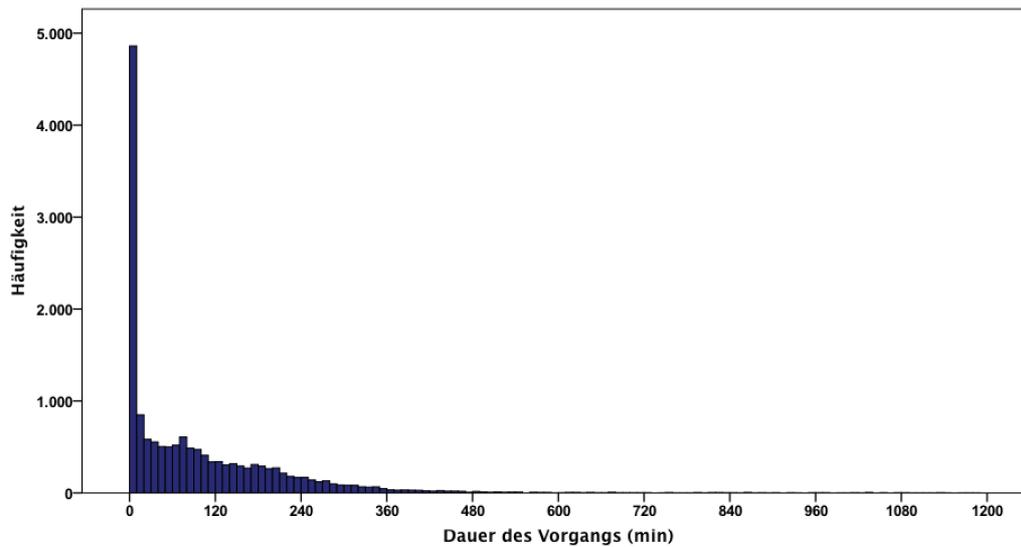
Abbildung 39 Ladedauern insgesamt: Kumulierte Anteile nach Dauer (Ausschnitt*)

N = 23.792 Ladevorgänge.

* Dargestellt werden nur Ladevorgänge bis zu einer Dauer von 1200 min./20 Std., weniger als 1 % der Fälle entfallen.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

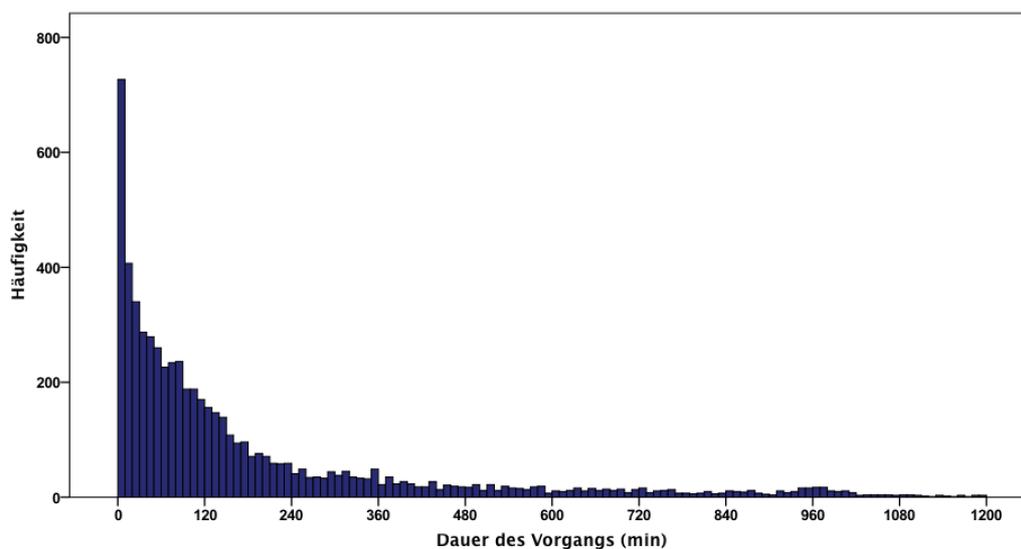
Im Vergleich zwischen den Segmenten lässt sich herausstellen, dass es zwischen diesen Gruppen erhebliche Unterschiede in der Verteilung der Ladedauern gibt. Mit über 34 % haben die Minis und Kleinwagen den mit Abstand größten Anteil an Ladevorgänge unter 15 min. Bei den Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse liegt der Anteil für diesen Zeitraum bei 15 % und bei den leichten Nutzfahrzeugen sind nur gut 4 % der Ladevorgänge so kurz. Betrachtet man die Ladungen von bis zu unter einer halben Stunde, so liegen bei den Minis und Kleinwagen gute 40 % der Ladevorgänge in diesem Bereich, bei Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse knapp 24 % und bei den leichten Nutzfahrzeugen knapp 10 %. Bei letzteren muss allerdings angemerkt werden, dass die Mess- bzw. Dokumentations-schärfe eines Teils der Werte mit Viertelstundenschritten wenig genau ist und sich ein Wert von ca. 20 % ergibt, wenn man Fahrten bis einschließlich 30 min. betrachtet. Auch dann ergibt sich jedoch ein klares Bild mit größeren Anteilen kürzerer Ladevorgänge bei den kleineren Fahrzeugen.

Abbildung 40 Ladedauern: Minis und Kleinwagen

N = 15.633 Ladevorgänge. Einige der Ladevorgänge > 1200 min. liegen im nicht dargestellten Wertebereich, weniger als 1% der Vorgänge werden daher nicht abgebildet.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

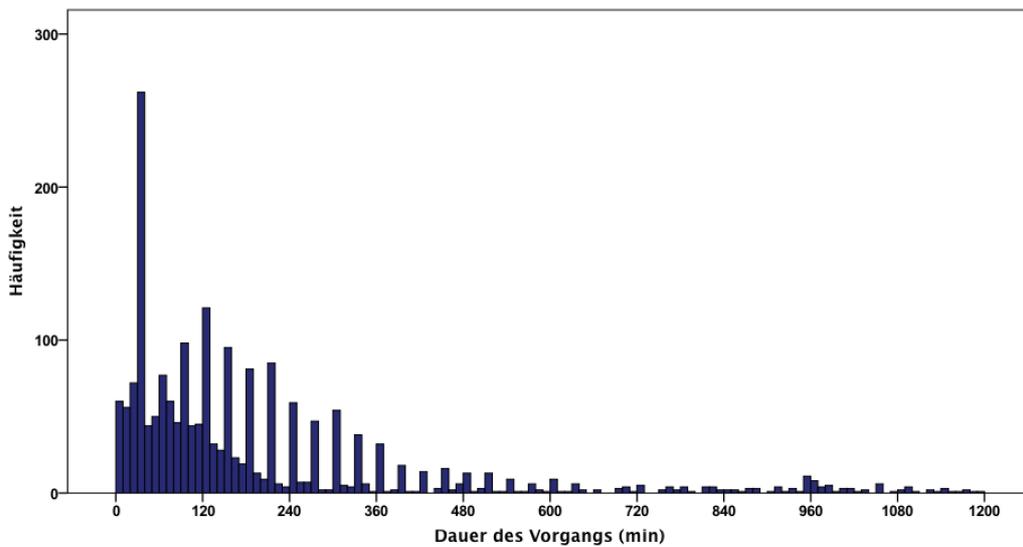
Die durchschnittlichen Ladezeiten innerhalb der drei Vergleichsgruppen liegen bei Minis und Kleinwagen bei 1:46 Std., bei Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse bei 3:11 Std. und bei leichten Nutzfahrzeugen bei 3:54 (Standardabweichung 3:11 Std., 4:53 Std. und 5:44 Std.). Minis und Kleinwagen laden also mit Abstand am kürzesten, im Mittel weniger als halb so lange wie leichte Nutzfahrzeuge.

Abbildung 41 Ladedauern: Kompakt- und Mittelklasse

N = 6.160 Ladevorgänge. Einige der Ladevorgänge > 1200 min. liegen im nicht dargestellten Wertebereich, weniger als 1% der Vorgänge werden daher nicht abgebildet.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Abbildung 42 Ladedauern: Utilities

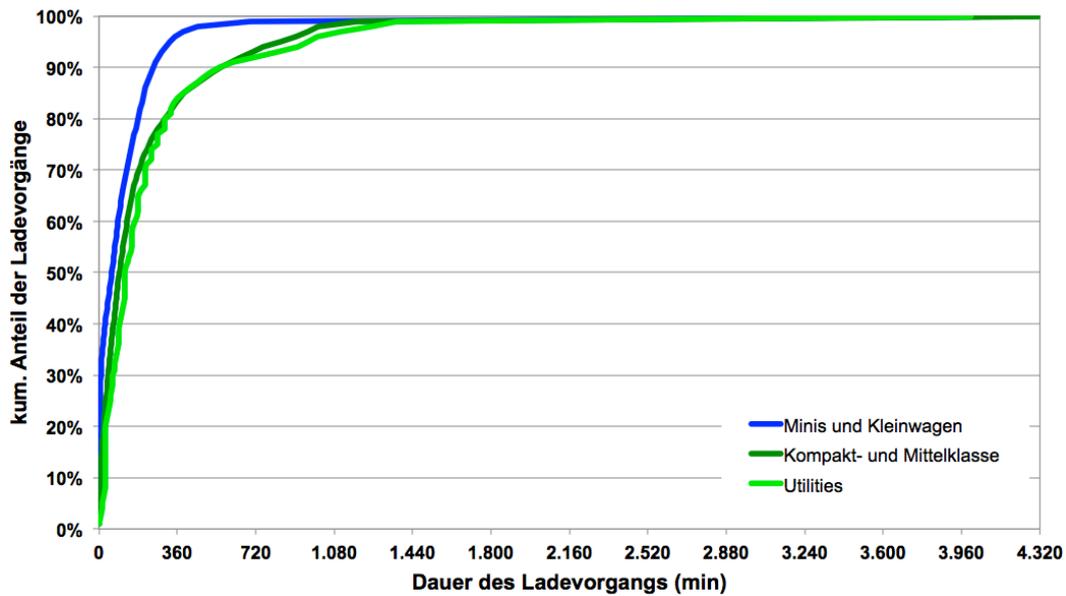


N = 1.999 Ladevorgänge. Einige der Ladevorgänge > 1200 min. liegen im nicht dargestellten Wertebereich, weniger als 1% der Vorgänge werden daher nicht abgebildet.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

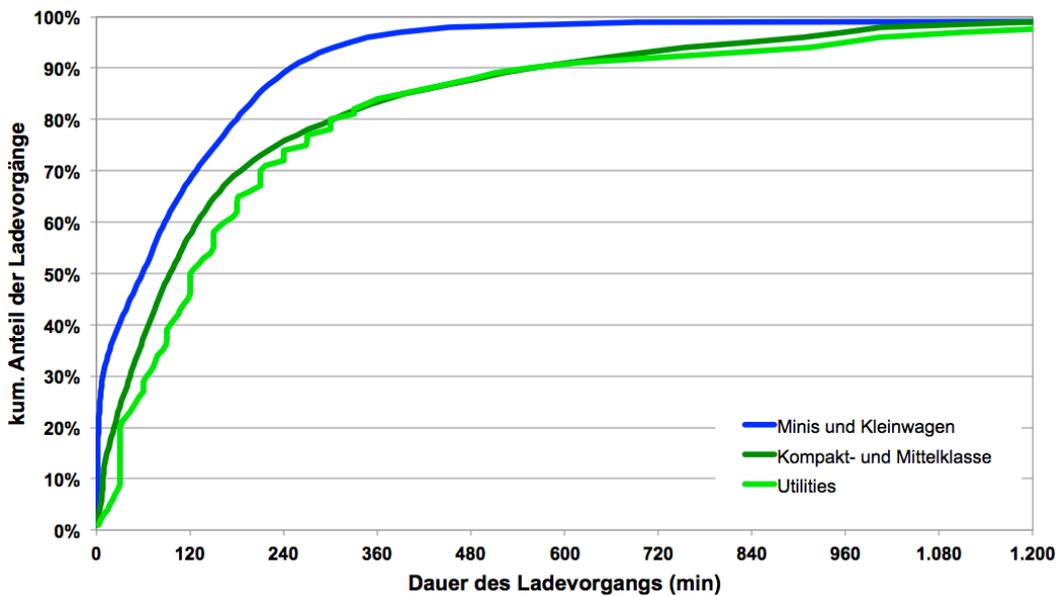
Diese Befunde spiegeln sich auch in der grafischen Veranschaulichung der Verteilungsfunktion in Abbildung 43 und, besser erkennbar, dem Ausschnitt in Abbildung 44 wieder. So lässt sich z.B. weiterhin erkennen, dass bei Minis und Kleinwagen knapp 90 % der Ladevorgänge im Bereich bis zu 4 Stunden liegen, wohingegen dieser Wert bei den restlichen betrachteten Fahrzeugklassen bei ca. 9:20 Std. liegt. Kompakt- und Mittelklasse und leichte Nutzfahrzeuge zeigen einen ähnlichen Kurvenverlauf, wenn man von den Ungleichmäßigkeiten bei den leichten Nutzfahrzeugen absieht. Tendenziell steigt der Funktionsgraph bei den Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse zu Anfang etwas schneller an, was einem größeren Anteil kleiner Aufladungen entspricht. Im weiteren Verlauf schneiden/berühren sich die Kurven allerdings mehrmals, was die höheren Anteile von Fahrten mit verhältnismäßig langen Strecken widerspiegelt.

Abbildung 43 Ladedauern der Fahrten innerhalb der einzelnen Segmente: Kumulierte Anteile nach Dauer



N = 15.633 / 6.160 / 1.999 Ladevorgänge (Minis und Kleinwagen / Kompakt- und Mittelklasse / Utilities).
 Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Abbildung 44 Ladedauern der Fahrten innerhalb der einzelnen Segmente: Kumulierte Anteile nach Dauer (Ausschnitt*)



N = 15.633 / 6.160 / 1.999 Ladevorgänge (Minis und Kleinwagen / Kompakt- und Mittelklasse / Utilities).
 * Dargestellt werden nur Ladevorgänge bis zu einer Dauer von 1200 min./20 Std., weniger als 1 % der Fälle entfallen.
 Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

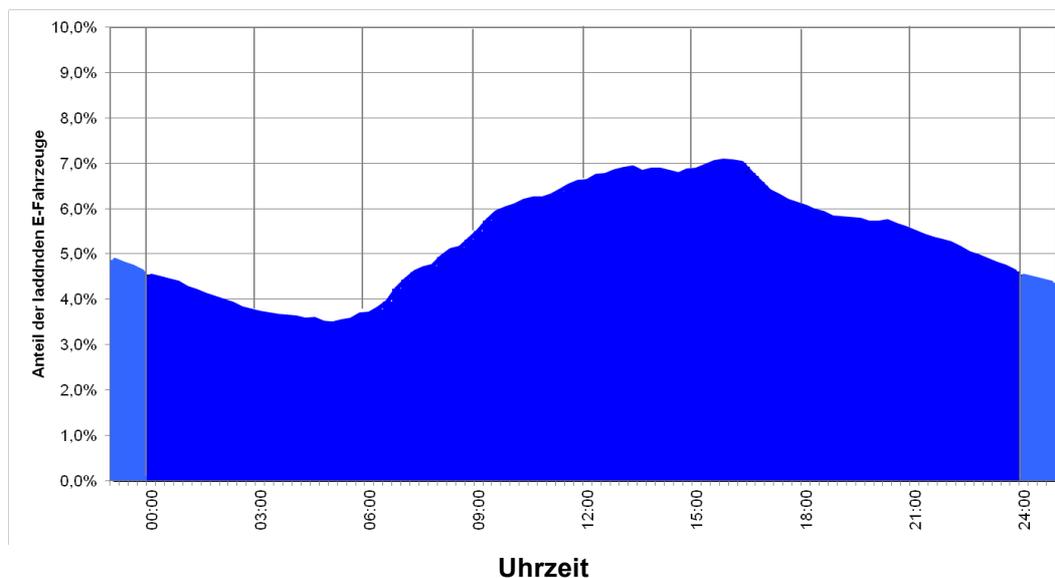
Tagesgänge Laden

Die Tagesgänge der Ladevorgänge werden analog zu denen der Fahrten berechnet (vgl. S. 20).

Bezogen auf alle Fahrten lässt sich anhand Abbildung 45 erkennen, dass maximal 7,1 % aller Fahrzeuge innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls über ein Ladekabel mit dem Stromnetz verbunden waren. Entgegen dem Bild der Tagesgänge der Fahrten zeigt sich im Bezug auf das Ladeverhalten eine breitere Verteilung der Vorgänge innerhalb des kompletten Tagesverlaufs, was sicher auch auf die in der Regel längere (und zum Teil deutlich längere) Zeitdauer der Ladungen zurückzuführen ist.

Der Ladepeak liegt im Bereich von ca. mittags bis zum Nachmittag (grob zwischen 12:00 und 16:30 Uhr) und geht somit konform mit dem Solarpeak. Gezielte Ladevorgänge könnten also einen Beitrag zur Systemintegration von Solarenergie leisten. Es gibt einen Anteil von mindestens 3,5 % Fahrzeugen, die sich, selbst in den Zeiten geringer Aufladequoten noch am Netz befinden. Im Kurvenverlauf ist ab ca. 6:00 Uhr morgens ein konstanter Anstieg bis ca. 13:00 Uhr zu beobachten, dann stabilisiert sich der Anteil der ladenden Fahrzeuge im Wesentlichen und fällt erst wieder gegen 17:00 Uhr langsam und gleichmäßig ab (bis zum erneuten Anstieg in den frühen Morgenstunden).

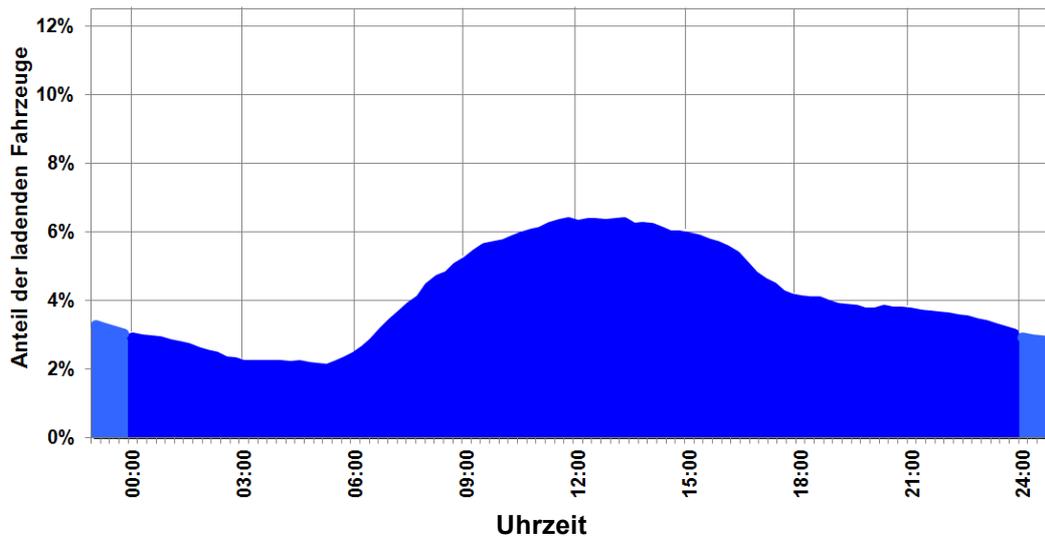
Abbildung 45 Verteilung der Ladevorgänge im Tagesverlauf



N = 23.792 Ladevorgänge. Viertelstundenintervalle; Anteile der durchschnittlich ladenden Fahrzeuge im gesamten Beobachtungszeitraum.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

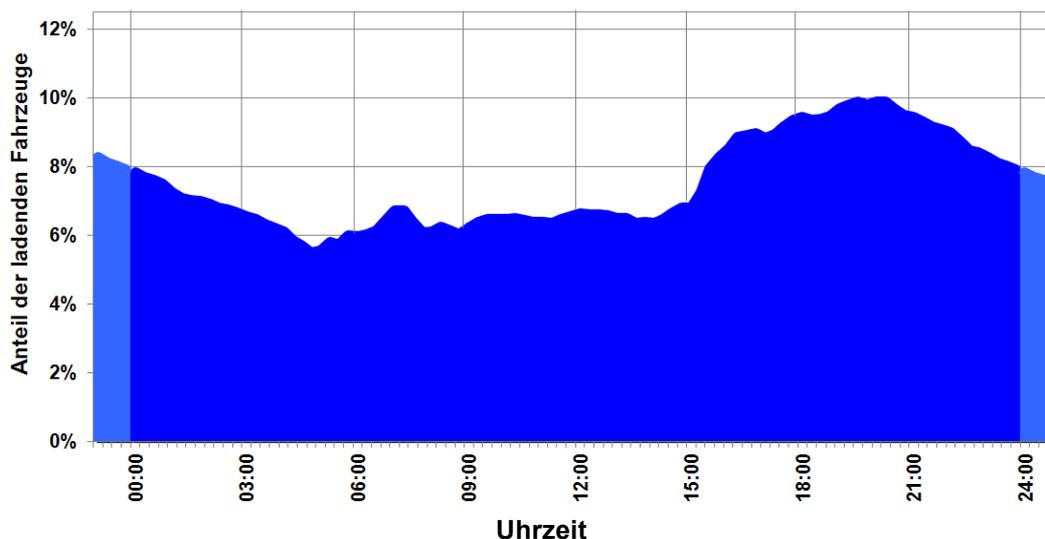
Betrachtet man die Tagesgänge der Ladevorgänge vergleichend in den drei Gruppen Minis und Kleinwagen, Kompakt- und Mittelklasse und leichte Nutzfahrzeuge, stellt sich heraus, dass das Ladeverhalten der drei Gruppen vollkommen anderen Mustern folgt. Beobachten lässt sich dies sowohl an unterschiedlichen Peaks als auch an den unterschiedlichen minimalen Anteilen von Fahrzeugen, die am Netz hängen (vgl. im Folgenden Abbildung 46 bis Abbildung 48).

Abbildung 46 Verteilung der Ladevorgänge im Tagesverlauf: Minis und Kleinwagen

N = 15.633 Ladevorgänge. Viertelstundenintervalle; Anteile der durchschnittlich ladenden Fahrzeuge im gesamten Beobachtungszeitraum.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Innerhalb der Gruppe der Minis und Kleinwagen liegt dieser Anteil z.B. bei niedrigen 2 %, wohingegen er bei Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse nur auf 5,5 % sinkt. Die leichten Nutzfahrzeuge liegen bei 4,5 %. Auch haben alle drei Fahrzeugsegmente unterschiedliche Kurvenverläufe. In der Gruppe der Minis und Kleinwagen ist die stärkste Steigung in der Zeit zwischen 6:00 Uhr bis 10:00 Uhr zu beobachten, auf eine leichte weitere Steigung folgt dann ein breiter Peak mit Maximum bei ca. 6,3 % Ladequote um ca. 12:00 bis 13:30 Uhr. Darauf ein in etwa so starker Abfall wie die morgendliche Steigung bis ca. 17:30 Uhr, dann ein kontinuierliches langsames Absinken bis zum nächsten Morgen.

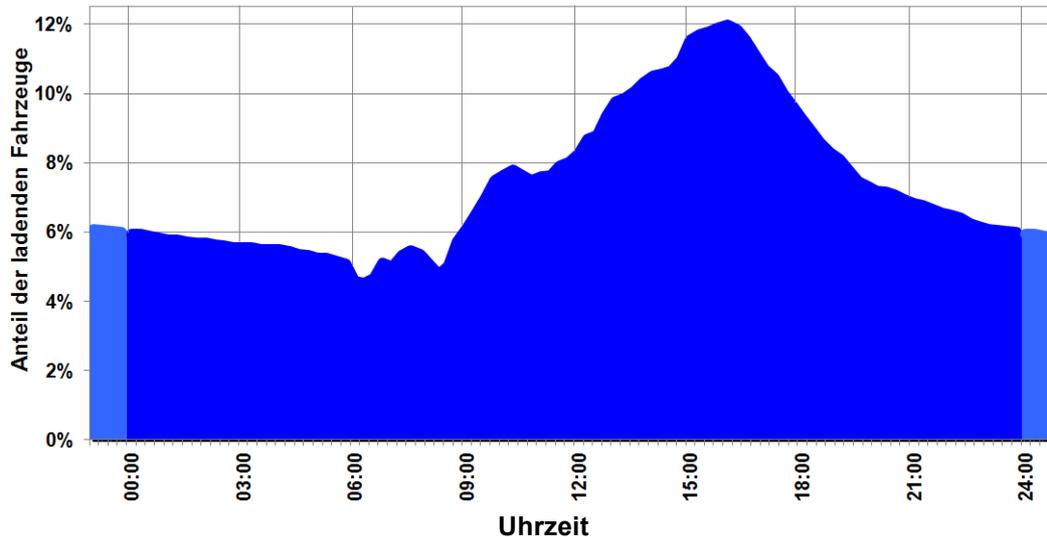
Abbildung 47 Verteilung der Ladevorgänge im Tagesverlauf: Kompakt- und Mittelklasse

N = 6.160 Ladevorgänge. Viertelstundenintervalle; Anteile der durchschnittlich ladenden Fahrzeuge im gesamten Beobachtungszeitraum.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Die Verteilung der Ladevorgängen bei Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse hingegen ist deutlich anders, mit niedrigsten Anteilen ladender Fahrzeuge zwischen 4:30 Uhr bis ca. 14:30 Uhr. Erst ab ca. 15:00 Uhr folgt ein stärkerer Anstieg und das Maximum von bis zu 10 % Anteil ladender Kompakt- und Mittelklassewagen wird im Zeitraum zwischen 19:00 Uhr und 20:30 Uhr erreicht.

Abbildung 48 Verteilung der Ladevorgänge im Tagesverlauf: Utilities



N = 1.999 Ladevorgänge. Viertelstundenintervalle; Anteile der durchschnittlich ladenden Fahrzeuge im gesamten Beobachtungszeitraum.

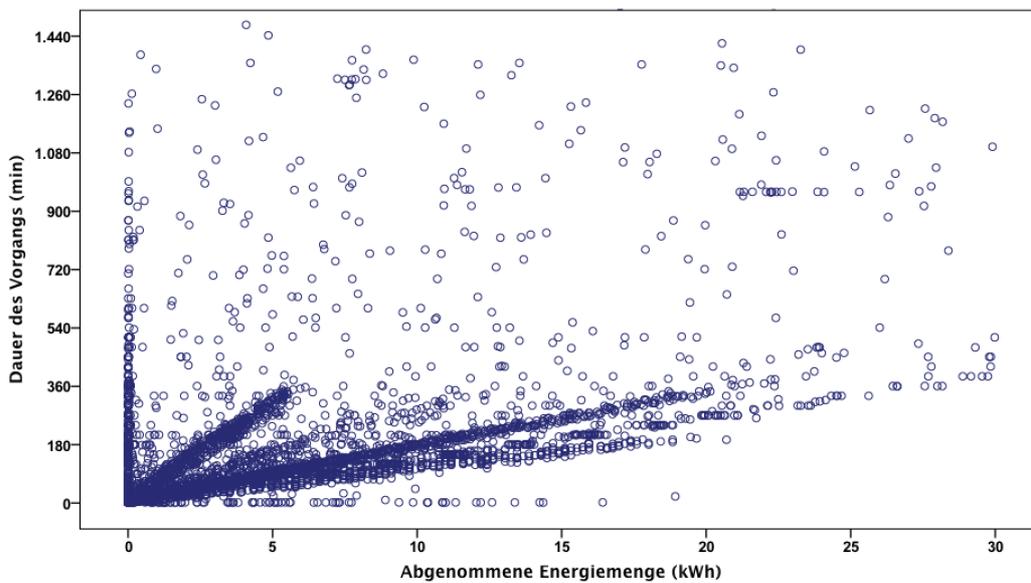
Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Noch einmal anders gestaltet sich das durchschnittliche Muster bei den leichten Nutzfahrzeugen, deren Ladepeak am Nachmittag bei ca. 16:00 Uhr liegt. Zu diesem Zeitpunkt sind gut 12 % der leichten Nutzfahrzeuge am Netz. Abgesehen von einigen kleineren Schwankungen gibt es von ca. 6:30 Uhr an eine kontinuierliche Zunahme der ladenden/mit dem Netz verbundenen Fahrzeuge bis zum Peak, dann einen ebenso steilen Abfall bis ca. 20:00 Uhr und im Anschluss daran ein kontinuierliches langsames Abflauen bis zum nächsten Morgen.

Die unterschiedlichen Lade- und auch Fahrtpattern sind beträchtlich und veranschaulichen sehr gut, dass es von den Einsatzbedingungen der unterschiedlichen Fahrzeuge und Segmente in diesen Fahrzeugen abhängt, wie sich der Praxiseinsatz der Fahrzeuge gestaltet.

Spezifische Energieabnahme (nach Ladedauer)

Die spezifische Energieabnahme eines Ladevorgangs ergibt sich als Funktion aus Ladedauer und abgenommener Energiemenge, die abgenommene Energiemenge wird begrenzt durch die (freie) Ladekapazität der Batterie. Je nach technischer Ausstattung sind die Ladegeschwindigkeiten unterschiedlich. Das Gebiet der Batterietechnologie ist momentan und auf absehbare Zeit ein zentraler Aspekt der Fortentwicklung von Elektrofahrzeugen.

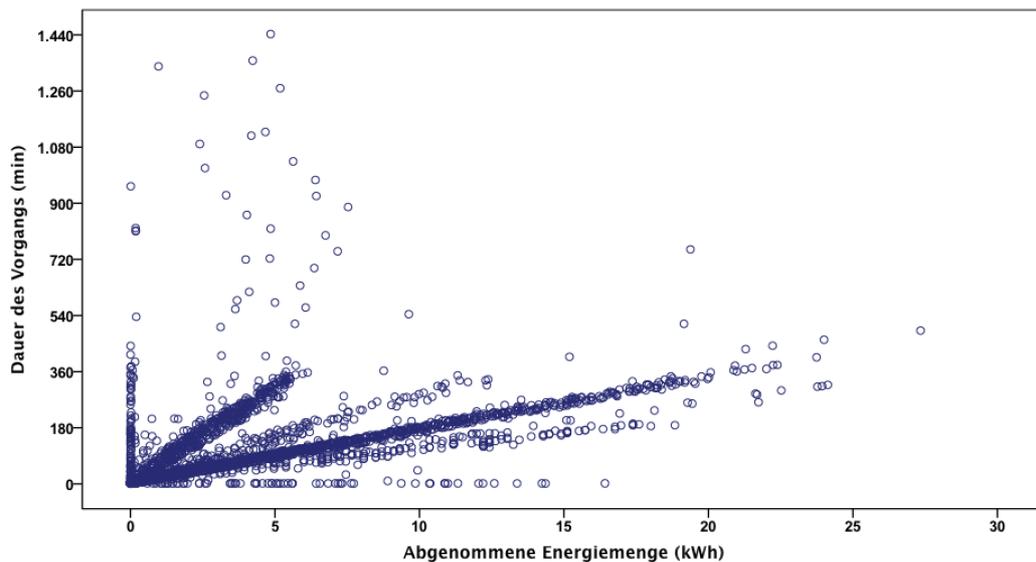
Abbildung 49 Ladedauern und abgenommene Energiemengen: alle Fahrzeuge

N = 4.623 Ladevorgänge. Einige der Ladevorgänge liegen im nicht dargestellten Wertebereich, weniger als 1 % der Vorgänge (mit entsprechenden Daten) werden daher nicht abgebildet.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Das Streudiagramm aller Ladevorgänge zeigt einige klare Trendlinien und darüber hinaus ein breit gestreutes Feld von Ladungen mit geringerer spezifischer Energieabnahme (als den Trendlinien entsprechend). Links kann man parallel zur Y-Achse diejenigen Ladevorgänge sehr unterschiedlicher Dauer identifizieren, bei denen kaum/keine Energie von den Fahrzeugen abgenommen wurde. In diesen Fällen kann davon ausgegangen werden, dass Fahrzeuge mit (beinahe) voller Ladekapazität mit dem Netz verbunden worden sind.¹²

¹² Die einzelnen Punkte parallel der X-Achse sind hingegen vermutlich auf Fehlmessungen zurückzuführen.

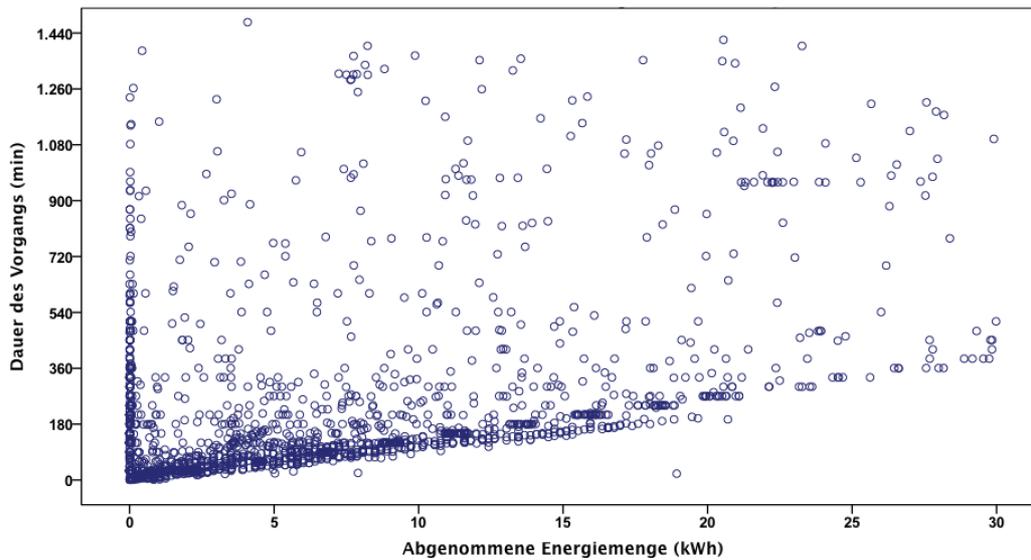
Abbildung 50 Ladedauern und abgenommene Energiemengen: Minis und Kleinwagen

N = 2.620 Ladevorgänge. Einige der Ladevorgänge liegen im nicht dargestellten Wertebereich, weniger als 1 % der Vorgänge (mit entsprechenden Daten) werden daher nicht abgebildet.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

In der Gruppe der Minis und Kleinwagen (vgl. Abbildung 50) kann man im Bereich von bis zu 6 Stunden eine starke Ansammlung von Ladevorgängen erkennen, die im Wesentlichen einer Ladegeschwindigkeit von 1 kWh pro Stunde entsprechen. Diese ist spezifisch für das Segment und findet sich bei den leichten Nutzfahrzeugen nicht.¹³ Eine weitere, gut sichtbare Trendlinie zeichnet sich mit Ladungen bis zu knapp 20 kWh bei einer Ladegeschwindigkeit von 3 bis 3,5 kWh pro Stunde ab. Weiterhin erkennbar sind bei den Minis und Kleinwagen schwache Trendlinien bei spezifischen Ladegeschwindigkeiten von 2 kWh pro Stunde und von ca. 5,5 kWh pro Stunde.

¹³ Wie auch schon bei der Analyse der Energieabnahmen, findet auch hier aufgrund der Datenlage keine separate Darstellung und kein Vergleich mit Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse statt. Vergleiche dazu auch die vorhergehende Fußnote 11.

Abbildung 51 Ladedauern und abgenommene Energiemengen: Utilities

N = 1.999 Ladevorgänge. Einige der Ladevorgänge liegen im nicht dargestellten Wertebereich, weniger als 1% der Vorgänge (mit entsprechenden Daten) werden daher nicht abgebildet.

Quelle: Daten aus den Modellregionen, Auswertung und Darstellung Wuppertal Institut.

Innerhalb der leichten Nutzfahrzeuge ist eine weitaus deutlichere Streuung der spezifischen Energieabnahmen zu beobachten als bei den Minis und Kleinwagen. Deutlich erkennbar ist vor allem eine breite Trendlinie im unteren Bereich des Diagramms, die bei einer Ladegeschwindigkeit von ca. 4 bis 6 kWh liegt und unter Umständen auch von zwei leicht unterschiedlichen, jedoch ebenfalls hohen, Ladegeschwindigkeiten gebildet sein könnte.

6. Zusammenfassung

Die vorliegenden Analysen zu Betrieb und Ladung von Elektrofahrzeugen nutzen die in dieser Form erstmals vorhandene empirische Basis von Messdaten aus den Modellregionen Elektromobilität. Analysen aller Einzelvorgänge und getrennte Auswertungen nach den drei Vergleichsgruppen Minis und Kleinwagen, Kompakt- und Mittelklasse sowie der Gruppe der leichten Nutzfahrzeuge (Utilities) ermöglichen einerseits Gesamt-Betrachtungen und andererseits differenzierte Gegenüberstellungen unterschiedlicher Fahrzeugkonzepte.

Es zeigt sich, dass die Fahrdauern der unterschiedlichen Fahrzeugtypen relativ ähnlich sind und zumeist kurze Fahrten unternommen werden. Die Hälfte aller Fahrten ist dabei nicht länger als 7 min, eine durchschnittliche Fahrt mit einem Elektrofahrzeug dauert 12:40 min. Die durchschnittliche Streckenlänge beträgt dabei knapp 8 km und gut $\frac{3}{4}$ aller Fahrten erstrecken sich über eine Distanz von höchstens 10 km. Unterschiede gibt es bei den Distanzen vor allem im Bereich der leichten Nutzfahrzeuge, die größere Anteile kürzerer Strecken zurücklegen. Knapp 90 % ihrer Fahrten sind nicht länger als 10 km und im Mittel erstrecken sie sich sogar nur über 4,8 km.

Sehr große Unterschiede gibt es zwischen den drei Vergleichsgruppen Minis und Kleinwagen, Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse und leichten Nutzfahrzeugen vor allem im Bereich der Einsatz- und Ladeprofile im Tagesverlauf. In Abhängigkeit von den fahrzeugspezifischen praktischen Einsatzmöglichkeiten (z.B. als gewöhnliches Verkehrsmittel oder als Lieferfahrzeug) und den projektspezifischen Einsatzgebieten (betriebliche Nutzung im Rahmen von Flotten oder flexible, auch private Nutzung für unterschiedliche Zwecke) variieren die Muster stark. So beschränkt sich der Einsatzzeitraum der leichten Nutzfahrzeuge im Wesentlichen auf die Zeit zwischen den frühen Morgenstunden bis ca. 17:00 Uhr, während die Minis und Kleinwagen bis ca. 20:00 Uhr noch verhältnismäßig hohe Fahrtenanteile haben. Ebenso sieht es bei den Fahrzeugen der Kompakt- und Mittelklasse aus, die im Vergleich mit den anderen Gruppen am intensivsten genutzt werden. Noch stärker als die Tagesgänge der Fahrten unterscheiden sich die Tagesgänge der Ladungen bei der Gegenüberstellung der drei Vergleichsgruppen voneinander. So haben Minis und Kleinwagen und Fahrzeuge der Kompakt- und Mittelklasse einen eher breiten Peak mit schwacher Steigung davor und leichterem Abfall danach. Bei ersteren liegt der Peak im Zeitraum von ca. 10:00 bis 17:00 und bei der zweiten Gruppe deutlich später, zwischen 18:00 und 21:00 Uhr.. Leichte Nutzfahrzeuge hingegen haben einen spitzeren Peak im Zeitraum von ca. 14:30 bis 17:00 Uhr mit einem deutlich stärkeren An- und Abfall der Ladequoten davor und danach.

Als ein zentraler Befund der Umweltbegleitforschung können die Ergebnisse zu den spezifischen Verbrauchsdaten der einzelnen Fahrzeugsegmente bezeichnet werden. Minis und Kleinwagen verbrauchen im Mittel 17,2 kWh pro 100 km, Kompaktwagen und Mittelklassefahrzeuge 16,9 kWh pro 100 km und leichte Nutzfahrzeuge durchschnittlich 30,4 kWh pro 100 km. Mit diesen Ergebnissen liegen erstmals in größerem Umfang empirische Daten aus dem Praxiseinsatz vor, die den Herstellerangaben zu Energieverbräuchen ihrer Elektrofahrzeuge entgegen gestellt werden können. Zusammen mit verschiedenen Annahmen über die Herkunft des verbrauchten Stroms können diese Befunde genutzt werden, um die Umweltwirkungen von Elektrofahrzeugen denen von vergleichbaren konventionellen Fahrzeugen heute und in der Zukunft gegenüberzustellen.

Literatur

Krafftahrt-Bundesamt [KBA] (2011): Methodische Erläuterungen zu Statistiken über Fahrzeugzulassungen. Online verfügbar unter:

http://www.kba.de/clin_032/nn_191094/DE/Statistik/Fahrzeuge

/fz__methodische__erlaeueterungen__201101__pdf,templateId=raw,property=publication
File.pdf/fz_methodische_erlaeueterungen_201101_pdf.pdf (zuletzt aufgerufen am 25.10.2011).

Ruhe, Hermann (2011): BMVBS – Nationale Plattform Umwelt. Anpassung einer Schnittstelle zum Datentransfer. Leinenfeld-Echterdingen: PE International GmbH.

Schallaböck, Karl Otto/Carpantier, Rike (2012): Umweltbegleitforschung für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge: Auswahl der Vergleichsfahrzeuge. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.

Anhang

Anhang 1 Richtlinie zum Datenaustausch

Anhang 2 Spezifikationsdokument zur Anpassung einer Schnittstelle zum Datentransfer (PE International)

Richtlinie

zum Datenaustausch im Rahmen der Begleitforschung Umwelt / Sicherheit im BMVBS-Förderschwerpunkt „Modellregionen Elektromobilität“ (AP Umwelt)

Stand: 05.07.2011

Präambel

Führende europäische Fahrzeughersteller aus den Bereichen Pkw, leichte Nutzfahrzeuge und Zweiräder haben gemeinsam mit Flottenbetreibern und Privatanwendern ein Interesse an teil- und vollelektrischen Antriebssystemen. Die Bundesregierung unterstützt die Entwicklung und Erprobung dieser Technologie in der Praxis mit Fördermitteln im Rahmen des Konjunkturpakets II. Die dabei verfolgten Ziele sind der Klimaschutz und der Ausbau Deutschlands zu einem Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität.

Dazu werden im BMVBS-Förderschwerpunkt „Modellregionen Elektromobilität“ Förderprojekte trilateral zwischen Fahrzeugherstellern, Fahrzeugbetreibern und der Bundesrepublik Deutschland vertreten durch das BMVBS definiert und umgesetzt. In diesem Zusammenhang werden die Umwelt- und Sicherheitsaspekte beim Betrieb der Fahrzeuge in der Plattform Begleitforschung Umwelt/Sicherheit – nachfolgend „Plattform“ genannt – zusammengeführt und vertieft. Die Plattform wird gemeinsam durch die NOW GmbH – als Koordinierungsstelle des BMVBS – und durch die EnergieAgentur.NRW (nachfolgend gemeinsam „Plattformkoordinatoren“ genannt) koordiniert. Die Plattform basiert auf den Einzelvorhaben in den acht Modellregionen und den übergreifenden Technologieprojekten mit ihren individuellen Zielen. Die dabei bilateral zwischen dem Zuwendungsgeber – vertreten durch den Projektträger Jülich (PtJ) – und den jeweiligen Zuwendungsnehmern geschlossenen Verträge sowie die Verpflichtungen aus den Zuwendungsbescheiden werden durch die Plattformaktivitäten nicht berührt und gehen im Zweifel dieser Vereinbarung vor. Innerhalb der Zuwendungsbescheide wird darüber hinaus um die Unterstützung der durch die NOW GmbH initiieren Begleitforschungsaktivitäten – insbesondere der Begleitforschung Umwelt/Sicherheit – gebeten.

Eine wesentliche Aufgabe der Plattform ist die Umweltbegleitforschung zum Realbetrieb der Fahrzeuge in den Modellregionen, die in einem vom BMVBS geförderten Forschungsprojekt durch das Wuppertal Institut mit Unterstützung durch PE International durchgeführt wird.

1. Gegenstand der Richtlinie

Gegenstand der Richtlinie ist die Regelung des Daten- und Ergebnisaustauschs zwischen den Projektpartnern der Einzelvorhaben, nachfolgend „Partner“ genannt, den begleitforschenden Instituten und Unternehmen sowie den Plattformkoordinatoren. Als Partner gelten hier jene Einrichtungen und Personen, die die Umweltbegleitforschung mit ihrer Datenlieferung unterstützen und die Kenntnis von Ergebnissen der Plattform erhalten. Die laufend aktualisierte Partnerliste steht allen Partnern in **Anhang 4** dieser Richtlinie zur Verfügung. Die Zusammenarbeit zielt auf die gemeinsame Evaluation von Daten und deren Zusammenführung sowie den Austausch von Informationen innerhalb der Plattform ab.

Die für das Erreichen der Ziele der Plattform bereitgestellten Informationen aus den jeweiligen Forschungsvorhaben und insbesondere die verfügbar gemachten Daten aus den von den Partnern durchgeführten Messreihen sollen sich an dem Minimum des Erforderlichen orientieren. Diesbezüglich ist in den Sitzungen der Plattform ein Ergebnis erzielt worden, das der weiteren Konkretisierung zugrunde gelegt wird. Die demnach bereit gestellten Daten werden in der Umweltbegleitforschung anonymisiert, aggregiert und zu Aussagen verdichtet. Die Auswertung erfolgt nach Festlegung durch das Wuppertal Institut in Abstimmung mit den beteiligten Plattformteilnehmern. Die zur Verfügung gestellten Daten sind lediglich für den in dieser Richtlinie vorgesehenen Zweck zu verwenden.

2. Datenerfassung

Die Datenerfassung wird von PE International auf der Grundlage eines separat mit der Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Projektträger Jülich (PtJ), geschlossenen Auftrages durchgeführt.

PE International verpflichtet sich, die Datenerfassung entsprechend der Zielsetzung des Förderprogramms und dem Zweck, anhand einheitlicher Bewertungskriterien eine gemeinsame Informationsgrundlage für die Partner zu schaffen, vorzunehmen. Dazu zählen insbesondere die Zielsetzung und Aufgaben der Plattform und des vom Wuppertal Institut durchgeführten Projekts zur Umweltbegleitforschung. Weitere, in den Modellregionen jeweils individuell geplante Mess- und Monitoringaktivitäten werden jeweils nach Abstimmung mit den beteiligten Partnern in der jeweiligen Modellregion in den Auswertungen der Umweltbegleitforschung berücksichtigt.

PE International richtet eine zentrale Datenaufbereitungsstelle ein, auf die auch das Wuppertal Institut Zugriff hat. Die Partner bemühen sich, PE International die vertraulichen Ergebnisse/Daten ihrer Messungen in dem benötigten Umfang zeitnah zur Verfügung zu stellen.

PE International und das Wuppertal Institut sind für die Datenerhebung und -auswertung verantwortlich. Die Datenaufnahme erfolgt auf der Basis einer gemeinsam vereinbarten und seitens PE International eingerichteten webbasierten Datenerfassungsplattform auf Basis des Softwaretools SoFi. Eine allgemeine Beschreibung dieser Datenplattform findet sich in **Anhang 1**. Die Definition des Datenformats für die Datenübermittlung ist in **Anhang 2** aufgeführt.

3. Dateneigner

Die Zusammenführung, Analyse und Aufbereitung der Daten erfolgt allein durch PE International und das Wuppertal Institut in enger Abstimmung mit den Plattformkoordinatoren. Sie folgt dem in **Anhang 3** skizzierten Schema der unterschiedlichen Vertraulichkeitsebenen.

Die individuell durch die Partner erhobenen und an die PE International übermittelten Daten verbleiben im Eigentum des jeweiligen Partners. Weitergehende Nutzungs- und Benutzungsrechte, insbesondere über das Projektende hinaus, werden an allen Rohdaten nicht erteilt. Davon unberührt bleiben Daten der Level 3 bis 4 des Anhangs 3, die die Anonymität des Datenlieferanten sicherstellen.

4. Vertraulichkeit

PE International und das Wuppertal Institut verpflichten sich, alle Informationen, die sie im Zusammenhang mit dieser Richtlinie zur Datenerfassung erhalten haben, streng vertraulich zu behandeln, vor dem Zugriff Dritter wirksam zu schützen und solche vertraulichen Informationen nicht für eigene oder fremde Zwecke zu nutzen.

PE International und das Wuppertal Institut verpflichten sich ferner, die vorstehende Richtlinie allen eigenen oder unterbeauftragten Mitarbeitern aufzuerlegen, die Zugang zu vertraulichen Informationen aus und im Zusammenhang mit dieser Plattform erlangen, und gewährleisten die fortwirkende Verpflichtung der betrauten Mitarbeiter auch nach deren Ausscheiden aus der PE International bzw. dem Wuppertal Institut.

PE International und das Wuppertal Institut werden die vertraulichen Daten der Partner nur denjenigen eigenen oder unterbeauftragten Mitarbeitern von PE International bzw. dem

Wuppertal Institut zugänglich machen, die diese zur Erfüllung der Aufgaben von PE International und dem Wuppertal Institut für das Erreichen der Ziele der Plattform kennen müssen.

Die vorstehende Verpflichtung der PE International und des Wuppertal Instituts zur Vertraulichkeit erstreckt sich dabei nicht auf:

- (1) Daten, die der PE International oder dem Wuppertal Institut schon vor Beginn des Datenaustauschs nach der vorliegenden Richtlinie bekannt waren,
- (2) Daten, die PE International oder das Wuppertal Institut von dritter Seite außerhalb des Datenaustauschs nach der vorliegenden Richtlinie erhalten hat,
- (3) und Informationen, die ohne Verstoß gegen die in dieser Richtlinie festgelegten Regeln öffentlich bekannt oder öffentlich zugänglich sind.

Die Beweislast für das Vorliegen der vorstehend aufgeführten Ausnahmen obliegt PE International bzw. dem Wuppertal Institut.

5. Datenaustausch

Die durch die PE International und das Wuppertal Institut erhobenen und bewerteten Daten werden allen Partnern ausschließlich in aggregierter und anonymisierter Form zur Verfügung gestellt, wobei die individuellen Mess- und Ergebnisdaten der einzelnen Partner jeweils gesondert mitgeteilt werden.

Art und Umfang der Datenaufbereitung für die aggregierte und neutralisierte Informationsstufe werden in der Plattform mit den Partnern diskutiert und unter Führung des Wuppertal Instituts vorab grundsätzlich festgelegt. Die Aggregation und Bereitstellung der aus den Daten abgeleiteten Informationen erfolgt ebenfalls durch PE International und das Wuppertal Institut in Abstimmung mit den Plattformkoordinatoren. Präsentationsform und -umfang der ausgewerteten Daten in der Öffentlichkeit werden in Einklang mit den Aufgaben der Plattform und des Projektes Begleitforschung Umwelt vorab grundsätzlich in der Plattform festgelegt.

6. Haftung

Alle Partner stellen die Richtigkeit, Vollständigkeit und Brauchbarkeit der im Rahmen dieser Richtlinie übermittelten Daten innerhalb der üblichen Sorgfaltspflichten und unter Gewährleistung von Nutzungsrechten frei von Rechten Dritter sicher. Die Partner haften für die Verletzung der Sorgfaltspflichten im Falle von Vorsatz und grober Fahrlässigkeit.

Ansprüche der Partner gegeneinander, gegen ihre leitenden Mitarbeiter, gesetzlichen Vertreter und Erfüllungs- und Verrichtungsgehilfen auf Ersatz von Schäden aus Pflichtverletzungen und aus unerlaubter Handlung sind ausgeschlossen, soweit sie nicht auf Vorsatz beruhen.

7. Herausgabe der Daten

Sämtliche zur Verfügung gestellten und aufbereiteten Rohdaten zur Datenerfassung gem. Level 1 und 2 des Anhangs 3 dieser Richtlinie und evtl. davon gefertigte Kopien sind auf Anforderung des übergebenden Partners, jedoch spätestens bis 1 (ein) Jahr nach Ende des Vorhabens der Partner zurückzugeben oder zu löschen. Davon unberührt bleiben Daten, die nach Level 3 bis 4 vorgehalten werden. Diese Verpflichtung gilt nicht für routinemäßig angefertigte Sicherungskopien des elektronischen Datenverkehrs sowie für Daten und Kopien davon, die nach anerkannten Maßgaben zur Sicherung guter Wissenschaftlicher Praxis aufbewahrt werden müssen.

8. Verbindlichkeit

Die Inhalte und Vereinbarungen dieser Richtlinie werden durch Zeichnung der bearbeitenden Institute Wuppertal Institut und PE International sowie den Plattformkoordinatoren NOW GmbH und EnergieAgentur.NRW als Konsens bestätigt. Das Dokument wird den Partnern mit der Bitte um formlose Bestätigung (auch email) der Kenntnisnahme dieser Inhalte und der Aufnahme der jeweiligen Institution in die Partnerliste übermittelt.

9. Sonstiges

Nebenabreden, Änderungen und Ergänzungen bedürfen der Schriftform. Dies gilt auch für die Abänderung der schriftlichen Form.

Gez.

die Plattformkoordinatoren



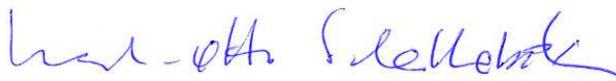
Oliver Braune
NOW GmbH



Dr. Frank Köster
EnergieAgentur.NRW

Gez.

die Projektbearbeiter



Dr. Karl Otto Schallaböck
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie



Dr. Michael Faltenbacher
PE International

Anhänge:

Anhang 1: Kurzbeschreibung SoFi Software

Anhang 2: Anpassung einer Schnittstelle zum Datentransfer

Anhang 3: Schema der unterschiedlichen Vertraulichkeitsebenen

Anhang 4: Partnerliste



BMVBS - Nationale Plattform Umwelt

Anhang 2: Anpassung einer Schnittstelle zum Datentransfer

Hermann Ruhe (PE INTERNATIONAL GmbH)
Leinfelden-Echterdingen, 31.1.2011

1. ZIEL

Im Rahmen des Projekts „Nationale Plattform Umwelt“ sollen die in verschiedenen Modellregionen stationierten Fahrzeugflotten (Elektro-Fahrzeuge) vom Wuppertal Institut (WI) untersucht werden. PE International soll hierzu eine Datenerfassungsplattform nach Vorbild des im Rahmen der Busplattform des BMVBS genutzten Datenerfassungssystem bereitgestellt werden.

Dabei ist folgender Untersuchungsrahmen vorgegeben:

- Es werden 8 Modellregionen untersucht.
- Die Flottengröße pro Modellregion umfasst z.T. 100+ Fahrzeuge.
- Es sind pro Flotte Fahrzeuge mehrerer Hersteller in Betrieb.

Die zu erhebenden Daten pro Fahrzeug beziehen sich entsprechend der Vorgabe des Wuppertal Instituts (WI) auf jeweils von einem Fahrzeug durchgeführte Einzelfahrten sowie Ladevorgänge der Fahrzeuge.

Folgende Daten sollen erhoben werden:

- **Daten einer Einzelfahrt**
 - Modellregion
 - Fahrzeug_ID
 - Datum
 - Fahrdauer
 - Gefahrene Distanz
 - Verbrauchte Energiemenge
- **Daten eines Ladevorgangs**
 - Modellregion
 - Fahrzeug_ID
 - Datum
 - Ladedauer
 - Kilometerstand
 - Abgenommene Energiemenge (netzseitig)

Es können mehrere Einzelfahrten sowie Ladevorgänge pro Tag und pro Fahrzeug auftreten.

Die Datenhaltung soll zentralisiert erfolgen. Dabei kommt das webbasierte Softwaretool SoFi zur Anwendung.



2. DATENERFASSUNG / ANPASSUNG DER SCHNITTSTELLE

Die relevanten Daten können in SoFi wie folgt erfasst werden:

1) Manuelle Eingabe

Die manuelle Eingabe der Fahrzeug-spezifischen Einzelfahrt Daten ist grundsätzlich möglich und wird vom System unterstützt. Jedoch stellt sich die Frage, ob eine manuelle Erfassung angesichts der großen Datenmengen nur in Einzelfällen nicht aber für das Gros der Daten sinnvoll ist.

2) Import mittels einer CSV-Datei (bevorzugte Variante)

Der Import mittels einer CSV-Datei ist der praktikabelste Weg. Auf diese Weise lassen sich auch große Datenmengen in kurzer Zeit ins System importieren. In einer Datei können so z.B. die gesamten Einzelfahrt Daten aller Fahrzeuge eines Tages aus einer Modellregion importiert werden. Desweiteren werden eventuelle Fehler bei der manuellen Eingabe ausgeschlossen. Voraussetzung ist, dass die CSV-Dateien mit konsistenten, plausiblen Daten gefüllt werden. Dies ist auf Seite der Datenlieferanten sicher zu stellen.

Je nach gewünschter Aktualität einer durchzuführenden Auswertung können die relevanten Daten täglich oder in einem größeren regelmäßigen Turnus erfasst/importiert werden (täglich, wöchentlich, monatlich).

Um für die große Anzahl an möglichen Datensätzen und Datenlieferanten eine adäquate Schnittstelle bereit zu stellen, wird die Anpassung einer bereits vorhandenen Schnittstelle in SoFi empfohlen. Diese Schnittstelle ermöglicht es, über ein CLI große, in CSV-Dateien gehaltene Datenmengen zu importieren. Dabei müssen die verwendeten CSVs einer fest vorgegebenen Struktur folgen. Diese Struktur wird im Abschnitt 3 definiert.

Für die Anpassung der Schnittstelle ergibt sich folgende Umsetzung:

Halb-automatischer Import

Bei Umsetzung eines halb-automatischen Imports wird in SoFi eine grafische Benutzeroberfläche bereit gestellt. Über diese Benutzeroberfläche können mehrere CSV-Dateien ausgewählt und zum Server transferiert werden. Nach vollständigem Dateitransfer wird der Datenimport angestoßen.

Der Zugriff auf die Benutzeroberfläche erfolgt über Login und Passwort.

Siehe Abschnitt „**WORKFLOW SCHEMA – DATEITRANSFER UND IMPORT**“

3. DEFINITION DER DATENFORMATE

Um die zu importierenden Daten eindeutig zuordnen zu können, muss jeder Datensatz über einen eindeutigen Satz an IDs verfügen. Diese sind im Rahmen der Implementierung bereit zu stellen und zur Generierung der CSV-Dateien herbei zu ziehen.

Es ist äußerst wichtig, dass diese Vorgaben eingehalten werden, da sonst ein reibungsloser Datenimport nicht garantiert werden kann, und potenziell zusätzliche Kosten anfallen.

In den zu erstellenden CSV-Dateien ist ein Header zu führen, der die Spalten und die darin enthaltenen Werte eindeutig zuordbar macht. Nur so kann sichergestellt werden, dass die zu importierenden Daten reibungslos importiert werden können.

Die nachfolgenden Header wurden unter der Annahme definiert, dass die folgenden Daten auf Seiten der Datenlieferanten berechnet / erfasst werden.

- **Daten einer Einzelfahrt**
 - Fahrtdauer (= Uhrzeit Ende der Fahrt – Uhrzeit Beginn der Fahrt)¹
 - Gefahrene Distanz (= km-Stand Ende der Fahrt – km-Stand Anfang der Fahrt)²
- **Daten eines Ladevorgangs**
 - Ladedauer (= Uhrzeit Ende des Ladevorgangs – Uhrzeit Beginn des Ladevorgangs)³

Können diese Werte nicht bereitgestellt werden, so müssen die Header der CSV-Dateien sowie die Importschnittstelle entsprechend angepasst werden. Daher ist vor Beauftragung zu prüfen, inwiefern die Anforderung der Schnittstellen-seitigen Berechnung dieser Werte notwendig ist.

Die Importschnittstelle ermöglicht es, Daten in verschiedenen Einheiten zu importieren. So sind zurückgelegte Entfernungen z.B. in km oder m, und abgenommene Energiemengen in kWh oder GJ erfassbar. Eine vollständige Liste der verfügbaren Einheiten wird bereitgestellt.

Eine variable Anzahl an Spalten in der CSV-Datei zur Erfassung mehrerer Einzelfahrten bzw. Ladevorgänge eines Tages pro Zeile erscheint nicht sinnvoll umsetzbar und würde den Aufwand zur Anpassung der Importschnittstelle erhöhen. Jede Einzelfahrt / jeder Ladevorgang wird daher in der zu liefernden CSV-Datei durch eine einzelne Zeile repräsentiert. Damit ergeben sich aus drei einzelnen Fahrten eines Fahrzeugs an einem Tag genau drei Zeilen in der zu generierenden CSV-Datei. Die Zeilenanzahl ist nicht unmittelbar begrenzt.

Aus Gründen der Praktikabilität soll für die Zusammensetzung der CSV-Dateien Folgendes gelten:

- Es sind getrennte CSV-Dateien für Einzelfahrten bzw. Ladevorgänge zu liefern.
- Die Einträge EINES Tages für Ladevorgänge / Einzelfahrten eines Fahrzeugs sind in EINER CSV-Datei zu liefern.
- In EINER Datei können die Daten MEHRERER Fahrzeuge gehalten werden.

¹ Anstelle der Fahrtdauer können auch die Anfangs- und Endzeiten geliefert werden. Die Fahrtdauer wird für diesen Fall berechnet.

² Anstelle der gefahrenen Distanz können auch die Anfangs- und Endkilometerstände geliefert werden. Die gefahrene Distanz wird für diesen Fall berechnet.

³ Anstelle der Ladedauer können auch die Anfangs- und Endzeiten geliefert werden. Die Ladedauer wird für diesen Fall berechnet.



3.1 DEFINITION EINZELFAHRT

Die nachfolgende Tabelle definiert den Header, der in der CSV-Datei der zu importierenden Einzelfahrten enthalten sein muss.

Beschreibung	Header im CSV	Entspricht in SoFi	Beispiel	Genauigkeit der Daten / Anmerkung	Plausibilitäts-Kriterien
Jahr	period_gid	Bilanzperiode	2010	n/a	
Modellregion	region_gid	UID einer Region	VWS	n/a	
Fahrzeug	location_gid	UID eines Fahrzeugs	z.B. Kennzeichen S-RF1234	Entspricht der Fahrzeug-ID gemäß Fahrzeugliste Wuppertal-Institut	
Quellenangabe, woher kommen die Daten	compilation_gid	Fragebogen, in dem die Daten organisiert werden	TRIPS	n/a	
Datum der Fahrt	report_time	Datum, zu dem die Transaktion importiert werden soll	2010-07-20	n/a	< aktuelles Datum > 01.01.2010
Anfangszeitpunkt einer Fahrt	trip_start	Aufnahme in Custom Field als Zusatzinfo	2010-07-20 12:10:30	Angabe in Form von JJJ-MM-TT hh:mm:ss	< aktuelles Datum > 01.01.2010
Endzeitpunkt einer Fahrt	trip_end	Aufnahme in Custom Field als Zusatzinfo	2010-07-20 12:30:40	Angabe in Form von JJJ-MM-TT hh:mm:ss	< aktuelles Datum > 01.01.2010 > trip_start
Dauer der Fahrt	trip_time	Einzelher Transaktionswert für die Dauer der Einzelfahrt	3.25	Dezimaltrenner: . Max. 8 Nachkommastellen 3.25 min = 3 Minuten, 15 Sekunden OPTIONAL, WENN trip_start + trip_end GELIEFERT	> 0 min < 1440 min



Einheit zur Erfassung der Fahrtdauer	trip_time_unit_gid	UID einer Einheit	min	Zeitangaben in Minuten, Einheit: min	
Kilometerstand am Anfang einer Fahrt	trip_dist_start	n/a	2300.500	Dezimaltrenner: . Max. 8 Nachkommastellen	
Einheit zur Erfassung des Kilometerstands	trip_dist_start_unit_gid	UID einer Einheit	km	Einheit: km	
Kilometerstand am Ende einer Fahrt	trip_dist_end	n/a	2321.025	Dezimaltrenner: . Max. 8 Nachkommastellen	> trip_dist_start
Einheit zur Erfassung des Kilometerstands	trip_dist_end_unit_gid	UID einer Einheit	km	Einheit: km	
Zurückgelegte Fahrstrecke *	trip_distance	Einzelner Transaktionswert für die zurückgelegte Fahrstrecke	20.525	Dezimaltrenner: . Max. 8 Nachkommastellen OPTIONAL, WENN trip_dist_start + trip_dist_end GELIEFERT	>0 km
Einheit zur Erfassung der zurückgelegten Fahrstrecke*	trip_distance_unit_gid	UID einer Einheit	km	Fahrtstrecke in Kilometern, Einheit: km	
Energiezustand am Anfang einer Fahrt	trip_energy_start	n/a	623.025	Dezimaltrenner: . Max. 8 Nachkommastellen	
Energiezustand am Ende einer Fahrt	trip_energy_end	n/a	500.500	Dezimaltrenner: . Max. 8 Nachkommastellen	< trip_energy_start
Verbrauchte Energiemenge	trip_energy_cons	Einzelner Transaktionswert für die verbrauchte Energiemenge	123.525	Dezimaltrenner: . Max. 8 Nachkommastellen OPTIONAL, WENN trip_energy_start + trip_energy_end GELIEFERT	>0 kwh
Einheit zur Erfassung der verbrauchten Energiemenge	trip_energy_cons_unit_gid	UID einer Einheit	kwh	Energiemenge in Kilowattstunden, Einheit: kwh	

Tabelle 1 - Definition Einzelfahrt (Fragebogen TRIPS)



3.2 DEFINITION LADEVORGANG

Die nachfolgende Tabelle definiert den Header, der in der CSV-Datei der zu importierenden Ladevorgänge enthalten sein muss.

Datenposition	Datenfeld im CSV	Entspricht in SoFi	Beispiel	Genauigkeit der Daten / Anmerkung	Plausibilitäts-Kriterien
Jahr	period_gid	Bilanzperiode	2010	n/a	
Modellregion	region_gid	UID einer Region	VWS	n/a	
Fahrzeug	location_gid	UID eines Fahrzeugs	z.B. Kennzeichen S-RF1234	Entspricht der Fahrzeug-ID gemäß Fahrzeugliste Wuppertal-Institut	
Quellenangabe, woher kommen die Daten	compilation_gid	Fragebogen, in dem die Daten organisiert werden	CHARGE	n/a	
Datum des Ladevorgangs	report_time	Datum, zu dem die Transaktion importiert werden soll	2010-07-20	n/a	< aktuelles Datum > 01.01.2010
Anfangszeitpunkt eines Ladevorgangs	charge_start	Aufnahme in Custom Field als Zusatzinfo	2010-07-20 12:10:30	Angabe in Form von JJJ-MM-TT hh:mm:ss	< aktuelles Datum > 01.01.2010
Endzeitpunkt eines Ladezeitpunkts	charge_end	Aufnahme in Custom Field als Zusatzinfo	2010-07-20 12:30:40	Angabe in Form von JJJ-MM-TT hh:mm:ss	< aktuelles Datum > 01.01.2010 > charge_start
Dauer des Ladevorgangs	charge_time	Einzelner Transaktionswert für die Dauer des Ladevorgangs	3.25	Dezimaltrenner: . Max. 8 Nachkommastellen 3.25 min = 3 Minuten, 15 Sekunden OPTIONAL, WENN charge_start + charge_end GELIEFERT	> 0 min < 1440 min

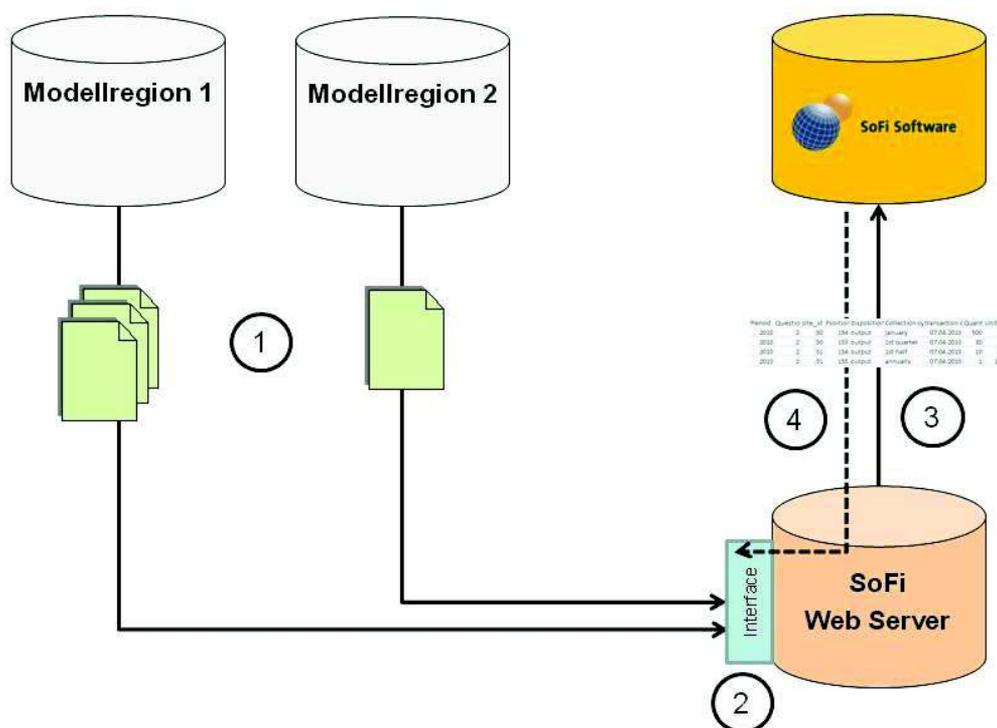


Einheit zur Erfassung der Ladedauer	charge_time_unit_gid	UID einer Einheit	min	Einheit: min	
Kilometerstand zu Beginn des Ladevorgangs	charge_mileage	Einzelner Transaktionswert für den Kilometerstand zu Beginn des Ladevorgangs	20.5	Dezimaltrenner: . Max. 8 Nachkommastellen	
Einheit zur Erfassung des Kilometerstands zu Beginn des Ladevorgangs	charge_mileage_unit_gid	UID einer Einheit	km	Einheit: km	
Energiestand am Anfang eines Ladevorgangs	charge_energy_start	n/a	500.500	Dezimaltrenner: . Max. 8 Nachkommastellen	>0 kwh
Energiestand am Ende eines Ladevorgangs	charge_energy_end	n/a	623.025	Dezimaltrenner: . Max. 8 Nachkommastellen	> charge_energy_start
Abgenommene Energiemenge	charge_energy	Einzelner Transaktionswert für die abgenommene Energiemenge	123.5	Dezimaltrenner: . Max. 8 Nachkommastellen OPTIONAL, WENN charge_energy_start + charge_energy_end GELIEFERT	>0 kwh
Einheit zur Erfassung der abgenommenen Energiemenge	charge_energy_unit_gid	UID einer Einheit	kwh	Einheit: kwh	

Tabella 2- Definition Ladevorgang (Fragebogen CHARGE)

4. TECHNISCHES SCHEMA – DATEITRANSFER UND IMPORT

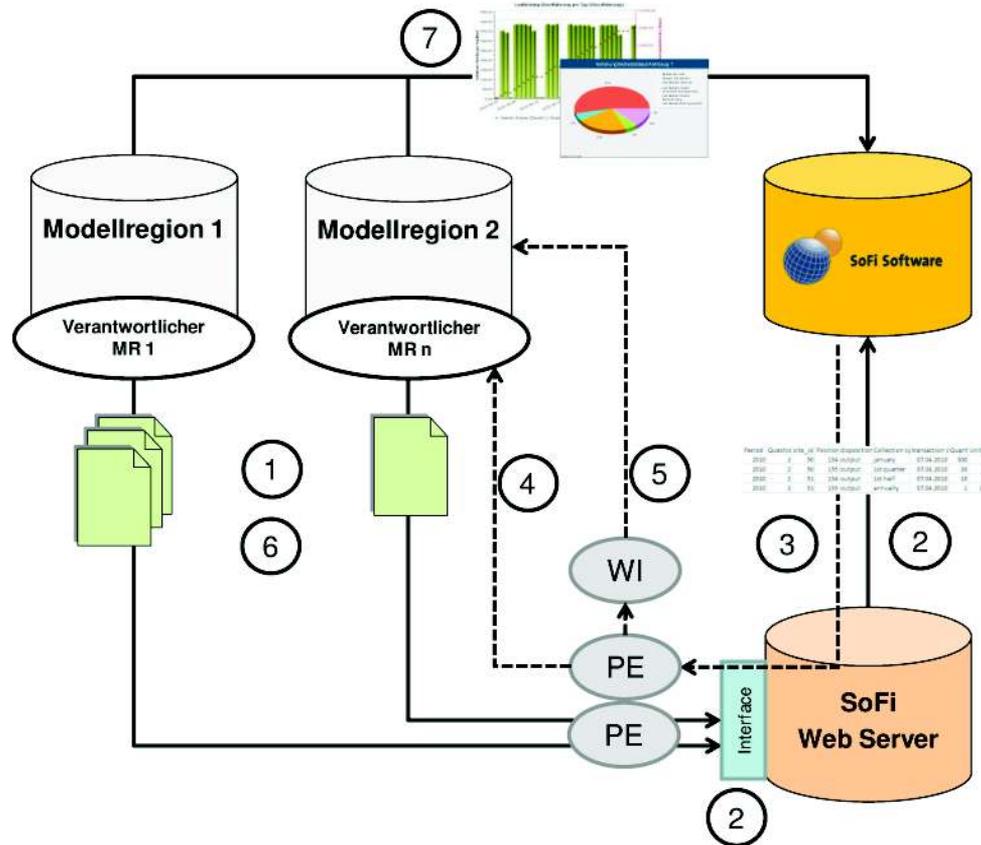
Nachfolgende Abbildung zeigt schematisch, wie ein solcher Transfer abläuft. Auf technische Details wurde bewusst verzichtet, diese werden bei Bedarf nachgeliefert.



1. Auf Seite der Datenlieferanten werden CSVs entsprechend der ausgehändigten Spezifikation erstellt.
2. Die CSV-Dateien werden über eine Schnittstelle an den SoFi Server übergeben.
3. Die in den CSV-Dateien enthaltenen Daten werden in SoFi importiert.
4. Rückmeldung über erfolgreichen Import, ggfs. Fehlerprotokoll über die Schnittstelle.
5. Es können für die einzelnen Werte Grenzwerte (Min/ Max) festgelegt. Überschreiten die Werte diese Grenzwerte werden sie beim Import nicht berücksichtigt. Es erfolgt eine entsprechende Fehlerprotokollierung

5. WORKFLOW SCHEMA – DATEITRANSFER UND IMPORT

Nachfolgende Abbildung zeigt schematisch, wie ein solcher Transfer organisiert werden kann.



1. Aus den einzelnen Modellregionen werden die gemäß Spezifikation erstellten CSV-Dateien für Ladenvorgänge und Fahrten an PE per e-mail an die Adresse umweltplattform@pe-international.com gesendet.
2. PE führt den Import der Daten durch, indem die aus den Modellregionen erhaltenen CSV Dateien über eine Schnittstelle dem SoFi Server zum Importieren übergeben werden.
3. Es erfolgt eine Erfolgs- / Fehlerrückmeldung an PE (z.B. im Falle fehlerhafter CSV Dateien oder Daten außerhalb Plausibilitätsgrenzen).
4. Im Falle von Formatfehlern (z.B. Datei nicht lesbar, strukturelle Fehler im Dateiformat) Rückmeldung durch PE an Datenlieferant mit Bitte um Korrektur
5. Im Falle von inhaltlichen Fehlern/ Fragen (z.B. einzelne Werte außerhalb der Plausibilitätskriterien, Dateninkonsistenzen (z.B. Angaben zu Laufleistung, aber keine Energieverbrauchswerte etc.)) Rückmeldung durch WI an Datenlieferant mit bitte um Klärung
6. Übermittlung der überarbeiteten Daten durch Modellregion/ Projekt
7. Online-Zugriff Modellregion/ Projekt auf Auswertung Basisindikatoren für eigene Fahrzeuge (Passwort geschützt)

