

## **Zukunft Elektromobilität -technische Begleitforschung**

Berichte zu den Projekten der Modellregion  
Elektromobilität Rhein-Main

Gefördert durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und  
Stadtentwicklung

Förderkennzeichen 03KP5511  
Laufzeit: 01.03.2010 bis 30.09.2011

## **Impressum**

### **Herausgeber**

Fraunhofer-Institut für Windenergie und  
Energiesystemtechnik IWES  
Institutsteil Kassel  
Königstor 59  
34119 Kassel  
[www.iwes.fraunhofer.de](http://www.iwes.fraunhofer.de)

### **Projektleitung**

Markus Landau  
Telefon: +49 561 7294-243  
Telefax: +49 561 7294-200  
[markus.landau@iwes.fraunhofer.de](mailto:markus.landau@iwes.fraunhofer.de)

### **Bearbeiter**

Philipp Ackermann  
Björn Born  
Bernd Brunner  
Stephan Funke  
Roland Gaber  
Randolf Geipel  
Falk Gerner  
Ulrich Lutz  
Johannes Prior  
Oliver Schömann

Kassel, Dezember 2011



**Gefördert durch:**



**Koordiniert durch:**



Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) unter dem Förderkennzeichen 03KP5511 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

**Bericht Technische Begleitforschung**  
Nutzung von Pedelecs im Projekt  
Bike + Business 2.0





Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Verkehr, Bau  
und Stadtentwicklung

Koordiniert durch:



Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) unter dem Förderkennzeichen 03KP5511 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

# Impressum

## Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Windenergie und  
Energiesystemtechnik IWES  
Institutsteil Kassel  
Königstor 59  
34119 Kassel  
[www.iwes.fraunhofer.de](http://www.iwes.fraunhofer.de)

## Projektleitung

Dipl.-Ing. Markus Landau  
Telefon: +49 561 7294-243  
Telefax: +49 561 7294-200  
[markus.landau@iwes.fraunhofer.de](mailto:markus.landau@iwes.fraunhofer.de)

## Bearbeiter

Philipp Ackermann  
Roland Gaber  
Falk Gerner  
Oliver Schömann

Kassel, Dezember 2011

# Inhalt

	<b>Abbildungen</b>	<b>iv</b>
<b>0</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Die Elektrofahrräder</b>	<b>3</b>
2.1	Avenue hybrid	4
2.2	Birdy hybrid	5
2.3	Delite hybrid 250 HT	6
2.4	Delite hybrid 500 HS	7
2.5	Jetstream hybrid	8
<b>3</b>	<b>Datenerfassung und Datenauswertung</b>	<b>9</b>
3.1	Messdaten und Datenqualität	9
3.1.1	Fahrdaten	9
3.1.2	Leistungs- und Energiedaten	11
3.1.3	Wetterdaten	14
3.2	Nutzbarkeit der Daten	14
3.3	Auswertung	16
3.3.1	Daten aus AWIS-Energieloggern	16
3.3.2	Daten aus Garmin-Fahrradcomputern	17
<b>4</b>	<b>Nutzungsprofile</b>	<b>18</b>
4.1	Gesamtenergieverbrauch und gefahrene Strecke	18
4.2	Energieverbrauch der Pedelecs und Elektrofahrräder	19
4.3	Nutzung der Pedelecs	25
4.4	Laden der Pedelecs	31
4.4.1	Charakteristik der Ladegeräte	31
4.4.2	Verhalten der Nutzer	35
<b>5</b>	<b>Akkumulatoren und Ladetechnik</b>	<b>38</b>
5.1	Akkumulatoren - Kapazitätstests	38
5.1.1	Riese & Müller Avenue	38
5.1.2	Riese & Müller Birdy	41
5.1.3	Riese & Müller Delite	42
5.1.4	Riese & Müller Jetstream	44
5.2	Standby-Verbrauch	46
5.3	Steckverbindungen	50
<b>6</b>	<b>Weitere Erfahrungen aus dem Betrieb</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>53</b>

# Abbildungen

Abbildung 1:	Riese & Müller Avenue hybrid	4
Abbildung 2:	Riese & Müller Birdy hybrid	5
Abbildung 3:	Riese & Müller Delite hybrid 250 HT	6
Abbildung 4:	Riese & Müller Delite hybrid 500 HS	7
Abbildung 5:	Riese & Müller Jetstream hybrid	8
Abbildung 6:	Fahrradcomputer EDGE 500	9
Abbildung 7:	Energielogger "Power Detective"	12
Abbildung 8:	Übersicht Datenverfügbarkeit Pedelecs vom 07.02. bis 29.05.2011	20
Abbildung 9:	Übersicht Datenverfügbarkeit Pedelecs Zeitraum vom 30.05. bis 30.09.2011	21
Abbildung 10:	Häufigkeitsverteilung Streckenlängen Pedelecs	25
Abbildung 11:	Häufigkeitsverteilung Fahrtdauer Pedelecs	26
Abbildung 12:	Häufigkeitsverteilung Uhrzeit bei Fahrtbeginn mit Pedelecs	27
Abbildung 13:	Verteilung Nutzung Pedelecs auf Wochentage	27
Abbildung 14:	Streckenlänge und Geschwindigkeit nach Wochentagen Pedelecs	28
Abbildung 15:	Häufigkeitsverteilung Durchschnitts-geschwindigkeiten Pedelecs	29
Abbildung 16:	Nutzung der Pedelecs über den Projektzeitraum	29
Abbildung 17:	Einfluss des Wetters auf die Nutzung der Pedelecs	30
Abbildung 18:	charakteristischer Ladevorgang Riese & Müller Birdy hybrid	31
Abbildung 19:	charakteristischer Ladevorgang Riese & Müller Delite hybrid 250 HT	32
Abbildung 20:	charakteristischer Ladevorgang Riese & Müller Delite hybrid 500 HS	33
Abbildung 21:	charakteristischer Ladevorgang Riese & Müller Avenue hybrid	34
Abbildung 22:	charakteristischer Ladevorgang Riese & Müller Jetstream hybrid	35
Abbildung 23:	Häufigkeitsverteilung Uhrzeit bei Ladebeginn der Pedelecs	36
Abbildung 24:	Häufigkeitsverteilung der Uhrzeit bei Ende der Ladevorgänge Pedelecs	37
Abbildung 25:	Häufigkeitsverteilung Ladedauer Pedelecs	37
Abbildung 26:	Ergebnisse der Kapazitäts-messungen Riese & Müller Avenue	39
Abbildung 27:	Ergebnisse der Kapazitäts-messungen Riese & Müller Bridy	41
Abbildung 28:	Ergebnisse der Kapazitäts-messungen Riese & Müller Delite	43
Abbildung 29:	Ergebnisse der Kapazitäts-messungen Riese & Müller Jetstream	45
Abbildung 30:	Ladegerät der Riese & Müller Pedelecs Avenue	47
Abbildung 31:	Ladegerät der Riese & Müller Pedelecs Jetstream und Delite	47
Abbildung 32:	Standby-Verbrauch abhängig von der Ladedauer der Pedelecs	48

Abbildung 33:	Auswahl von zwei 36-V-Ladegeräten und zugehörigen XLR-Steckern (rechts) zum Anschluss des Akkus	50
Abbildung 34:	Auswahl von zwei Ladegeräten mit 36-V-Ladespannung (oben) und 24-V-Ladespannung (unten) samt der XLR-Stecker (rechts) zum Anschluss des Akkus	51



## 0 Zusammenfassung

Im Rahmen der Modellregion Elektromobilität Rhein-Main entwickelt der Planungsverband RheinMain mit seinem Projekt »Bike + Business 2.0« die betriebliche Mobilität mit Elektrofahrrädern weiter. Dafür werden insgesamt 151 Pedelecs<sup>1</sup> von Behörden, Betrieben und auch einzelnen Personen im Alltagsbetrieb genutzt.

Für den vorliegenden Bericht werden Fahr- und Energiedaten aus dem Einsatz von insgesamt 58 Pedelecs im Zeitraum von Februar und September 2011 ausgewertet. Insgesamt sind 4378 Fahrten mit rund 23.399 km aufgezeichnet. Über den Messzeitraum entspricht dies je Pedelec durchschnittlich einer Fahrt jeden zweiten Tag.

Der Nutzungsschwerpunkt liegt in der Woche. Die Anzahl der Fahrten am Wochenende beträgt nur ca. 40 % des Niveaus an den restlichen Wochentagen.

Die Pedelecs werden sowohl für die Wege von zu Hause zur Arbeitsstelle und zurück als auch für betriebliche Fahrten während der Arbeitszeit genutzt. Die durchschnittliche Streckenlänge beträgt ca. 5,3 km und dauert rund 19 Minuten bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 17 km/h

Durch den Vergleich mit Aufzeichnungen der Wetterstation Frankfurt a. Main Flughafen zeigt sich, dass die Nutzung der Pedelecs unter anderem auch vom Wetter beeinflusst wird. An Tagen mit Niederschlag geht die Nutzung deutlich zurück.

Für die Ladung der Pedelec-Akkus ist ein Energiebezug von rund 280 kWh aufgezeichnet. 25 % davon entstehen bei Leistungen unter 10 Watt und werden als Standby-Verbrauch zusammengefasst. Beeinflusst wird dieser Anteil wesentlich durch den hohen Eigenverbrauch der Ladegeräte in Verbindung mit der langen Zeit der Netzkopplung.

Die Ladungen erfolgen sowohl am Wohnort als auch am Arbeitsplatz. Auch kaum entladene Akkus werden häufig nach Fahrtende direkt wieder aufgeladen.

Durchschnittlich benötigt ein Pedelec inklusive Ladeverlusten aber ohne Berücksichtigung der Standbyverluste des Ladegerätes 0,9 kWh pro 100 gefahrenen Kilometer. Dabei schwanken die Werte zwischen den einzelnen Fahrzeugen der jeweiligen Modelle sehr stark um den Durchschnittswert. Je langsamer die Pedelecs gefahren werden, desto höher ist der spezifische Energiebedarf für die Unterstützung.

<sup>1</sup> Zusammenziehung der englischen Wörter „Pedal Electric Cycle“

Erhöhter Verbrauch entsteht auch dort, wo Pedelecs nach jeder Fahrt wieder voll aufgeladen werden. Ab einem Akkuladestand über 80% laden die Geräte nur mit verminderter Leistung und niedrigerem Teillastwirkungsgrad. Bei einem voll geladenen Akku werden schließlich die Eigenverluste des Ladegerätes gedeckt.

Defizite bestehen bei der Ladetechnik. Der Eigenbedarf der Ladegeräte ist vergleichsweise hoch und nicht alle Geräte verfügen über eine Rückmeldung, um den Abschluss der Ladung zu melden. Es sind vielfältige Steckverbindungen für die DC-Schnittstelle zwischen Ladegerät und Akku im Einsatz. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein Ladegerät mit einem inkompatiblen Akku verbunden werden kann. Hier besteht normativer Handlungsbedarf.

Insgesamt haben die im Rahmen des Projekts eingesetzten Pedelecs ihre Alltagstauglichkeit unter Beweis gestellt.

# 1 Einleitung

Der Planungsverband RheinMain entwickelt mit seinem Projekt »Bike + Business 2.0« die betriebliche Mobilität mit Elektrofahrrädern im Rahmen der Modellregion Elektromobilität Rhein-Main weiter. Dafür werden insgesamt 151 Elektrofahrräder - sogenannte Pedelecs<sup>2</sup> - von Behörden, Betrieben und auch einzelnen Personen im Rahmen dieses Projektes genutzt. Ziel ist es, Erfahrungswerte zum Einsatz der Elektrofahrzeuge im Pendlertag zu sammeln und daraus Verbesserungsansätze zu entwickeln.

Um diese Ziele zu verifizieren wird das Projekt sozialwissenschaftlich und technisch begleitet. Die sozialwissenschaftliche Begleitforschung erfolgt unter der Leitung von Frau Prof. Dr.-Ing. Petra Schäfer an der Fachhochschule Frankfurt.

Die technische Begleitforschung, die insbesondere die Erfassung technischer Daten, die Erfassung und Auswertung von Fahr- und Energiedaten sowie Kapazitätsmessungen der Akkus umfasst, hat das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik in Kassel übernommen. Hierfür sind insgesamt 58 Pedelecs und ihre Nutzer im Zeitraum vom 1. Februar 2011 bis zum 19. September 2011 intensiv begleitet worden.

## 2 Die Elektrofahrräder

Im Vorhaben werden fünf unterschiedliche Typen von Pedelecs des Darmstädter Herstellers Riese & Müller genutzt. Es sind die Typen »Avenue«, »Birdy«, »Delite HT«, »Delite HS« und »Jetstream«. Diese Modelle lassen jeweils nur eine Unterstützung der Leistung des Fahrers zu. Zusätzlich bieten alle Modelle, mit Ausnahme der Typen »Avenue« und »Birdy«, eine elektrische Anfahr- und Schiebehilfe, die bis zu einer Geschwindigkeit bis 6 km/h abgerufen werden kann.

Die in der technischen Begleitforschung intensiv begleiteten 58 Pedelecs teilen sich typbezogen wie folgt auf: 13 x Avenue, 9 x Birdy, 7 x Delite HAT, 11 x Delite HS und 18 x Jetstream.

<sup>2</sup> Zusammenziehung der englischen Wörter „Pedal Electric Cycle“

## 2.1 Avenue hybrid

Das Elektrofahrrad Avenue wurde in 13-facher Ausführung genutzt. Es verfügt in der Vorderradnabe über einen getriebelosen 250-Watt-Motor, der aus einem Lithium-Ionen-Akku mit 10-Ah-Nennkapazität bei 36-V-Nennspannung versorgt wird. Es ergibt sich eine Nennkapazität von 360 Wh. Laut Herstellerangaben kann der Fahrer so über eine Reichweite bis 62 km elektrisch unterstützt werden.<sup>3</sup> Die Reichweite basiert auf dem von ExtraEnergy definierten Testzyklus<sup>4</sup>.

Die Unterstützung wird ab einer Geschwindigkeit von 24,9 km/h automatisch abgeschaltet. Damit ist die Nutzung des Pedelecs nicht zulassungspflichtig. Das Gesamtgewicht des Pedelecs liegt bei 26,3 kg.<sup>5</sup> Normalerweise wird der Akku über ein einphasiges Netzteil für normale Steckdosen bei 110-240 V geladen<sup>6</sup>.

In Abbildung 1 ist das Modell Avenue in einer Darstellung des Herstellers zu sehen. Zusätzlich zu den in Abbildung 1 dargestellten Ausstattungsmerkmalen sind alle Pedelecs im Projekt mit Schlössern der Fa. Trelock und Aufklebern des Projektes ausgestattet.

Abbildung 1: Riese & Müller Avenue hybrid<sup>7</sup>



<sup>3</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>4</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>5</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>6</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>7</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

## 2.2

### Birdy hybrid

Das Elektrofahrrad Birdy wurde in 9-facher Ausführung genutzt. Es verfügt in der Hinterradnabe über einen getriebelosen 250-Watt-Motor, der aus einem Lithium-Ionen-Akku mit 10-Ah-Nennkapazität bei 24-V-Nennspannung versorgt wird. Es ergibt sich eine Nennkapazität von 240 Wh. Laut Herstellerangaben kann der Fahrer so über eine Reichweite bis 47 km elektrisch unterstützt werden.<sup>8</sup> Die Reichweite basiert auf dem von ExtraEnergy definierten Testzyklus<sup>9</sup>.

Die Unterstützung wird ab einer Geschwindigkeit von 24,9 km/h automatisch abgeschaltet. Damit ist die Nutzung des Pedelecs nicht zulassungspflichtig. Das Gesamtgewicht des Pedelecs liegt bei 18,4 kg.<sup>10</sup> Wenn gewünscht kann der Akku auch während der Fahrt über Rekuperation von Bewegungsenergie wieder geladen werden. Normalerweise wird der Akku über ein einphasiges Netzteil für normale Steckdosen bei 110-240 V geladen<sup>11</sup>.

In Abbildung 2 ist das Modell Birdy in einer Darstellung des Herstellers zu sehen. Zusätzlich zu den in Abbildung 2 dargestellten Ausstattungsmerkmalen sind alle Pedelecs im Projekt mit Schlössern der Fa. Trelock und Aufklebern des Projektes ausgestattet.

Abbildung 2: Riese & Müller Birdy hybrid<sup>12</sup>



<sup>8</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>9</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>10</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>11</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>12</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

## 2.3 Delite hybrid 250 HT

Das Elektrofahrrad Delite 250 HT wurde in 7-facher Ausführung genutzt. Es verfügt in der Hinterradnabe über einen getriebelosen 250-Watt-Motor, der aus einem Lithium-Ionen-Akku mit 10-Ah-Nennkapazität bei 36-V-Nennspannung versorgt wird. Es ergibt sich eine Nennkapazität von 360 Wh. Laut Herstellerangaben kann der Fahrer so über eine Reichweite bis 55 km elektrisch unterstützt werden.<sup>13</sup> Die Reichweite basiert auf dem von ExtraEnergy definierten Testzyklus<sup>14</sup>.

Die Unterstützung wird ab einer Geschwindigkeit von 24,9 km/h automatisch abgeschaltet. Damit ist die Nutzung des Pedelecs nicht zulassungspflichtig. Das Gesamtgewicht des Pedelecs liegt bei 25,7 kg.<sup>15</sup> Wenn gewünscht kann der Akku auch während der Fahrt über Rekuperation von Bewegungsenergie wieder geladen werden. Normalerweise wird der Akku über ein einphasiges Netzteil für normale Steckdosen bei 110-240 V geladen<sup>16</sup>.

Abbildung 3 zeigt das Modell Delite 250 HT in einer Darstellung des Herstellers. Zusätzlich zu den in Abbildung 3 dargestellten Ausstattungsmerkmalen sind alle Pedelecs im Projekt mit Schlössern der Fa. Trelock und Aufklebern des Projektes ausgestattet.

Abbildung 3: Riese & Müller Delite hybrid 250 HT<sup>17</sup>



<sup>13</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>14</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>15</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>16</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>17</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

## 2.4 Delite hybrid 500 HS

Das Elektrofahrrad Delite 500 HS wurde in 11-facher Ausführung genutzt. Es verfügt in der Hinterradnabe über einen getriebelosen 500-Watt-Motor, der aus einem Lithium-Ionen-Akku mit 10-Ah-Nennkapazität bei 36-V-Nennspannung versorgt wird. Es ergibt sich eine Nennkapazität von 360 Wh. Laut Herstellerangaben kann der Fahrer so über eine Reichweite bis 34 km elektrisch unterstützt werden.<sup>18</sup> Die Reichweite basiert auf dem von ExtraEnergy definierten Testzyklus<sup>19</sup>.

Die Unterstützung wird ab einer Geschwindigkeit von 45 km/h automatisch abgeschaltet. Damit ist die Nutzung des Pedelecs nicht zulassungspflichtig. Das Gesamtgewicht des Pedelecs liegt bei 26 kg.<sup>20</sup> Wenn gewünscht kann der Akku auch während der Fahrt über Rekuperation von Bewegungsenergie wieder geladen werden. Normalerweise wird der Akku über ein einphasiges Netzteil für normale Steckdosen bei 110-240 V geladen<sup>21</sup>.

In Abbildung 4 ist das Modell Delite 500 HS in einer Darstellung des Herstellers zu sehen. Zusätzlich zu den in Abbildung 4 dargestellten Ausstattungsmerkmalen sind alle Pedelecs im Projekt mit Schlössern der Fa. Trelock und Aufklebern des Projektes ausgestattet.

Abbildung 4: Riese & Müller Delite hybrid 500 HS<sup>22</sup>



<sup>18</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>19</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>20</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>21</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>22</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

## 2.5 Jetstream hybrid

Das Elektrofahrrad Jetstream wurde in 18-facher Ausführung genutzt. Es verfügt in der Hinterradnabe über einen getriebelosen 250-Watt-Motor, der aus einem Lithium-Ionen-Akku mit 10-Ah-Nennkapazität bei 24-V-Nennspannung versorgt wird. Es ergibt sich eine Nennkapazität von 240 Wh. Laut Herstellerangaben kann der Fahrer so über eine Reichweite bis 47 km elektrisch unterstützt werden.<sup>23</sup> Die Reichweite basiert auf dem von ExtraEnergy definierten Testzyklus<sup>24</sup>.

Die Unterstützung wird ab einer Geschwindigkeit von 25 km/h automatisch abgeschaltet. Damit ist die Nutzung des Pedelecs nicht zulassungspflichtig. Das Gesamtgewicht des Pedelecs liegt bei 24,4 kg.<sup>25</sup> Wenn gewünscht kann der Akku auch während der Fahrt über Rekuperation von Bewegungsenergie wieder geladen werden. Normalerweise wird der Akku über ein einphasiges Netzteil für normale Steckdosen bei 110-240 V geladen<sup>26</sup>.

Abbildung 5 zeigt das Modell Jetstream in einer Darstellung des Herstellers. Zusätzlich zu den in Abbildung 5 dargestellten Ausstattungsmerkmalen sind alle Pedelecs im Projekt mit Schlössern der Fa. Trelock und Aufklebern des Projektes ausgestattet.

Abbildung 5: Riese & Müller Jetstream hybrid<sup>27</sup>



<sup>23</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>24</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>25</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>26</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

<sup>27</sup> Riese & Müller Hybridkatalog 2010

## 3 Datenerfassung und Datenauswertung

### 3.1 Messdaten und Datenqualität

Die in Kapitel 4 folgenden Auswertungen basieren auf Aufzeichnungen zu den gefahrenen Strecken und der für das Laden benötigten Leistung und Energie. Die Streckendaten liefern GPS-fähige Fahrradcomputer und die verbrauchte Energie wird mit Leistungs- bzw. Energiemessgeräten erfasst, die zwischen die Ladegeräte der Pedelecs und die Netzsteckdose gesteckt werden.

#### 3.1.1 Fahrdaten

Zur Erfassung der Fahrdaten und Geschwindigkeitsdaten werden die ausgewählten Tester mit einheitlichen Fahrradcomputern vom Typ EDGE 500 des Herstellers Garmin ausgestattet. Abbildung 6 zeigt ein entsprechendes Gerät.

Abbildung 6: Fahrradcomputer EDGE 500<sup>28</sup>



Das EDGE 500 ist mit einem GPS-Empfänger und einem barometrischen Höhensensor ausgestattet. Damit werden die aktuelle Position und die Höhe ermittelt sowie Geschwindigkeit und Distanz der zurückgelegten Strecke berechnet, angezeigt und im Gerät gespeichert.

Die Aufzeichnungen werden anschließend mit Hilfe einer speziellen Software an einen externen Server der Webplattform <http://sportics.net> des IT-

<sup>28</sup> <https://buy.garmin.com/shop/alt-image.do?piD=36728&img=productImageLFLarge>; Abgerufen am 28.7.2011

Dienstleisters Carbon Logistics GmbH gesendet, um für die Datenauswertung anonymisiert zu werden. Alle eventuell auf Personen rückführbare Informationen wie Positionen werden somit vor der Auswertung der Daten im Fraunhofer IWES entfernt.

Aus den Aufzeichnungen der Fahrradcomputer stehen somit Daten zur Höhe, der Geschwindigkeit und der Distanz zur Verfügung. Die Datensätze enthalten jeweils Zeit- und Datumsstempel sowie die Geräte-ID. Im csv-Format stehen schließlich 1.574.722 Datenzeilen für die Auswertung zur Verfügung. Nach den später erläuterten Kriterien entspricht dies 4.441 einzelnen Fahrten.

Während der Großteil der Daten in sich schlüssig ist, müssen einzelne Zeilen vollständig von der Auswertung ausgeschlossen werden. Vor der weiteren Berechnung der Ergebnisse wird dazu eine Datenprüfung implementiert. Damit die Datenzeile weiter für die Auswertung genutzt wird, müssen die in Tabelle 1 folgenden Kriterien erfüllt sein:

Tabelle 1: Kriterien zur Prüfung der Fahrdaten

Datenspalte	Einheit	Minimum	Maximum	Ausschlusswert
Datum	-	29.1.2011	31.9.2011	-
Uhrzeit	-	-	-	0:00:00
Höhe	m	-150	1000	-
Distanz	m	0	200	-
Geschwindigkeit	m/s	-	-	-

Die Datumsprüfung ist erforderlich, da vereinzelt Zeilen mit einem Zeitstempel außerhalb des Jahres 2011 abgelegt wurden.

Bei der Uhrzeit wird aus der Betrachtung der Daten deutlich, dass der Zähler vereinzelt anstelle einer korrekten Uhrzeit exakt Mitternacht als Wert abspeicherte. Da die Zeitstempel für die Auswertung von großer Bedeutung sind, müssen diese Zeilen ausgeschlossen werden. Damit wird akzeptiert, dass Datenzeilen, die real exakt bei Mitternacht entstanden sind, nicht berücksichtigt werden. Der damit akzeptierte Verlust ist jedoch sehr gering.

Bei den Höhenwerten werden alle Werte 150 m unter Normalnull und über 1000 m über Normalnull ausgeschlossen. Insgesamt scheinen die Höhenangaben in absoluten Werten ungenau zu sein, da in mehreren Datensätzen auch Höhenangaben unter Normalnull vorkommen. In Realität liegt der tiefste Punkt im Umkreis von ca. 20 km um Darmstadt bei ca. 100 m über Normalnull. Für die Auswertung werden jedoch einzig die relativen Unterschiede zwischen den Höhenangaben genutzt, die vermutlich eine größere Genauigkeit aufweisen.

Durch das Gegenüberstellen der aufsummierten aufwärts und abwärts gefahrenen Höhendifferenzen kann ein Hinweis auf die Genauigkeit dieser Aufzeichnungen gegeben werden. Nach Durchlauf der Datenfilterung summieren sich die aufwärts gefahrenen Höhenmeter auf 173.887 m während

163.113 Höhenmeter bergab aufgezeichnet sind. Aufgrund der geringen Anzahl an Fahrten und der kurzen Gesamtstrecke lässt sich aus der Differenz der Höhenmetern kaum eine Aussage treffen. Dadurch dürfte auch der Fehler durch Filterung der Daten gering sein, da auch nach der Filterung über 99,4 % der Daten genutzt werden können.

Bei den Distanzangaben müssen ebenfalls manche Zeilen pauschal ausgeschlossen werden. Da die Aufzeichnungen in chronologischer Reihenfolge vorliegen und die Distanz die Entfernung zwischen zwei Aufzeichnungspunkten beschreibt, werden alle negative Werte, wie sie vereinzelt vorzufinden sind, ausgeschlossen. Außerdem sind nach Analyse der vorliegenden Daten Werte über 200 m ausgeschlossen.

Die Geschwindigkeitsspalte wird nicht weiter geprüft, da diese Werte in keine Berechnung der Auswertung einfließen.

Insgesamt stehen nach dieser Datenprüfung bei den Pedelecs noch 99,4 % der Fahrdaten für die Auswertung zur Verfügung.

Nach Durchlauf der eigentlichen Berechnungen werden die gewonnen Streckendaten einer zweiten vereinfachten Prüfung unterzogen. Dies wird insbesondere eingeführt, da in einigen Zeiträume Aufzeichnungen zu finden sind, in denen sehr kurze Distanzen mit hoher Frequenz in der Auswertung zu vielen Fahrten führen. Vermutlich handelt es sich dabei um Aufzeichnungen, bei denen die Fahrradcomputer im stehenden Zustand durch schlechten Empfang Positionsverschiebungen registrierten, die nicht real existieren.

Durch diese Filterung werden darum nur Fahrten mit Streckenlängen über 50 m in der Auswertung zugelassen. Die Anzahl der Fahrten reduziert sich damit bei den Pedelecs um ca. 22 Prozent und die Gesamtstrecke um rund 532 Kilometer. Dies entspricht bei der gefahrenen Gesamtstrecke einer Abweichung um ca. 2,12%.

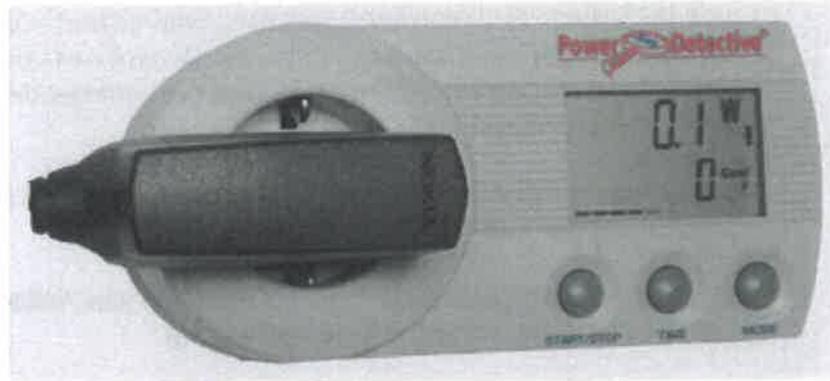
### **3.1.2 Leistungs- und Energiedaten**

Neben den Fahrprofilen sind die Energie- und Leistungsdaten für die technische Bewertung notwendig. Diese werden mit Leistungs- und Energiemessgeräte »Power Detectiv« der Firma AWIS GmbH gemessen und gespeichert. Ein entsprechendes Gerät zeigt Abbildung 7.

Bei einer Wechselspannung zwischen 85 V und 265 V misst das Gerät im Leistungsbereich von 0,1 bis 3680 Watt den momentanen Strom und berechnet die Leistung, den Energieverbrauch in Kilowattstunden, die Energiekosten in Messzeitraum und die jährlichen Energiekosten. Die Daten werden mit Zeitstempel der internen Systemzeit in einem definierten Zeitintervall zwischen ei-

ner Sekunde und 60 Minuten auf eine SD-Karte geschrieben. Die zufällige Messungenauigkeit des Systems ist dabei laut Hersteller kleiner als 2% des Anzeigewerts.<sup>29</sup> Die Messgeräte wurden für das Projekt mit einer angepassten Firmware ausgestattet. Um den Nutzer nicht mit einer Vielzahl von Anzeigeoptionen zu verwirren kann ausschließlich zwischen zwei Fenstern umgeschaltet werden. Auf dem Datenträger werden jedoch unverändert das volle Datenspektrum aufgezeichnet und steht für die Auswertung zur Verfügung.

Abbildung 7: Energielogger "Power Detective"<sup>30</sup>



Die Daten werden täglich in eine eigene csv.-Datei auf der Speicherkarte abgelegt. Falls das Gerät innerhalb eines Tages vom Netz entfernt und wieder angeschlossen wird, wird in der bestehenden Tagesdatei weitergeschrieben.

Die Aufzeichnungen der Datenwerte werden in einem Intervall zwischen ca. 20 und 60 Sekunden abgelegt. Anhand des eindeutigen Zeitstempels ist dies deutlich zu identifizieren.

Nicht nachvollziehbar sind die Abweichungen in der geräteinternen Kalkulation des Energieverbrauchs. So liegen die aufgezeichneten Energieverbrauchswerte in Relationen zu den Leistungsmesswerten meist um einen Faktor von ca. 16,4 zu hoch. Nach Rücksprache mit dem Gerätehersteller werden für die Auswertung die Energieverbrauchswerte darum aus den Aufzeichnungen der Zeit und der Leistung neu berechnet. Dieses Verfahren kann angewandt werden, weil bei der Analyse des Messgerätes deutlich wurde, dass zwar der Strom, Spannungs- und Leistungsfaktor-Wert als Momentanwert zum Zeitpunkt der Aufzeichnung, die Leistung jedoch als Mittelwert der Leistung zwischen dem aktuellen und dem vorangegangenen Datenpunkt aufgezeichnet wird.

Die Aufzeichnungen der Daten erfolgte im Zeitraum von Anfang Februar 2011 bis Ende September 2011. Für die Auswertung sind insgesamt 4283607 einzelne Datenzeilen verfügbar. Diese liefern mit den auf Seite 13 definierten Kriterien insgesamt 1758 Ladevorgänge.

<sup>29</sup> <http://www.awis-gmbh.com/PDF/emsd.pdf>; Abgerufen am 28.7.2011

<sup>30</sup> [http://www.awis-gmbh.com/grafik/produkte\\_powerdetective.jpg](http://www.awis-gmbh.com/grafik/produkte_powerdetective.jpg); Abgerufen am 28.7.2011

Analog zur Datenprüfung der Fahrdaten werden auch die Energiedaten vor der weiteren Verwendung im Rahmen der Auswertung einer grundlegenden Plausibilitätsprüfung unterzogen. Die dabei verwendeten Kriterien sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Kriterien zur Prüfung der Energie- und Leistungsdaten

Datenspalte	Einheit	Minimum	Maximum	Ausschlusswert
Datum	-	29.1.2011	31.9.2011	-
Uhrzeit	-	-	-	0:00:00
Leistung	Watt	0	1000	-
Energie	-	-	-	-
Spannung	Volt	200	300	-
Strom	Ampere	0	10	-
Leistungsfaktor	-	0	1	-

Die Kriterien zur Prüfung des Datums und der Zeit sind analog zu den Festlegungen bei den Fahrdaten definiert.

Für die zu erwartenden Werte von Leistung, Spannung, Strom und Leistungsfaktor gelten entsprechend der erwarteten Datenbereiche weite Grenzen.

Die Leistungswerte sind auf Werte von 0 bis 1000 Watt eingegrenzt. Real hatten die stärksten Ladegeräte im Test eine maximale Leistung von knapp über 100 Watt.

Da es sich um Messungen am Niederspannungsnetz handelt, sind Spannungswerte zwischen 200 V und 300 Volt zulässig.

Der Strom ist mit einem maximalen Wert von 10 Ampere sehr großzügig begrenzt, wodurch auch eventuell aufgetretene Stromspitzen nicht von der Auswertung ausgeschlossen werden.

Für den Leistungsfaktor werden die möglichen Werte zwischen 0 bis 1 akzeptiert.

Mit den obigen Festlegungen werden durch die Datenprüfung 0,0015% der Datenzeilen von der Auswertung ausgeschlossen.

### 3.1.3 Wetterdaten

Um den Einfluss des Wetters auf die Nutzung der Fahrzeuge zu überprüfen, kommen zusätzlich zu den selbst erfassten Messdaten auch Daten der Wetterstation Frankfurt a. Main Flughafen zum Einsatz. Die Daten sind auf der Homepage des Deutschen Wetterdienstes frei zugänglich.<sup>31</sup>

Die Wetterstation Frankfurt a. Main Flughafen liegt rund 20 km Luftlinie von der Universität Darmstadt entfernt. Aufgrund der zentralen Lage im Rhein-Main-Gebiet wird in der folgenden Auswertung diese Datenbasis mit einbezogen. Die Basis enthält umfangreiche Aufzeichnungen zu allen relevanten Wetterfaktoren, wovon für die Auswertung einzig die tägliche Niederschlagshöhe genutzt wird.

## 3.2 Nutzbarkeit der Daten

Insgesamt ist die Datenlage für die gewünschte Auswertung sehr gut. Durch die Vielzahl der erfassten Parameter und die große Anzahl der eingesetzten Geräte besteht ein großer Datenpool, aus dem weitere noch deutlich mehr Informationen gewonnen werden können, als dies im Rahmen dieses Berichts möglich ist.

Unsicherheiten in der Auswertung sind jedoch durch fehlende direkte Zuordnungen der Daten zu einzelnen Vorgängen entstanden. So sind die Aufzeichnungen der Fahrradcomputer nicht in einzelne Aktivitäten unterteilt, sondern können nur anhand von Zeitdifferenzen in unterschiedliche Fahrten unterteilt werden. Bei regulärem Betrieb des Fahrradcomputers ist diese Methode zuverlässig, da sich der Fahrradcomputer nach einer gewissen Stillstandszeit automatisch ausschaltet.

In einzelnen Situationen scheinen die Fahrradcomputer auch im Stillstand der Pedelecs noch aufgezeichnet zu haben. Dies könnte z.B. bei schlechtem Satellitenempfang geschehen. Die Daten liefern in diesen Fällen sehr kurze Fahrstrecke. Um diese Unsicherheit zu vermeiden, werden Fahrten mit Strecken unter 50 m aus den Ergebnissen ausgefiltert.

Weitere Unstimmigkeiten gegenüber dem realen Fahrverhalten können dadurch entstehen, dass der Fahrradcomputer eine gewisse Zeit zum erstmaligen Berechnen der Position benötigt. So ist es auch möglich, dass sehr kurze Fahrten nur unzureichend berücksichtigt werden.

Hinsichtlich der Energiedaten ist zu bemerken, dass die Aufteilung in einzelne Ladevorgänge nur dann eindeutig möglich ist, wenn der Logger nach jedem Ladevorgang vom Netz getrennt wird. Wird das Batterieladegerät dann erneut - also ohne Abziehen des Energieloggers - eingesteckt, werden die neuen Daten

<sup>31</sup>[http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?\\_nfpb=true&\\_windowLabel=T26607173141161345039102&\\_urlType=action&\\_pageLabel=dwdwww\\_spezielle\\_nutzer\\_energiewirtschaft\\_historisch](http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_windowLabel=T26607173141161345039102&_urlType=action&_pageLabel=dwdwww_spezielle_nutzer_energiewirtschaft_historisch), Abgerufen am 5.9.2011

weiter in die gleiche Datei geschrieben und die Aufzeichnungen ohne zeitliche Unterbrechung fortgesetzt.

Um dennoch die einzelnen Ladevorgänge innerhalb der Reihe der Aufzeichnungen zu identifizieren, werden zunächst die Differenzen zwischen den Zeitstempeln geprüft. Liegt die Differenz über 0,00347 Tagen, was rund 5 Minuten entspricht, wird dies als Indikator für den Beginn eines neuen Ladevorgangs genutzt. Auch bei negativen Differenzen wird dies als neuer Ladevorgang ge- deutet.

Für den Fall, dass in den letzten 10 Zeilen kein neuer Ladevorgang erkennbar ist, wird zusätzlich geprüft, ob die Leistung stark ansteigt. Damit wird zusätzlich erkannt, ob bei durchgehend angeschlossenem Ladegerät der Akku abgezogen und neu angeschlossen wurde.

Zur Beurteilung der Leistung werden die gemessenen Leistungswerte bei den Pedelecs in verschiedene Klassen unterteilt. Die jeweiligen Stufen der Leistungs- klassen sind in Tabelle 3 aufgeschlüsselt.

Tabelle 3: Kriterien zur Einteilung in Leistungsklassen

Leistungsklassen	Pedelecs	
Stufen	Minimum [Watt]	Maximum [Watt]
1	0	<2
2	2	<5
3	5	<10
4	10	<20
5	20	<30
6	30	<40
7	40	<50
8	50	<60
9	60	<80
10	80	<100
11	100	<120
12		

Bei den Pedelecs müssen die Ladeleistung um mehr als 4 Leistungsstufen sprunghaft ansteigen, um dies als Kriterium für den Beginn eines neuen Lade- vorgangs zu werten. Dies entspricht beispielsweise einem Anstieg von 7 auf 52 Watt.

Trotz der Anpassung der Ladevorgangsunterscheidung besteht restliche Unsi- cherheit, dass alle Ladevorgänge korrekt erkannt werden.

Da die Ladegeräte meist deutlich länger als eigentlich notwendig angeschlossen waren, kann anhand der durchschnittlichen Ladedauer von rund 1 Tag 14 Stunden und 17 Minuten bei den Pedelecs davon ausgegangen werden, dass der Großteil der Ladevorgänge richtig identifiziert wird. Verbliebene Unstimmigkeiten wirken sich vor allem auf die Genauigkeit in der Berechnung der durchschnittlichen Ladedauer und die Anzahl der Ladevorgänge aus.

Abschließend ist bei den genutzten Aufzeichnungsmethoden leider nicht garantiert, dass durch die Nutzer alle Ladevorgänge und Fahrten im betrachteten Zeitraum tatsächlich aufgezeichnet wurden. Aufgrund der vorliegenden Daten lässt sich schlussfolgern, dass in wenigen Fällen die Energiemengenzähler nicht bei allen Ladevorgängen genutzt wurden.

Für die Berechnung von streckenbezogenen Verbräuchen werden zwar die Fahr- und Energiedaten dahingehend eingeschränkt, dass sich die Gesamtzeiträume, in denen die Daten jeweils aufgezeichnet wurden, vollständig überschneiden. Innerhalb dieser Zeiträume werden die Daten jedoch nicht vollständig auf Synchronität überprüft. Es ist also möglich, dass die Anwender einerseits bei manchen Fahrten die Fahrdaten nicht aufzeichneten, jedoch die Ladevorgänge erfassten und andererseits können Fahrdaten aufgezeichnet worden sein, jedoch der zugehörige Ladevorgang nicht. Da teilweise mehrere Fahrten zwischen den Ladevorgängen absolviert wurden und Ladevorgänge auf Grund des an der Steckdose verbliebenen Ladegeräts die Fahrten überdauerten, wäre eine vollständige Prüfung nur mit sehr großem Aufwand möglich gewesen. Zur Einschätzung der Situation ist jedoch jeweils in der Einleitung zu den Ergebnissen der Berechnungen zum streckenbezogenen Verbrauch eine grafische Übersicht zur Datenverfügbarkeit gegeben (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9).

### **3.3 Auswertung**

Die Daten werden rechnergestützt mit Hilfe der Software OriginPro in der Version 8.5.1G SR2 der OriginLab Corporation ausgewertet.

#### **3.3.1 Daten aus AWIS-Energieloggern**

Die Energiedaten werden zunächst durch Zuweisung der jeweiligen AWIS-Geräte-IDs rückverfolgbar gekennzeichnet und für die Auswertung anschließend zusammengefasst.

Anhand der Zeitdifferenz und dem Anstieg der Leistung zwischen den Zeitstempeln werden die Aufzeichnungen in einzelne Ladevorgänge unterteilt. Die genaue Methodik bei der Unterscheidung der Ladevorgänge ist in Abschnitt 3.2 „Verwendbarkeit der Daten“ erklärt.

Jedem Ladevorgang wird in der Auswertung jeweils eine Kennziffer und anhand der Zeitstempel der Ladebeginn und das Ende des Ladevorgangs eindeutig zugeordnet. So sind auch Aussagen zur Dauer des Ladens sowie zur Uhrzeit und dem Wochentag beim Starten und Beenden des Ladevorgangs möglich.

Wegen verschiedener Beobachtungen im Rahmen der Datenauswertung wird der Energieverbrauch hinsichtlich der dabei bezogenen Leistung genauer ausgewertet. Die Energie, die zwischen zwei Zeitstempeln erfasst ist, wird dazu der jeweiligen Leistungsklasse zugeordnet. So kann spezieller untersucht werden, welcher Anteil der Energie bei welcher Leistung verbraucht wird. Insbesondere zur Einschätzung des Energieverbrauchs im Standby- und im Ladeerhaltungsbetrieb ergeben sich so wichtige Informationen.

### **3.3.2 Daten aus Garmin-Fahrradcomputern**

Die Streckendaten sind durch die integrierte Aufzeichnung der Geräte-ID jeweils bereits eindeutig den Geräten und damit den einzelnen Fahrzeugen zugeordnet.

Auch hier werden die Daten in einzelne Vorgänge, also Fahrten, unterteilt. Die genaue Methodik der Unterscheidung ist in Abschnitt 3.2 „Verwendbarkeit der Daten“ erklärt.

Den einzelnen Fahrten können so eine durchlaufende Zahl zugeordnet und die einzelnen Auswertungen darauf bezogen werden.

Anhand der aufgezeichneten Distanz zwischen zwei Datenpunkten wird jeweils die zurückgelegte Strecke innerhalb einer Fahrt und über die Fahrtdauer auch die Durchschnittsgeschwindigkeit berechnet. Den Strecken können außerdem die jeweils gefahrenen Höhenmeter, sowohl bergauf als auch bergab, zugeordnet werden. Durch die Zeitstempel stehen zusätzlich der Zeitpunkt des Beginns und des Endes der Fahrt zur Verfügung.

Die verschiedenen Werte wie Streckenlänge, gefahrene Höhenmeter, Fahrtdauer und Durchschnittsgeschwindigkeit werden schließlich für jedes Fahrzeug auch kumuliert über alle Fahrten berechnet.

## 4 Nutzungsprofile

### 4.1 Gesamtenergieverbrauch und gefahrene Strecke

Über den betrachteten Testzeitraum benötigen die begleiteten 58 Pedelecs insgesamt ca. 265,84 kWh elektrische Energie für die Ladung der Batterien. Um Rückschlüsse auf mögliche Standby-Verluste und dem Bedarf für die Ladungserhaltung ziehen zu können wird der Energiebedarf in verschiedene Ladephasen unterteilt.

Bei den Pedelecs wird insgesamt 20,36 % der Energie bei Leistungen unter 10 Watt verbraucht. Bei Betrachtung der charakteristischen Ladekurven in Abschnitt 4.4.1 „Charakteristik der Ladegeräte“ kann dies weitestgehend als Standby-Verbrauch gedeutet werden.

Genauere Aussagen zum Standby-Verbrauch und dem Verbrauch für die Ladungserhaltung finden sich im Abschnitt 5.2 Standby-Verbrauch.

Dem dargestellten elektrischen Energiebedarf stehen 24.512,6 km erfasste Strecke bei den Pedelecs gegenüber. Diese Gesamtstrecken unterteilen sich nach Auswertung in 4.441 einzelne Fahrten.

Da darin auch viele Daten enthalten sind, die keine zeitliche Korrelation mit den Aufzeichnungen des jeweils zugehörigen zweiten Messgeräts aufweisen, lassen sich aus den Gesamtwerten keine schlüssigen Aussagen zum Durchschnittsverbrauch treffen. Grenzt man die Gesamtdaten jedoch auf die sich überschneidenden Aufzeichnungen ein, lassen sich entsprechende Aussagen treffen.

Auch diese Angaben sind mit einer weiteren Unsicherheit behaftet, da im Rahmen dieser Auswertung nicht überprüft werden kann, ob tatsächlich alle real unternommenen Fahrten und alle Ladevorgänge erfasst wurden.

## 4.2 Energieverbrauch der Pedelecs und Elektrofahräder

Einzig zur Bestimmung des streckenbezogenen Energieverbrauchs werden die erfassten Daten zu den gefahrenen Strecken und der verbrauchten Energien in Relation zueinander gebracht. Für diese Auswertung ist es maßgeblich, dass die Datenerfassung mit beiden Geräten vollständig oder zumindest in gleichem Maße erfolgt ist. Um die möglicherweise entstandenen Fehler durch fehlende Aufzeichnungen von einem der Geräte einschätzen zu können, ist in Abbildung 8 und Abbildung 9 eine visuelle Auswertung der Datenverfügbarkeit dargestellt. Aufgrund der Übersichtlichkeit und der Länge des Betrachtungszeitraumes ist eine in zwei Zeitphasen getrennte Darstellung gewählt. Der erste Betrachtungszeitraum umfasst die Daten vom 07.02.2011 bis zum 29.05.2011. An diesen schließt sich der zweite Betrachtungszeitraum vom 30.05.2011 bis zum 30.09.2011 an.

Es ist zu erkennen, dass die Daten teilweise gut passend zueinander, aber auch teilweise sehr voneinander unabhängig erfasst wurden. In der Grafik müssen sich die roten und blauen Balken dabei nicht zwingend exakt entsprechen, da die Fahrten und Energiedaten grundsätzlich zeitversetzt erfasst werden. Durchlaufende Aufzeichnungen der Energiedaten deuten darauf, dass die Ladegeräte dauerhaft an der Steckdose verblieben sind.

Mit Ausnahme der Pseudonyme 63, 69, 84, 85, 89, 102 und 116 treten Lücken bei allen Pedelecs über den gesamten Betrachtungszeitraum auf. Zu den Pedelecs mit den Pseudonymen 52, 54, 60, 82, 90, 91, 92, 94, 98, 99, 101, 106 und 116 liegen keine Daten oder nur Daten eines Messgerätes vor. Bei der Berechnung der entsprechenden Kennwerte werden die Datensätze dieser Fahrzeuge darum ausgeschlossen.

# Übersicht Datenverfügbarkeit Pedelecs

• Energiedaten • Fahrdaten

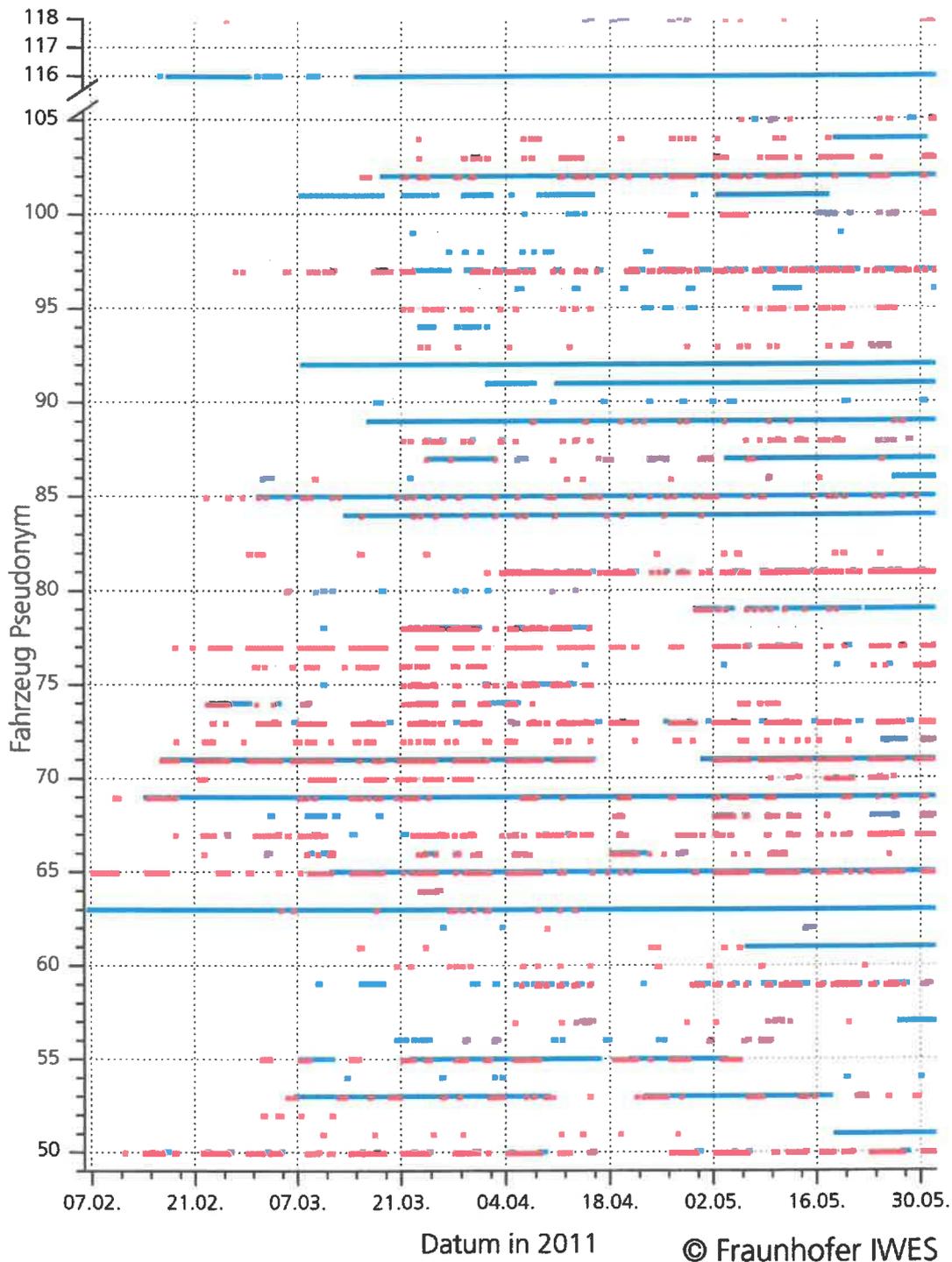
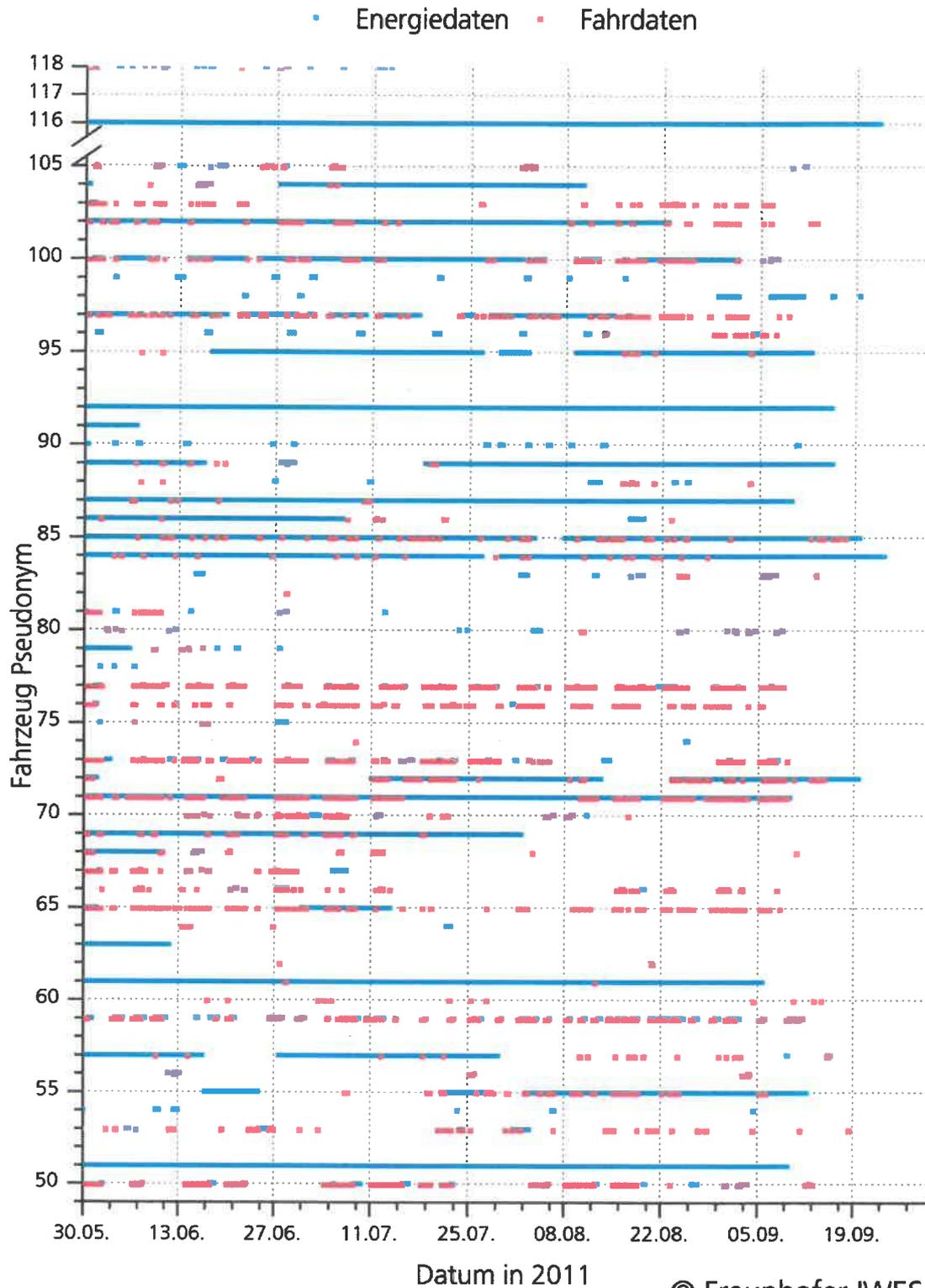


Abbildung 8: Übersicht Datenverfügbarkeit Pedelecs vom 07.02. bis 29.05.2011

## Übersicht Datenverfügbarkeit Pedelecs



© Fraunhofer IWES

Abbildung 9: Übersicht Datenverfügbarkeit Pedelecs Zeitraum vom 30.05. bis 30.09.2011

Die Auswertung zu den 58 eingesetzten Rädern ergibt eine zurückgelegte Gesamtstrecke von 23.398,8 km und damit einen Durchschnittswert in Höhe von 544 km. Die Einzelwerte der Fahrzeuge können davon recht stark abweichen, was auf sehr unterschiedliche Nutzungsweisen hindeutet.

Wie auch bei den gefahrenen Kilometern ist der Verbrauch pro Strecke bei den 58 Rädern jeweils recht unterschiedlich. Da jedoch lediglich zu 45 der 58 Fahrräder Messdaten von AWIS- und Garmin-Daten vorliegen, sind deren konkreten Werte in Tabelle 4 und Tabelle 5 dargestellt. Die fahrzeug-spezifischen Verbrauchswerte liegen maximal 280 % über und 92,8 % unter dem Durchschnittswert. Der durchschnittliche Verbrauch der eingesetzten Fahrräder liegt bei 0,9 kWh/100 km. Diese große Schwankungsbreite kann eventuell dadurch erklärt werden, dass die Fahrzeuge in innerstädtischen wie auch außerstädtischen Bereichen mit unterschiedlicher Intensität und Häufigkeit bewegt worden sind und jeder Nutzer die elektrische Unterstützung unterschiedlich eingesetzt hat. Der hohe Energieverbrauch beim Anfahren kann ebenfalls ein Grund für die starken Schwankungen im Verbrauch der einzelnen Fahrzeuge sein.

Außerdem wurden mögliche Ursachen für die Schwankung der Verbrauchswerte aufgezeigt. Faktoren, die aus den vorhandenen Messdaten hervorgehen, sind das Höhenprofil der gefahrenen Strecke, die gefahrene Geschwindigkeit und der Anteil des Standby-Verbrauchs. In Tabelle 4 und Tabelle 5 sind diese Faktoren mit den Werten der einzelnen Pedelecs aufgeführt. Keiner der Faktoren scheint allein maßgeblich für die Schwankungen verantwortlich zu sein. Erstaunlich sind die großen Schwankungen bei den gefahrenen Durchschnittsgeschwindigkeiten, was aber zum Teil darauf zurückzuführen ist, dass unter anderem Fahrzeuge mit Geschwindigkeiten bis zu 45 km/h Höchstgeschwindigkeit in Einsatz waren.

Einige für den Energieverbrauch ebenfalls maßgebliche Faktoren, wie das Gewicht des Fahrers/ der Fahrerin, die Fahrweise, die gewählte Unterstützungsstufe und z.B. der Reifendruck sind nicht in der durch die technische Begleitforschung erfasst und können somit im Rahmen dieser Auswertung nicht analysiert werden.

Tabelle 4: Einflussfaktoren auf den Verbrauch der eingesetzten Fahrräder (mit \* gekennzeichnete Fahrzeuge wurden in Gesamtberechnung nicht berücksichtigt, da die vorhandenen Daten nicht vollständig vorliegen)

Pseudonym	Verbrauch über 10 Watt (kWh/100km)	Verbrauch unter 10 Watt (%)	Höhenmeter Bergauf (m/km)	Durchschnitts- geschwindigkeit (km/h)
50	0,83	4,86	10,39	17,16
51	1,17	80,22	5,53	17,32
53	0,33	8,69	3,93	13,31
55	0,70	39,59	6,76	19,26
56	3,45	6,41	10,37	25,42
57	1,23	35,02	6,59	13,55
59	0,82	13,54	11,45	19,83
61	0,94	91,06	6,99	11,99
62	1,92	3,14	10,88	16,43
63 *	7,64	14,38	6,04	11,31
64	1,06	13,05	7,82	9,62
65	0,60	7,99	5,39	14,41
66	0,86	11,13	7,64	24,23
67	2,42	3,53	12,45	17,16
68	0,99	8,65	7,53	23,08
69	1,43	1,41	6,66	23,83
70	1,53	5,51	13,68	14,05
71	0,80	24,62	7,18	19,36
72	1,14	7,90	3,96	23,53
73	0,94	2,75	5,11	14,60
74	1,17	20,77	8,91	24,26
75	0,79	2,98	8,70	15,13
76	0,09	3,36	4,15	14,67
77	0,49	5,71	6,86	18,83
78	0,69	6,29	7,12	15,33
79	1,48	8,18	2,78	20,82
80	1,07	4,86	2,43	15,91
81	1,87	2,60	6,46	21,98
83	0,74	29,11	5,34	10,27
84	0,34	3,78	6,66	18,36
85	0,50	30,28	4,06	14,10
86	3,23	58,88	7,09	16,65
87	1,31	84,79	6,47	12,52
88	1,00	2,18	7,91	16,46
89	2,49	63,77	3,56	15,40
93	0,32	2,33	5,54	11,97
95	0,56	68,43	7,91	16,46
96 *	12,51	3,62	8,25	17,16
97	1,22	22,07	16,51	17,65
100	3,06	16,70	5,66	13,30
102	0,66	18,38	8,57	20,43
103	0,40	3,26	3,81	14,93
104	2,72	32,47	4,91	11,39
105	1,27	5,39	2,94	31,81
118	2,36	1,52	6,55	17,57
<b>Gesamt</b>	<b>0,90</b>	<b>25,00</b>	<b>7,05</b>	<b>17,31</b>

Tabelle 5: Einflussfaktoren auf den Verbrauch der eingesetzten Fahrräder (mit \* gekennzeichnete Fahrzeuge wurden in Gesamtberechnung nicht berücksichtigt, da die vorhandenen Daten nicht vollständig vorliegen)

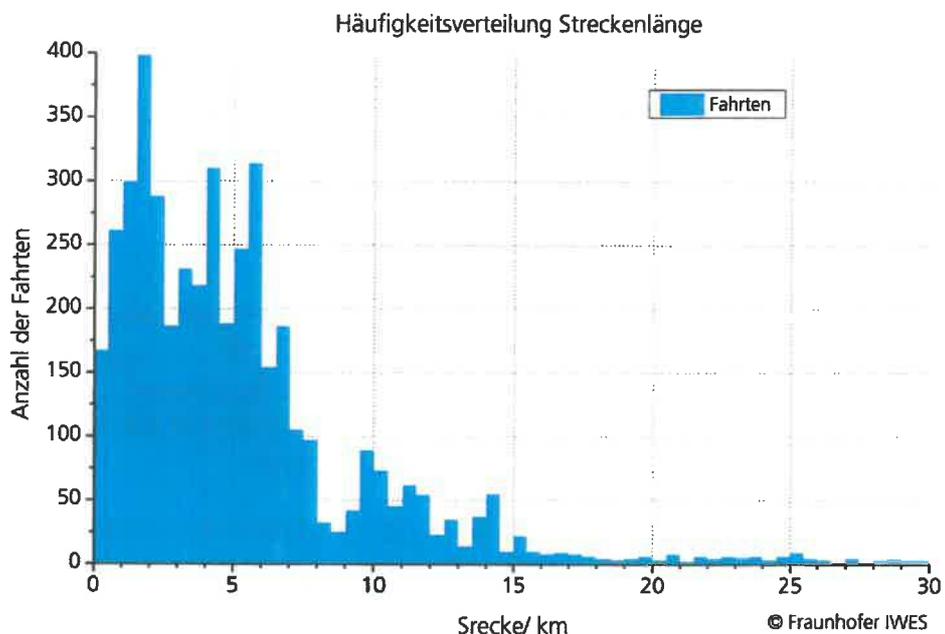
Pseudonym	gefahrte Strecke (km)	Verbrauch über 10 Watt (kWh/100km)	Verbrauch unter 10 Watt (kWh)	Durchschnittsgeschwindigkeit (km/h)
50	1083,41	0,83	0,46	17,16
51	79,30	1,17	3,75	17,32
53	616,49	0,33	0,20	13,31
55	528,14	0,70	2,43	19,26
56	130,65	3,45	0,31	25,42
57	160,88	1,23	1,07	13,55
59	1520,13	0,82	1,96	19,83
61	116,88	0,94	11,20	11,99
62	34,80	1,92	0,02	16,43
63*	88,89	6,79	1,14	11,31
64	32,06	1,06	0,05	9,62
65	1197,11	0,60	0,63	14,41
66	653,27	0,86	0,70	24,23
67	234,74	2,42	0,21	17,16
68	406,15	0,99	0,38	23,08
69	1205,27	1,43	0,25	23,83
70	164,33	1,53	0,15	14,05
71	2020,15	0,80	5,28	19,36
72	714,67	1,14	0,70	23,53
73	1196,98	0,94	0,32	14,60
74	211,01	1,17	0,65	24,26
75	272,86	0,79	0,07	15,13
76	1767,11	0,09	0,05	14,67
77	1076,53	0,49	0,32	18,83
78	426,66	0,69	0,20	15,33
79	530,14	1,48	0,70	20,82
80	250,40	1,07	0,14	15,91
81	528,02	1,87	0,26	21,98
83	118,24	0,74	0,36	10,27
84	872,07	0,34	0,12	18,36
85	995,41	0,50	2,15	14,10
86	57,44	3,23	2,66	16,65
87	182,75	1,31	13,31	12,52
88	335,58	1,00	0,07	16,46
89	149,06	2,49	6,53	15,40
93	192,52	0,32	0,01	11,97
95	335,58	0,56	4,05	16,46
96 *	49,71	6,22	0,23	17,16
97	1018,89	1,22	3,51	17,65
100	246,75	3,06	1,52	13,30
102	712,31	0,66	1,06	20,43
103	351,86	0,40	0,05	14,93
104	143,69	2,72	1,88	11,39
105	393,33	1,27	0,29	31,81
118	135,13	2,36	0,05	17,57
<b>Gesamt</b>	<b>23398,76</b>	<b>0,90</b>	<b>70,06</b>	<b>17,31</b>

### 4.3 Nutzung der Pedelecs

Im Rahmen des Projekts soll insbesondere auch das Nutzerverhalten beim Einsatz der Pedelecs beobachtet werden. Als charakteristischstes Merkmal hierfür wird zunächst die Streckenlänge der einzelnen Fahrten betrachtet. Anhand der Zeitstempel der Aufzeichnungen lassen sich die Streckendaten in insgesamt 4378 Fahrten unterteilen. Bei insgesamt rund 23.398,76 km erfasster Fahrtstrecke entspricht dies einer durchschnittlichen Fahrstrecke von ca. 5,3 km.

Pro Elektrofahrzeug sind damit durchschnittlich 97,3 Fahrten und rund 519,97 gefahren Kilometer im Rahmen des Projekts erfasst. Um die typischen Fahrtstrecken zu identifizieren, wird zunächst die Häufigkeitsverteilung der Länge der Fahrtstrecken untersucht. Das Ergebnis zeigt Abbildung 10 in grafischer Form.

Abbildung 10:  
Häufigkeitsverteilung  
Streckenlängen  
Pedelecs



Es ist klar zu erkennen, dass die Streckenlänge bei einem Großteil der erfassten Fahrten zwischen null und sieben Kilometer liegt. Außerdem zeigt sich, dass Fahrten mit Fahrtstrecken zwischen 10 km und 14 km mit erhöhter Häufigkeit vorkamen. Ein Zusammenhang zu bestimmten Fahrzeugen kann dabei jedoch nicht gefunden werden, da diese Fahrten verteilt über mehrere Fahrzeuge auftreten und nicht ausreichend Daten für eine Regelmäßigkeit vorliegen.

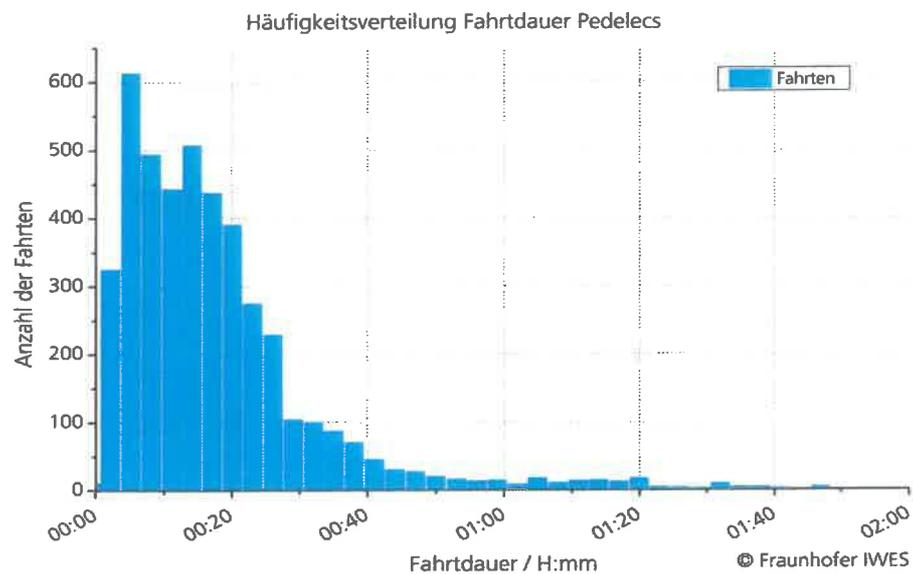
Es ist zu vermuten, dass die typischen gefahrenen Streckenlängen maßgeblich durch die Länge des Anfahrtsweges zur Dienststelle der einzelnen Personen beziehungsweise der Bürogruppe sowie kürzeren Dienstreisen im Arbeitsgeschehen geprägt sind. Bei einer größeren Gesamtheit an Fahrern und betrachteten Pedelecs relativieren sich die Einflüsse der Einzelpersonen.

Analog dazu ergibt sich die typische Fahrtdauer bei der Nutzung der Pedelecs. Über alle erfassten Fahrten betrachtet dauert die durchschnittliche Fahrt rund

19 Minuten und 2 Sekunden. Die Ergebnisse der Häufigkeitsanalyse zeigt Abbildung 11.

Da hier jedoch die gefahrene Geschwindigkeit als zusätzliche Variable zu reinen Fahrtstrecke einfließt, ergibt sich bereits eine deutlich stetigere Verteilung der Fahrtzeiten. Der Großteil der Fahrten dauert weniger als 25 Minuten. In diesem Zeitraum treten jedoch auch Häufungen bei 5, 10 und 15 Minuten auf. Weitere Häufungen in der Verteilung lassen sich nicht bestimmen. Es ist aber weiterhin zu erkennen, dass die Fahrzeuge nicht nur für Kurzstrecken genutzt werden, sondern auch eine hohe Anzahl der Fahrten länger als eine Stunde dauern, was aber in Verhältnis zur Gesamtzahl der Fahrten schwer zu erkennen ist.

Abbildung 11:  
Häufigkeitsverteilung  
Fahrtdauer Pedelecs

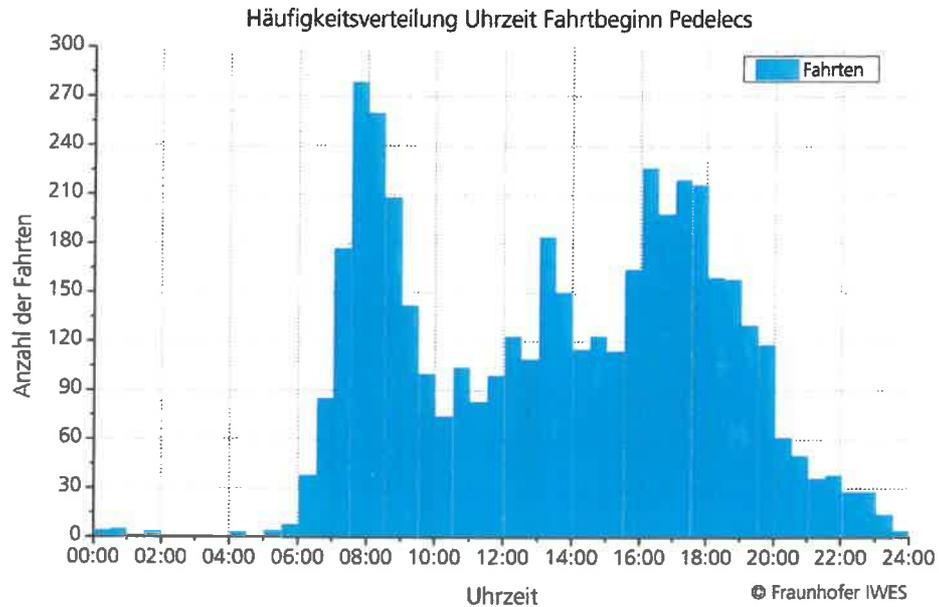


Auch diese Häufungen sind wohl wieder mit den typischen Pendlerstrecken einzelner Projektteilnehmer zu erklären.

Zusätzlich zur Beschreibung der gefahrenen Strecken ist auch der Zeitpunkt der jeweiligen Fahrten interessant. Dazu werden einerseits die Uhrzeit bei Beginn der jeweiligen Fahrten und andererseits der Wochentag betrachtet. In Abbildung 12 ist zunächst die Verteilung der Fahrten über die Tageszeit dargestellt.

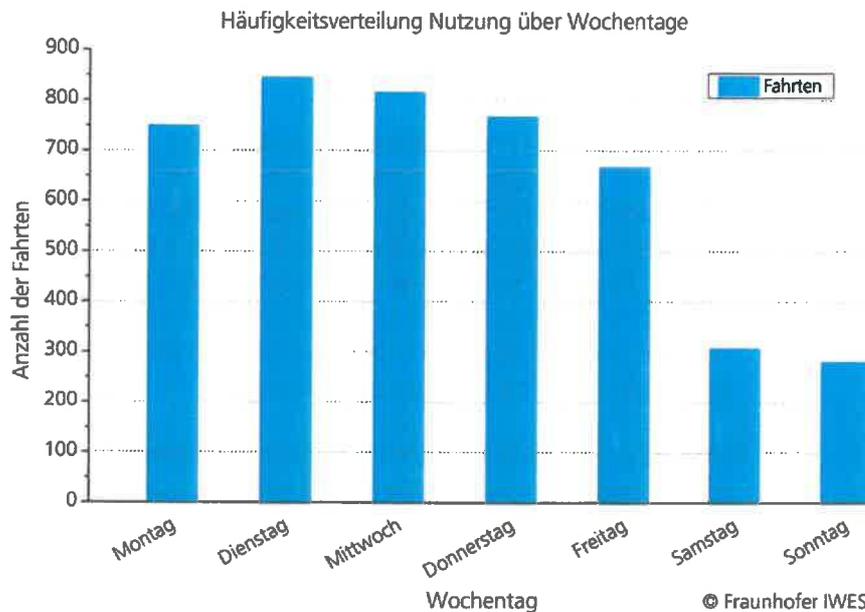
Aufgrund der Vergabe der Fahrzeuge Mitarbeiter der TU Darmstadt, Behörden und Unternehmen des Rhein-Main-Gebietes ergibt sich eine charakteristische Verteilung über den Tag. Der größte Anteil der Fahrten beginnt in den Morgenstunden zwischen 6 Uhr und 9 Uhr und in den Nachmittagsstunden zwischen 16 Uhr und 20 Uhr, was auf die Nutzung der Fahrzeuge von Berufstätigen spricht, die das Fahrzeug für den Weg von zuhause bis zur Dienststelle und zurück nutzen. Jedoch ist die Verteilung über den gesamten Tagesverlauf recht hoch, was darauf schließen lässt, dass die Pedelecs auch zu einem wesentlichen Teil für Dienstwege während des Tages genutzt werden. Die Fahrten zwischen 22 und 2 Uhr deuten darauf hin, dass die Fahrräder auch privat genutzt werden.

Abbildung 12:  
Häufigkeitsverteilung  
Uhrzeit bei Fahrtbe-  
ginn mit Pedelecs



Eine weitere interessante Information zum Nutzungsverhalten kann der Vergleich der einzelnen Wochentage liefern. In Abbildung 13 ist die Verteilung der Fahrten auf die Wochentage dargestellt.

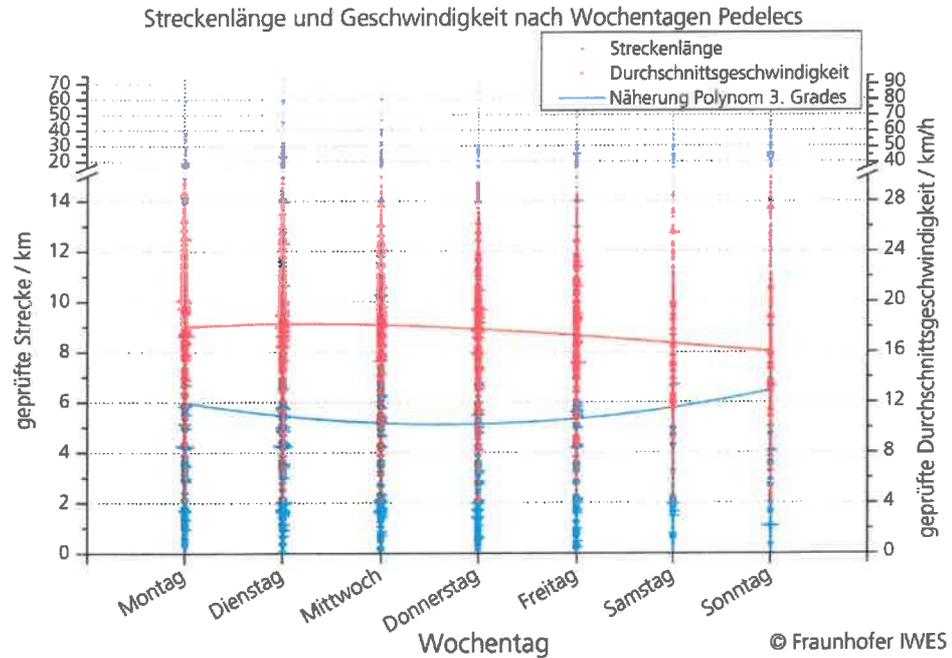
Abbildung 13:  
Verteilung Nutzung  
Pedelecs auf Wo-  
chentage



Aus Abbildung 13 geht eindeutig hervor, dass die Pedelecs hauptsächlich an den Werktagen Montag bis Freitag genutzt werden. Am Wochenende sind mit rund 40 Prozent des Niveaus von Montag bis Freitag deutlich weniger Nutzungen pro Tag festzustellen. Da an den Wochenenden anzunehmen ist, dass die Fahrräder überwiegend für Privatzwecke genutzt werden, ist die deutlich geringere Anzahl an Fahrten erklärbar.

Zusätzlich zur reinen Häufigkeitsverteilung der Fahrten auf die Wochentage werden auch mögliche Unterschiede in der Nutzung an den Wochentagen gesucht. Dazu sind in Abbildung 14 die gefahrenen Streckenlängen nach Wochentagen und die jeweiligen Durchschnittsgeschwindigkeiten aufgetragen.

Abbildung 14:  
Streckenlänge und  
Geschwindigkeit  
nach Wochentagen  
Pedelects



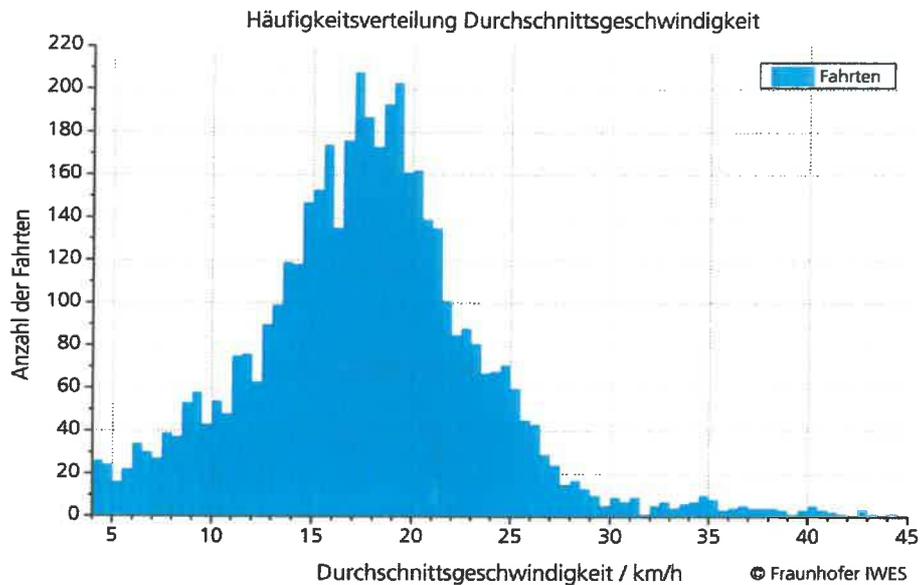
Die große Anzahl und sehr breite Verteilung der einzelnen Datenpunkte lässt kaum noch eine visuelle Auswertung zu. Darum wurden beide Datensammlungen jeweils durch ein Polynom 3. Grades genähert und ebenfalls in das Diagramm eingezeichnet.

Die durchschnittliche Streckenlänge liegt über alle Wochen zwischen 5 und 6 km und steigt am Wochenende auf ca. 7 km. Die Durchschnittsgeschwindigkeit weist über die Wochentage stärkere Unterschiede auf. Innerhalb der Woche wurde an Dienstagen mit ca. 18 km/h scheinbar am schnellsten gefahren. Deutlich zu erkennen ist ebenfalls, dass am Wochenende insgesamt deutlich langsamer, ca. 16 km/h, als an den Wochentagen gefahren wird. Die Fahrten am Samstag und Sonntag scheinen also tatsächlich eher dem Bild einer gemütlichen Freizeittour zu entsprechen.

Über die gesamten erfassten Strecken der Pedelects ergibt sich eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 17,4 km/h. Auch die Durchschnittsgeschwindigkeit lässt sich mit Hilfe der Häufigkeitsverteilung, wie in Abbildung 15 dargestellt, genauer analysieren.

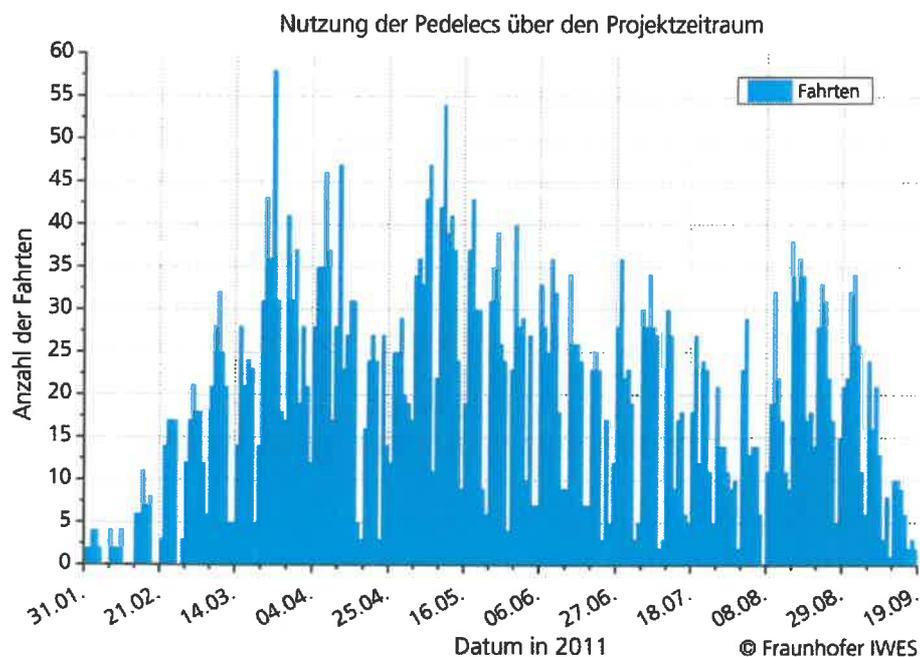
Es ergibt sich insgesamt eine recht homogene Verteilung, wobei die meisten Fahrten bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen 14 und 22 km/h absolviert werden. Die Maximalwerte der Durchschnittsgeschwindigkeit liegen bei 44 km/h. Dieser Wert scheint jedoch keinen Einzelfall darzustellen, da die nächst niedrigere Durchschnittsgeschwindigkeit bei ca. 43 km/h liegt, was anhand von Abbildung 15 deutlich wird.

Abbildung 15:  
Häufigkeitsverteilung  
Durchschnitts-  
geschwindigkeiten  
Pedelecs



Als abschließende Darstellung zur Nutzung der Pedelecs ist in Abbildung 16 die Verteilung der Fahrten auf die einzelnen Tage im Projektzeitraum dargestellt.

Abbildung 16:  
Nutzung der Pede-  
lecs über den Pro-  
jektzeitraum



Die ausgeschriebenen Daten an der Zeitachse sind jeweils Montage im Abstand von 3 Wochen. Somit ist klar zu erkennen, dass die Nutzung zu Beginn und gegen Ende der Projektzeit stark reduziert ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass aufgrund der großen Anzahl an Fahrzeugen das Messequipment zunächst ausgegeben und am Ende des Projektzeitraums wieder eingesammelt werden muss. Im Zeitraum vom 21.03. bis 17.04. sowie vom 02.05. bis 05.06. werden vergleichsweise viele Fahrten festgestellt. Dies ist zu einem gewissen Teil wohl damit zu begründen, dass in den ersten 6 Wochen noch Semesterferien beziehungsweise Prüfungszeiträume an der TU Darmstadt waren und die Studenten die Pedelecs möglicherweise nur wenig genutzt haben. Die geringe Nutzung im Zeitraum vom 18.04. bis 01.05. lässt sich unter anderem dadurch

erklären, dass in diesen Zeitraum die Osterfeiertage und Ferien fielen und dadurch weniger Fahrten registriert wurden.

Ansonsten ist zu vermuten, dass das Wetter einen deutlichen Einfluss auf die Nutzung der Fahrzeuge hat. Darum werden die Nutzungsdaten in Abbildung 17 in Zusammenhang mit Aufzeichnungen der Niederschläge gebracht. Die Wetterdaten stammen von der Wetterstation am Flughafen Frankfurt Main und dienen als Referenzwert für das Rhein-Main-Gebiet.

Abbildung 17:  
Einfluss des Wetters  
auf die Nutzung der  
Pedelecs

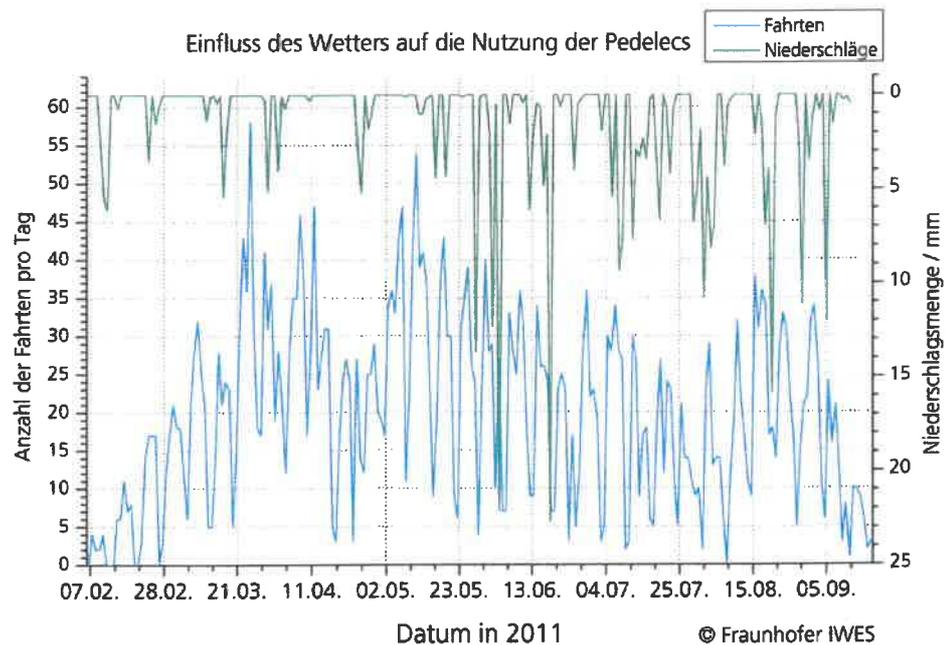


Abbildung 17 zeigt neben der Anzahl der Fahrten die Tageswerte der Niederschlagshöhe, wodurch die tendenziellen Zusammenhänge zwischen Nutzung der Pedelecs und Niederschlägen besser zu erkennen sind. Insbesondere an Tagen mit hohem Niederschlag gehen die Fahrten deutlich zurück.

## 4.4 Laden der Pedelecs

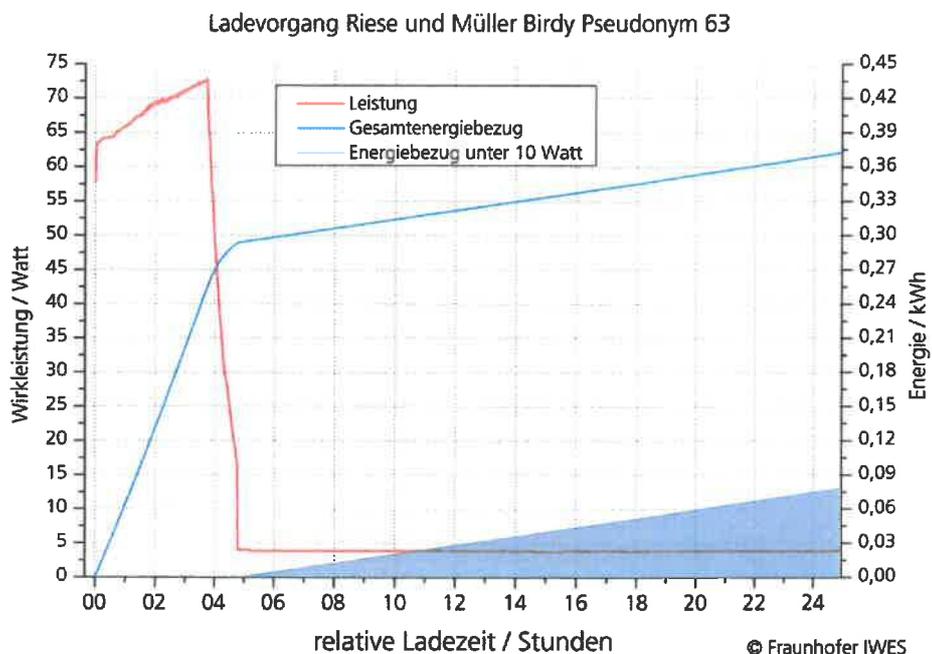
### 4.4.1 Charakteristik der Ladegeräte

Durch die kontinuierliche Aufzeichnung der Strom-, Spannungs- und Leistungsfaktorwerte über die gesamten Ladevorgänge kann sowohl das Verhalten der Nutzer, als auch der Ladegeräte sehr genau untersucht werden.

Zunächst soll dabei für jedes Modell ein charakteristischer Ladevorgang aufgezeigt werden. Ausgewiesen sind die elektrische Wirkleistung des Ladegeräts am Netz, der zugehörige Leistungsfaktor und die während des Ladevorgangs bereits bezogene Energie. Da im Rahmen der Auswertung recht schnell eine erhebliche Relevanz der Standby-Verluste festgestellt wurde, wird außerdem der Energiebedarf bei sehr geringen Leistungen gesondert ausgewiesen.

Abbildung 18 zeigt zunächst einen typischen Ladevorgang der Modelle Riese & Müller Birdy hybrid.

Abbildung 18:  
charakteristischer  
Ladevorgang Riese  
& Müller Birdy  
hybrid



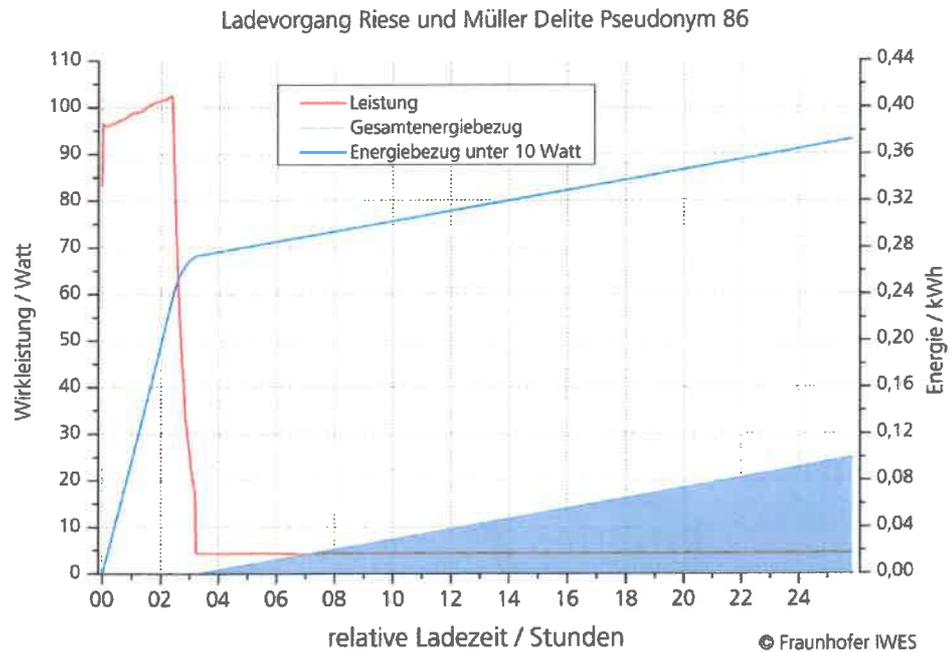
Anhand der Leistung ist deutlich der typische Verlauf eines Ladevorgangs zu erkennen. Während zu Beginn bei rund 60 Watt geladen werden kann, wird die Leistung anschließend auf ca. 72 Watt erhöht. Als sich der Akku seiner vollen Ladekapazität annähert, wird die Leistung allmählich reduziert, um die Zellen schonend vollständig zu laden.

Im dargestellten Verlauf hätte der Ladevorgang wohl ungefähr nach 5 Stunden beendet werden können. Zu diesem Zeitpunkt sind ungefähr 0,29 kWh an Energie für den Ladevorgang angefallen. Da jedoch keinerlei Information zur vorherigen Entladetiefe des Akkus vorliegen, kann dies nicht in Relation zur tatsächlich in die Batterie geladenen Energie gesetzt werden.

Auch so kann jedoch erkannt werden, dass das Ladegerät auch nach dem Voll-laden der Batterie noch weiter elektrische Leistung aus dem Netz bezieht. Bei dem dargestellten Modell sind dies nach 5 Stunden noch rund 4 Watt Dauerleistung. Bei Beendigung des dargestellten Ladevorgangs werden so nach 25 Stunden rund 0,075 kWh, bzw. rund 20 % des Gesamtbedarfs bei Leistungen unterhalb von 10 Watt verbraucht.

Abbildung 19 stellt einen typischen Ladevorgang der Modelle Riese & Müller Delite hybrid 250 HT über die Zeit dar.

Abbildung 19:  
charakteristischer  
Ladevorgang Rie-  
se & Müller Delite  
hybrid 250 HT



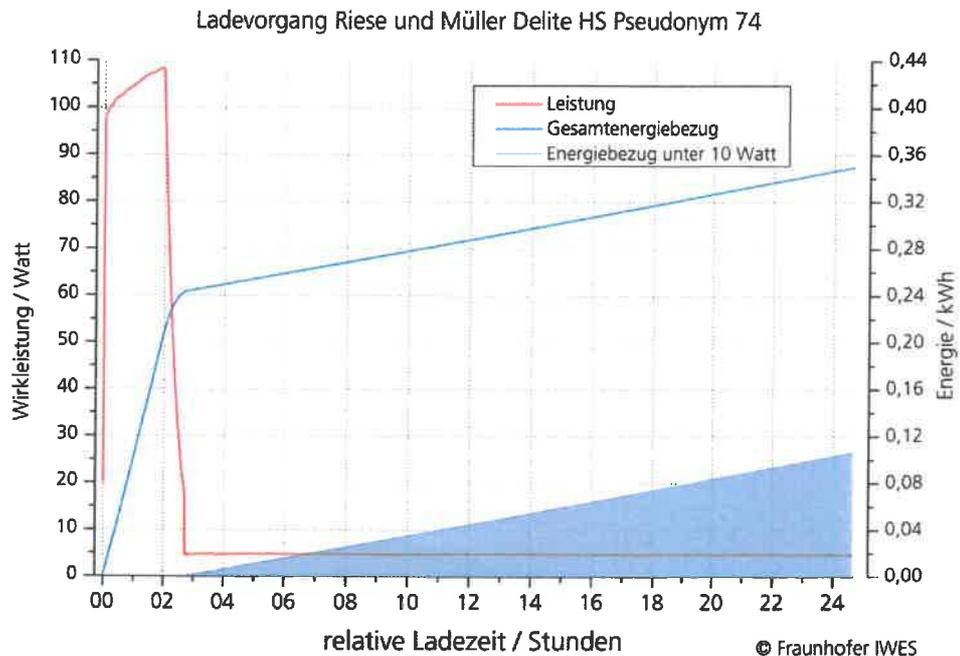
Anhand der Leistung ist deutlich der typische Verlauf eines Ladevorgangs zu erkennen. Während zu Beginn bei rund 85 Watt geladen werden kann, wird die Leistung anschließend auf ca. 102 W erhöht. Als sich der Akku seiner vollen Ladekapazität annähert, wird die Leistung allmählich reduziert, um die Zellen schonend vollständig zu laden.

Im dargestellten Verlauf hätte der Ladevorgang nach ungefähr 3 Stunden beendet werden können. Zu diesem Zeitpunkt sind ungefähr 0,27 kWh für den Ladevorgang erforderlich. Da jedoch keinerlei Information zur vorherigen Entladetiefe des Akkus vorliegen, kann dies nicht in Relation zur tatsächlich in die Batterie geladenen Energie gesetzt werden.

Es ist jedoch klar zu erkennen, dass das Ladegerät auch nach dem Voll-laden der Batterie noch weiter elektrische Leistung aus dem Netz bezieht. Bei dem dargestellten Modell sind dies nach 3 Stunden noch rund 4 Watt Dauerleistung. Bei Beendigung des dargestellten Ladevorgangs wurden so nach 25 Stunden rund 0,1 kWh, bzw. rund 26 % des Gesamtverbrauchs bei Leistungen unterhalb von 10 Watt verbraucht.

Abbildung 20 zeigt einen typischen Ladevorgang für das Modell Riese & Müller Delite hybrid 500 HS.

Abbildung 20:  
charakteristischer  
Ladevorgang Riese  
& Müller Delite  
hybrid 500 HS



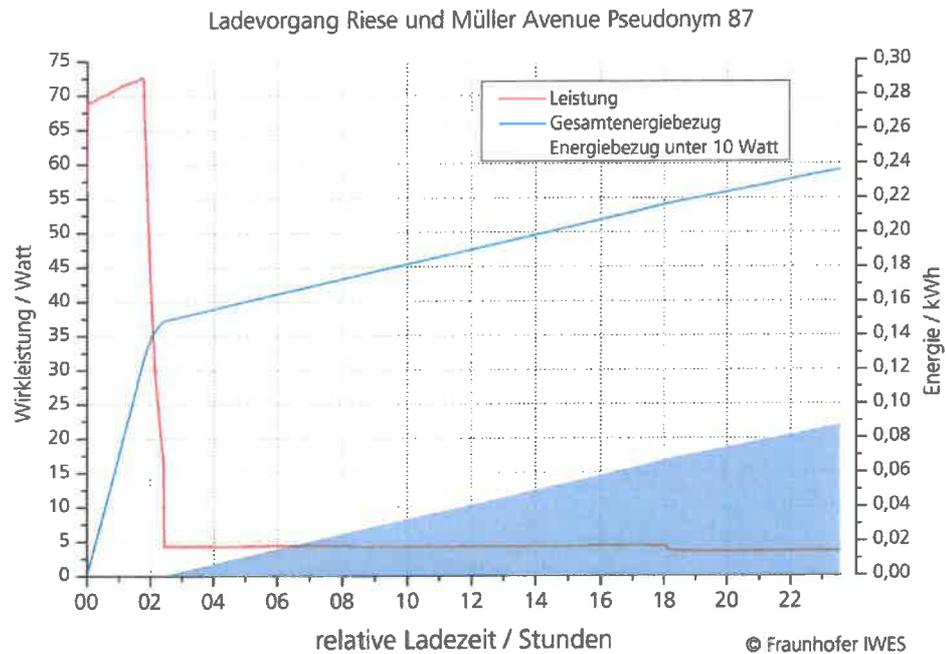
Anhand der Leistung ist wiederum deutlich der typische Verlauf eines Ladevorgangs zu erkennen. Die Ladeleistung beginnt mit rund 20 Watt und steigt dann sprunghaft auf 98 W an und erhöht sich anschließend auf ca. 102 W. Als sich der Akku seiner vollen Ladekapazität annähert, wird die Leistung allmählich reduziert, um die Zellen schonend vollständig zu laden.

Im dargestellten Verlauf hätte der Ladevorgang nach ungefähr 3 Stunden und einem Energiebezug von ca. 0,24 kWh beendet werden können. Da jedoch keinerlei Information zur vorherigen Entladetiefe des Akkus vorliegen, kann dies nicht in Relation zur tatsächlich in die Batterie geladenen Energie gesetzt werden.

Auch so kann jedoch festgestellt werden, dass das Ladegerät auch nach dem Vollladen der Batterie noch weiter elektrische Leistung aus dem Netz bezieht. Bei dem dargestellten Modell sind dies nach 3 Stunden noch rund 4 Watt Dauerleistung. Bei Beendigung des dargestellten Ladevorgangs wurden so nach 25 Stunden rund 0,1 kWh, bzw. rund 29 % des Gesamtverbrauchs bei Leistungen unterhalb von 10 Watt verbraucht.

In Abbildung 21 ist ein typischer Ladevorgang des Modells Riese & Müller Avenue hybrid dargestellt.

Abbildung 21:  
 charakteristischer  
 Ladevorgang Riese  
 & Müller Avenue  
 hybrid



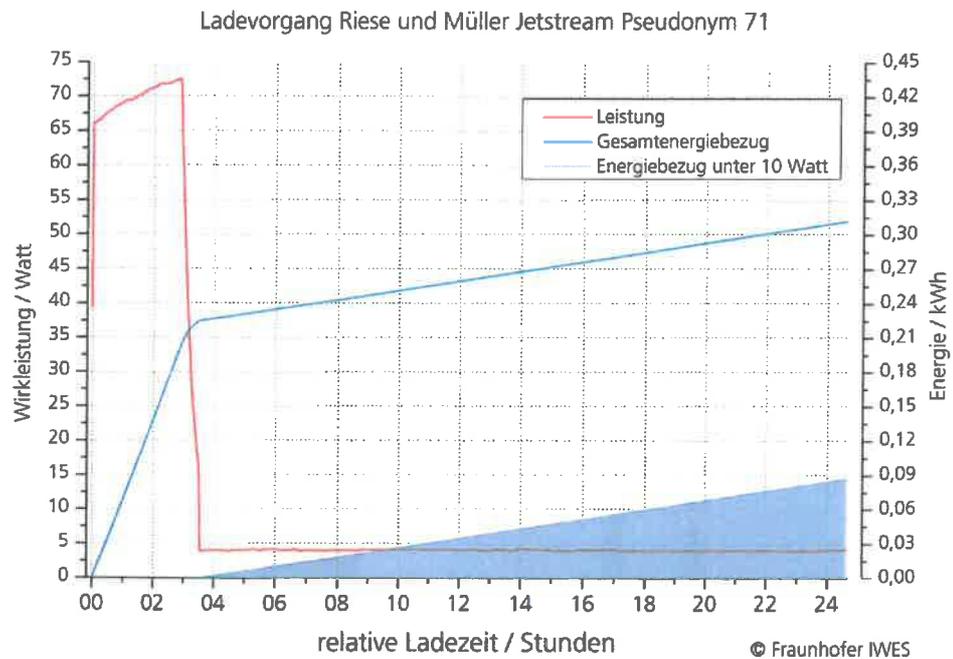
Auch hier ist anhand der Leistung ein typischer Verlauf eines Ladevorgangs zu erkennen. Zu Beginn beträgt der Leistungsbedarf aus dem Netz rund 57 Watt und steigt dann sprunghaft auf 68 W an. Anschließend steigt die Leistung auf ca. 73 W an. Als sich der Akku seiner vollen Ladekapazität annähert, wird die Leistung allmählich reduziert, um die Zellen schonend vollständig zu laden.

Im dargestellten Verlauf hätte der Ladevorgang nach ca. 2 ½ Stunden beendet werden können. Zu diesem Zeitpunkt sind ungefähr 0,15 kWh für den Ladevorgang erforderlich. Da jedoch keinerlei Information zur vorherigen Entladetiefe des Akkus vorliegen, kann dies nicht in Relation zur tatsächlich in die Batterie geladenen Energie gesetzt werden.

Auch so kann jedoch erkannt werden, dass das Ladegerät auch nach dem Vollladen der Batterie noch weitere elektrische Leistung aus dem Netz bezieht. Bei dem dargestellten Modell sind dies nach 2 ½ Stunden noch rund 4 Watt Dauerleistung. Bei Beendigung des dargestellten Ladevorgangs werden so nach 24 Stunden rund 0,09 kWh, bzw. rund 38 % des Gesamtverbrauchs bei Leistungen unterhalb von 10 Watt verbraucht.

Abschließend zeigt Abbildung 22 einen typischen Ladevorgang des Modells Riese & Müller Jetstream hybrid dargestellt.

Abbildung 22:  
charakteristischer  
Ladevorgang Riese  
& Müller Jetstream-  
am hybrid



Anhand der Leistung ist deutlich der typische Verlauf eines Ladevorgangs zu erkennen. Während zu Beginn bei rund 40 Watt geladen werden kann und die Leistung dann sprunghaft auf 66 W ansteigt, erhöht sich die Leistung anschließend auf ca. 73 W. Als sich der Akku seiner vollen Ladekapazität annähert, wird die Leistung allmählich reduziert, um die Zellen schonend vollständig zu laden.

Im dargestellten Verlauf hätte der Ladevorgang nach ungefähr 3 ½ Stunden beendet werden können. Zu diesem Zeitpunkt beträgt der Energiebezug ungefähr 0,22 kWh für den Ladevorgang. Da jedoch keinerlei Information zur vorherigen Entladetiefe des Akkus vorliegen, kann dies nicht in Relation zur tatsächlich in die Batterie geladenen Energie gesetzt werden.

Auch hier kann wieder erkannt werden, dass das Ladegerät auch nach dem Vollladen der Batterie noch weiter elektrische Leistung aus dem Netz bezieht. Bei dem dargestellten Modell sind dies nach 3 ½ Stunden noch rund 4 Watt Dauerleistung. Bei Beendigung des dargestellten Ladevorgangs werden so nach 25 Stunden rund 0,09 kWh, bzw. rund 28 % des Gesamtverbrauchs bei Leistungen unterhalb von 10 Watt verbraucht.

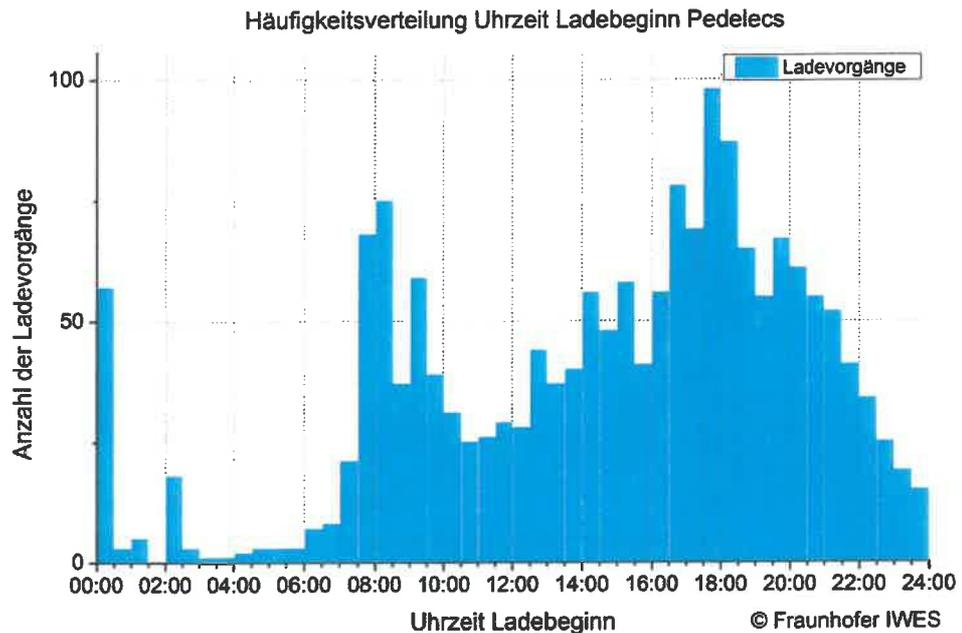
#### 4.4.2 Verhalten der Nutzer

Da es noch keine standardisierten Lösungen für das Laden von Pedelecs gibt, gehört zu jedem Pedelec-Modell ein spezifisches Ladegerät, das vom Nutzer zum Laden manuell angeschlossen werden muss.

Im Idealfall sollte das Ladegerät, nachdem der Akku vollgeladen wurde, vom Netz getrennt werden und erst für den nächsten Ladevorgang wieder angeschlossen werden. In der Realität scheinen die Ladegeräte jedoch meist deutlich länger am Netz angeschlossen zu bleiben. Dies verdeutlicht die durchschnittliche Ladedauer von ca. 1 Tag 14 Stunden und 17 Minuten.

Zusätzlich zu der Dauer der Ladevorgänge werden auch die typischen Zeitpunkte zum Anschließen und Abziehen der Ladegeräte untersucht. Abbildung 23 verdeutlicht, bei welchen Uhrzeiten die Ladevorgänge begonnen wurden.

Abbildung 23:  
Häufigkeitsverteilung  
Uhrzeit bei Ladebeginn der Pedelecs

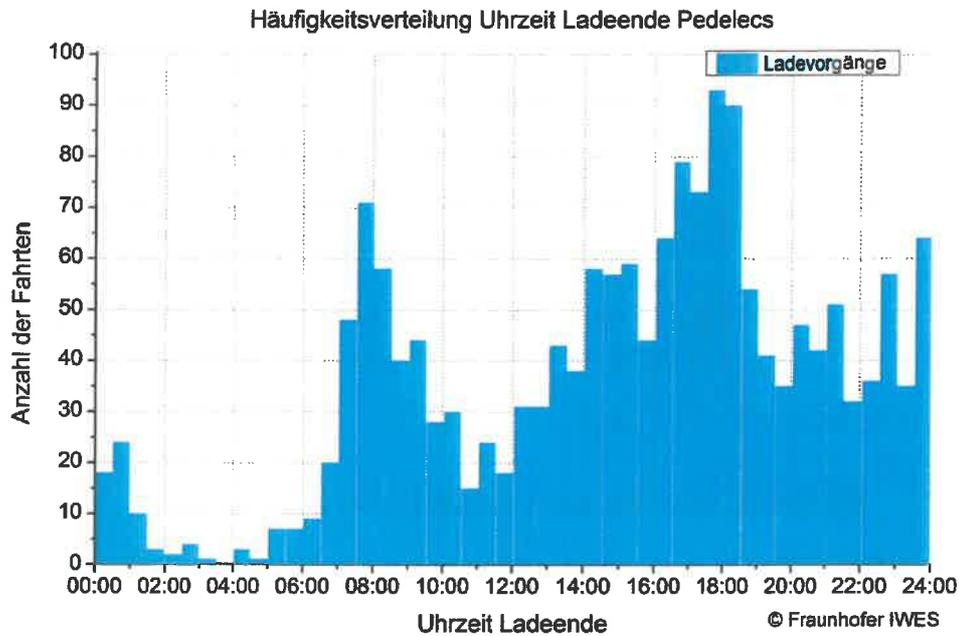


Die Graphik zeigt, dass die Fahrzeuge über den Tag verteilt, bis in die Abend- und Nachstunden an das Ladegerät angeschlossen sind. Dabei sind 2 starke Häufungen zu erkennen. Die erste Häufung in den Morgenstunden zwischen 7:30 Uhr 9:00 Uhr lässt darauf schließen, dass die Fahrzeuge nach der Fahrt ins Büro am Zielort geladen werden. Die zweite Häufung fällt auf die Zeit zwischen 17:00 Uhr und 19:00 Uhr, in der wohl nach der Fahrt von der Arbeit das Fahrrad geladen wurde. Mit der Tatsache, dass die Fahrräder insbesondere auch für Dienstfahrten genutzt werden, lässt sich eine höhere Anzahl an Ladebeginnen über den Tag verteilt begründet.

Der größere Anteil der Ladevorgänge fällt in den Zeitraum zwischen 16:00 und 00:30 Uhr, was auf darauf schließen lässt, dass die Akkus vorwiegend zuhause geladen werden. Es ist nicht davon auszugehen, dass die Pedelecs nach annähernd jeder Fahrt geladen werden, da 2,5 mal so viele Fahrten wie Ladevorgänge aufgezeichnet sind.

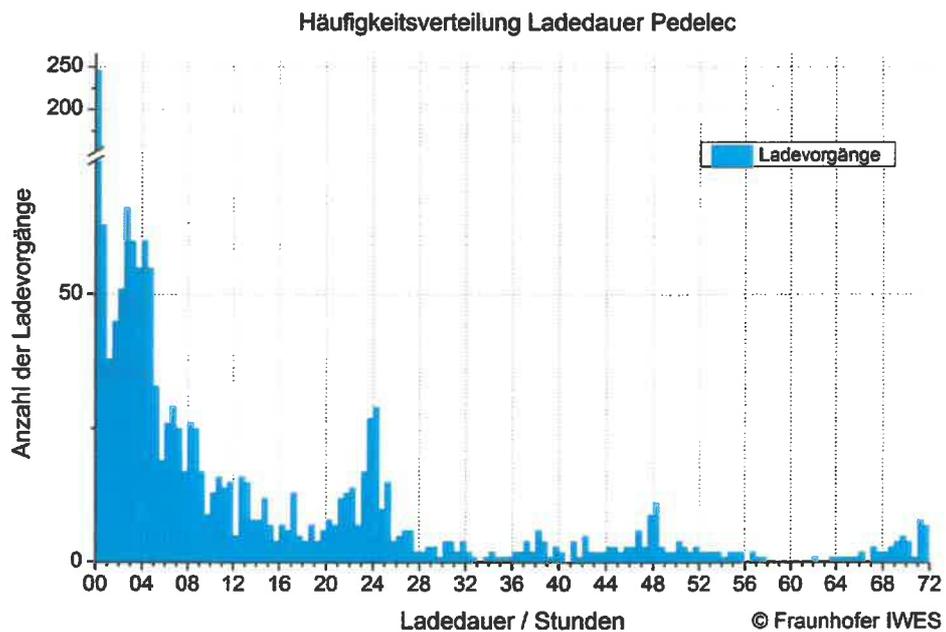
Analog wird auch eine Auswertung des Endes der Ladevorgänge erstellt. Die dazugehörige Häufigkeitsverteilung entsprechend der Uhrzeiten verdeutlicht Abbildung 24. Im Vergleich zur Verteilung des Ladebeginns sind die Endpunkte der Ladevorgänge homogener über den Tag verteilt. Aufgrund der Häufung in den Morgenstunden um 08:00 Uhr und in den Abendstunden um 18:00 Uhr ließe sich schlussfolgern, dass die Akkus von den Ladegeräten vor Fahrtbeginn getrennt wurden. Ebenso zeigen sich Häufungen in den Nachstunden um 21:00, 23:00 und 24:00 Uhr, was darauf schließen lässt, dass ein Teil der Akkus vor den nächtlichen Ruhephasen von den Ladegeräten getrennt wurden.

Abbildung 24:  
Häufigkeitsverteilung  
der Uhrzeit bei Ende  
der Ladevorgänge  
Pedelegs



Um die Relevanz von Standby-Verbrauch einzuschätzen zu können, wird die übliche Dauer der Ladevorgänge, also wie lange die Ladegeräte mit dem Netz verbunden sind, untersucht. Diese Zeit ist zwar durch die benötigte Ladezeit von der Auslegung der Batterien und der Ladegeräte bezüglich des Minimalwerts beeinflusst, hängt ansonsten jedoch primär vom Verhalten der Nutzer ab. Die genaue Verteilung der Dauer der Ladevorgänge verdeutlicht Abbildung 25.

Abbildung 25:  
Häufigkeitsverteilung  
Ladedauer Pedelegs



Insgesamt ergab sich über alle Ladevorgänge bei den Pedelegs eine durchschnittliche Ladedauer von gut 1 Tag 14 Stunden und 17 Minuten. Gegenüber dem angegebenen Zeitbedarf für das vollständige Laden von fünf bis acht Stunden ergibt sich also eine deutlich verlängerte Zeit. Es ist jedoch zu er-

kennen, dass von der Anzahl der Ladevorgänge der prozentuale Anteil zwischen 0,5 und 6 Stunden liegt. Dies entspricht der durchschnittlichen Dauer für eine volle Batterieladung.

Es ist eine Häufung von Ladevorgängen bei 24, 48 und 72 Stunden zu erkennen, was darauf hindeutet, dass Fahrräder teilweise immer zur gleichen Zeit geladen und erst nach ein, zwei oder drei Tage wieder vom Ladegerät getrennt werden. Gut zu erkennen ist, dass knapp 250 Ladevorgänge max. 1/2 Stunde stattfanden, was lediglich zu Nachladen des Akkus reicht. Dies lässt vermuten, dass die Akkus öfter nach jeder Fahrt geladen werden, auch wenn dies nicht zwingend nötig gewesen wäre.

## 5 Akkumulatoren und Ladetechnik

Die Akkumulatoren – kurz Akkus -nebst der zugehörigen Ladetechnik sind ein wichtiger Bestandteil der Pedelecs.

Die Leistungsfähigkeit der Akkus bestimmt maßgeblich die im Alltagsbetrieb erzielbare Reichweite. Angesichts des hohen Anschaffungspreises kann die Haltbarkeit die tatsächlichen Kosten wesentlich beeinflussen.

Auch die Effizienz der Ladegeräte beeinflusst die Betriebskosten. Hinsichtlich der Sicherheit beim Laden von Akkus sind die Steckverbindungen zwischen Ladegerät und Akku zu betrachten.

### 5.1 Akkumulatoren - Kapazitätstests

Zur umfassenden technischen Bewertung wurden die Akkus jeweils zu Beginn der Messkampagne und nach mehreren Monaten auf ihre Funktionstauglichkeit und die nutzbare Kapazität geprüft. Praktisch geschieht dies auf der Gleichspannungsseite, also zwischen den Ladegeräten und den Akkus.

Im Folgenden sind die Ergebnisse der durchgeführten Akku-Kapazitätsprüfungen modellbezogen dargestellt.

#### 5.1.1 Riese & Müller Avenue

Abbildung 26 zeigt eine Übersicht über die Untersuchungsergebnisse an den Akkus der Riese & Müller Avenue Pedelecs. Dargestellt sind die bei der Entladung entzogenen Energiemengen in Wh sowie die Differenz der gefahrenen Laufleistung. Im Fall erheblicher Abweichungen gegenüber den Erwartungen, werden zusätzliche Kontrollmessungen durchgeführt.

Bei den Akkus der Pedelecs vom Typ Riese & Müller Avenue war dies insbesondere bei den Fahrzeugen mit der Batterienummer 51 und 66 notwendig. Die

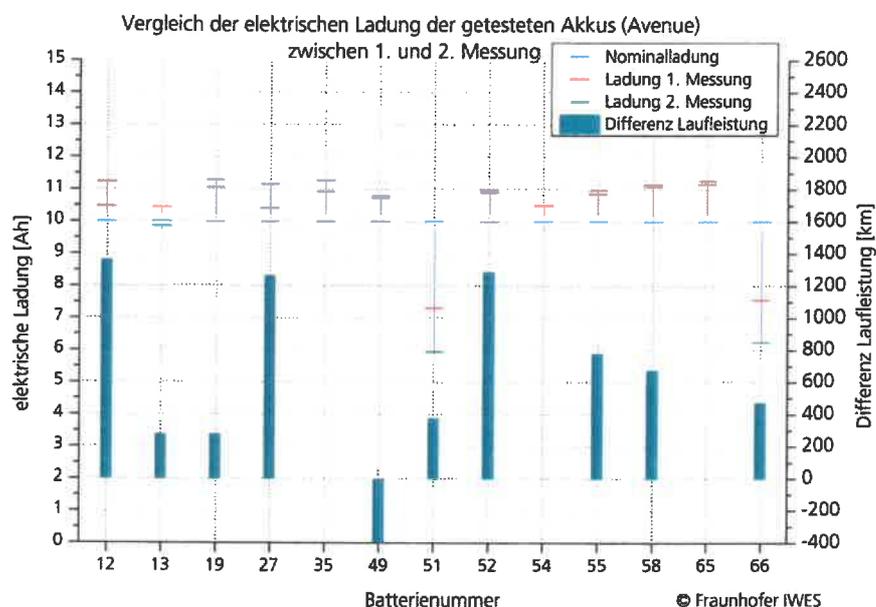
ersten und zweiten Messungen ergeben eine geringere nutzbare Kapazität von unter 10 Wh. Diese Ergebnisse werden durch die zusätzliche Kontrollmessung bestätigt.

Bei den ersten Messungen lagen die nutzbaren Kapazitäten bei zweistündiger im Bereich von ca. 260 bis 390 Wh. Beim Großteil der Akkus nimmt die Kapazität bei der zweiten Messung gegenüber der ersten Messung leicht zu.

Im Gegensatz dazu verlieren die Akkus der Fahrzeuge 13, 51, 52 und 66 an Kapazität. Erstaunlicherweise gibt es zu diesem Problem keinerlei Rückmeldungen von Seiten der Nutzer.

Die negative Differenz der Laufzeit des Fahrzeuges 49 ist damit zu begründen, dass der Akku während des Testzeitraumes getauscht wurde. Das Auftreten von Fahrzeugen ohne Angabe der Differenz der Laufleistung kann verschiedene Gründe haben, auf die in dieser Untersuchung nicht eingegangen wird.

Abbildung 26: Ergebnisse der Kapazitätsmessungen Riese & Müller Avenue



Nominal sind diese Akkus vom Hersteller mit einer Nennspannung von 36 Volt und einer Nennkapazität von 10 Ah angegeben. Zu diesen Angaben fehlen jedoch die Entladeparameter. Bei den Tests werden als Entladebedingung ein nominaler Entladestrom von 5 A, ein minimaler Entladestrom von 1 A und eine Entladeschlussspannung von 23 Volt eingestellt.

Tabelle 6: Ergebnistabelle Kapazitätsmessungen Riese &amp; Müller Avenue

Bezeichnung	Entn. Ah	Entn. Wh	Entladeschluss-Spannung	Entladedauer
Messung I				
12	10,48 Ah	364,49 Wh	28,16 V	02:18:00
13	10,45 Ah	368,61 Wh	28,87 V	02:17:50
19	11,06 Ah	388,72 Wh	27,35 V	02:26:00
27	10,42 Ah	364,98 Wh	28,80 V	02:17:30
35	10,93 Ah	381,81 Wh	25,04 V	02:24:10
49	10,74 Ah	380,29 Wh	28,88 V	02:21:40
51	7,33 Ah	261,68 Wh	33,44 V	01:36:40
52	10,97 Ah	384,34 Wh	26,57 V	02:24:40
54	10,51 Ah	370,70 Wh	28,27 V	02:18:40
55	10,87 Ah	383,18 Wh	27,94 V	02:23:20
58	11,15 Ah	393,40 Wh	27,98 V	02:27:10
65	11,17 Ah	391,57 Wh	25,11 V	02:27:20
66	7,57 Ah	271,71 Wh	33,60 V	01:39:50
Messung II				
12	11,23 Ah	394,58 Wh	28,40 V	02:28:10
13	9,85 Ah	350,17 Wh	30,25 V	02:09:40
19	11,27 Ah	395,65 Wh	25,08 V	02:28:40
27	11,15 Ah	386,53 Wh	28,23 V	02:27:10
35	11,26 Ah	394,44 Wh	25,07 V	02:28:30
49	10,78 Ah	381,98 Wh	29,01 V	02:22:10
51	5,95 Ah	214,78 Wh	34,09 V	01:18:20
52	10,88 Ah	384,08 Wh	25,60 V	02:23:30
54				
55	10,99 Ah	388,68 Wh	28,05 V	02:24:50
58	11,10 Ah	390,93 Wh	28,24 V	02:26:10
65	11,26 Ah	394,70 Wh	25,02 V	02:28:30
66	6,25 Ah	224,70 Wh	34,06 V	01:22:20

In der Tabelle 6 wird anhand der Zahlenwerte besser erkennbar, dass die Akkus bei der Ladungsmenge den Bereich der angegebenen Kapazität erreichen. Bei den ersten Messungen liegen die entnommenen Ladungsmengen zwischen 7,33 und 11,17 Ah.

Auch bei den zweiten Messungen liegen die nutzbaren Ladungsmengen mit Ausnahme der Akkus 51 und 66 im Bereich der Nominalkapazität. Die Akkus des Pedelecs 54 konnte nicht vermessen werden, da das Fahrzeug während der Testphase gestohlen wurde.

### 5.1.2 Riese & Müller Birdy

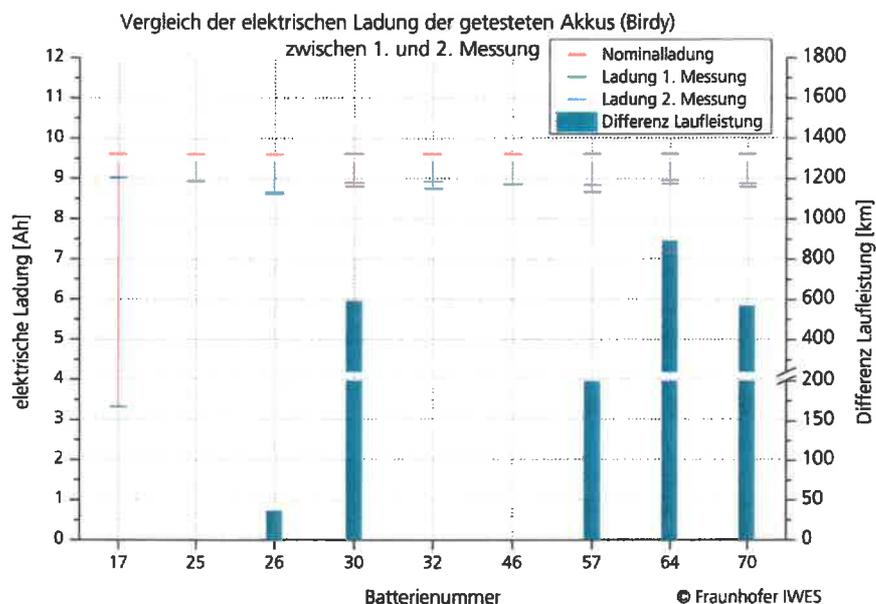
Entsprechend der Nennkapazität von 9,6 Ah und der vom Hersteller angegebenen Nennbetriebsspannung von 26 Volt sollten 250 Wh genutzt werden können.<sup>32</sup>

Die Tests werden jeweils mit einem Entladestrom von 6,4 Ampere, einem minimalen Entladestrom von 1 Ampere und einer Entladeschlussspannung von 34 Volt durchgeführt.

Da die nutzbare Kapazität stark von den Entladebedingungen abhängt und diese vom Hersteller nicht angegeben sind, kann jedoch kein direkter Vergleich zu den hier erzielten Messergebnissen hergestellt werden.

Abbildung 27 gibt für die Akkus des Modells Riese & Müller Birdy zunächst eine grafische Übersicht über die Ergebnisse der durchgeführten Kapazitätstest. Es ist zu erkennen, dass die entnommene Ladungsmenge stabil um die 9 Ah liegt. Beim Akku des Fahrzeuges 17 weicht die zweite Messung deutlich von den erwarteten Ergebnissen ab.

Abbildung 27: Ergebnisse der Kapazitätsmessungen Riese & Müller Birdy



Bei den ersten Messungen liegen die nutzbaren Kapazitäten bei Entladung bei einer Entladung mit 0,5 C im Bereich von ca. 76 bis 225 Wh. Beim Großteil der Akkus nahm die Kapazität bei der zweiten Messung gegenüber der ersten Messung leicht zu.

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse der Kapazitätstests nochmals detailliert dargestellt. Die nominale Entladedauer beträgt zwei Stunden. Real werden die Entladungen durch Erreichen der Entladeschlussspannung meist nach ungefähr 1 Stunde 50 Minuten abgebrochen.

<sup>32</sup> Angaben des Herstellers Riese&Müller

Tabelle 7: Ergebnistabelle Kapazitätsmessungen Riese & Müller Birdy

Bezeichnung	Entn. Ah	Entn. Wh	Entladeschluss-Spannung	Entladedauer
Messung I				
17	3,33 Ah	76,87 Wh	17,73 V	00:43:50
25	8,94 Ah	225,18 Wh	17,60 V	01:58:00
26	8,66 Ah	216,51 Wh	17,71 V	01:54:20
30	8,80 Ah	220,35 Wh	18,25 V	01:56:20
32	8,76 Ah	219,41 Wh	17,61 V	01:55:40
46	8,88 Ah	222,43 Wh	17,57 V	01:57:10
57	8,67 Ah	216,65 Wh	17,71 V	01:54:30
64	8,97 Ah	223,01 Wh	17,50 V	01:58:20
70	8,80 Ah	220,13 Wh	17,56 V	01:56:10
Messung II				
17	9,03 Ah	226,95 Wh	17,62 V	01:59:00
25				
26	8,63 Ah	216,91 Wh	17,69 V	01:53:50
30	8,89 Ah	223,04 Wh	17,52 V	01:57:20
32	8,93 Ah	221,18 Wh	17,66 V	01:57:40
46				
57	8,84 Ah	221,37 Wh	17,59 V	01:56:40
64	8,88 Ah	220,94 Wh	17,64 V	01:57:10
70	8,88 Ah	221,92 Wh	17,56 V	01:57:10

Bei den ersten Messungen liegen die entnommenen Ladungsmengen zwischen 3,33 und 8,97 Ah.

Auch bei den zweiten Messungen liegen die nutzbaren Ladungsmengen im Bereich der Nominalkapazität. Die Akkus der Pedelecs 25 und 46 konnte nicht vermessen werden, weil keine Daten aufgenommen werden konnten.

### 5.1.3 Riese & Müller Delite

Entsprechend der Nennkapazität von 9,6 Ah und der vom Hersteller angegeben Nennbetriebsspannung von 37 Volt ergeben sich 355 Wh, die genutzt werden können.<sup>33</sup>

Da die nutzbare Kapazität stark von den Entladebedingungen abhängt und diese vom Hersteller nicht angegeben sind, kann jedoch kein direkter Vergleich zu den nachfolgend dargestellten Messergebnissen hergestellt werden.

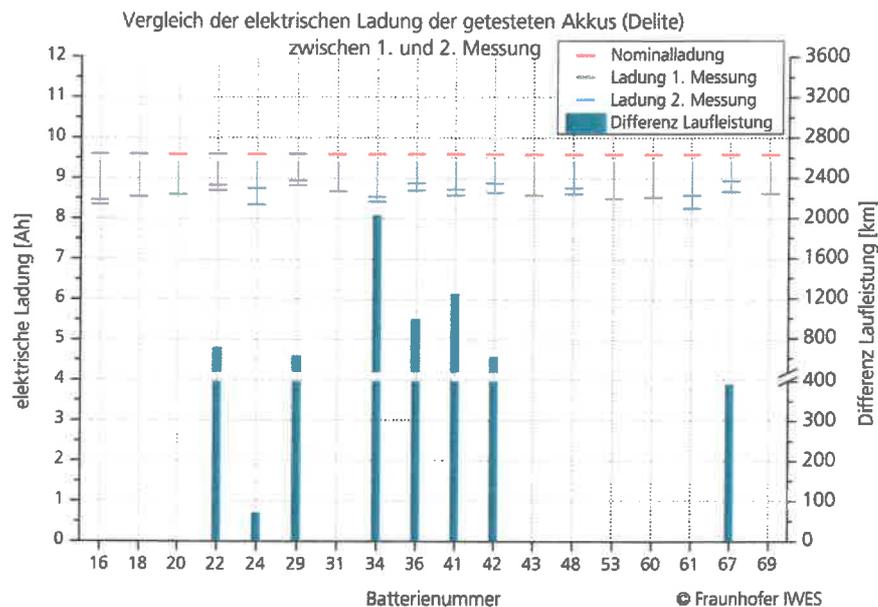
Die Tests werden jeweils mit einem nominalen Entladestrom von 6,4 Ampere, einem minimalen Entladestrom von 1 Ampere und einer Entladeschlussspannung von 34 Volt durchgeführt.

Abbildung 28 gibt für die Akkus der Elektrofahrräder des Modells Riese & Müller Delite zunächst eine grafische Übersicht über die Ergebnisse der

<sup>33</sup> Angaben des Herstellers Riese&Müller

Kapazitätstest. Die entnommene Ladungsmenge liegt sichtbar zwischen 8 und 9 Ah.

Abbildung 28: Ergebnisse der Kapazitätsmessungen Riese & Müller Delite



Bei den ersten Messungen liegen die nutzbaren Kapazitäten bei zweistündiger Entladung im Bereich von ca. 300 bis 320 Wh. Beim Großteil der Akkus nahm die Kapazität bei der zweiten Messung gegenüber der ersten Messung leicht zu.

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse der Kapazitätstests in Zahlen dargelegt. Die nominale Entladedauer beträgt zwei Stunden. Real wurden die Entladungen durch Erreichen der Entladeschlussspannung meist nach ungefähr 1 Stunde 50 Minuten abgebrochen.

Tabelle 8: Ergebnistabelle Kapazitätsmessungen Riese & Müller Delite

Bezeichnung	Entn. Ah	Entn. Wh	Entladeschluss-Spannung	Entladedauer
Messung I				
16	8,35 Ah	300,93 Wh	25,26 V	01:50:10
18	8,54 Ah	307,75 Wh	25,89 V	01:52:50
20	8,62 Ah	311,03 Wh	25,16 V	01:53:40
22	8,83 Ah	318,45 Wh	25,18 V	01:56:30
24	8,35 Ah	299,27 Wh	25,05 V	01:50:10
29	8,82 Ah	317,23 Wh	25,09 V	01:56:20
31	8,67 Ah	311,39 Wh	25,24 V	01:54:30
34	8,42 Ah	301,43 Wh	25,18 V	01:51:00
36	8,70 Ah	312,59 Wh	25,16 V	01:54:40
41	8,59 Ah	308,33 Wh	25,30 V	01:53:10
42	8,65 Ah	310,96 Wh	25,07 V	01:54:00
43	8,59 Ah	308,43 Wh	25,33 V	01:53:20
48	8,62 Ah	308,58 Wh	25,11 V	01:53:40
53	8,50 Ah	305,59 Wh	25,07 V	01:52:10
60	8,54 Ah	307,84 Wh	25,05 V	01:52:40

Bezeichnung	Entn. Ah	Entn. Wh	Entladeschluss-Spannung	Entladedauer
61	8,27 Ah	295,71 Wh	25,09 V	01:49:00
67	8,67 Ah	312,86 Wh	25,02 V	01:54:20
69	8,63 Ah	306,87 Wh	25,00 V	01:53:10
Messung II				
16	8,46 Ah	306,50 Wh	25,42 V	01:51:30
18	8,54 Ah	309,38 Wh	25,06 V	01:52:30
20				
22	8,70 Ah	313,71 Wh	25,08 V	01:54:40
24	8,76 Ah	315,97 Wh	25,07 V	01:55:30
29	8,95 Ah	322,66 Wh	25,27 V	01:58:00
31				
34	8,55 Ah	306,30 Wh	25,02 V	01:52:40
36	8,88 Ah	320,33 Wh	25,27 V	01:57:00
41	8,73 Ah	314,72 Wh	25,25 V	01:55:00
42	8,88 Ah	320,64 Wh	25,19 V	01:57:00
43				
48	8,76 Ah	314,94 Wh	25,26 V	01:55:20
53				
60				
61	8,58 Ah	308,17 Wh	25,89 V	01:53:20
67	8,94 Ah	323,89 Wh	25,00 V	01:57:50
69				

Bei den ersten Messungen liegen die entnommenen Ladungsmengen zwischen 8,27 und 8,83 Ah.

Auch bei den 2. Messungen liegen die nutzbaren Ladungsmengen mit im Bereich der Nominalkapazität. Die Akkus der Pedelecs 20, 31, 43, 53, 60 und 69 konnte nicht vermessen werden, weil keine Daten zu den Fahrzeugen aufgenommen werden konnten.

#### 5.1.4 Riese & Müller Jetstream

Entsprechend der Nennkapazität von 9,6 Ah und der vom Hersteller angegebenen Nennbetriebsspannung von 26 Volt sollten 250 Wh genutzt werden können.<sup>34</sup>

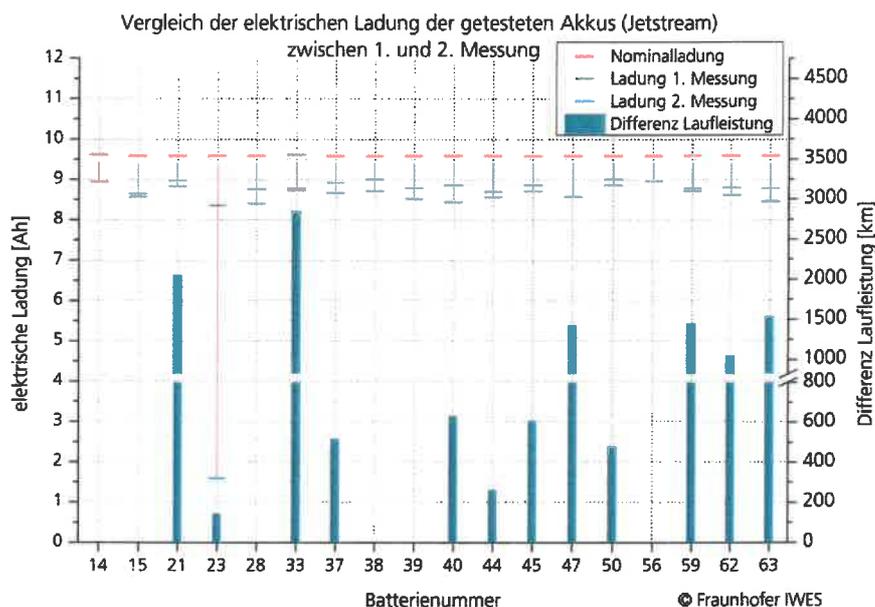
Da die nutzbare Kapazität stark von den Entladebedingungen abhängt und diese vom Hersteller nicht angegeben sind, ist ein direkter Vergleich zu den erzielten Messergebnissen nicht möglich.

Die Tests wurden jeweils mit einem nominalen Entladestrom von 6,4 Ampere, einem minimalen Entladestrom von 1 Ampere und einer Entladeschlussspannung von 34 Volt durchgeführt.

<sup>34</sup> Angaben des Herstellers Riese&Müller

Abbildung 29 gibt für die Akkus der Elektrofahrräder des Modells Riese & Müller Jetstream zunächst eine grafische Übersicht über die Ergebnisse der Kapazitätstest gegeben. Es ist zu erkennen, dass die entnommene Ladungsmenge stabil zwischen 8 und 9 Ah liegt.

Abbildung 29: Ergebnisse der Kapazitätsmessungen Riese & Müller Jetstream



Bei den ersten Messungen liegen die nutzbaren Kapazitäten bei Entladung mit 0,5 C im Bereich von ca. 200 bis 225 Wh. Beim Großteil der Akkus nimmt die Kapazität bei der zweiten Messung gegenüber der ersten Messung leicht zu.

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Kapazitätstests nochmals detailliert dargestellt. Real wurden die Entladungen durch Erreichen der Entladeschlussspannung meist nach ungefähr 1 Stunde 50 Minuten abgebrochen.

Tabelle 9: Ergebnistabelle Kapazitätsmessungen Riese & Müller Jetstream

Bezeichnung	Entn. Ah	Entn. Wh	Entladeschluss-Spannung	Entladedauer
Messung I				
14	8,95 Ah	224,11 Wh	17,61 V	01:58:10
15	8,59 Ah	213,86 Wh	17,59 V	01:53:20
21	8,84 Ah	201,31 Wh	17,50 V	01:56:40
23	8,36 Ah	209,13 Wh	17,55 V	01:50:20
28	8,41 Ah	209,83 Wh	17,61 V	01:51:00
33	8,74 Ah	218,93 Wh	17,61 V	01:55:20
37	8,67 Ah	216,86 Wh	17,70 V	01:54:20
38	8,71 Ah	218,11 Wh	17,54 V	01:55:00
39	8,52 Ah	212,48 Wh	17,51 V	01:52:30
40	8,45 Ah	210,81 Wh	17,64 V	01:51:30
44	8,70 Ah	218,03 Wh	17,59 V	01:54:50
45	8,71 Ah	218,15 Wh	17,53 V	01:55:00
47	8,58 Ah	215,49 Wh	17,55 V	01:53:10
50	8,87 Ah	223,40 Wh	17,50 V	01:57:00
56	8,97 Ah	225,05 Wh	17,66 V	01:58:20
59	8,73 Ah	218,40 Wh	17,52 V	01:55:10
62	8,63 Ah	215,95 Wh	17,56 V	01:53:50

Bezeichnung	Entn. Ah	Entn. Wh	Entladeschluss-Spannung	Entladedauer
63	8,46 Ah	211,69 Wh	17,62 V	01:51:40
Messung II				
14				
15	8,65 Ah	216,52 Wh	17,55 V	01:54:10
21	8,98 Ah	225,59 Wh	17,69 V	01:58:40
23	1,59 Ah	35,18 Wh	17,61 V	00:20:50
28	8,77 Ah	219,82 Wh	17,68 V	01:55:40
33	8,79 Ah	220,51 Wh	17,55 V	01:56:00
37	8,93 Ah	223,54 Wh	17,57 V	01:57:40
38	9,01 Ah	226,10 Wh	17,61 V	01:58:40
39	8,79 Ah	220,21 Wh	17,92 V	01:56:00
40	8,87 Ah	222,75 Wh	17,64 V	01:56:50
44	8,56 Ah	208,35 Wh	17,58 V	01:52:50
45	8,87 Ah	223,12 Wh	17,62 V	01:57:00
47				
50	9,01 Ah	227,30 Wh	17,66 V	01:58:50
56				
59	8,79 Ah	219,99 Wh	17,58 V	01:56:00
62	8,81 Ah	221,06 Wh	17,71 V	01:56:10
63	8,79 Ah	220,88 Wh	17,69 V	01:56:00

Bei den ersten Messungen liegen die entnommenen Ladungsmengen zwischen 8,36 und 8,97 Ah.

Auch bei den zweiten Messungen liegen die nutzbaren Ladungsmengen mit Ausnahme des Fahrzeuges 23 (1,59 Ah) im Bereich der Nominalkapazität. Die Akkus der Pedelecs 14, 47 und 56 konnte nicht vermessen werden, weil keine Daten zu den Fahrzeugen aufgenommen werden konnten.

## 5.2 Standby-Verbrauch

Wie bereits anhand des Abschnitts 4.4.1 „Charakteristik der Ladegeräte“ erkennbar ist, ist der Standby-Verbrauch der Ladegeräte ein Thema, dem Beachtung geschenkt werden sollte. In diesem Abschnitt soll besonders auf die Auswirkungen und die Einflussgrößen des Standby-Verbrauchs eingegangen werden.

Generell wird der Standby-Verbrauch maßgeblich durch die Leistung der Ladegeräte und durch die Zeit, über die das Gerät an den Steckdosen angeschlossen ist, bestimmt. Bei der Leistung der Ladegeräte handelt es sich um gerätespezifische Eigenschaften, die durch den Hersteller vorgegeben werden, während die Zeit, die ein Ladegerät angeschlossen ist, maßgeblich vom Verhalten des Nutzers abhängt.

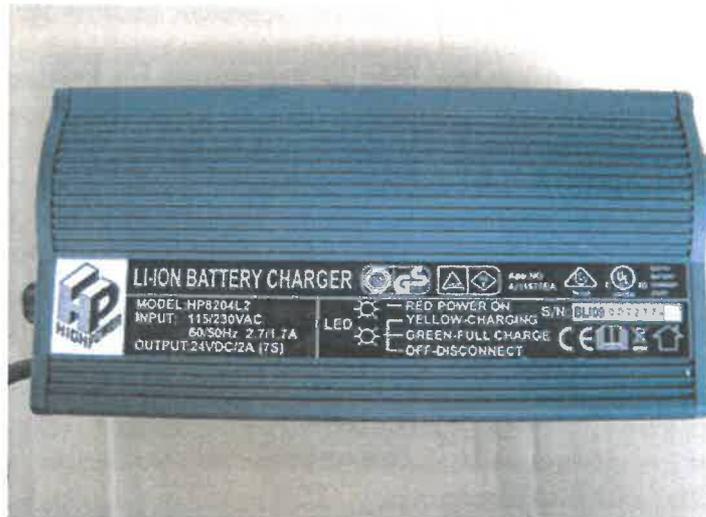
Ein Foto des Ladegeräts der Riese & Müller-Pedelecs Avenue ist in Abbildung 30 dargestellt. Es handelt sich um ein sehr kompaktes Ladegerät mit offensichtlich keinerlei mechanisch beweglichen Teilen und verfügt über eine maximale Leistung von 72 Watt auf der DC-Seite.

Abbildung 30: Lade-  
gerät der Rie-  
se & Müller Pedelects  
Avenue



Die Ladegeräte der Riese & Müller-Modelle Jetstream, Birdy und Delite entsprechen des in Abbildung 31 abgebildeten Modells. Bei diesem Modell handelt es sich um ein Ladegerät mit aktiver Kühlung in Form eines Lüfters. Die maximale DC-Leistung beträgt bei den Modellen Jetstream und Birdy 48 Watt und bei den Modellen Delite 74 Watt.

Abbildung 31: Lade-  
gerät der Rie-  
se & Müller Pedelects  
Jetstream und Delite

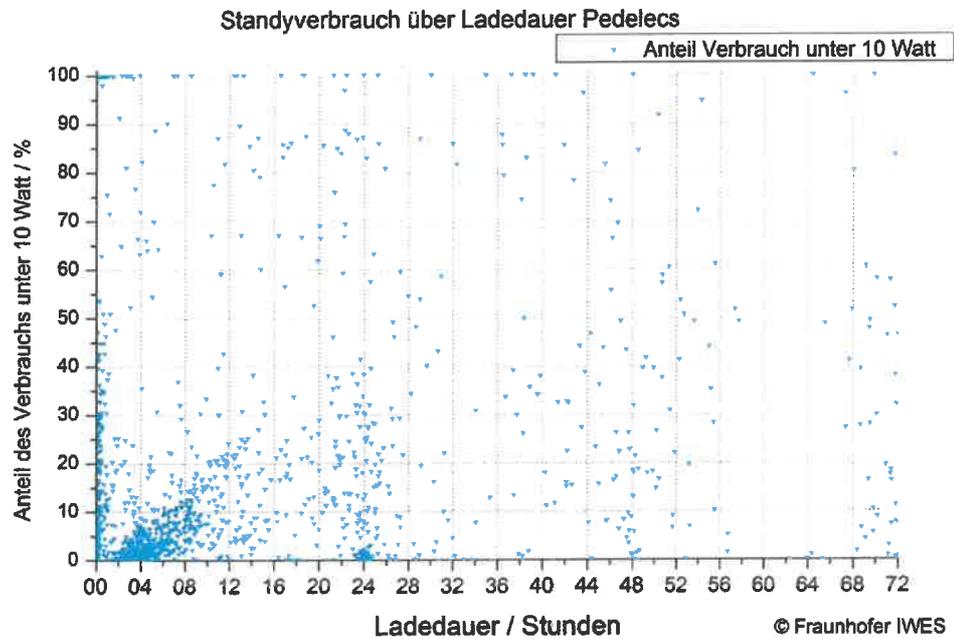


Entgegen der maximalen Leistung liegt die Leistung im Standby-Betrieb bei den untersuchten Ladegeräten zwischen 4,1 und 5,3 Watt.

### Auswirkung der Ladezeit

Um neben der Beschaffenheit der Ladegeräte den Einfluss der Ladezeit genauer aufzuzeigen, werden die Auswirkungen auf den Standby-Verbrauch gesondert ermittelt. Dazu sind die Datenpunkte in Abbildung 32 ausgewiesen.

Abbildung 32:  
Standby-Verbrauch  
abhängig von der  
Ladedauer der  
Pedelecs



Entsprechend der zuvor aufgezeigten Unterschiede bei der Standby-Leistung zeigen sich deutliche Unterschiede in der Datenverteilung. Der Anteil des Standby-Verbrauchs steigt mit der Ladedauer deutlich an.

Insgesamt zeigt sich klar, dass der Standby-Verbrauch stark von der Zeit abhängt, über die das Ladegerät an der Steckdose angeschlossen ist. Diese Zeit wird zwar schließlich durch den Nutzer festgelegt, jedoch kann der Nutzer in dem Umgang mit den Geräten beeinflusst werden. Dies zeigt deutlich der in Kapitel 4.4.2 „Verhalten der Nutzer“ herausgearbeitete Unterschied in der Ladedauer bei den beiden Ladegeräten. Durch welche Faktoren genau diese Unterschiede im Verhalten ausgelöst wird, sollte im Rahmen von sozialwissenschaftlichen Untersuchungen genauer geprüft werden.

Abschließend zeigt Tabelle 10 eine Berechnung, um die maximalen Auswirkungen eines jährlichen Standby-Betriebs mit den oben ermittelten Leistungen für den Energieverbrauch zu verdeutlichen. Als Stromkosten sind dabei 0,25 € / kWh angenommen:

	Standby-Leistung	Verbrauch in 24 Stunden	Verbrauch pro Jahr	Kosten pro Jahr
Einheit	Watt	kWh	kWh	€
Avenue	5,2	0,1248	45,55	11,39
Jetstream	4,1	0,0984	35,92	8,98
Birdy	4,1	0,0984	35,92	8,98
Delite	4,5	0,1080	39,42	9,86

Tabelle 10: resultierender Energieverbrauch durch Standby-Betrieb

Auch wenn die Verbräuche gering erscheinen, so sollte doch im Sinne der Energieeffizienz und der erwarteten hohen Stückzahlen diesem Thema frühzeitig Beachtung geschenkt werden. Eine Möglichkeit hierfür könnte die nachfolgend vorgestellte EU-Verordnung zum Standby-Verbrauch sein.

### **EU-Verordnungen zu Standby-Verbrauch**

Auf Basis der EU-Richtlinie 2005/32/EG, die in Deutschland seit März 2008 als »Energiebetriebene-Produkte-Gesetz« gültig ist, kann die Europäische Kommission Verordnungen zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen erlassen.

Dabei deckt die EU-Verordnung 1275 / 2008 allgemein den Stromverbrauch im Bereitschafts- und Aus-Zustand von elektrischen und elektronischen Haushalts- und Bürogeräte ab. Dabei sind auch Sportausrüstungen mit elektrischen und elektronischen Komponenten explizit eingeschlossen, was für eine Anwendbarkeit dieser Verordnung auf Pedelecs sprechen könnte, dies jedoch nicht eindeutig festlegt.

Nach dieser Verordnung dürfen ab 1 Jahr nach Inkrafttreten der Verordnung (im Januar 2009) die beschriebenen Geräte im „Aus-Zustand“ die Leistungsaufnahme 1,00 W nicht überschreiten. Je nach genauem Funktionsumfang im „Bereitschaftszustand“ darf in demselben die Leistungsaufnahme 1,00 oder 2,00 W nicht überschreiten. Vier Jahre nach Inkrafttreten der Verordnung, also im Januar 2013, halbieren sich diese Werte nochmals.<sup>35</sup>

Zusätzlich zur Verordnung 1275 / 2008 besteht die EU-Verordnung 278 / 2009, die Ökodesign-Anforderungen an die Leistungsaufnahme externer Netzteile bei Nulllast und ihre durchschnittliche Effizienz im Betrieb festlegt. In dieser Verordnung wird in Absatz 14 darauf Bezug genommen, dass beide Verordnungen auf externe Netzteile anwendbar wären, und es wird eine entsprechende Veränderung der Verordnung 1275/2008 vorgeschlagen, um die strengere Verordnung 278 / 2009 gelten zu lassen. Nach dieser Verordnung darf die Leistungsaufnahme bei Nulllast ein Jahr nach Inkrafttreten (Mai 2009) 0,50 Watt nicht überschreiten, und zwei Jahre nach Inkrafttreten sogar teilweise nur noch 0,30 Watt. Prinzipiell erscheinen diese Regeln für die Ladegeräte von Pedelecs anwendbar, jedoch werden im Artikel 1, Satz 2 c) Batterieladegeräte explizit aus dem Gültigkeitsbereich der Verordnung ausgeschlossen. Dabei wird ein Batterieladegerät als ein Gerät bezeichnet, „an dessen Ausgangsschnittstelle unmittelbar eine abnehmbare Batterie angeschlossen wird“.<sup>36</sup>

Damit sind Ladegeräte von Pedelecs eindeutig aus der Gültigkeit dieser Verordnung ausgeschlossen und es wird nicht klar, ob es überhaupt geltende Regeln für die Effizienz von Batterieladegeräten gibt. Die Rechtslage in diesem Bereich

<sup>35</sup> <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:339:0045:0052:de:PDF>; EU-Verordnung Nr. 1275/2008 abgerufen am 13.10.2011

<sup>36</sup> <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:093:0003:0010:DE:PDF>; EU-Verordnung Nr. 278/2009 abgerufen am 13.10.2011

sollte genauer geprüft werden, da im Rahmen des Projekts die Dringlichkeit einer solchen Regelung eindeutig belegt wurde.

### 5.3 Steckverbindungen

Das Projekt Bike + Business 2.0 nutzt fünf verschiedene Pedelec-Modelle eines Herstellers. Diese sind mit elektrischen Antrieben verschiedener Lieferanten ausgestattet, deren nominale Motorspannungen 24 V oder 36 V betragen. Damit unterscheiden sich auch die Nennspannungen der zugehörigen Akkus und Ladegeräte.

Bisher existiert kein nationaler oder internationaler Standard für die elektrische Verbindung von Akku und Ladegerät mit Hilfe einer Stecker-Kupplung. Dies hat zunächst zur Folge, dass die Hersteller von Pedelecs eine Vielzahl von Stecksystemen im Gebrauch haben, wie **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** exemplarisch zeigt.

Abbildung 33:  
Auswahl von zwei  
36-V-Ladegeräten  
und zugehörigen  
XLR-Steckern  
(rechts) zum An-  
schluss des Akkus



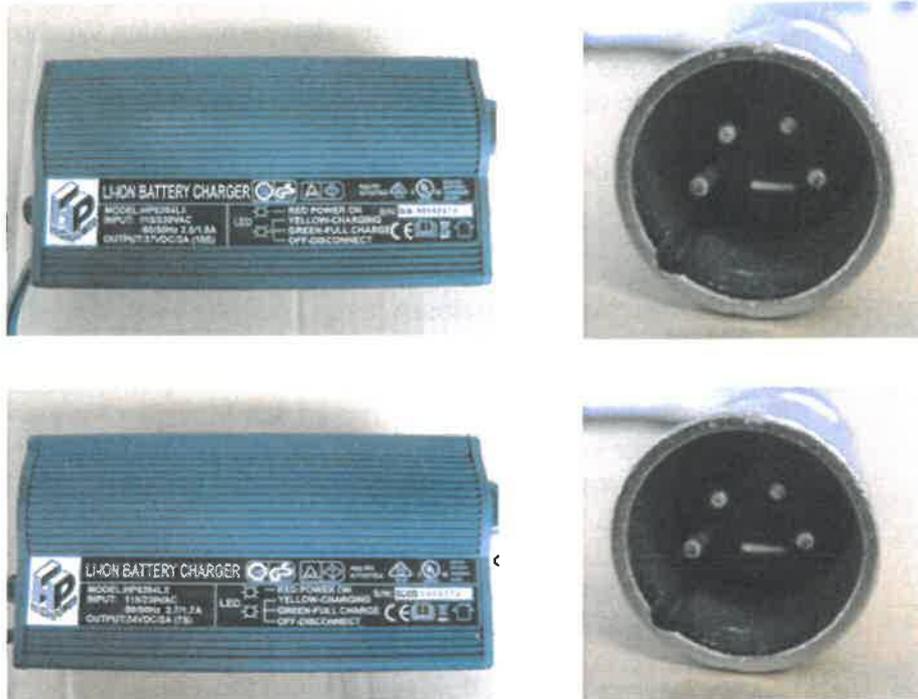
Diese Vielfalt zwingt die Nutzer, jeweils das zum Pedelec zugehörige Ladegerät bei ihren Fahrten mitzuführen, wenn sie sicherstellen wollen, dass die Akkus an jeder Schuko Steckdose wieder aufgeladen werden können.

Für den Fall, dass künftig eine öffentlich nutzbare Ladeinfrastruktur aufgebaut werden soll, würde diese Vielfalt ein großes Hemmnis bedeuten. Es wäre eine

Vielfalt von Fragen zu beantworten, z.B.: Welche DC-Steckersysteme müssen an den Ladestellen bereitgestellt und auf welche kann verzichtet werden? Auch wäre mit höheren Kosten zu rechnen.

Neben der Komfortfrage sind auch Fragen der Sicherheit mit der Vielfalt der Steckverbinder verknüpft. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt zwei Ladegeräte eines Herstellers. Das linke Ladegerät stellt mit 36-V-Ladespannung während das untere Gerät 36 V zur Verfügung stellt. Die DC-Stecker sind scheinbar identisch.

Abbildung 34:  
Auswahl von zwei  
Ladegeräten mit 36-  
V-Ladespannung  
(oben) und 24-V-  
Ladespannung  
(unten) samt der  
XLR-Stecker (rechts)  
zum Anschluss des  
Akkus



Grundsätzlich kann damit nicht ausgeschlossen werden, dass Ladegeräte mit Akkus verbunden werden, deren Nennspannung nicht zueinander passen.

Aus Sicherheitsgründen ist es daher zwingend geboten, dass notwendige Schutzmaßnahmen gegen das Verbinden von elektrisch inkompatiblen Geräten vereinbart und umgesetzt werden. Dies könnte durch einen allgemein gültigen Standard für Pedelec-Ladestecker oder durch den Einsatz von intelligenten Ladegeräten mit Spannungserkennung geleistet werden.

## 6 Weitere Erfahrungen aus dem Betrieb

Laut Bericht des Hersteller Riese & Müller sind über den Versuchszeitraum an den 58 intensiv begleiteten Fahrrädern keine größeren mechanischen oder elektrischen Schäden festgestellt worden.

Bei den Modellen mit Kettenschaltung (Birdy, Delite HS+HT, Jetstream) liegt der Verschleiß systembedingt durch den permanenten Wechsel der Kette auf den Ritzeln und dadurch provozierten Schräglauf der Kette höher. Hier ist ein Wechseln der Ketten zwischen 2.500 und 3.000 km notwendig.

Aufgrund der geringen Belastung auf das Antriebssystem sind beim Modell Avenue mit Schaltungsnahe keine deutlichen Abnutzungserscheinungen sichtbar.

Der Verschleiß der Bremsen hängt wesentlich von der Fahrweise ab und schwankt daher im Einzelnen stark. Bei den Scheibenbremsen der Modelle Jetstream und Delite HT+HS liegt die Verschleißgrenze bei ca. 3.000 km aufwärts. Bei den V-Brakes (Felgenbremse an den Modellen Birdy und Avenue) tritt ein deutlicher Verschleiß über 1.500 km ein. Bei der Magura HS33 (hydraulische Felgenbremse am Birdy) sind die Bremsbeläge nach 2.500 km ca. zur Hälfte verbraucht.<sup>37</sup>

Über den systematischen Bericht der 58 Pedelecs hinaus gibt es weitere Erfahrungen aus der gesamten Flotte mit 151 Pedelecs.

Im Rahmen der vom Planungsverband RheinMain am 29. September 2011 in Frankfurt durchgeführten Abschlussveranstaltung berichten einzelne Nutzer über den Austausch von Antriebskomponenten und Softwareupdates. Auch ein Akkupaket musste ersetzt werden, da die Verklebung des Gehäuses sichtbar defekt war.

Nach Rücksprache mit dem Hersteller Riese&Müller werden die von Kunden beanstandeten Pedelecs vor Ort geprüft und offensichtlich defekte Komponenten getauscht. Eine eventuell notwendige Systemoptimierung kann ebenfalls vor Ort durch ein Softwareupdate und geänderte Parametrierungen erricht werden.

Abschließend ist festzustellen, dass Pedelecs im Vergleich zu konventionellen Fahrrädern technisch komplexer sind. Ungenügendes Zusammenspiel von einzelnen Komponenten kann in verschiedenen Ursachen begründet sein. Diese können sowohl in der Hard- als auch der Software liegen.

<sup>37</sup> [Abschlussbericht zur Begleitforschung](#); Fahrradhersteller Riese & Müller; 20.09.2011

## 7 Ausblick

Insgesamt steht eine große Datenmenge zur umfangreichen Auswertung zur Verfügung, die über die hier durchgeführten Untersuchungen weitergehende Auswertungen ermöglicht.

Aus Datenschutzgründen sind im Rahmen der technischen Begleitforschung bewusst keine personenbezogenen Daten erhoben und abgespeichert worden. Grundsätzlich ist eine Zusammenführung der technischen und sozialwissenschaftlichen Erhebungen möglich. Hieraus lassen sich weitergehende Erkenntnisse über die Nutzung von Pedelecs gewinnen.



**Bericht Technische Begleitforschung**  
Einsatz elektrisch betriebener Paketverteil-  
Fahrzeuge im innerstädtischen Lieferverkehr





Gefördert durch:



Koordiniert durch:



Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) unter dem Förderkennzeichen 03KP5511 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

# Impressum

## Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Windenergie und  
Energiesystemtechnik IWES  
Institutsteil Kassel  
Königstor 59  
34119 Kassel  
[www.iwes.fraunhofer.de](http://www.iwes.fraunhofer.de)

## Projektleitung

Dipl.-Ing. Markus Landau  
Telefon: +49 561 7294-243  
Telefax: +49 561 7294-200  
[markus.landau@iwes.fraunhofer.de](mailto:markus.landau@iwes.fraunhofer.de)

## Bearbeiter

Björn Born  
Dipl.-Ing. Stephan Funke  
Oliver Schömann

Kassel, Dezember 2011

# Inhalt

	<b>Abbildungen</b>	<b>iii</b>
<b>0</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Auswertung</b>	<b>2</b>
2.1	Verwendete Daten	2
2.2	Methodik	3
2.3	Ergebnisse	4
2.3.1	Streckenbezogener Verbrauch	4
2.3.2	Effizienz beim Laden	11
<b>3</b>	<b>Ausblick</b>	<b>12</b>
	<b>Anhang</b>	<b>13</b>

## Abbildungen

Abbildung 1:	Modem UPS	2
Abbildung 2:	Verbrauch über den Zeitraum Januar 2010 bis Juni 2011 in München	5
Abbildung 3:	Verbrauch über den Zeitraum Januar 2010 bis Juni 2011 in Frankfurt	5
Abbildung 4:	Verbrauch über den Zeitraum Januar 2010 bis Juni 2011 in Nürnberg	5
Abbildung 5:	Verbrauch über den Zeitraum Februar 2010 bis Juni 2011 in Düsseldorf	6
Abbildung 6:	Verbrauch an Batterie- und Netzenergie, Restladung und zurückgelegte Distanz am Standort Düsseldorf	7
Abbildung 7:	Verbrauch an Batterie- und Netzenergie, Restladung und zurückgelegte Distanz am Standort Frankfurt	7
Abbildung 8:	Verbrauch an Netzenergie unterschieden nach Stadt und Fahrer	9
Abbildung 9:	Verbrauch an Batterieenergie unterschieden nach Stadt und Fahrer	9
Abbildung 10:	Energieverbrauch pro geladener Kapazität	11



## 0 Zusammenfassung

Für den vorliegenden Kurzbericht werden Daten der Fahrzeuge #49500 bis #49505 aus Köln, München, Hamburg, Frankfurt, Nürnberg und Düsseldorf ausgewertet. Es liegen Einträge des Fahrtenbuchs und Ablesewerte der Stromzähler vor. Die manuell aufgezeichneten Werte des Stromzählers sind teilweise lückenhaft, wodurch manche Daten nicht ausgewertet werden können und die Datenqualität insgesamt nicht optimal ist.

Anhand der ermittelten durchschnittlich zurückgelegten Streckenlänge von 48,88 km und Restkapazität der Batterien von 47,66 % zeigt sich die gute Eignung der Fahrzeuge für den Paketzustellbetrieb im innerstädtischen Bereich.

Der Energieverbrauch schwankt zwischen den untersuchten Städten sehr stark. So liegt der Durchschnitt in Frankfurt mit 0,837 kWh/km deutlich höher als in Düsseldorf mit 0,66 kWh/km. Über die gesamte Flotte beträgt der Durchschnitt 0,76 kWh/km.

Bei genauer Betrachtung zeigt sich, dass die deutlich erhöhten Werte vor allem durch Effekte über das Wochenende erreicht werden. So liegt der Verbrauch an Freitagen in Frankfurt und Nürnberg bei ca. 200 % der sonstigen Werktage, während der Verbrauch in Düsseldorf über die Woche vergleichsweise stabil ist. Die Verbrauchswerte ergeben sich aus den Differenzen der Zählerwerte bei jeweiligem Fahrtbeginn. Somit entsteht ein erhöhter Verbrauch am Freitag durch den zusätzlichen Verbrauch über das gesamte Wochenende. Da sich die gefahrenen Streckenlängen oder die Entladetiefe über die Woche nicht unterscheiden, ist zu schlussfolgern, dass der Stromzähler am Wochenende einen zusätzlichen Energiebezug erfasst. Dieser findet sich dann in der Auswertung des Freitags wieder. Es ist vor Ort zu ermitteln, ob dieser Mehrverbrauch aus dem Verhalten der Ladeelektronik herrührt oder andere Ursachen hat.

Außerdem wird versucht einen Einfluss der Fahrweise auf den Verbrauch anhand der unterschiedlichen Fahrer zu ermitteln. Zwar treten zwischen den Fahrern sehr große Differenzen auf, da aber jeweils nur relativ wenige Datenpunkte vorhanden sind, können die Differenzen nicht eindeutig auf die Fahrweise zurückgeführt werden.

Abschließend erfolgt eine Untersuchung über den Einfluss der Entladetiefe auf den Wirkungsgrad des Ladevorgangs. Hierbei wird deutlich, dass das Verhältnis aus benötigter Netzenergie pro zu ladender Kapazität mit steigendem Ladezustand bei Ladebeginn zunimmt. Über die gesamten betrachteten Ladevorgänge ergibt sich ein durchschnittlicher Ladewirkungsgrad von 70,8 %.

# 1 Einleitung

Im Rahmen des Förderprogramms Modellregion Elektromobilität hat der Paket- und Express-Dienstleister UPS seit Mitte Mai 2009 in Deutschland sechs Elektro-LKW für den Zustellbetrieb in Stadtzentren in Betrieb genommen.<sup>1</sup> Die Fahrzeuge stammen vom englischen Hersteller Modec und werden unter anderem bereits seit April 2008 bei UPS in London im täglichen Einsatz getestet.

Abbildung 1:  
Modec UPS



Die Fahrzeuge sind ausgerüstet mit einem Lithium-Akku mit einer Nennkapazität von 51 kWh, die für eine Reichweite von 90 bis 100 Kilometer reicht. Damit sind die Fahrzeuge für Großstadtzentren besonders sinnvoll einsetzbar. Die 7,15 m langen, 2,03 m breiten und 2,65 m hohen Fahrzeuge werden von einem 75 kW starken Motor angetrieben, der das Fahrzeug bis maximal 80 km/h beschleunigt.<sup>2</sup> Durch Rekuperation von Bremsenergie ist das Fahrzeug insbesondere für die im städtischen Lieferverkehr typischen häufigen Starts und Stopps optimal geeignet.<sup>3</sup>

Im Rahmen des Programms Modellregion Elektromobilität werden neben den direkten Erfahrungen zusätzlich Daten zur Nutzung gesammelt, die im nun vorliegenden Bericht ausgewertet werden.

## 2 Auswertung

### 2.1 Verwendete Daten

Für die vorliegende Auswertung werden manuell erfasste Aufzeichnungen aus Köln, München, Hamburg, Frankfurt, Nürnberg und Düsseldorf der Fahrzeuge

<sup>1</sup> [http://www.now-gmbh.de/uploads/media/2010-12-23\\_Weihnachten\\_wird\\_gruener.pdf](http://www.now-gmbh.de/uploads/media/2010-12-23_Weihnachten_wird_gruener.pdf), abgerufen am 16.6.2011

<sup>2</sup> [http://www.n24.de/news/newsitem\\_5049111.html](http://www.n24.de/news/newsitem_5049111.html), abgerufen am 16.6.2011

<sup>3</sup> [http://www.now-gmbh.de/uploads/media/2010-12-23\\_Weihnachten\\_wird\\_gruener.pdf](http://www.now-gmbh.de/uploads/media/2010-12-23_Weihnachten_wird_gruener.pdf), abgerufen am 16.6.2011

#49500 bis #49505 aus dem Zeitraum Januar 2010 bis Ende Juni 2011 verwendet.

Jeweils liegen Daten eines Fahrtenbuchs zu Fahrer und Route sowie Kilometerstand und Ladezustand vor Fahrtbeginn und nach Fahrtende vor.

Die außerdem vorhandenen Zählerstände der Stromzähler, welche vor Beginn der Fahrten aufgenommen wurden, lassen sich über die Datumsangabe den entsprechenden Fahrten zuordnen.

Teilweise liegen die Zählerstände nur unvollständig vor, so dass sich Lücken in der Auswertung des Energieverbrauchs finden.

Insbesondere die Aufzeichnungen der Zählerstände aus Hamburg und Köln sind sehr unvollständig, weshalb für diese Standorte in großen Teilen keine Auswertung vorgenommen werden kann.

## 2.2 Methodik

Aus den vorhandenen Daten ergeben sich, soweit vorhanden, für jeden Tag die genutzte Kapazität, die zurückgelegte Strecke und der Stromverbrauch. Die Bestimmung des Stromverbrauchs erfolgt durch die Differenz zwischen dem Zählerstand bei Start der Route und dem nächsten Ablesen. Insbesondere bei längeren Standzeiten steigt der dadurch ermittelte Stromverbrauch deutlich an, was zu einer starken Verfälschung der Messwerte führt. Dadurch entstehen bei der Verbrauchsauswertung viele Ausreißer nach oben. Vor der Auswertung erfolgt daher ein Ausschluss aller Datenpunkte mit einem Verbrauch unter 0 kWh/km und über 2 kWh/km.

Aufbauend auf den oben dargestellten Grundwerten wird für jeden Tag der streckenbezogene Verbrauch in kWh/km berechnet und der kapazitätsbezogene Energieverbrauch in kWh/% der Kapazität beim Aufladen ermittelt.

Der Verbrauch kann somit über der gesamten Messdauer betrachtet werden, um eventuelle jahreszeitliche Schwankungen zu verdeutlichen.

Um mögliche Differenzen im Wochenverlauf darstellbar machen zu können, erfolgt eine Zuordnung der Tageswerte zu den einzelnen Wochentagen.

Weiterhin erfolgt eine Untersuchung des Einflusses der verschiedenen Fahrer hinsichtlich des Verbrauchs. Hierbei wird nach den verschiedenen Städten unterschieden, jedoch nicht nach verschiedenen Routen, Wochentagen oder Jahreszeiten. Differenzen im jeweiligen Verbrauch sind somit nicht ausschließlich mit der Fahrweise zu erklären.

Abschließend wird der kapazitätsbezogene Energieverbrauch über der Tiefe der Entladung untersucht, um eventuelle Abhängigkeiten der Effizienz beim Laden darstellen zu können.

## 2.3 Ergebnisse

### 2.3.1 Streckenbezogener Verbrauch

#### **Betrachtung über dem gesamten Zeitraum**

Der streckenbezogene Verbrauch für die vier Städte München, Frankfurt, Nürnberg und Düsseldorf ergibt sich wie in Abbildung 4 und Abbildung 5 grafisch dargestellt.

Es werden jeweils Unterschiede deutlich, sowohl in den Durchschnittswerten als auch in der Verteilung über das Jahr.

Insgesamt wird bei allen Städten ersichtlich, dass der Großteil der Datenpunkte im Bereich zwischen 0,25 bis 1 kWh/km liegt, es jeweils jedoch beträchtliche Mengen an Ausreißern nach oben gibt. Dabei werden die durch längere Standzeiten verursachten Ausreißer bereits zuvor manuell herausgefiltert. Durch die verbliebenen Ausreißer, welche besonders systematisch in Frankfurt und Nürnberg auftreten, kommt es zu einer deutlichen Erhöhung des Durchschnittswertes. Dies sollte bei den nachfolgenden Aussagen berücksichtigt werden.

Der durchschnittliche Verbrauch ist von Stadt zu Stadt unterschiedlich. So ist der Verbrauch in Düsseldorf meist unter 0,7 kWh/km während er in Frankfurt meist über 0,85 kWh/km liegt. Dies ist sicherlich auf regionale Gegebenheiten wie zum Beispiel Streckenprofile zurückzuführen. Des Weiteren ist jedoch auch eine Erhöhung des durchschnittlichen Verbrauchs durch die systematisch auftretende Erhöhung an bestimmten Wochentagen ersichtlich.

Auch im Verhalten über die Jahreszeiten werden Unterschiede zwischen den Städten deutlich. In Frankfurt und Düsseldorf ist ein Schwanken des Verbrauchs über die Jahreszeiten zu erkennen, wobei im Winter mehr als im Sommer verbraucht wird. Ähnlich verhält es sich in Nürnberg. Da es in dieser Zeit allerdings auch überproportional viele Ausfälle und weniger Einsätze gab, sind für diesen Zeitraum deutlich weniger Datenpunkte verfügbar, was die Verlässlichkeit der Aussage schmälert.

Abbildung 2:  
Verbrauch über den  
Zeitraum Januar  
2010 bis Juni 2011  
in München

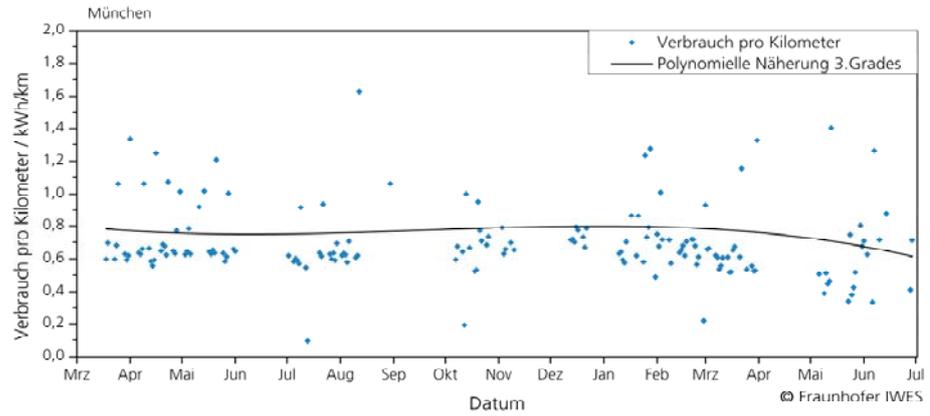


Abbildung 3:  
Verbrauch über den  
Zeitraum Januar  
2010 bis Juni 2011  
in Frankfurt

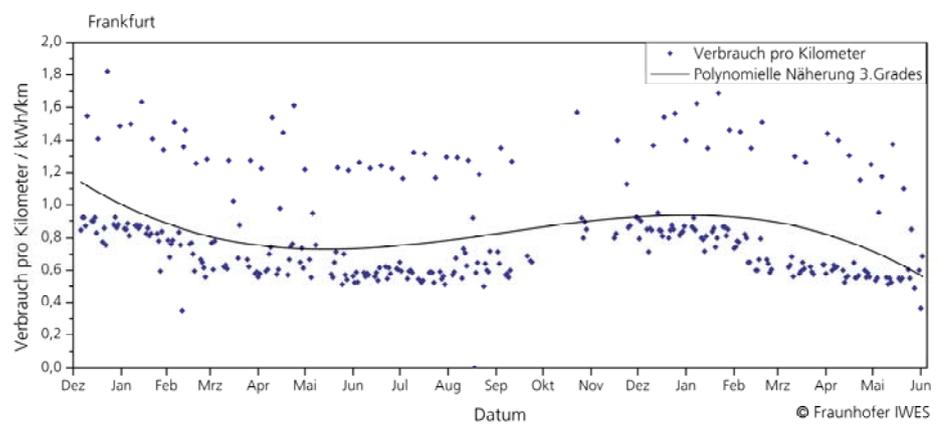


Abbildung 4:  
Verbrauch über den  
Zeitraum Januar  
2010 bis Juni 2011  
in Nürnberg

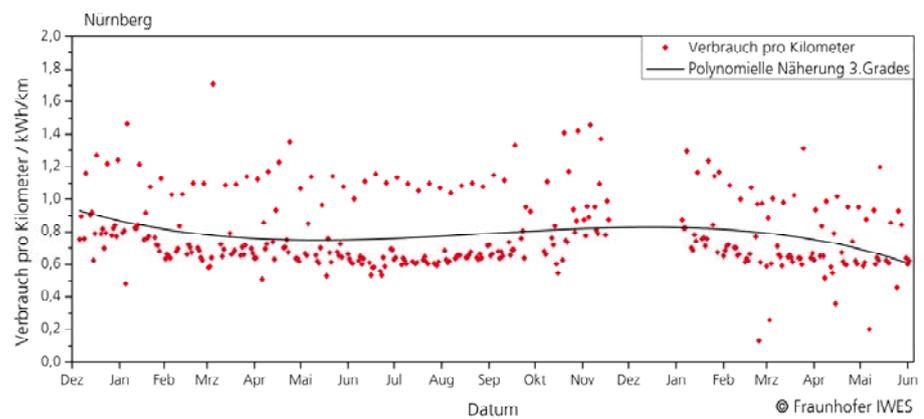
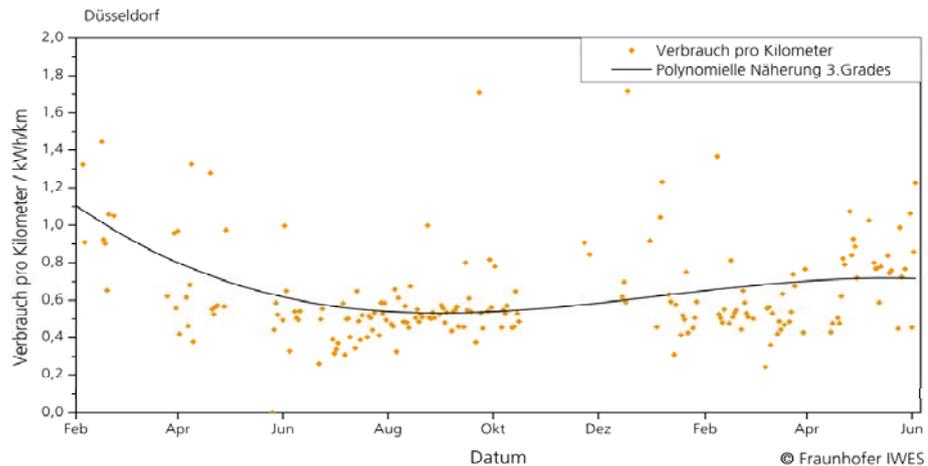


Abbildung 5:  
Verbrauch über den  
Zeitraum Februar  
2010 bis Juni 2011  
in Düsseldorf



### Betrachtung unterschieden nach Wochentagen

Informationen zu den möglichen Ursachen der großen Unterschiede zwischen den Städten finden sich bei der auf den Wochentag bezogenen Auswertung in Abbildung 6 und Abbildung 7.

In Düsseldorf und München ist der Verbrauch über die gesamte Woche vergleichbar, wofür in Abbildung 6 ein Beispiel gegeben ist. Ausgeprägte Unterschiede zwischen den Wochentagen finden sich indes in Frankfurt und Nürnberg, wobei der Verbrauch am Freitag bis zum Faktor 2 über den sonstigen Wochentagen liegt. Dies kann in Abbildung 7 nachvollzogen werden. Die Ursachen können nur vermutet werden, da der Messaufbau nicht exakt bekannt ist. Die Diagramme zeigen den Verbrauch an Netzenergie und Batterieenergie, die zurückgelegte Distanz und den Restladezustand der Batterie.

Abbildung 6:  
Verbrauch an Batterie- und Netzenergie, Restladung und zurückgelegte Distanz am Standort **Düsseldorf**

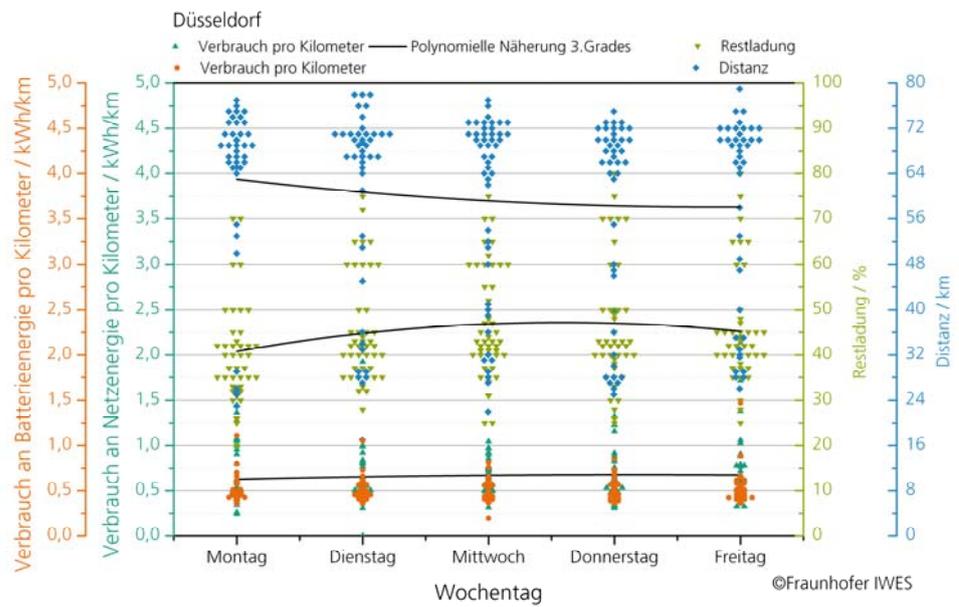
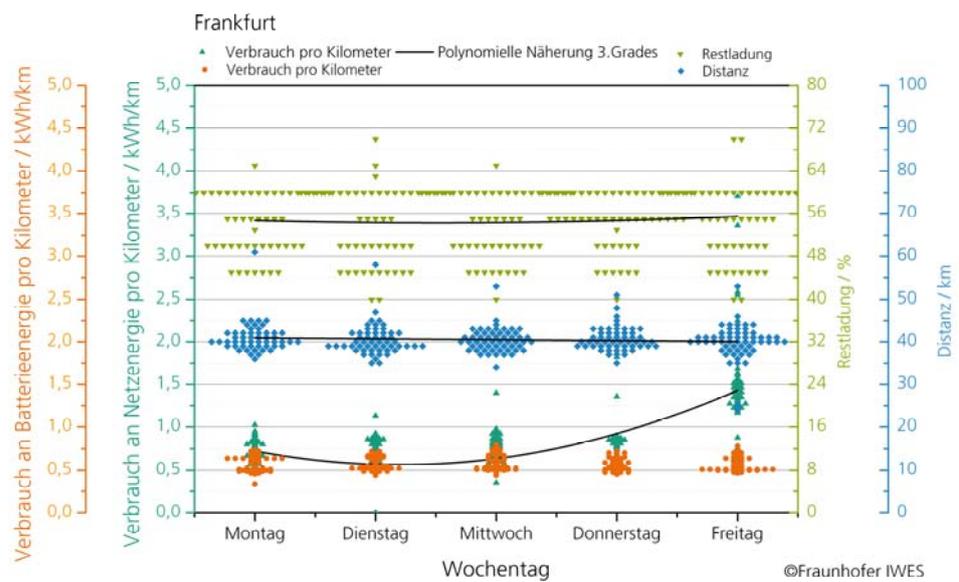


Abbildung 7:  
Verbrauch an Batterie- und Netzenergie, Restladung und zurückgelegte Distanz am Standort **Frankfurt**



Anhand von Abbildung 7 wird deutlich, dass sich der Mehrverbrauch am Freitag in Frankfurt einzig im netzbezogenen Verbrauch zeigt. Sowohl die Streckenlänge, die verbrauchte Batterieenergie als auch die im Akku verbleibende Restladung nach Beenden der Route unterscheiden sich zwischen den Wochentagen praktisch überhaupt nicht. Ein Einfluss der Verkehrssituation oder sonstiger durch die Fahrt bedingte Effekte kann damit ausgeschlossen werden.

Zentral für die Suche nach einer Ursache könnte stattdessen die unterschiedliche Standzeit zwischen den verschiedenen Wochentagen sein. So wird der Verbrauch des Freitags aus der Differenz der Stromzählerstände zwischen Montagmorgen und Freitagmorgen ermittelt. Würde einzig der Akku vollgeladen und sich das Ladegerät nach dem Vollladen abschalten, könnte dies jedoch keinen Unterschied ausmachen. Auffällig ist, dass der Fall der erhöhten Energieaufnahme nur in Frankfurt und Nürnberg zu beobachten ist. In Hamburg, Düsseldorf, Köln und München wird über das Wochenende nicht übermäßig zusätzliche Energie aufgenommen.

Die Tatsache, dass die Werte am Freitag doppelt so hoch sind, ist beachtlich. In einem normalen Ladezyklus unter der Woche wird nur halb so viel Energie verbraucht, wie am Wochenende an dem der gleiche Ladevorgang erfolgt zu dem der Standby-Verbrauch des Ladegeräts lediglich über einen längeren Zeitraum einen signifikanten Beitrag leistet. Dies deutet auf einen sehr hohen Standby-Verbrauch der entsprechenden Ladestationen hin.

Die Informationen, die zu den Standorten vorliegen, reichen leider nicht aus, um diese Auffälligkeit genauer erklären zu können.

### **Betrachtung unterschieden nach Fahrern**

Wie bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor kann der Verbrauch eines Elektrofahrzeugs durch die Fahrweise erheblich beeinflusst werden. Um den Einfluss verschiedener Fahrweisen überprüfen zu können, werden die einzelnen Tageswerte den verschiedenen Städten und Fahrern zugeordnet und dann insgesamt verglichen. Rund die Hälfte der Fahrer muss ausgeschlossen werden, da sie zu wenige Fahrten absolvierten, um eine zuverlässige Auswertung zuzulassen. Die Ergebnisse des Vergleichs sind in Abbildung 8 und Abbildung 9 dargestellt.

Abbildung 8:  
Verbrauch an **Netz-**  
**energie** unterschieden  
nach Stadt und  
Fahrer

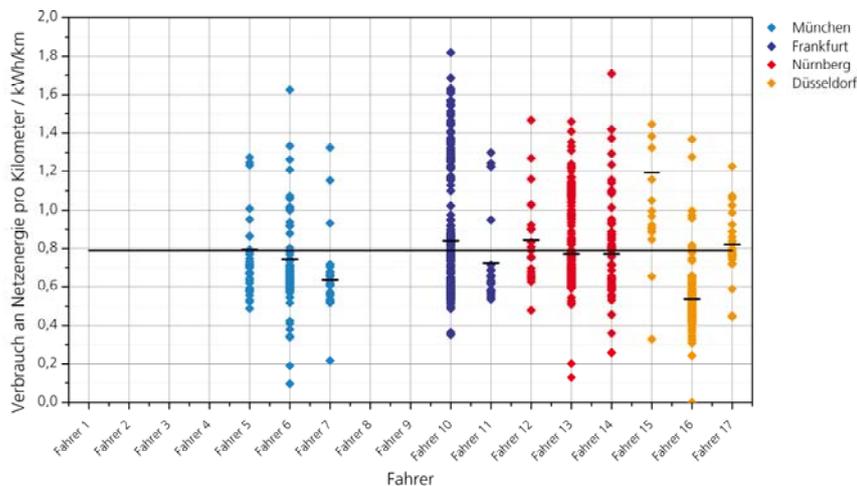
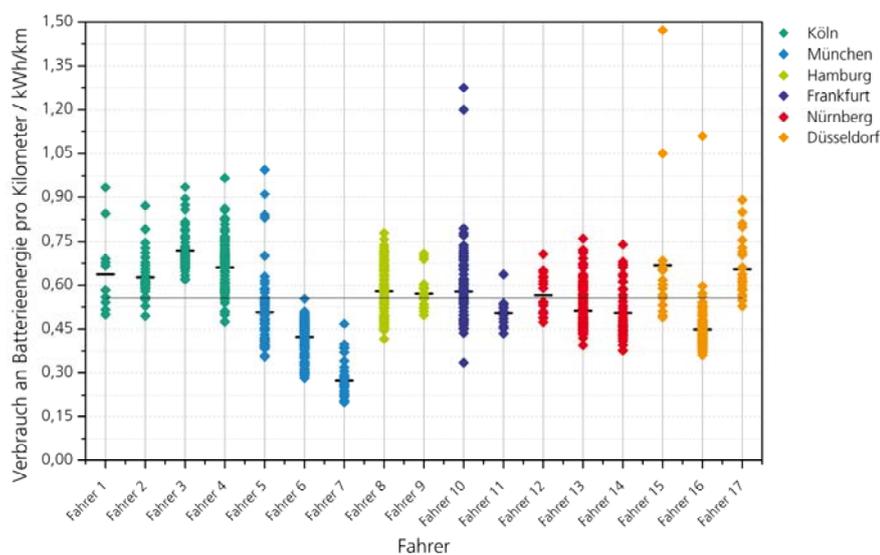


Abbildung 9:  
Verbrauch an **Batte-**  
**rieenergie** unterschieden  
nach Stadt und  
Fahrer



Anhand der dargestellten Durchschnittswerte in Abbildung 8 ist zu erkennen, in wie weit sich die Ergebnisse der verschiedenen Fahrer voneinander unterscheiden. Es ist ersichtlich, dass die Stadt, in der die Fahrten durchgeführt wurden, einen Einfluss auf den Durchschnittsverbrauch hat. So liegen in München alle Werte auf oder unter dem globalen Durchschnitt, während Nürnberg und Düsseldorf eher eine leichte Tendenz über den Durchschnitt hat. Die Angaben in Abbildung 8 sind im Bezug auf tatsächlichen Energieverbrauch als genauer anzusehen als die Angaben in Abbildung 9, obwohl bei Abbildung 8 der Fehler mit erhöhtem Energieverbrauch durch das Wochenende nicht herausgerechnet ist.

Abbildung 9 zeigt eine Darstellung des Verbrauchs an Batterieenergie. Diese Angaben werden aufgrund der nur sehr ungenau möglichen Angaben der Ladezustände nur qualitativ zur Beurteilung herangezogen. Die beiden Standorte Köln und Hamburg, die aufgrund der fehlenden Datensätze vom Stromzähler bisher noch nicht in die Auswertung einbezogen werden konnten, sind in diesem Diagramm mit abgebildet. Der Standort Köln liegt mit allen Durchschnittswerten, teilweise sehr deutlich, über dem allgemeinen Durchschnitt. Die Fahrer des Standortes Hamburg befinden sich mit ihren Fahrten nur leicht über dem Durchschnitt. Die üblichen Standorte verhalten sich in dieser Darstellung ähnlich wie in Abbildung 5. Der Durchschnittswert liegt aufgrund der nicht enthaltenen Verluste und der nicht enthaltenen Auffälligkeiten bezüglich des Wochenendenergiebedarfs unter dem Durchschnittswert aus Abbildung 8.

Außerdem zeigt die riesige Bandbreite der Werte der jeweiligen Fahrer, dass es neben der Fahrweise andere, zentrale Einflüsse auf den Verbrauch gibt. Insbesondere ist dabei wohl der Unterschied zwischen den Wochentagen zu nennen. Leider sind in keiner Stadt zwei Fahrer vertreten, die jeweils so viele Fahrten absolviert haben, dass man den Einfluss sonstiger Faktoren vernachlässigen könnte. Bei den vorliegenden Daten können die Abweichungen auch bereits aus überdurchschnittlich vielen Fahrten an Freitagen oder ähnlichen Ursachen resultieren.

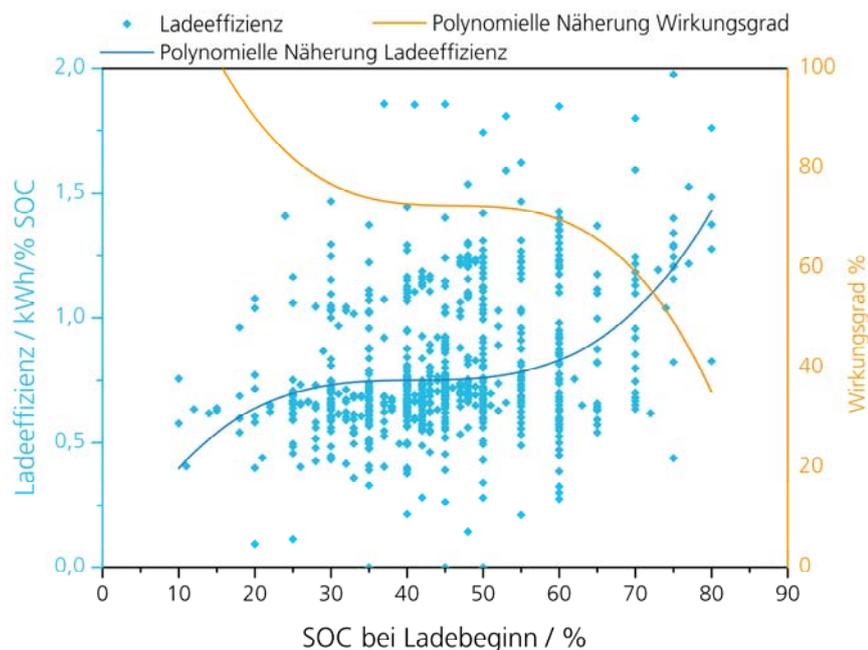
Für eine genauere Einschätzung des Einflusses der Fahrweise könnte die Betrachtung unter Ausschluss aller Tage mit anschließender Standzeit erfolgen. Aber auch dann ist die Datenlage für einen Vergleich innerhalb einer einzelnen Stadt zu gering.

### 2.3.2 Effizienz beim Laden

Um den Energiebedarf für die Ladung des Akkus zu bestimmen, wird der gemessene Stromverbrauch ins Verhältnis zu der zu ladenden Kapazität gesetzt. Es kann somit die Effizienz des Ladevorgangs bestimmt werden.

Um die Menge an auswertbaren Datenpunkten zu vergrößern, erfolgt eine Zusammenführung aller berechneten Werte. Die Ergebnisse sind in Abbildung 10 dargestellt.

Abbildung 10:  
Energieverbrauch  
pro geladener Kapazität



Insbesondere die Darstellung des berechneten Näherungspolynoms zeigt eine deutliche Tendenz in den Daten. So ist der Energieverbrauch pro geladenem Prozent der Kapazität umso niedriger, desto tiefer die Batterie zuvor entladen wurde. Dies hängt mit den Ladeverfahren von Batterien zusammen. So können Lithiumbatterien bis zu einem gewissen Ladestand mit konstant großer Leistung geladen werden. Die letzten Prozent sind nur noch mit sehr geringer Leistung über einen langen Zeitraum aufladbar. Da der Eigenverbrauch der Ladeelektronik jedoch annähernd gleich bleibt, wächst der Anteil am Gesamtenergieverbrauch deutlich. So werden bei hohem Ladestand schlechtere Ladewirkungsgrade erreicht.

Der dargestellte Wirkungsgrad wird auf der Grundlage einer Nennkapazität von 51 kWh berechnet.

Als Durchschnitt über die betrachteten Ladevorgänge werden 0,78 kWh/%SOC als Mittelwert der durchgeführten Ladevorgänge bestimmt. Mit Hilfe dieses Wertes ist eine ungefähre Abschätzung des nötigen Energiebedarfs für eine Ladung bei bekanntem SOC möglich. Jedoch ist dies allenfalls als Richtwert zu

nutzen. Dieser Wert ist besonders durch die Veränderung des Ladevorgangs im oberen SOC-Bereich mit einem Fehler behaftet. Hinzu kommt noch die deutliche Abweichung der aufgenommenen Werte, welche im Diagramm deutlich wird.

Leider wird in der Grafik jedoch auch deutlich, dass die Daten relativ ungenau sind, da alle Werte einer Ladeeffizienz von unter 0,51 kWh/% der Kapazität einem Wirkungsgrad von mehr als 100 % entsprechen, was physikalisch ausgeschlossen ist. Ein bedeutender Grund für das Auftreten dieser Fehler dürfte die Ungenauigkeit bei der Berechnung, der Wertaufzeichnung und bei der Anzeige des Ladezustands sein.

### 3 Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen deutlich, dass elektromobiler Lieferverkehr energieeffizient ist.

Werden zukünftig weitere Fahrzeuge an einem Standort eingesetzt, so ergeben sich neue Schwerpunkte im Bereich der Flottenoptimierung und der Einbindung in das Energiemanagement der Niederlassungen.

# Anhang

## **Hinweise zur Verbesserung der Datenlage**

Im Rahmen der Auswertung der vorliegenden Daten werden verschiedene Punkte identifiziert, die für eine zukünftig verbesserte Auswertung beachtet werden sollten:

- Die Aufzeichnung der Daten sollte möglichst in nur einer Datei pro Fahrzeug erfolgen. Die Aufteilung in einzelne Monatsdateien bringt mögliche Fehlerquellen beim erneuten Zusammenführen der Daten mit sich.
- Die Werte des Stromzählers sollten ebenfalls mit in die Datei des Fahrtenbuchs eingetragen werden, um Fehler beim nachträglichen Zusammenführen zu vermeiden.
- Wenn möglich sind die Werte des Stromzählers in regelmäßigen Abständen aufzuzeichnen, um den Verbrauch insbesondere bei längeren Standzeiten dem reinen Laden oder sonstigen Verbrauchsvorgängen zuordnen zu können. Es sollte über eine automatisierte Aufzeichnung durch elektronische Zähler nachgedacht werden, welche die Genauigkeit der Ergebnisse entschieden erhöhen würde.

**Bericht Technische Begleitforschung**  
Nutzung von Elektrofahrzeugen im Projekt  
Zukunft erFahren





Gefördert durch:



Koordiniert durch:



Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) unter dem Förderkennzeichen 03KP5511 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

# Impressum

## Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Windenergie und  
Energiesystemtechnik IWES  
Institutsteil Kassel  
Königstor 59  
34119 Kassel  
[www.iwes.fraunhofer.de](http://www.iwes.fraunhofer.de)

## Projektleitung

Dipl.-Ing. Markus Landau  
Telefon: +49 561 7294-243  
Telefax: +49 561 7294-200  
[markus.landau@iwes.fraunhofer.de](mailto:markus.landau@iwes.fraunhofer.de)

## Bearbeiter

Björn Born  
Roland Gaber  
Dipl.-Ing. Randolph Geipel  
Ulrich Lutz

Kassel, Dezember 2011

# Inhalt

<b>Abbildungen</b>	<b>vi</b>
<b>0 Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2 Datenerfassung und Datenauswertung</b>	<b>3</b>
2.1 Messdaten und Datenqualität	3
2.2 Testzeitraum	3
2.3 Energiedaten	3
<b>3 Nutzungsprofile</b>	<b>6</b>
3.1 Die Charakteristik der Fahrzeuge	6
3.1.1 Birdy	6
3.1.2 ScooterBike	7
3.1.3 Delite	8
3.1.4 Avenue	10
3.1.5 Alleweder 6	11
3.1.6 Kettwiesel	12
3.1.7 Pino	13
3.1.8 Traffic	14
3.1.9 Packbernds	15
3.1.10 Prana	16
3.2 Mehrspurige Fahrzeuge	17
3.2.1 EcoCarrier	17
3.2.2 City-EL	18
3.2.3 Govecs	19
3.2.4 Mega Multitruck	20
3.2.5 Reva i	21
3.2.6 Start Lab	22
3.2.7 Twike	23
3.3 Vergleich der Fahrzeuge	24
3.3.1 Vergleich der Einsatzzahlen	24
3.3.2 Ladedauer	25
3.3.3 Ladeenergie	26
3.3.4 Verbrauch	28

# Abbildungen

Abbildung 1: Fuhrpark Zukunft erFahren <sup>1</sup>	2
Abbildung 2: AWIS „PowerDetective“ <sup>2</sup>	4
Abbildung 3: Birdy (Riese und Müller) <sup>4</sup>	6
Abbildung 4: Zurückgelegte Strecke und umgesetzte Energie über dem Messzeitraum, Birdy	7
Abbildung 5: ScooterBike (Used GmbH) <sup>5</sup>	7
Abbildung 6: Zurückgelegte Strecke und umgesetzte Energie über dem Messzeitraum, ScooterBike	8
Abbildung 7: Delite (Riese und Müller) <sup>6</sup>	8
Abbildung 8: Zurückgelegte Strecke und umgesetzte Energie über dem Messzeitraum, Delite	9
Abbildung 9: Avenue (Riese und Müller) <sup>7</sup>	10
Abbildung 10: Zurückgelegte Strecke und umgesetzte Energie über dem Messzeitraum, Avenue	10
Abbildung 11: Alleweder 6 (Lohmeyer Leichtfahrzeuge) <sup>8</sup>	11
Abbildung 12: Zurückgelegte Strecke und umgesetzte Energie über dem Messzeitraum, Alleweder 6	11
Abbildung 13: Kettwiesel (Hase) <sup>9</sup>	12
Abbildung 14: Zurückgelegte Strecke und umgesetzte Energie über dem Messzeitraum, Kettwiesel	12
Abbildung 15: Pino (Hase) <sup>10</sup>	13
Abbildung 16: Zurückgelegte Strecke und umgesetzte Energie über dem Messzeitraum, Pino	13
Abbildung 17: Traffic (Gustav W.) <sup>11</sup>	14
Abbildung 18: Zurückgelegte Strecke und umgesetzte Energie über dem Messzeitraum, Traffic	14
Abbildung 19: Packbernds (Bernds) <sup>12</sup>	15
Abbildung 20: Zurückgelegte Strecke und umgesetzte Energie über dem Messzeitraum, Packbernds	15
Abbildung 21: Prana (Velonom) <sup>13</sup>	16
Abbildung 22: Zurückgelegte Strecke und umgesetzte Energie über dem Messzeitraum, Parna	16
Abbildung 23: EcoCarrier <sup>14</sup>	17
Abbildung 24: Strecke über Testzeitraum, EcoCarrier.	17
Abbildung 25: City-EL <sup>15</sup>	18
Abbildung 26: Strecke über Testzeitraum, City-EL	18
Abbildung 27: Govecs <sup>16</sup>	19
Abbildung 28: Strecke über Testzeitraum, Govecs	19
Abbildung 29: Mega Multitruck <sup>17</sup>	20
Abbildung 30: Strecke über Testzeitraum, Mega Multitruck	20
Abbildung 31: Reva i <sup>18</sup>	21
Abbildung 32: Strecke über Testzeitraum, Reva i	21
Abbildung 33: Start Lab <sup>19</sup>	22
Abbildung 34: Strecke über Testzeitraum, Start Lab	22
Abbildung 33: Twike <sup>20</sup>	23
Abbildung 34: Strecke über Testzeitraum, Twike	23

Abbildung 35: Einsatzanzahl während des Messzeitraumes	24
Abbildung 36: durchschnittliche Ladedauer, durchschnittliche effektive Ladedauer, durchschnittliche Standbydauer	25
Abbildung 37: durchschnittlicher gesamter Energieumsatz, effektiver Energieumsatz und Standbyumsatz der einzelnen Fahrzeuge	26
Abbildung 38: Verbrauch pro 100km der Fahrzeuge	28



## 0 Zusammenfassung

In diesem Bericht wurden Fahrdaten und Energiedaten von 10 Elektrofahrrädern und Fahrdaten von 7 Elektrofahrzeugen ausgewertet. Die Datenaufzeichnung erfolgte vom 01.04.2011 bis zum 02.09.2011. Die Fahrdaten wurden mit Hilfe eines Fahrtenbuches für jedes Fahrzeug aufgenommen. Die Aufzeichnung der Energieumsätze erfolgte mit Hilfe von Datenloggern am Steckeingang der Ladegeräte.

Die Zurückgelegte Distanz ist von Fahrzeug zu Fahrzeug im Testzeitraum sehr unterschiedlich. Während mit machen Fahrradmodellen unter 500 km zurückgelegt wurden erreichten einige von diesen Nutzungsdistancen von über 1500 km. Mit den mehrspurigen Fahrzeugen wurden im meist genutzten Fall über 5000 km zurück gelegt. Die entspricht nahezu 1000 zurückgelegten Kilometern pro Monat.

Im gesamten Testzeitraum wurden die Fahrräder insgesamt 620mal, die Elektroautos und Transporter insgesamt 830mal genutzt. Das entspricht 9,35 Nutzungen am Tag. Dies spricht für die Akzeptanz der Nutzer gegenüber den Fahrzeugen.

Die Nutzung der Fahrzeuge war trotz allgemein großem Interesse doch unter den Modellen teilweise stark verschieden. Besonders häufig wurden einige Lastenfahrräder und Fahrradmodellen mit der typischen Form genutzt. Ungewöhnliche Fahrradkonzepte weisen eine seltenere Nutzung auf. Auffällig bei diesen ist der regelmäßige Anstieg in der Darstellung einiger dieser Fahrzeuge. Dies deutet auf eine kleine Stammnutzerguppe hin.

Außer dem Auswahlverhalten ist auch das Ladeverhalten der Nutzer untersucht wurden. Die Ladedauern sind unter den Modellen sehr unterschiedlich. Während einige Modelle im durchschnitt nur um drei Stunden geladen wurden weißen andere Modelle Ladezeiten von weit über einem Tag auf. Dies tritt naturgemäß weniger häufig auf, wenn ein Fahrzeug häufig genutzt wurde. Im Durchschnitt ergibt sich eine Ladedauer von 15 Stunden und 23 Minuten. Die durchschnittliche effektive Ladedauer beträgt hingegen lediglich 2,61 Stunden. Damit wird deutlich, dass die Standbydauer um einen Faktor von 5,89 größer ist als die tatsächliche Ladezeit.

Das Verhältnis zwischen Ladeenergie und Standbyenergie wird neben der Ladedauer auch stark von der Standbyleistung beeinflusst. Lange Standbyzeiten fallen bei Standbyleistungen unter 1 W nicht sehr stark ins Gewicht. Bei Standbyleistungen um die 4 bis 5 W fallen bei durchschnittlich langen Standbyzeiten erhebliche Energieanteile auf den Standbybetrieb zurück. Der Nutzer kann mit kurzen Ladezeiten für sehr effektive Ladevorgänge sorgen und den Standbyanteil der Energie wie zum Beispiel bei dem Fahrrad Packbernd auf circa 15 % des Gesamtenergieumsatzes begrenzen. Die zuverlässigste Variante, um den Energieumsatz zu verringern, bleibt jedoch das Ladegerät mit einer sehr geringen Standbyleistung auszulegen.

# 1 Einleitung

Im Rahmen des Projektes der «Modelregion Elektromobilität Rhein-Main», untersucht der Verein für Ökologie, Gesundheit, Bildung e.V. innerhalb seines Projektes «Zukunft erFahren» das Marktpotenzial und die Akzeptanz von Elektro-Leichtfahrzeugen.

Der Verein für Ökologie, Gesundheit, Bildung e.V. stellt die Fahrzeuge einer Nutzergruppe von circa 80 Menschen zur Verfügung. Der Fuhrpark des Vereins setzt sich aus 17 verschiedenen Fahrzeugen zusammen. Er besteht neben elektrisch unterstützten Fahrrädern und elektrischen Rollern auch aus Elektromobilen und Elektro-Transportern. Auf diese Fahrzeuge können alle Mitglieder nach Bedarf zugreifen. Abbildung 1 gibt einen Überblick über den Fuhrpark

Abbildung 1: Fuhrpark  
Zukunft erFahren<sup>1</sup>



Das Fraunhofer IWES untersucht im Rahmen der technische Begleitforschung das Nutzungsverhalten der Nutzer der im Test eingesetzten Fahrzeuge.

Ergänzend dazu untersucht die Goethe-Universität in Frankfurt/Main die Akzeptanz gegenüber den Fahrzeugen. Die FH-Frankfurt/Main wertet die Daten über den motorisierten Verkehr und Wirtschaftsverkehr aus.

<sup>1</sup> [http://www.zukunfterfahren.de/bilder/fuhrpark\\_von\\_oben.jpg](http://www.zukunfterfahren.de/bilder/fuhrpark_von_oben.jpg) (Abgerufen am 05.12.2011)

## 2 Datenerfassung und Datenauswertung

### 2.1 Messdaten und Datenqualität

Die Daten für den zu untersuchten Zeitraum sind zu großen Teilen vollständig. Es gibt mit sehr wenigen Ausnahmen keine Fehlstellen oder Ungereimtheiten in den Aufzeichnungen.

Für die vorliegende Auswertung wurden Kilometerdaten der von den Nutzern geführten Fahrtenbücher verwendet, um die allgemeine Ausnutzung und die Nutzungsanzahl zu ermitteln. Da die Nutzer aufgrund eines Diebstahles das Nutzen der GPS gestützten Fahrradcomputer ablehnten, stehen keine Auskünfte zum zurückgelegten Streckenprofil zur Verfügung. Die Fahrdaten können daher nur als Maß für die Ausnutzung angesehen werden. Ein Einblick auf die wirklich umgesetzte Energie ist nicht möglich.

Die Energiedaten wurden an der Steckverbindung des Ladegerätes aufgezeichnet. Hierbei muss erwähnt werden, dass einige Benutzer das Ladegerät auch nach Lösen des Fahrzeuges vom Ladegerät am Messgerät ließen. Dieser Fall wurde in der Auswertung herausgefiltert um die Genauigkeit der Aussagen zu erhöhen.

### 2.2 Testzeitraum

Der Messvorgang erstreckte sich von 01.06.2010 bis zum 31.10.2011. In dieser Zeit wurden die zur Verfügung stehenden Fahrzeuge von den Mitgliedern des Vereins betrieben und die zurückgelegten Kilometer vermerkt. Ab dem 01.04.2011 kam es zudem bis zum 02.09.2011 zu einer Messung der Ladeenergie. Da jedwede Daten über Energieverbrauch nur in diesem Zeitraum erfasst wurden, begrenzt sich diese Auswertung auf diesen Zeit. Dies ist in der Hinsicht zu beachten, dass es sich bei diesem Zeitraum um die warme Jahreszeit im Testgebiet handelt. Daher sind insbesondere die Nutzungen der unverschalten Fahrzeuge als überdurchschnittlich anzusehen.

### 2.3 Energiedaten

Die Ladedaten wurden mit Hilfe des Datenloggers „PowerDetective“ der Firma AWIS GmbH aufgenommen. Dieser ist in Abbildung 2 zu sehen.

Das Messgerät wurde den Nutzern für den Untersuchungszeitraum zur Verfügung gestellt. Das Speichern der Daten erfolgte in Intervallen zwischen 20 und 60 Sekunden. Anhand des Zeitstempels sind die gespeicherten Daten zuverlässig zuordenbar. Hierbei wurde die Feststellung getroffen, dass sobald zwischen zwei Zeitstempeln eine Zeit von circa 5 Minuten liegt, ein neuer

Ladevorgang initiiert wurde. Dies ist eines der zwei Varianten die Daten in Ladezyklen zu unterteilen.

Abbildung 2: AWIS „PowerDetective“<sup>2</sup>



Der AWIS „PowerDetective“-Datenlogger zeichnet weiterhin den momentanen Wert der Stromstärke, der Spannung und des Leistungsfaktors, die über die letzten Messzeitraum gemittelte Leistung, und den Energieverbrauch in kWh auf. Diese Werte werden als csv-Datei auf der SD-Karte hinterlegt.

Messwerte können in einem Bereich der Spannung zwischen 85 und 265 V und einer auftretenden Leistung zwischen 0,1 bis 3680 W aufgenommen werden. Die zufällige Messabweichung des Gerätes beträgt laut Hersteller 2% des Anzeigewertes<sup>3</sup>. Das Messgerät sind für den Test mit einer speziellen Software ausgerüstet worden, welche die Datenerfassung fest einstellt und keine Änderungen über das Bedienfeld zulässt.

Da die Werte, die das Gerät als Energieangaben abspeichert, auf einen internen Rechenfehler beruhen, wird der Energieumsatz mit Hilfe der gemittelten Leistung und des Zeitstempels jedes Zeitintervalls berechnet. Die in den Zeiträumen auftretenden Leistungen werden mit Hilfe von definierten Leistungsklassen kategorisiert. Diese ergeben sich bei jedem Fahrzeug nach den Werten, welcher Leistungsgang bei einem Ladevorgang auftritt. Erhöhte sich die Leistungswert deutlich wird dies als Zeichen für das Starten eines neuen Ladevorgangs angesehen. Fällt die Leistung auf einen Wert unter 10% der Lademaximalleistung wird dies als Beginn des Standbybetriebs erfasst.

Durch Summation erhält man aus diesen Angaben den Energieumsatz während der Ladezeit und der Standbyzeit. Es erfolgt eine Mittelwertberechnung aus der sich die durchschnittlichen Ladezeit und der durchschnittliche Energiebedarf pro Ladevorgang ergibt.

<sup>2</sup> [http://www.awis-gmbh.com/grafik/produkte\\_powerdetective.jpg](http://www.awis-gmbh.com/grafik/produkte_powerdetective.jpg) (Abgerufen am 05.12.2011)

<sup>3</sup> <http://www.awis-gmbh.com/PDF/emsd.pdf> (Abgerufen am 07.12.2011)

Aus den Werten der Gesamtenergie und den Distanzdaten der Fahrtenbücher ergibt sich für jedes Fahrzeug der Wert des Energieumsatzes pro 100 km. Dieser Wert beinhaltet neben der effektiven Ladeenergie auch die Standbyenergie welche nicht zum effektiven Energieumsatz bei der Fahrt beiträgt. Jedoch bildet dieser Wert den wirklichen durchschnittlichen Energiebedarf für jedes Fahrzeug ab. Dieser ist real neben der Fahrzeugcharakteristik auch von dem Ladeverhalten des Nutzers und den Verlusten bei der Ladung der Batterie abhängig. Daher bietet dieser Wert neben einer Vergleichbarkeit der einzelnen Fahrzeuge auch eine Aussagekraft über das Nutzerverhalten dieses Fahrzeugtyps. Besonders im Zusammenhang mit den weiterhin aufbereiteten Daten lässt sich hieraus eine Aussage über den praktischen Energieumsatz und die Effizienz des entsprechenden Fahrzeuges im Betrieb treffen.

## 3 Nutzungsprofile

Es folgt eine Darstellung der einzelnen Fahrzeuge über den Zeitraum der vorhandenen Zeitdaten. Hierbei wird besonders auf die zurückgelegten Kilometer in Verbindung mit der umgesetzten Energie eingegangen.

Den zweiten Teil der Auswertung bilden vergleichende Untersuchungen zwischen den Fahrzeugen. Es wird Unterschiede in Nutzungsanzahl, Ladedauer, Ladeenergie und Verbrauch pro 100 km eingegangen.

### 3.1 Die Charakteristik der Fahrzeuge

#### 3.1.1 Birdy

Abbildung 3: Birdy  
(Riese und Müller)<sup>4</sup>

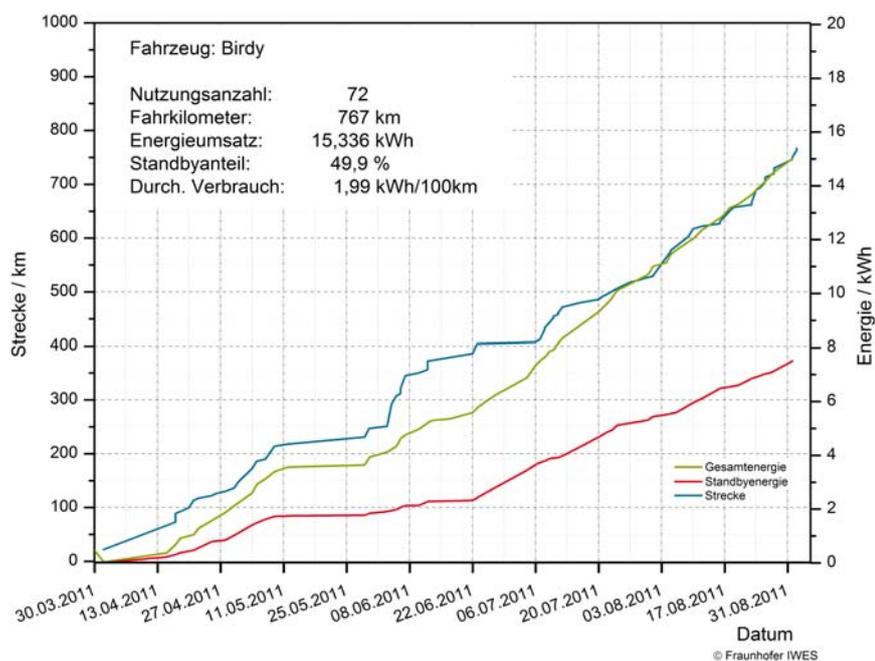


Bei dem Birdy handelt es sich um ein Faltrad, welches sich durch ein geringes Gewicht und, besonders im zusammengeklappten Zustand, geringe Transportmaße auszeichnet. Das Birdy wiegt 18,4 kg und ist mit seiner Klappmöglichkeit besonders als Fahrrad für Kurzstrecken ausgelegt. Dies zeigt sich auch an den relativ kleinen Rädern. Der Motor des Fahrzeuges, befindet sich in der hinteren Radnabe. Die Batterie ist an der Lenkstange befestigt. Es gibt keine Transporthalterungen.

In Abbildung 4 sind die zurückgelegte Distanz in km und die Energie in kWh über der Zeitraum der Messung dargestellt. In den Zeiträumen vom 01.04.2011 bis 17.04.2011, vom 12.06.2011 bis 29.07.2011 und vom 23.06.2011 bis 06.07.2011 war das Fahrzeug aufgrund von Reparaturarbeiten nicht nutzbar. Dies wird jeweils durch lange Gerade in der Streckenkurve deutlich. Die Grafik verdeutlicht die kontinuierliche Nutzung des Fahrzeuges. Meist erfolgt die Nutzung auf kurzen Strecken von wenigen Kilometer. Es treten jedoch auch größere Strecken von bis zu 40 km auf. Diese stellen aber nur eine deutliche Ausnahme dar.

<sup>4</sup> [http://www.ebike-oberland.de/images/r-m\\_birdy.jpg](http://www.ebike-oberland.de/images/r-m_birdy.jpg) (05.12.2011)

Abbildung 4:  
Zurückgelegte Strecke  
und umgesetzte  
Energie über dem  
Messzeitraum, Birdy



Das Birdy wurde im Testzeitraum 72 mal genutzt. Die in dem Zeitraum zurückgelegte Distanz beträgt 767 km. Während der Testphase wurden dem Fahrrad 15,336 kWh an Elektroenergie zugeführt. Davon entfallen 49,9% auf Standbyvorgänge. Dies ist ein hoher Anteil. Dieser kommt durch sehr lange Standbyladezeiten zustande. Die Standbyleistung liegt bei circa 4 W. Durch den hohen Standbyanteil in der zugeführten Energie, erklärt sich der sehr hohe durchschnittliche Verbrauch von 1,99 kWh/100km.

### 3.1.2 ScooterBike

Abbildung 5:  
ScooterBike (Used  
GmbH)<sup>5</sup>

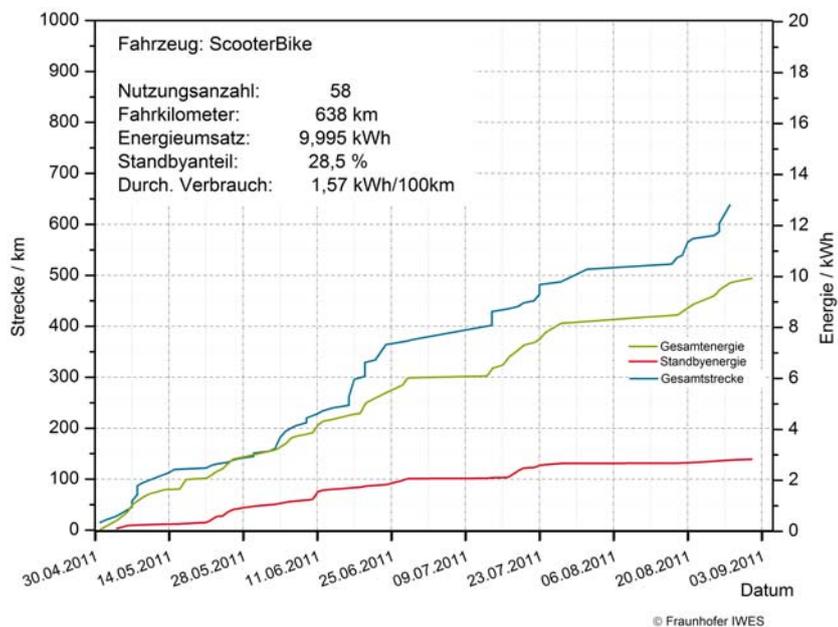


Das ScooterBike ist ein Fahrrad mit tiefem Schwerpunkt. Der typische Fahrradsattel wurde hierbei durch einen Sitz mit Rückenlehne ersetzt. Die Sitzposition ist eher liegend als aufrecht sitzend. Sitz und Lenker sind verstellbar. Das Fahrrad besitzt einen Motor im Hinterrad. Zudem ist hinter dem Sitz eine kleine Ladefläche angebracht.

<sup>5</sup> <http://www.scooterbike.com/images1/E--Bike.gif> (05.12.2011)

Abbildung 6 zeigt die Nutzung des Fahrzeuges über den Testzeitraum. Daten von Ladevorgängen stehen bei diesem Fahrzeug erst ab Mai zur Verfügung. Während des Zeitraumes vom 29.06.2011 bis 14.07.2011 war das Fahrrad zur Reparatur und damit nicht nutzbar. Das Pedelec wurde in den 6 Monaten 58 mal genutzt. Die dabei zurückgelegten Strecken sind zu einem Drittel über 10 km Länge. Davon sind circa 50% Strecken über 20km lang. Insgesamt ergibt sich eine Distanz von 638 km. Die umgesetzte Energie beträgt 9,995 kWh. Der Standbyanteil dieser Energie liegt bei 28,5%, obwohl die durchschnittliche Standbyleistung mit 6,9 W höher liegt als beispielsweise beim Birdy. Dieser Sachverhalt ist auf die kurzen Ladezeiten zurück zu führen. Dadurch haben die Nutzer den effektiven durchschnittlichen Verbrauch auf 1,57 kWh/100km begrenzen können.

Abbildung 6:  
Zurückgelegte Strecke  
und umgesetzte  
Energie über dem  
Messzeitraum,  
ScooterBike



### 3.1.3 Delite

Abbildung 7: Delite  
(Riese und Müller)<sup>6</sup>

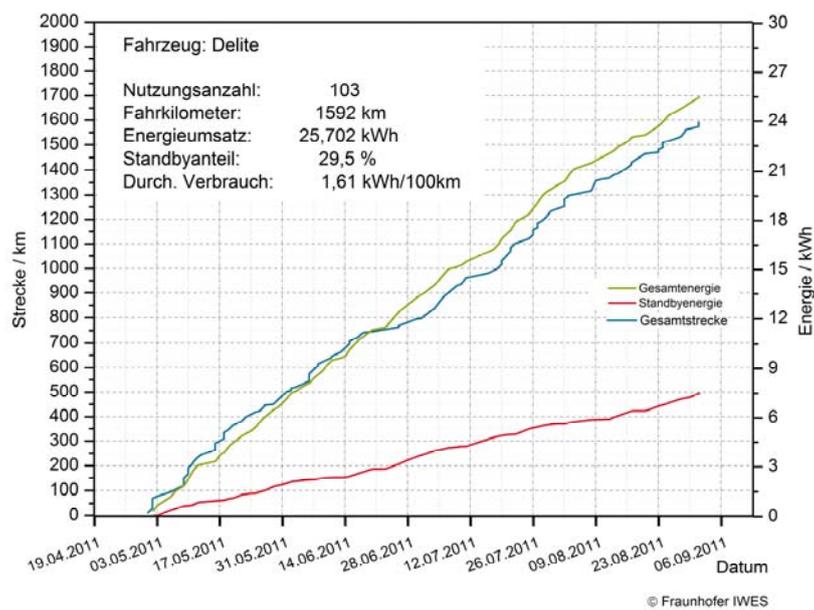


<sup>6</sup> <http://assets.messe-fn.de/eb-wAssets/daten/neuheiten/fotos/988.jpg> (05.12.2011)

Bei dem Delite handelt es sich bei der Form um ein klassisches Fahrrad. Es ist auch für Fahrten in leicht unwegsamem Gelände ausgelegt. Es besitzt einen Aluminiumrahmen und wiegt im unbeladenen Zustand 25,1 kg. Der Motor befindet sich in der hinteren Radnabe und wird von der Batterie, welche sich auf der unteren Mittelstange befindet, gespeist. Die Batterie besteht aus Lithium-Ionenzellen. Das Fahrzeug unterstützt den Nutzer bis zu einer Maximalgeschwindigkeit von 25 km/h. Ein Ladevorgang dauert laut Hersteller circa 4 Stunden.

In Abbildung 8 ist das Nutzungsprofil für das Fahrzeug dargestellt. Dieses Fahrzeug wurde während der Zeit vom 01.05.2011 bis zum 01.09.2011 103 mal von Nutzern ausgeliehen. Das bedeutet, dass dieses Fahrrad durchschnittlich in zwei Tagen dreimal genutzt wurde. Von diesen 103 Fahrten sind 63 auf Distanzen von über 10 km zurückzuführen. Dabei entfallen auf Strecken von über 40km immerhin 3 Fahrten. Über den Testzeitraum ergibt sich somit eine Strecke von 1592km. Um die Batterie wieder aufzuladen wurden 25,702 kWh umgesetzt. Der Standbyanteil liegt bei diesem Fahrzeug bei 29,5%. Die Standbyleistung lag bei 5 W. Das Fahrzeug weist eine durchschnittlich Ladezeit von 18 Stunden auf. Insgesamt ergibt sich ein durchschnittlicher Verbrauch von 1,61 kWh/100km.

Abbildung 8:  
Zurückgelegte Strecke  
und umgesetzte  
Energie über dem  
Messzeitraum, Delite



### 3.1.4 Avenue

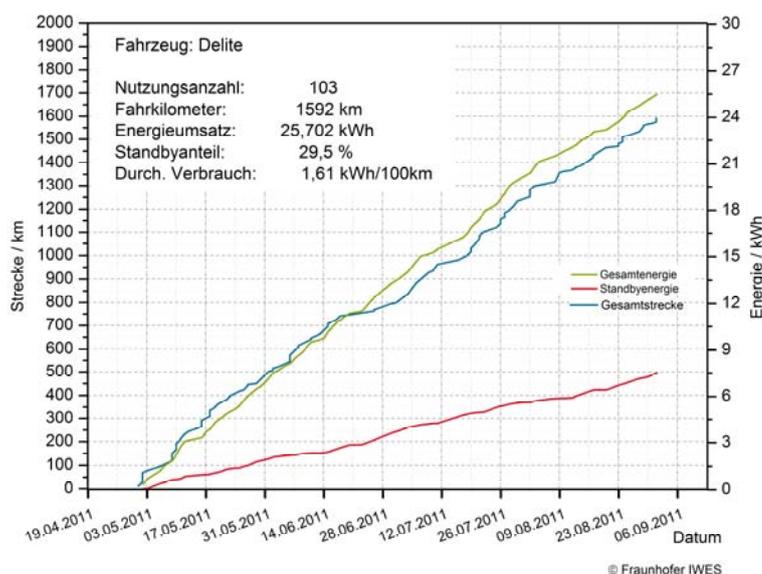
Abbildung 9: Avenue  
(Riese und Müller)<sup>7</sup>



Das Avenue ist durch seine Bauweise für Fahrten auf ebenen asphaltierten Strecken ideal. Es besitzt einen Aluminiumrahmen und wiegt 24,9 kg. Die Batterie ist hinter dem Sattel unter dem Gepäckträger befestigt. Der Antrieb befindet sich in der vorderen Radnabe. Motorunterstützung erhält der Nutzer bis 25 km/h.

Die Nutzungsanzahl des Avenue beträgt 110 im Zeitraum von 01.05.2011 bis 02.09.2011. Der Verlauf der Nutzung ist in Abbildung 10 zu erkennen. Es ist eines der meistgenutzten Fahrzeuge im Test. Dies belegt auch die sehr große Distanz von 1745 km, die mit diesem Fahrrad zurück gelegt wurde. Es handelt sich bei den zurückgelegten Strecken zu 40 % um Distanzen kürzer als 10 km. Der Großteil der zurückgelegten Strecken hat eine Länge zwischen 10 km und 20 km. Dieses Fahrzeug wurde demnach hauptsächlich für mittlere und kurze Distanzen genutzt. In Summe erfolgte ein Energiebezug von 18,898 kWh, dessen Standbyanteil bei 16,3 % liegt. Der geringe Standbyanteil ist durch die relativ kleine Standbyleistung zu erklären. Die durchschnittliche Ladedauer liegt mit 15 Stunden im Mittelfeld. Es ergibt sich aus diesen beiden Angaben ein durchschnittlicher Verbrauch von 1,08 kWh/100km. Dies ist ein sehr guter Wert und verdeutlicht die sehr gute Auslegung des Fahrrades und das gute Ladeverhalten der Nutzer.

Abbildung 10:  
Zurückgelegte Strecke  
und umgesetzte  
Energie über dem  
Messzeitraum, Avenue



<sup>7</sup> <http://www.elektrobike-online.com/sixcms/media.php/6/Image1.2278016.jpg> (05.12.2011)

### 3.1.5 Alleweder 6

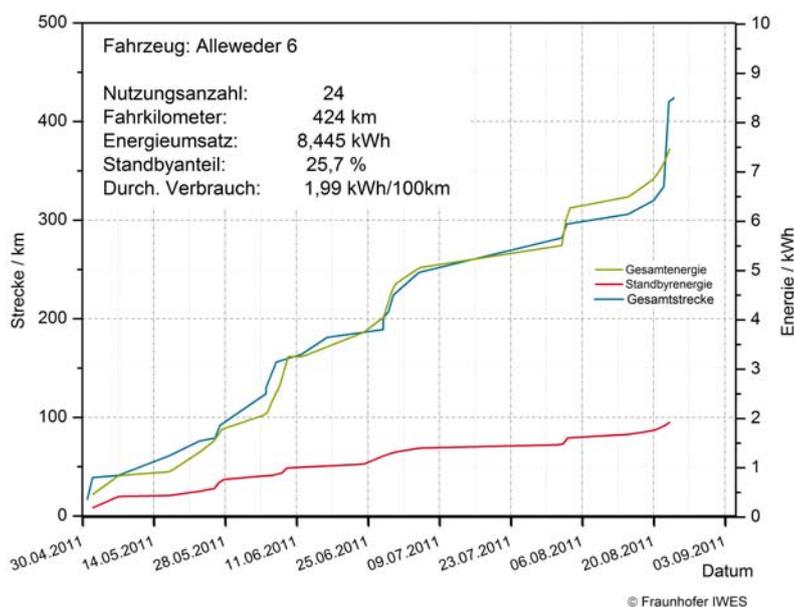
Abbildung 11:  
Alleweder 6  
(Lohmeyer  
Leichtfahrzeuge)<sup>8</sup>



Das Alleweder 6 ist ein verschaltetes dreirädriges Fahrzeug. Die Verschaltung besteht aus Glasfaserverbundmaterial. Im Inneren des Fahrzeuges bleibt der Nutzer von Wettereinflüssen weitestgehend unberührt. Ein weiterer Vorteil dieses Fahrzeuges ist die erhöhte Aerodynamik und die somit erhöhte Geschwindigkeit. Der Schwerpunkt des Fahrzeuges ist aufgrund des eingelassenen Sitzes tief. Das Gewicht des Fahrzeuges beträgt 44 kg. Der Motor befindet sich in der Radnabe.

Im Zeitraum der Energieaufzeichnung wurde das Fahrzeug 24 mal genutzt. Der Verlauf der Nutzung kann in Abbildung 12 nachvollzogen werden. Es ist das am wenigsten genutzte Fahrzeug im Test. Auch die zurückgelegte Strecke ist mit 424 km sehr gering. Der Energieeinsatz ist mit 8,445 kWh sehr hoch. Dieser setzt sich neben der zur Batterieladung genutzten Energie aus einem moderaten Standbyanteil von 25,7 % zusammen. Dieser Anteil ist aufgrund der sehr kurzen Ladezeiten und einer im Verhältnis zur Ladeleistung geringen Stand-by-Leistung relativ klein. Der Streckenbezogene Verbrauch ist jedoch mit 1,99 kWh/100km sehr hoch. Damit ist dieses Fahrzeug eines der energetisch aufwendigsten.

Abbildung 12:  
Zurückgelegte Strecke  
und umgesetzte  
Energie über dem  
Messzeitraum,  
Alleweder 6



<sup>8</sup> <http://www.akkurad.com/html/0101fahrzeuge/0101-0108-Alleweder6.jpg> (05.12.2011)

### 3.1.6 Kettwiesel

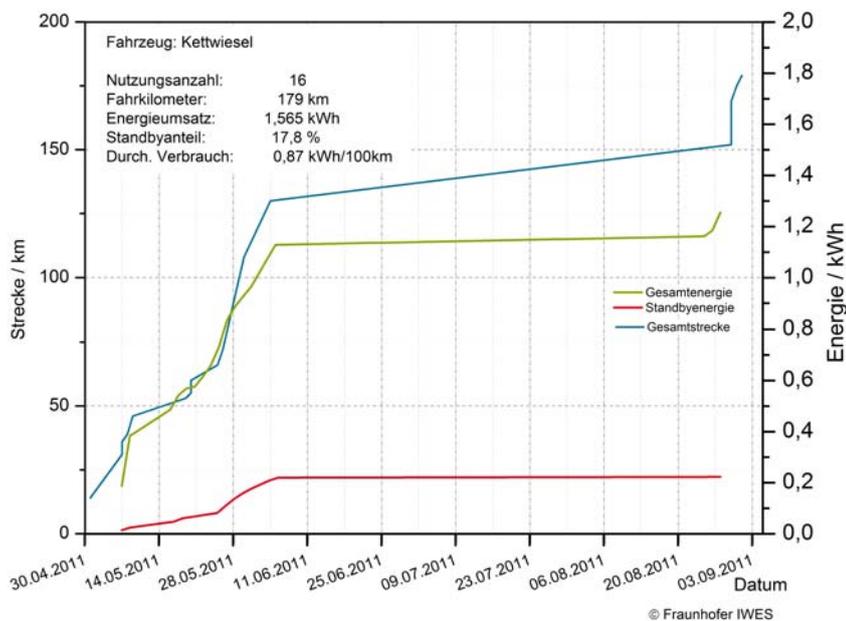
Abbildung 13:  
Kettwiesel (Hase)<sup>9</sup>



Das Kettwiesel ist ein Liegefahrrad. Der Nutzer nimmt bei diesem Fahrzeug eine sehr tiefe Sitzposition ein. Dies wird durch die verhältnismäßig hoch gelagerten Pedale noch verstärkt. Die Lenkung erfolgt über zwei Hebel an der linken und rechten Seite leicht vor dem Fahrersitz. An diesen sind auch die Bremshebel befestigt. Die Batterie ist hinter dem Fahrersitz angebracht. Das Fahrzeug wiegt im Leerzustand 22 kg.

Das Fahrzeug war über dem Zeitraum vom 09.05.2011 bis 19.05.2011 und vom 04.06.2011 bis 30.08.2011 aufgrund von Reparaturarbeiten nicht benutzbar. Daher ergibt sich eine sehr niedrige Nutzungsanzahl von 16. Es wurden während der Nutzungen lediglich 179 km zurück gelegt. 62,5 % der gefahrenen Strecken sind unter 10 km. Die Ladeenergie beträgt lediglich 1.565 kWh. Davon war ein Anteil von 17,8 % Standbyenergie. Dieser Anteil entsteht aufgrund der niedrigen Stand-by-Leistung von 0,6 W. Es ergibt sich daraus ein sehr geringer Verbrauch von 0,87 kWh/km. Dieses Fahrzeug ist somit das sparsamste im Test.

Abbildung 14:  
Zurückgelegte Strecke und umgesetzte Energie über dem Messzeitraum, Kettwiesel



<sup>9</sup> <http://www.zoXBikes.com/wp-content/gallery/kettwiesel/kettwiesel.jpg> (05.12.2011)

### 3.1.7 Pino

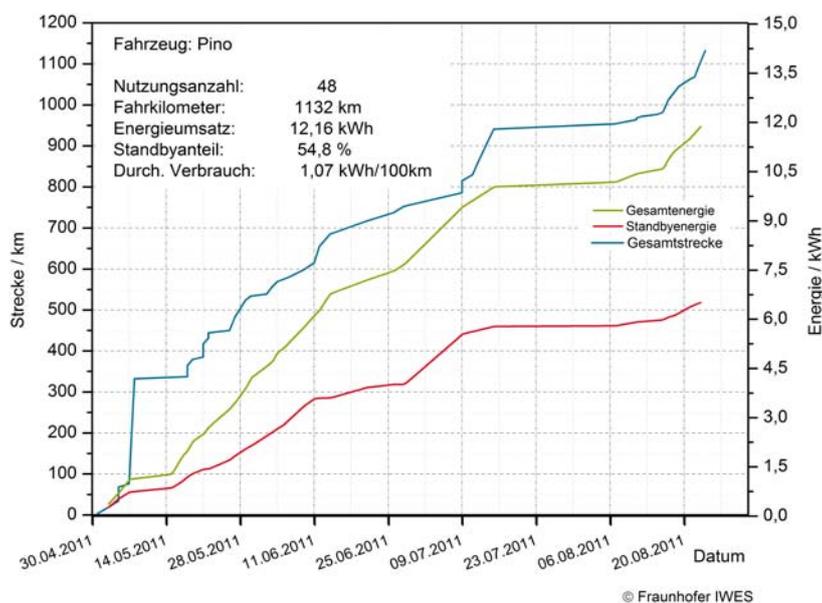
Abbildung 15: Pino  
(Hase)<sup>10</sup>



Das Pino ist ein Tandem. Seine Besonderheit besteht darin, dass der vordere Nutzer halb waagrecht fährt. Damit geht dieses Fahrzeug auf unterschiedliche Fahrvorlieben ein. Es besitzt eine Klappfunktion und kann somit besser verstaut werden. Das Fahrzeug besitzt einen Gepäckträger hinter dem aufrecht sitzenden Nutzer. Der Antrieb befindet sich in der hinteren Radnabe. Er wird von der Batterie, welche auf der unteren Querstange befestigt ist, gespeist.

Die Anzahl der Nutzungen dieses Fahrzeuges liegt im Zeitraum von Anfang Mai bis Ende August bei 48. In Abbildung 16 ist ein großer Kilometeranstieg vom 07.05.2011 auf den 08.05.2011 zu erkennen. Diese 256 km stammen aus einer Sammeleintragung und bilden sich nicht in den Ladedaten ab. Dies deutet auf ein externes Laden ohne den Datenlogger hin. Des Weiteren ist das Fahrzeug zwischen 08.05.2011 und 07.08.2011 über 51 Tage in Reparatur. Die eingesetzte Ladeenergie beträgt 12,16 kWh. Davon entfallen 54,8% auf den Standbybetrieb. Rechnerisch ergibt sich ein durchschnittlicher Verbrauch von 1,07 kWh/100km. Dieser ist jedoch aufgrund der fehlenden Ladedaten über den oben aufgezeigten Zeitraum als zu niedrig anzusehen. Dies bestätigt neben dem hohen Standbyenergieanteil auch die hohe durchschnittliche Ladedauer, und die hohe Standbyleistung von 5 W.

Abbildung 16:  
Zurückgelegte Strecke  
und umgesetzte  
Energie über dem  
Messzeitraum, Pino



<sup>10</sup> <http://www.veloladen.com/pino.jpg> (05.12.2011)

### 3.1.8 Traffic

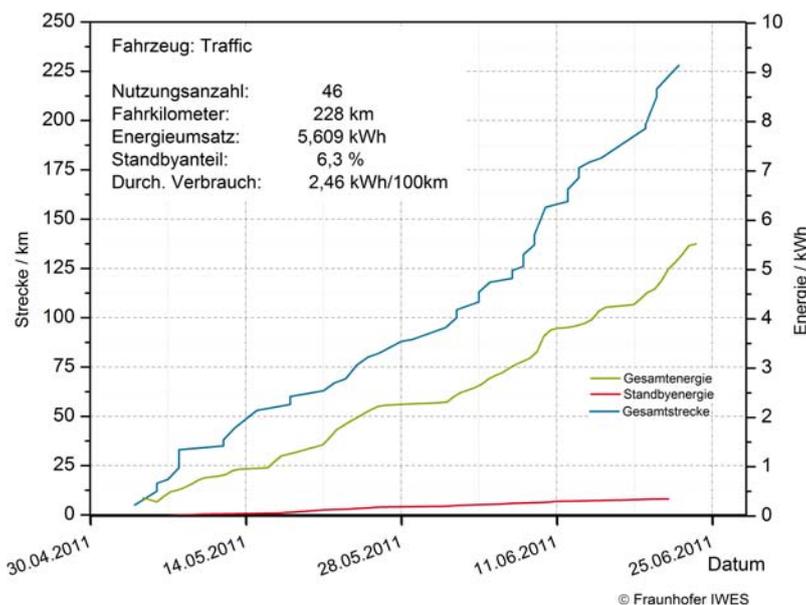
Abbildung 17: Traffic  
(Gustav W.)<sup>11</sup>



Das Traffic ist ein Lastenfahrrad. Es zeichnet sich durch die breite Lastkiste direkt über den beiden Vorderrädern aus. Mit diesem Fahrrad können 280 kg Gepäck transportiert werden. Das Leergewicht beträgt 45 kg. Es erfolgt eine Motorunterstützung bis 20 km/h.

Das Traffic weist im Testzeitraum eine Nutzung von 46 Fahrten auf. Eine Datenaufnahme war nur vom 01.05.2011 bis 23.06.2011 möglich. In diesem Zeitraum wurden 228 km zurückgelegt. Fast alle Fahrten erstrecken sich über eine Distanz von weniger als 10 km. Dies weist das Fahrzeug als sehr geeignet für kurze Transportstrecken aus. Die über den Zeitraum eingesetzte Energie beträgt 5,609 kWh. Davon entfallen lediglich 6,3 % auf den Standbybetrieb. Nichts desto trotz ergibt sich der höchste durchschnittliche Verbrauch im Test mit 2,46 kWh/100km. Mögliche Ursachen bestehen in der zusätzlichen Zuladung und im hohen Rollwiderstand der kleinen Reifen. Auffällig ist ebenso die hohe Anzahl von Ladevorgängen, die nahezu das Doppelte der Nutzungen erreicht. Diese Überhöhung ist im Nachhinein nur mit einem besonderen Ladeverhalten der Nutzer zu erklären.

Abbildung 18:  
Zurückgelegte Strecke und umgesetzte Energie über dem Messzeitraum, Traffic



<sup>11</sup> [http://www.zukunftsfahren.de/bilder/fahrraeder/gustav\\_w\\_traffic.bmp](http://www.zukunftsfahren.de/bilder/fahrraeder/gustav_w_traffic.bmp) (05.12.2011)

### 3.1.9 Packbernds

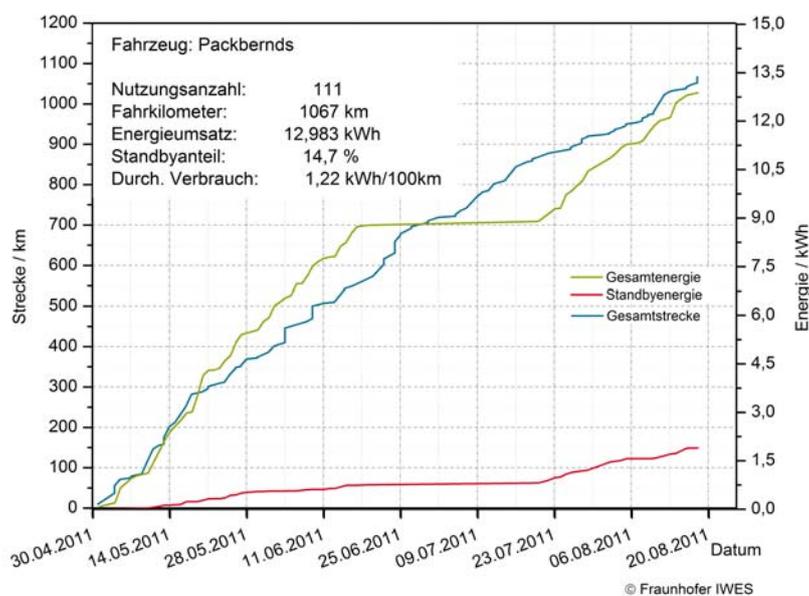
Abbildung 19:  
Packbernds (Bernds)<sup>12</sup>



Bei dem Packbernds handelt es sich um ein Lastenfahrzeug. Das Packbernds ist im Vergleich zum Traffic zweirädrig ausgeführt. Die Zuladung kann in einen Korb direkt vor dem Fahrer untergebracht werden. Die Beschränkung für die Zuladung beträgt 260 kg. Der Antrieb des Fahrzeuges befindet sich in der hinteren Radnabe.

Wie Abbildung 20 zeigt wurde das Packbernds sehr häufig im Messzeitraum genutzt. Über den Zeitraum vom 01.04.2011 bis zum 02.09.2011 ist es das meistgenutzte Fahrzeug. Es werden mit diesem Fahrzeug im Testzeitraum 1067 km zurückgelegt. Von den 111 Fahrten waren 31,5 % Fahrten länger als 10km. Der Standbyanteil der eingesetzten Ladeenergie beträgt 14,7 %. Dieser Anteil dürfte ähnlich dem aufgezeichneten Energieumsatzes zu niedrig aufgezeichnet worden sein. Dies wird durch einen langen Datenausfall zwischen dem 16.06.2011 und dem 19.07.2011 deutlich. Daher müssten diese beiden Werte unter Vorbehalt angesehen werden. Dies führt dazu, dass der durchschnittliche Verbrauch sich als deutlich zu niedrig ergibt, da die Kilometerdaten weiter aufgezeichnet wurden, obwohl keine Messung der Energiedaten erfolgte. Dies muss bei weiteren Betrachtungen berücksichtigt werden.

Abbildung 20:  
Zurückgelegte Strecke  
und umgesetzte  
Energie über dem  
Messzeitraum,  
Packbernds



<sup>12</sup> <http://www.cyclorama.net/images/productImages/img772-lrg.jpg> (05.12.2011)

### 3.1.10 Prana

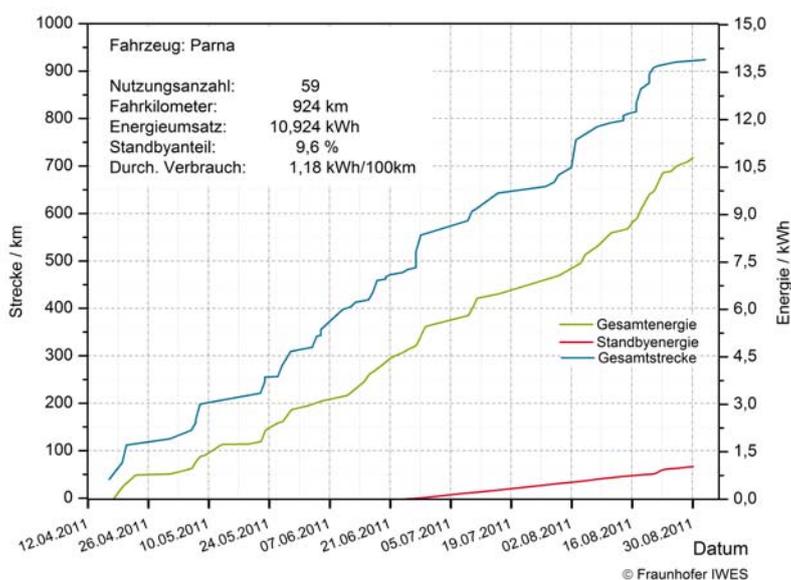
Abbildung 21: Prana (Velonom)<sup>13</sup>



Das Prana ist von der Form den Fahrrädern Avenue und Delite sehr ähnlich. Jedoch handelt es sich bei diesem auch um ein Lastenfahrrad. Auf dem Gepäckträger können verschiedene Lasten transportiert werden. Es ist auch möglich Kindersitze darauf anzubringen. Es ist eine Zuladung von 300 kg erlaubt. Unbeladen wiegt das Fahrrad 35 kg. Der Motor befindet sich in der Vorderradnabe.

Wie in Abbildung 22 dargestellt wurden mit dem Prana im Messzeitraum 924 km zurückgelegt. Diese Distanz verteilt sich auf 59 Fahrten. Diese Summe setzt sich aus 44,1 % Fahrten unter 10 km, 37,3 % zwischen 10 km und 30 km und aus 18,6 % Fahrten über 30 km zusammen. Für die Ladung wurden 10,924 kWh benötigt. Davon betrug der Stand-by-Anteil 9,6 %. Dieser geringe Anteil begründet sich in der zur Ladeleistung äußerst geringen Stand-by-Leistung. Obwohl die Standbydauer sehr lang ist wird somit ein geringer durchschnittlicher Verbrauch von 1,18 kWh/100km erreicht. Besonders in der Messzeit bis zum 26.06.2011 tritt quasi kein Standbyverbrauch auf, da das Fahrzeug nach dem Ladevorgang direkt vom Netz getrennt wurde. Dies zeigt den positiven Einfluss dieser Betriebsführung.

Abbildung 22: Zurückgelegte Strecke und umgesetzte Energie über dem Messzeitraum, Prana



<sup>13</sup> [http://bilder.bild.de/fotos-skaliert/6-prana-tp-23172516\\_mbfqf-1317979890-20347740/4,h=493.bild.jpg](http://bilder.bild.de/fotos-skaliert/6-prana-tp-23172516_mbfqf-1317979890-20347740/4,h=493.bild.jpg) (05.12.2011)

## 3.2 Mehrspurige Fahrzeuge

Für die folgenden Fahrzeuge sind aufgrund von Unregelmäßigkeiten in den Messdaten nur Fahrtenbucheinträge zur Auswertung herangezogen worden.

### 3.2.1 EcoCarrier

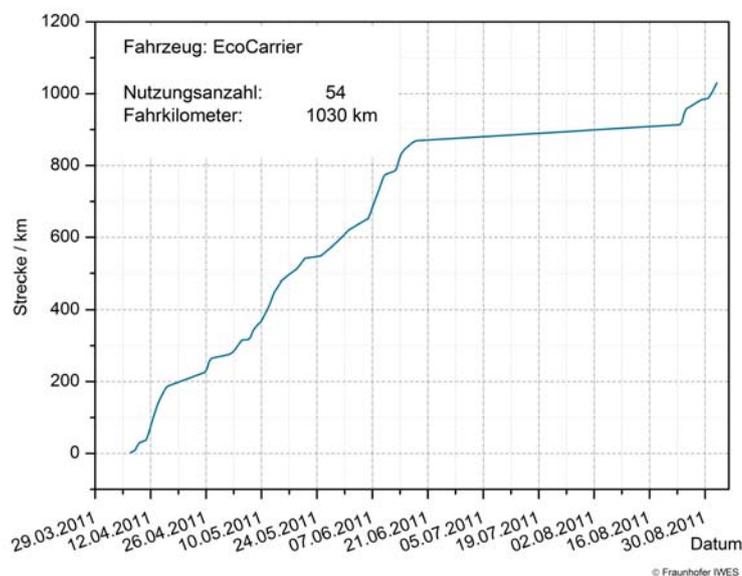
Abbildung 23:  
EcoCarrier<sup>14</sup>



Bei dem EcoCarrier handelt es sich um einen Transporter mit 1800 Liter Gepäckraum und einer zulässigen Zuladelaast von 900 kg. Er beschleunigt von 0 auf 550 km/h in 8,5 s und hat eine Maxmalgeschwindigkeit von 75 km/h. Der Antrieb erfolgt am Heck durch eine Asynchronmaschine.

In Abbildung 24 ist der Verlauf der zurückgelegten Strecke im Testzeitraum abgebildet. Insgesamt wurden mit diesem Fahrzeug 1030 km in den 5 Monaten zurückgelegt. Vom 18.06.2011 bis 24.08.2011 war das Fahrzeug zur Reparatur, was in an der langen Geraden verdeutlicht wird.

Abbildung 24: Strecke über Testzeitraum, EcoCarrier.



<sup>14</sup> <http://www.grueneautos.com/wp-content/uploads/2008/11/ecocraft-ecocarrier.jpg> (12.12.2011)

### 3.2.2 City-EL

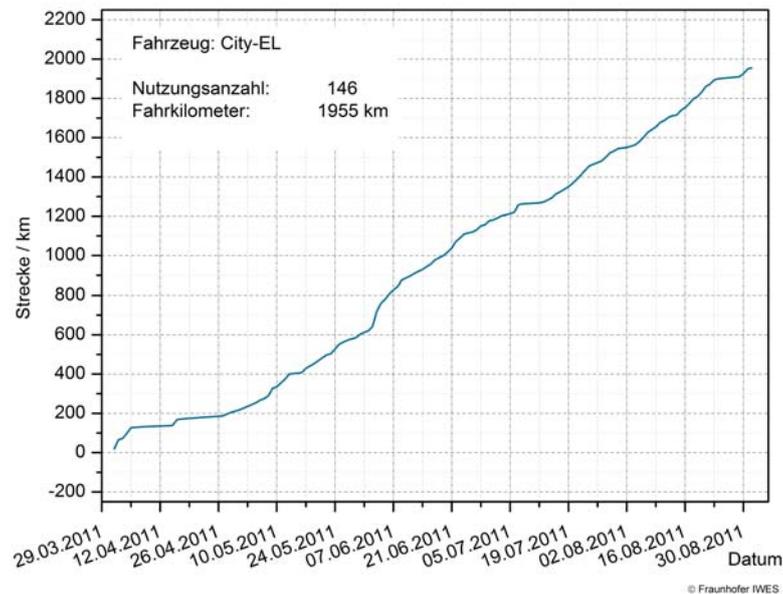
Abbildung 25: City-EL<sup>15</sup>



Der City-EL ist ein dreirädriges Fahrzeug, welches eine Person transportieren kann. Er besitzt einen Gepäckraum von 280 Liter. Das zulässige Gesamtgewicht beträgt 400 kg, wobei 140 bis 180 kg Zuladung möglich sind. Die durchschnittliche Reichweite beträgt 60 bis 120 km. Der City-EL besitzt eine maximale Höchstgeschwindigkeit von 63 km/h.

Abbildung 26 zeigt die Nutzung des City-EL's auf. Während der 5 Monate wurden mit dem Fahrzeug 1955 km zurückgelegt. Diese Strecke verteilte sich auf 146 Nutzungen. Das Fahrzeug war vom 08.04.2011 bis 15.04.2011 und vom 18.04.2011 bis 27.04.2011 zur Reparatur. Der City-EL wurde im Messzeitraum sehr konstant genutzt. Dies liegt auch an den geringen Reparaturzeiten.

Abbildung 26: Strecke über Testzeitraum, City-EL



<sup>15</sup> [http://www.smiles-world.de/uploads/images/start\\_cityel.jpg](http://www.smiles-world.de/uploads/images/start_cityel.jpg) (12.12.2011)

### 3.2.3 Govecs

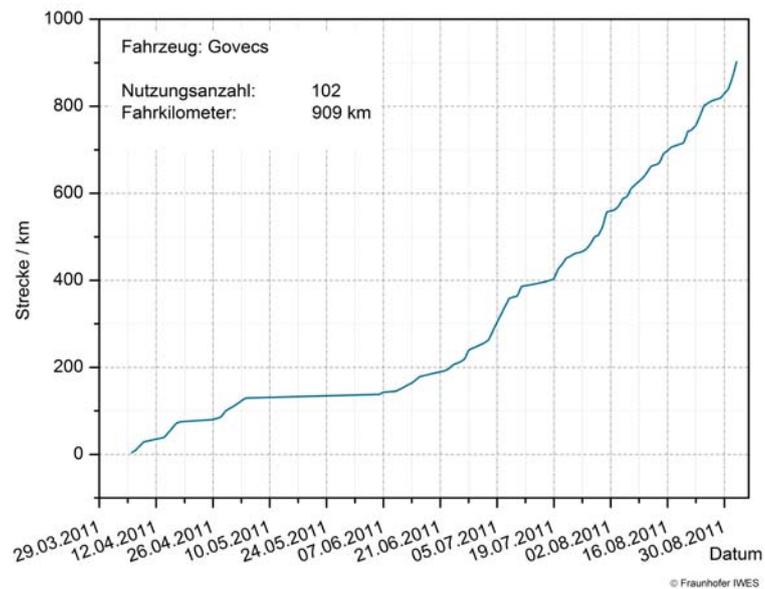
Abbildung 27:  
Govecs<sup>16</sup>



Der Govecs ist ein Elektroroller, dessen Karosserie aus Kunststoff besteht. Sein Motor ist ein bürstenloser Drehstrommotor. Die Höchstgeschwindigkeit des Rollers beträgt 70 km/h.

Im Testzeitraum wurde der Govecs 102 mal ausgeliehen. Die Nutzer legten mit dem Fahrzeug 909 km zurück. Der Verlauf der Nutzung ist in Abbildung 28 dargestellt. Das Fahrzeug war vom 04.05.2011 bis 05.06.2011 außer Betrieb. Der Govecs wird nach diesem Reparaturzeitraum stärker genutzt. Dies wird durch den zunehmenden Anstieg der Kurve deutlich.

Abbildung 28: Strecke  
über Testzeitraum,  
Govecs



### 3.2.4 Mega Multitruck

Abbildung 29: Mega Multitruck<sup>17</sup>



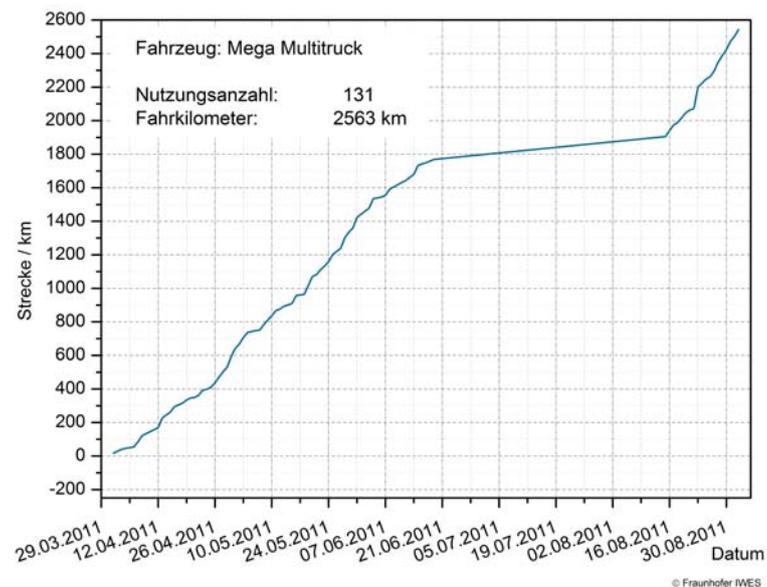
<sup>16</sup> <http://www.utopia.de/uploads/assets/user/38734/Bilder/Zweirad/Govecs.jpg> (12.12.2011)

<sup>17</sup> <http://www.elvec.de/img/multitruck.jpg> (12.12.2011)

Bei dem Mega Multitruck handelt es sich um einen Elektrotransporter. Er hat ein Ladevolumen von 3000 Litern. Die Zuladung kann 400 kg betragen. Der Antrieb befindet sich an der Vorderachse. Die Reichweite beträgt 70 km. Die Geschwindigkeit ist auf 45 km/h begrenzt.

Mit dem Mega Multitruck wurden während des Testes 2563 km zurück gelegt. Der Verlauf dieser Nutzung ist in Abbildung 30 abgebildet. Vom 19.06.2011 bis 15.08.2011 war das Fahrzeug aufgrund eines Defektes nicht nutzbar. Es wurden hauptsächlich kurze Strecken unter 25 km gefahren. Der Anstieg der Kurve ist linear, was auf routiniertes Nutzerverhalten hinweist.

Abbildung 30: Strecke über Testzeitraum, Mega Multitruck



### 3.2.5 Reva i

Abbildung 31: Reva i<sup>18</sup>

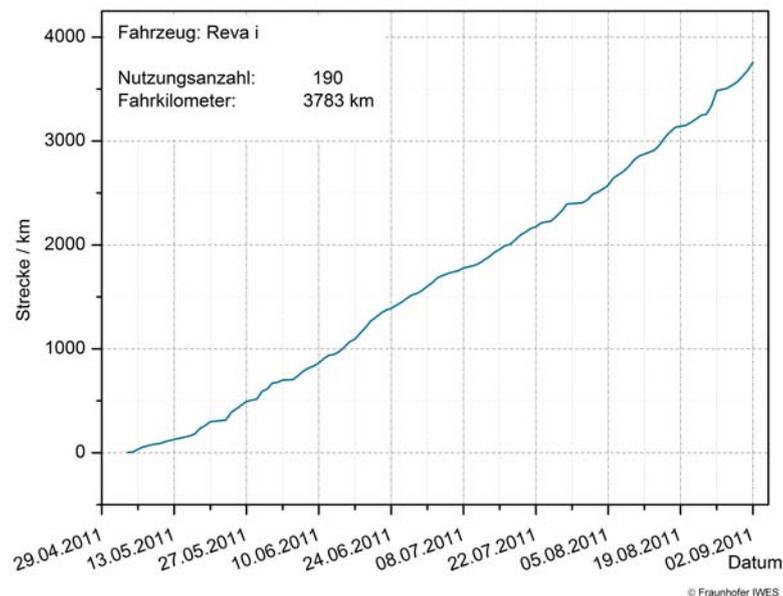


Der Reva i ist ein vierrädriges Fahrzeug in dem bis zu 4 Leute Platz finden. Er kann 230 kg Zuladung transportieren. Der Antrieb befindet sich an der Hinterachse. Die Reichweite des Reva i liegt zwischen 50 und 100 km. Dabei ist die Maximale Geschwindigkeit 75 km/h.

<sup>18</sup> <http://www.revaclub.com/images/reva-i.jpg> (12.12.2011)

Mit dem Reva i wurden in den 5 Monaten des Testbetriebs 3786 km zurückgelegt. Das Fahrzeug wurde von den Nutzern 190mal genutzt. Die Nutzung erfolgte meist auf Strecken mittlerer Distanz deren Länge meist die 30 km Marke nicht überstieg. Es ist über den Nutzungszeitraum ein leichter Anstieg im Kennliniengradienten zu erkennen, was auf ein leicht gesteigertes Nutzerinteresse hindeutet.

Abbildung 32: Strecke über Testzeitraum, Reva i



### 3.2.6 Start Lab

Abbildung 33: Start Lab<sup>19</sup>

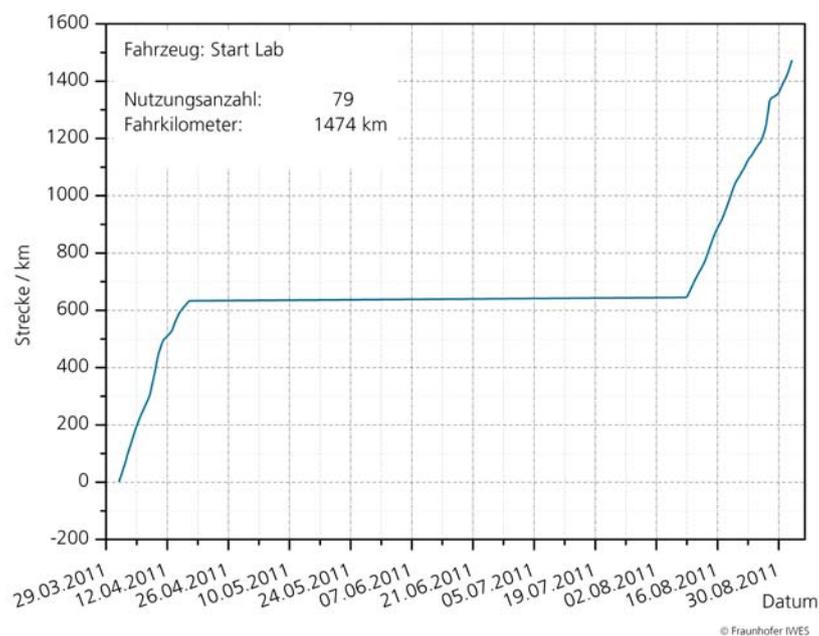


Der Start Lab ist Elektroauto für zwei Insassen. Das Fahrzeug kann zusätzliches Gepäck mit der Masse 230 kg transportieren. Durch den an der Hinterachse angreifenden Antrieb können mit dem Start Lab bis zu 80 km zurück gelegt werden. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt dabei 65 km/h.

Die Fahrdaten des Start Lab's sind durch eine sehr lange Ausfallzeit von 113 Tagen geprägt. Das Nutzungsverhalten ist in Abbildung 36 dargestellt. Insgesamt wurde das Fahrzeug trotz dieser Zeit noch 79mal genutzt und eine Strecke von 1474 km zurück gelegt. Der Gradient der Kurve ist sehr hoch. Das Fahrzeug wurde in der zur Verfügung stehenden Zeit sehr ausgiebig genutzt.

<sup>19</sup> <http://www.utopia.de/uploads/assets/user/38734/Bilder/Autos/Europa/Italien/StartLab.jpg>

Abbildung 34:  
Strecke über  
Testzeitraum, Start  
Lab



### 3.2.7 Twike

Abbildung 35: Twike<sup>20</sup>

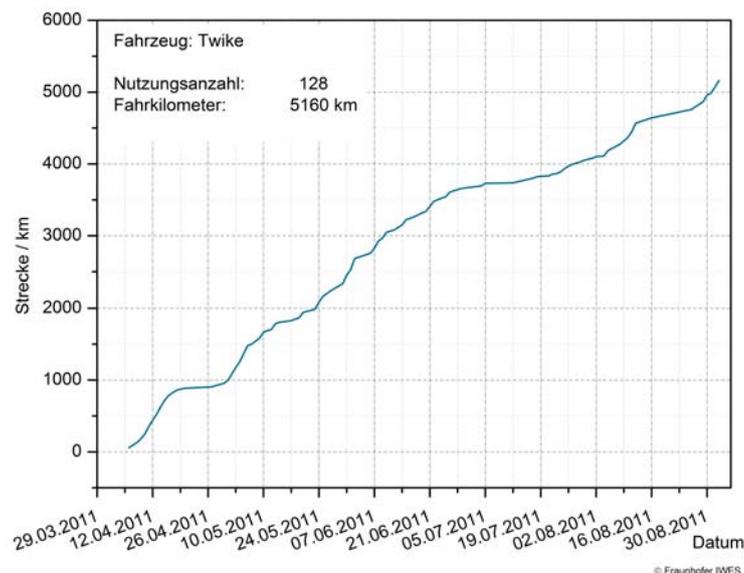


Das Twike ist ein dreirädriges Fahrzeug für 2 Personen. Es bietet einen Stauraum von bis zu 400 Litern. Der Antrieb befindet sich an der Hinterachse. Mit dem Twike können mehr als 200 km zurückgelegt werden. Dabei fährt das Fahrzeug maximal 85 km/h schnell. Es beschleunigt von 0 auf 60 km/h in 9 s.

Mit dem Twike wurden im Testzeitraum über 5100 km zurück gelegt. Damit ist es das Fahrzeug mit der größten zurückgelegten Distanz im Test. Die Strecke wurde in nur 128 Nutzungen gefahren, was bedeutet, dass eine Strecke durchschnittlich 40 km lang war. Die Häufigkeit der Nutzung nimmt in der zweiten Hälfte des Testzeitraumes etwas ab.

<sup>20</sup> <http://www.bavariabike.de/pics/twike1.jpg> (12.12.2011)

Abbildung 36: Strecke über Testzeitraum, Twike

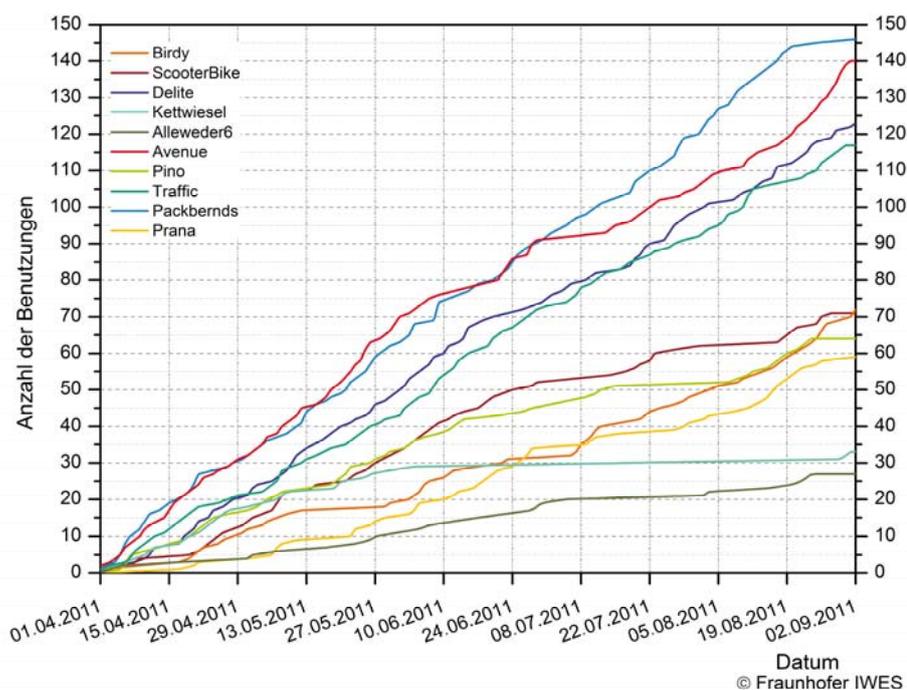


### 3.3 Vergleich der Fahrzeuge

#### 3.3.1 Vergleich der Einsatzzahlen

Die Nutzungsanzahl der einzelnen Fahrzeugtypen unterscheidet sich im Testzeitraum erheblich. Die Zusammensetzung der Nutzungen über dem Messzeitraum zeigt Abbildung 37. Die Abbildung erfasst den gesamten Zeitraum von 01.04.2011 bis 02.09.2011 für alle Fahrräder.

Abbildung 37:  
Einsatzanzahl  
während des  
Messzeitraumes



Die meisten Nutzungen weisen die beiden Lastenfahrräder Traffic und Packbernds und die beiden Freizeitfahrräder Delite und Avenue auf. Diese Fahrzeuge fallen durch ihre konstanten Gradienten bei der Nutzung auf. Die vier Fahrzeuge sind im Messzeitraum auch nicht von Ausfällen und Reparaturzeiten betroffen gewesen. Auffällig ist der Nutzungseinbruch des Avenue ab dem 30.06.2011. Ab diesem Datum wurde das Fahrzeug einige Tage nicht genutzt. Ab dem 14.07.2011 setzt wieder eine kontinuierliche Nutzung ein, welche sich gegen Ende des Testzeitraumes immer weiter steigert. Das Packbernds, welches die höchste Nutzungsanzahl aufweist erlebt einen solchen Einbruch ab den 20.08.2011. Die Ursachen für diese Verminderungen im Nutzungsverhalten konnten leider nicht zurückverfolgt werden.

Zwischen der Spitzengruppe und den anderen Fahrzeugen liegt ein deutlicher Unterschied in der Nutzungsanzahl. Einige Fahrzeugnutzungen beginnen mit ähnlichen Gradienten, jedoch flacht die Nutzung im Verlauf des Sommerhalbjahres ab. Es ist auch zu bemerken, dass einige Fahrräder wie das Pino, Birdy, Kettwiesel und Prana durch lange Reparaturzeiträume nicht nutzbar waren. Diese Zeiten, die zum Beispiel im Falle des Kettwiesels 87 Tage umfassen, verfälschen das Bild über das tatsächliche Nutzerinteresse stückweise

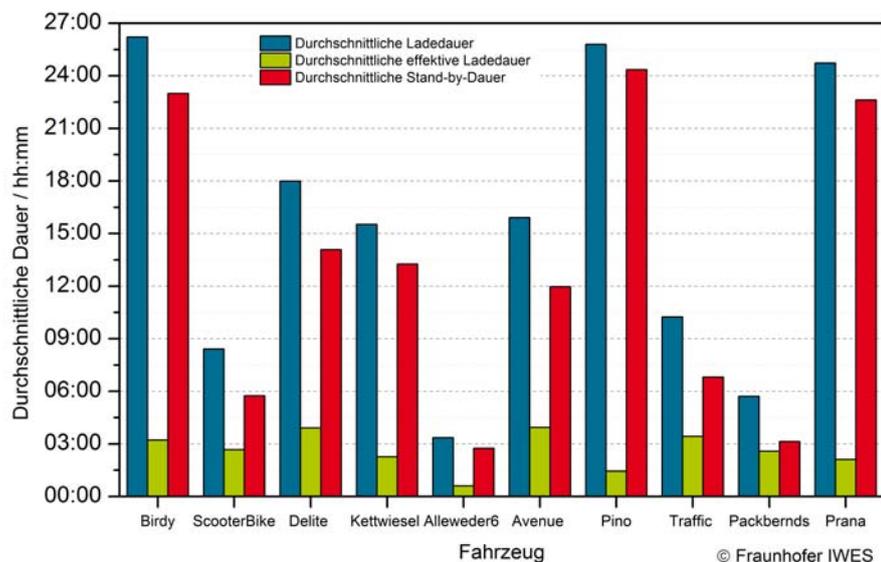
stark. Neben den mit großen Gradienten startenden Fahrrädern sind auch jene zu erkennen, welche sich durch eine niedrige, jedoch konstante Nutzung auszeichnen. Im Fall des Alleweder 6 ist eine solche Nutzung zu erkennen. In weiten Teilen ähnlich konstant erfolgte die Nutzung des Prana. Dies weist auf eine feste kleine Nutzergruppe hin.

Insgesamt ist jedoch selbst das am wenigstens frequentierte Fahrzeug durchschnittlich alle 5,7 Tage einmal genutzt worden, also durchschnittlich jede Woche 1mal. Das stark frequentierte Lastenfahrrad Packbernds wurde durchschnittlich jeden 1,06 Tag genutzt. Dies ist als ein Zeichen für sehr hohe Akzeptanz zu sehen.

### 3.3.2 Ladedauer

Um die Ladedauer der einzelnen Fahrzeuge vergleichbar machen zu können wurden sie in Abbildung 38 zusammengestellt. Hierbei wurde die durchschnittliche Gesamtladedauer in durchschnittliche effektive Ladedauer und durchschnittliche Standbydauer geteilt.

Abbildung 38:  
durchschnittliche  
Ladedauer,  
durchschnittliche  
effektive Ladedauer,  
durchschnittliche  
Standbydauer



Die durchschnittliche Gesamtladezeit schwankt zwischen den Fahrzeugen sehr stark. Das Alleweder 6 ist im Testzeitraum durchschnittlich lediglich 3 Stunden 21 Minuten geladen worden, während das Birdy mit durchschnittlich 26 Stunden und 12 Minuten im Durchschnitt meist deutlich über einen Tag am Ladegerät verblieb.

Die effektive Ladezeit der einzelnen Modelle schwankt zwischen 36 Minuten und 3 Stunden und 54 Minuten. Die geringste effektive Ladezeit wird ebenfalls vom Alleweder 6 erreicht. Da die durchschnittliche Ladedauer des Alleweder 6 liegt in der Größenordnung der effektiven Ladedauern der anderen Fahrzeuge.

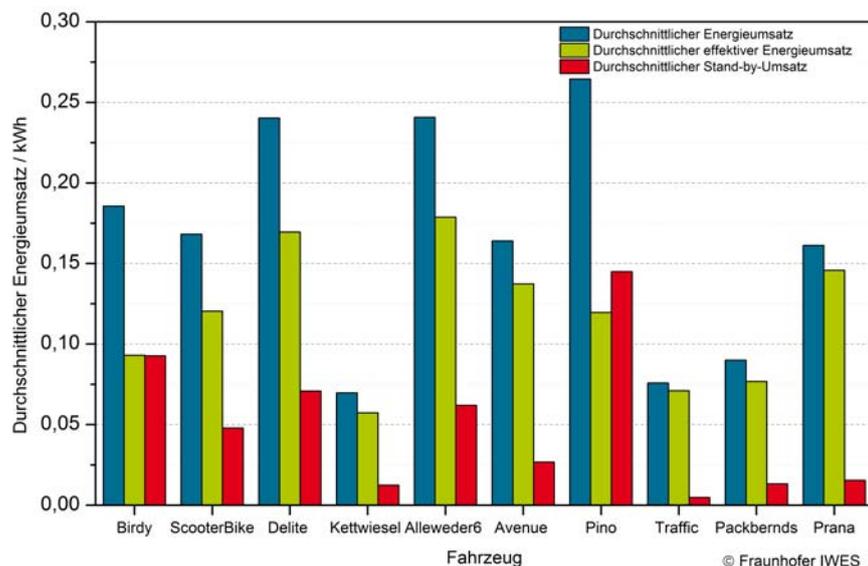
Daher besteht die Möglichkeit, dass dieses Fahrzeug in der Praxis keine Standbyzeit aufweist und diese sich lediglich durch die bei der Auswertung gesetzten Kriterien ergibt. Unter diesen Umständen müsste die als Standbyzeit dargestellte Größe der effektiven Ladezeit hinzugefügt werden. Im jetzigen Fall ist der Wert für die durchschnittliche effektive Ladung bei dem Fahrzeug Alleweder 6 sehr klein. Die längste durchschnittliche effektive Ladezeit weist das Delite auf.

Im Vergleich zwischen den Fahrzeugen fällt besonders auf, dass bei allen die Standbydauer die effektive Ladedauer um ein vielfaches übersteigt. Die Standbydauer ist naturgemäß eine nahezu komplett vom Nutzer beeinflusste Größe. Jedoch ist hierbei besonders entscheidend, ob das zum Fahrzeug gehörige Ladegerät eine Aussage über den Ladezustand zulässt. Bei den Fahrzeugen Packbernds und Traffic sind die Standbyzeiten in der Größenordnung der effektiven Ladezeiten bzw. sind um den Faktor 2 größer. Im Falle des Pino liegt zwischen Standbydauer und effektiver Ladedauer circa der Faktor 17. Solche großen Überhöhungen können bei einer hohen Standbyleistung zu großen Anteilen am Gesamtverbrauch führen und somit den Gesamtverbrauch deutlich erhöhen.

### 3.3.3 Ladeenergie

In Abbildung 39 wird der durchschnittliche Energieverbrauch pro Ladevorgang der einzelnen Fahrzeuge in kWh dargestellt.

Abbildung 39:  
durchschnittlicher  
gesamter  
Energieumsatz,  
effektiver  
Energieumsatz und  
Standbyumsatz der  
einzelnen Fahrzeuge



Der durchschnittliche Energieumsatz ist aufgrund der unterschiedlichen Fahrzeugtypen sehr verschieden. In dieser Darstellung erfolgt noch kein Streckenbezug. Daher sind Fahrzeuge mit vielen kurzen Strecken in dieser Darstellungsform begünstigt. Daher werden diese Angaben nicht weiter berücksichtigt.

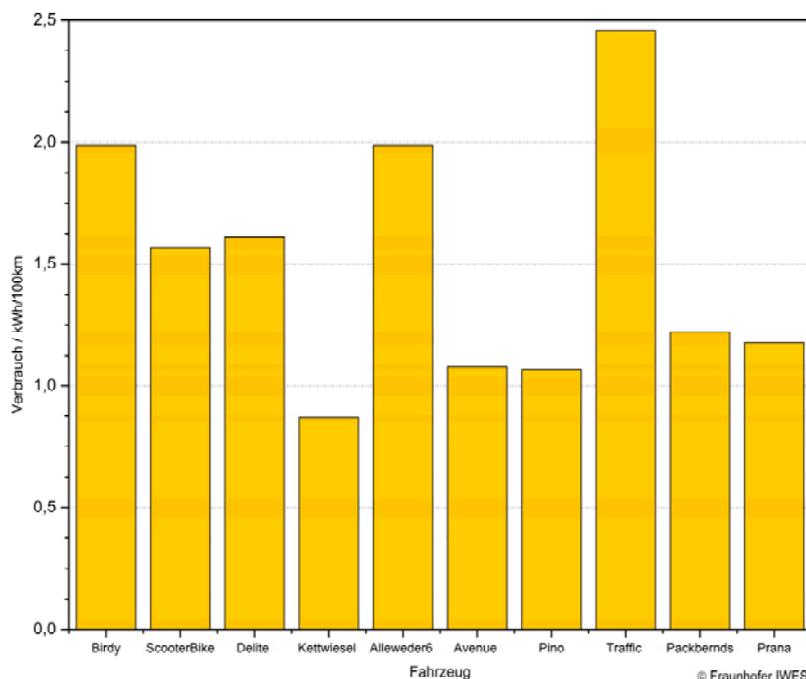
Eine entscheidende Aussage lässt sich über das Verhältnis vom effektiven Energieumsatz zum Standbyumsatz treffen. Dieses Verhältnis wird neben der Standbyleistung maßgeblich von der Standbydauer beeinflusst. Das Verhältnis liegt bei Fahrzeugen wie dem Traffic und dem Packbernds sehr auf Seiten der effektiven Ladenenergie. Dies ist auf die im Verhältnis sehr geringen Standbyzeiten zurück zu führen. Auch im Fall des Kettwiesels, welches eine überhöhte Standbydauer aufweist, ergibt sich ein geringer Standbyenergieumsatz. Erklärbar ist dieses Verhalten mit der geringen Standbyleistung des Ladegerätes von 0,5 W.

Das Verhältnis zwischen effektivem Energieumsatz und Standbyenergie bei den Fahrzeugen Birdy und Pino lässt auf große Sparpotenziale schließen. Beide Fahrzeuge zeichnen sich durch lange Standbyzeiten und vor allem durch große Standbyleistungen von 4 bis 5 W aus. Somit ergibt sich für beide Fahrzeuge ein sehr großer Einfluss des Standbyanteils auf den gesamten Verbrauch.

### 3.3.4 Verbrauch

Aus den Energiedaten und den Streckendaten wurde für die Fahrzeuge der durchschnittliche Verbrauch pro 100 km bestimmt. Der Vergleich zwischen den Fahrzeugen ist in Abbildung 40 dargestellt.

Abbildung 40:  
Verbrauch pro 100km  
der Fahrzeuge



Diese Darstellung verdeutlicht den Gesamtverbrauch auf einer Strecke von 100km. Üblicherweise sollte dieser Wert bei den Fahrzeugen bei circa 1,0 kWh/100km liegen. Die Fahrzeuge liegen im Durchschnitt deutlich über dieser Grenze. Da dieser Wert nur selten erreicht wurde hat mehrere Gründe. Der wesentlichste Grund besteht darin, dass in diese Betrachtung auch die Standbyverluste eingerechnet wurden. Dies wird bei eigentlich sparsamen Energieverbrauchern wie dem Birdy besonders deutlich. Bei Fahrrädern wie dem Traffic, welche für hohe Lasten ausgelegt sind, kann ein erhöhter Energiebedarf durch die erfolgte Zuladung erklärt werden. Auch das Alleweder 6, welches durch seine Verschalung schwerer ist als die anderen Fahrzeuge, hat daher einen höheren Energiebedarf. Die Angaben sind jedoch, da keine genauen Angaben über das gefahrene Streckenprofil vorliegen, mit Toleranzen behaftet und sollten nur zur qualitativen Beurteilung dienen.

Fahrzeuge wie das Avenue, das Kettwiesel und das Pino erreichen den zu erwartenden Wert nahezu, wobei das Kettwiesel sogar unter diesem liegt. Das Pino hat das Potenzial ebenfalls unter diesen Wert zu gelangen. Lediglich der hohe Standbyverlust verhindert das Unterschreiten der 1,0 kWh/100km Marke.

**Bericht Technische Begleitforschung**  
Nutzung von Pedelecs und Elektrorollern im  
Alltag von Berufspendlern bei juwi





Gefördert durch:



Koordiniert durch:



Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) unter dem Förderkennzeichen 03KP5511 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

# Impressum

## Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Windenergie und  
Energiesystemtechnik IWES  
Institutsteil Kassel  
Königstor 59  
34119 Kassel  
[www.iwes.fraunhofer.de](http://www.iwes.fraunhofer.de)

## Projektleitung

Dipl.-Ing. Markus Landau  
Telefon: +49 561 7294-243  
Telefax: +49 561 7294-200  
[markus.landau@iwes.fraunhofer.de](mailto:markus.landau@iwes.fraunhofer.de)

## Bearbeiter

Philipp Ackermann  
Bernd Brunner  
Roland Gaber  
Dipl.-Ing. Randolph Geipel  
Ulrich Lutz  
Oliver Schömann

Kassel, Dezember 2011

# Inhalt

	<b>Abbildungen</b>	<b>v</b>
<b>0</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Elektrofahrzeuge</b>	<b>5</b>
2.1	Pedelecs und Elektrofahrräder	5
2.1.1	Storck Raddar Multitask	5
2.1.2	Diamant Zouma Supreme +	6
2.1.3	Diamant Zouma Elite +	7
2.1.4	Diamant Zouma +	8
2.1.5	Übersicht Pedelecs	9
2.2	Roller	10
2.2.1	Solarscooter Sport SCP-4040 li.on	10
2.2.2	EVT 4000e	11
<b>3</b>	<b>Datenerfassung und Datenauswertung</b>	<b>12</b>
3.1	Messdaten und Datenqualität	12
3.1.1	Fahrdaten	12
3.1.2	Leistungs- und Energiedaten	15
3.1.3	Wetterdaten	17
3.2	Nutzbarkeit der Daten	17
3.3	Auswertung	19
3.3.1	Daten aus AWIS-Energieloggern	20
3.3.2	Daten aus Garmin-Fahrradcomputern	20
<b>4</b>	<b>Nutzungsprofile</b>	<b>21</b>
4.1	Gesamtenergieverbrauch und gefahrene Strecke	21
4.2	Energieverbrauch der Pedelecs und Elektrofahrräder	21
4.2.1	Storck Raddar Multitask	22
4.2.2	Diamant Zouma Supreme +	23
4.2.3	Diamant Zouma Elite +	25
4.2.4	Diamant Zouma +	26
4.3	Energieverbrauch der Roller	27
4.3.1	Solarscooter Sport SCP 4040 li.on	28
4.3.2	EVT 4000e	29
4.4	Nutzung der Pedelecs	30
4.5	Nutzung der Roller	36
4.6	Laden der Pedelecs	43
4.6.1	Charakteristik der Ladegeräte	43
4.6.2	Verhalten der Nutzer	47
4.7	Laden der Roller	50
4.7.1	Charakteristik der Ladegeräte	50
4.7.2	Verhalten der Nutzer	53
<b>5</b>	<b>Akkumulatoren und Ladetechnik</b>	<b>56</b>
5.1	Storck Raddar Multitask	57
5.2	Diamant Zouma	59

5.3	EVT 4000e	61
5.4	Solarscooter Sport SCP 4040 li.on	63
5.5	Standby-Verbrauch	64
5.5.1	EU-Verordnungen zu Standby-Verbrauch	67
5.5.2	Auswirkung der Ladezeit	68
<b>6</b>	<b>Weitere Erfahrungen aus dem Betrieb</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>70</b>

# Abbildungen

Abbildung 1: Storck Raddar Multitask	5
Abbildung 2: Diamant Zouma Supreme+	6
Abbildung 3: Diamant Zouma Elite + Damen	7
Abbildung 4: Diamant Zouma+	8
Abbildung 5: Solarscooter Sport SCP 4040 li.on auf dem Foto eines Händlers	10
Abbildung 6: EVT 4000e	11
Abbildung 7: Fahrradcomputer EDGE 500	12
Abbildung 8: Energielogger "Power Detective"	15
Abbildung 9: Übersicht Datenverfügbarkeit Pedelecs	22
Abbildung 10: Übersicht Datenverfügbarkeit Roller	27
Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung Streckenlängen Pedelecs	30
Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung Fahrtdauer Pedelecs	31
Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung Uhrzeit bei Fahrtbeginn mit Pedelecs	32
Abbildung 14: Verteilung Nutzung Pedelecs auf Wochentage	32
Abbildung 15: Streckenlänge und Geschwindigkeit nach Wochentagen Pedelecs	33
Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung Durchschnitts-geschwindigkeiten Pedelecs	34
Abbildung 17: Nutzung der Pedelecs über den Projektzeitraum	35
Abbildung 18: Einfluss des Wetters auf die Nutzung der Pedelecs	35
Abbildung 19: Häufigkeitsverteilung Streckenlänge Roller	36
Abbildung 20: Häufigkeitsverteilung der Fahrtdauer der Roller	37
Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung Uhrzeit bei Fahrtbeginn Roller	38
Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung der Rollernutzung auf die Wochentage	39
Abbildung 23: Streckenlänge und Geschwindigkeit nach Wochentagen Roller	39
Abbildung 24: Häufigkeitsverteilung Durchschnitts-geschwindigkeiten Roller	40
Abbildung 25: Nutzung der Roller über den Projektzeitraum	41
Abbildung 26: Einfluss des Wetters auf die Nutzung der Roller	42
Abbildung 27: charakteristischer Ladevorgang Storck Raddar Multitask	43
Abbildung 28: batterieseitige Charakteristik Ladegerät Storck Raddar Multitask	44
Abbildung 29: charakteristischer Ladevorgang Diamant Zouma Supreme+	45
Abbildung 30: batterieseitige Charakteristik Ladegerät Diamant Zouma Elite	46
Abbildung 31: Häufigkeitsverteilung Uhrzeit bei Ladebeginn der Pedelecs	47
Abbildung 32: Häufigkeitsverteilung der Uhrzeit bei Ende der Ladevorgänge Pedelecs	48
Abbildung 33: Häufigkeitsverteilung Ladedauer Pedelecs	49
Abbildung 34: Häufigkeitsverteilung Dauer der Ladevorgänge für verschiedene Ladegeräte	50
Abbildung 35: typischer Ladevorgang EVT 4000e	51
Abbildung 36: batterieseitige Charakteristik Ladegerät EVT 4000e	52

Abbildung 37: charakteristischer Ladevorgang Solarscooter Sport SCP 4040 li.on	53
Abbildung 38: Häufigkeitsverteilung Uhrzeit bei Ladebeginn der Roller	54
Abbildung 39: Häufigkeitsverteilung der Uhrzeit bei Ende der Ladevorgänge Roller	54
Abbildung 40: Häufigkeitsverteilung Ladedauer Roller	55
Abbildung 41: Ergebnisse der Kapazitäts-messungen Storck Raddar Multitask	57
Abbildung 42: Kapazitätstest Vergleich Entladeverhalten Storck Raddar Multitask	59
Abbildung 43: Ergebnisse der Kapazitäts-messungen Diamant Zouma	60
Abbildung 44: Ergebnisse der Kapazitätstests EVT 4000e	62
Abbildung 45: Ergebnisse Kapazitätstests Akkus Entladen SCP 4040 li.on	64
Abbildung 46: Ladegerät der Storck Raddar Multitask Pedelecs	65
Abbildung 47: Ladegerät der Diamant Zouma Pedelecs bzw. Elektrofahrräder	66
Abbildung 48: Standbyverbrauch abhängig von der Ladedauer der Pedelecs	68

## 0 Zusammenfassung

Für den vorliegenden Bericht wurden Daten aus dem Einsatz von insgesamt 16 Pedelecs und 9 Elektrorollern bei der juwi Holding AG ausgewertet. Die Elektrofahrzeuge wurden den Mitarbeitern für die Nutzung im Alltag zur Verfügung gestellt. Im Zeitraum zwischen Anfang Februar und Anfang Juli 2011 wurden dazu Messdaten gesammelt. Dabei wurden mithilfe von GPS-Fahrradcomputern und Leistungsmessgeräten Messdaten zu den Fahrten und zum Energieverbrauch der Ladegeräte erfasst. Die Daten konnten sowohl gesondert, als auch in eingeschränktem Maße kombiniert ausgewertet werden.

Von insgesamt 102,1 kWh Strombezügen für die Ladungen der Pedelecs und Elektrofahrräder wurden fast 20 % bei Leistungen unter 10 Watt verbraucht, was an dieser Stelle als Standby-Verbrauch zusammengefasst wurde. Pro Fahrzeug wurden sogar bis zu 37 % der im Projektzeitraum benötigten Energie im Standby-Betrieb der Ladegeräte verbraucht. Dieser Anteil war maßgeblich von der Standby-Leistung der Ladegeräte und der Zeit, die die Ladegeräte mit dem Netz verbunden blieben, abhängig.

Bei den Pedelecs unterschied sich die Leistung im Standby-Betrieb zwischen 0,7 W und 5,3 W. Die Zeit der Ladegeräte an der Steckdose schwankte bei den Nutzern der Pedelecs zwischen durchschnittlich 5 Stunden und 20 Minuten und 32 Stunden und 21 Minuten pro Ladevorgang und war offenbar maßgeblich vom Typ des Ladegeräts abhängig. Möglicherweise war dies durch integrierte Leuchten zum Signalisieren des vollständigen Ladens bedingt.

Selbst für einen vollständigen Ladeprozess bei kompletter Entladung hätten jeweils maximal 4 Stunden bzw. 7 Stunden an der Steckdose genügt. Anhand der Uhrzeiten bei Ladebeginn und Ladeende ist festzustellen, dass die Ladungen sowohl am Arbeitsplatz als auch am Wohnort erfolgten. Trotz des teilweise erheblichen Gewichts der Ladegeräte wurden sie also regelmäßig mitgeführt. Somit wurden die Fahrzeuge jedoch auch sehr häufig und zu den unterschiedlichsten Zeiten geladen.

Das Ladeverhalten bei den Rollern war deutlich von dem bei den Fahrrädern zu unterscheiden. Hier wurden insgesamt 368 kWh in 277 Ladevorgängen benötigt. Die Roller wurden dabei offensichtlich deutlich planmäßiger geladen. Die Ladevorgänge wurden fast alle in der Zeit zwischen 7 Uhr und 9 Uhr 30 gestartet und zwischen 16 Uhr 30 und 18 Uhr 30 beendet.

Die Problematik des Standby-Verbrauchs ergab sich für die Roller nur in geringerem Maße, hier lag der energetische Anteil von Leistungen unter 100 W bei maximal 17 % der im Projektzeitraum benötigten Energie. Die Charakteristik der Ladegeräte ist in diesem Fall wegen der unterschiedlichen Akkutypen auch nur schwer zu vergleichen. Zudem war das Verhältnis von Fahrten zu Ladevorgängen deutlich größer und die durchschnittliche Dauer der Ladevorgänge betrug bei fast allen Fahrzeugen 8 bis 9 Stunden.

Insgesamt wurden im Rahmen des Projekts bei den Pedelecs 1095 Fahrten mit rund 8340 km und ca. 4700 km in 929 Fahrten der Roller aufgezeichnet. Der Großteil der Datenerfassung lief dabei zwischen Mitte Februar und Ende Juni, also über rund 135 Tage. Im Fall der Pedelecs entspricht dies ungefähr einer Fahrt alle 2 Tage.

Anhand der erfassten Daten scheinen die Pedelecs also nur als Ergänzung zu einem sonstigen Verkehrsmitteln gedient zu haben und waren nicht einziges Transportmittel für den Arbeitsweg. Bei Berücksichtigung von Hin- und Rückfahrt ergibt sich eine Verwendung an jedem 4. Tag bzw. etwas mehr als an jedem 3. Werktag. Die Anzahl der Fahrten der Pedelecs und Elektrofahrräder lag an den Wochenenden nur bei ca. 20 % des werktäglichen Niveaus. Bei den Rollern betrug die Nutzung am Wochenende gegenüber den Wochentagen sogar nur rund 10 %.

Der Großteil der Fahrten diente offensichtlich nur der An- und Abreise zur Arbeit, wobei interessanterweise die durchschnittliche Streckenlänge mit ca. 7,6 km bei den Pedelecs deutlich größer als bei den Rollern mit 5 km war. Auch die Dauer der Fahrten war damit bei den Rollern deutlich kürzer.

Neben der getrennten Auswertung der Fahr- und Energiedaten wurden auch Informationen aus den Schnittmengen der beiden Aufzeichnungen gewonnen. Da außer dem zeitlichen Rahmen der beiden Aufzeichnungen jedoch keine Prüfungen bezüglich vollständiger Ergänzung der beiden Aufzeichnungen durchgeführt wurden, sind diese Aussagen noch nicht vollständig verifizierbar.

Berechnet wurden je nach Fahrzeugmodell ein Durchschnittsverbrauch ohne Standby-Verbrauch zwischen 1,03 und 1,47 kWh / 100 km für die Pedelecs und Elektrofahrräder. Dabei wiesen diese Werte zwischen den einzelnen Fahrzeugen der jeweiligen Modelle jedoch Schwankungen um ungefähr  $\pm 25\%$  auf. Als ein erheblicher Einflussfaktor war die gefahrene Durchschnittsgeschwindigkeit zu identifizieren. Je langsamer die Pedelecs und je mehr Höhenmeter gefahren wurden, desto mehr elektrische Energie wurde im Allgemeinen für die Unterstützung verbraucht. Damit ließen sich jedoch bei weitem nicht alle Schwankungen erklären. Da erhebliche Einflussfaktoren wie Gewicht der Fahrer, Fahrweise, Fahrzeugzustand und Witterungsbedingungen nicht aufgezeichnet wurden, war aber mit nicht zuordenbaren Schwankungen zu rechnen.

Bei den Rollern konnte ein Gesamtverbrauch zwischen 5,2 und 11,9 kWh / 100 km berechnet werden. Die Fahrzeuge des Typs EVT 4000e waren dabei insgesamt merklich sparsamer als die Roller des Typs Solarscooter Sport SCP 4040 li.on. Eine der Ursachen können die deutlich höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten dieser stärker motorisierten Modelle sein. Im Vergleich der Fahrzeuge des Typs EVT 4000e konnte ein deutlicher Zusammenhang zwischen gefahrenen Höhenmetern und gesteigertem Verbrauch festgestellt werden.

Durch den Vergleich mit Aufzeichnungen der Wetterstation Frankfurt a. Main Flughafen, die rund 40 km von Wörrstadt entfernt ist, zeigt sich, dass die Nutzung der Pedelecs und Roller stark vom Wetter abhängig ist. An Tagen mit Niederschlag ging die Nutzung deutlich zurück.

Insgesamt haben die eingesetzten Fahrzeuge, bis auf den Solarscooter Sport SCO 4040 li.on, im Rahmen des Projekts ihre Alltagstauglichkeit unter Beweis gestellt. Sowohl die Roller, als auch die Pedelecs und Elektrofahräder wurden über den gesamten Projektzeitraum gleichmäßig fortlaufend genutzt.

# 1 Einleitung

Im Rahmen des Förderprogramms Modellregion Elektromobilität wurden bei dem Unternehmen juwi Holding AG in Wörrstadt seit Mitte Februar 2011 16 Pedelecs und 9 Elektroroller den Beschäftigten für den Einsatz im Alltag zur Verfügung gestellt. Ziel war es, Erfahrungswerte zum Einsatz der Elektrofahrzeuge im Pendleralltag zu sammeln und Verbesserungsansätze zu entwickeln.<sup>1</sup> Gefördert wurde das Projekt durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung unter Koordination der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie.

Als Pedelecs bzw. Elektrofahrräder wurden 5 verschiedene Modelle von 2 verschiedenen Herstellern eingesetzt. Vom Hersteller Storck Bicycle GmbH wurden 6 Pedelecs des Typs Raddar-Multitask eingesetzt. Diese Modelle lassen jeweils nur eine fahrerseitige Unterstützung der Leistung zu.

Vom Hersteller TREK Fahrrad GmbH waren 3 verschiedene Modelle von Pedelecs und ein Modell eines Elektrofahrrads im Einsatz. Bei den Elektrofahrrädern dient der Elektromotor nicht nur der Unterstützung des Tretens, sondern kann bis zu einer Geschwindigkeit von 20 km / h auch unabhängig von der Leistung des Fahrers genutzt werden.

Neben den Pedelecs wurden 2 verschiedene Typen von Rollern eingesetzt. Dabei wurden 6 Roller des Modell EVT 4000e des Herstellers EVT Technology Co., Ltd und 3 Fahrzeuge des Modells Solarscooter Sport SCP 4040 li.on vom Hersteller Sunharvest eingesetzt.

Die im Rahmen dieses Projekts durchgeführte Begleitforschung teilte sich in den Bereich sozialwissenschaftliche und technische Begleitforschung auf.

Die sozialwissenschaftliche Begleitforschung wurde unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Petra K. Schäfer an der Fachhochschule Frankfurt durchgeführt.

Die technische Begleitforschung, die insbesondere die Erfassung technischer Daten, Erfassung und Auswertung von Fahr- und Energiedaten sowie Kapazitätsmessungen der Akkus umfasste, wurde durch das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES in Kassel geleistet.

Ein Austausch zu möglichen Zusammenhängen der jeweiligen Forschungsergebnisse fand im Rahmen dieses Berichts bisher noch nicht statt.

<sup>1</sup> [http://www.juwi.de/forschung\\_entwicklung\\_rd/elektromobilitaet.html](http://www.juwi.de/forschung_entwicklung_rd/elektromobilitaet.html), Abgerufen am 28.7.2011

## 2 Elektrofahrzeuge

### 2.1 Pedelecs und Elektrofahrräder

#### 2.1.1 Storck Raddar Multitask

Das Elektrofahrrad Raddar Multitask wurde in 6-facher Ausführung genutzt. Es verfügt in der Hinterradnabe über einen getriebelosen 250-Watt-Motor mit einem maximalem Drehmoment von 60 Nm, der aus einem Lithium-Polymer-Akku mit 10 Ah Nennkapazität bei 25,2 V Nennspannung versorgt wird. Es ergibt sich eine Nennkapazität von 253 Wh. Laut Herstellerangaben kann der Fahrer so über eine Reichweite zwischen 40 und 90 km elektrisch unterstützt werden.<sup>2</sup> Es finden sich in diesem Zusammenhang leider keine Angaben zu den angewandten Verfahren bei der Reichweitenbestimmung.

Die Unterstützung wird ab einer Geschwindigkeit von 24,9 km/h automatisch abgeschaltet. Damit ist die Nutzung des Pedelecs nicht zulassungspflichtig. Das Gesamtgewicht des Pedelecs liegt bei 22,4 kg.<sup>3</sup> Wenn gewünscht kann der Akku auch während der Fahrt über Rekuperation von Bewegungsenergie wieder geladen werden. Normalerweise wird der Akku über ein einphasiges Netzteil für normale Steckdosen bei 110-240 V geladen<sup>4</sup>.

Abbildung 1:  
Storck Raddar Multi-  
task<sup>5</sup>



<sup>2</sup> <http://www.storck-bicycle.de/de/web-anz-bikes.asp?ID=3051&ID2=3084&sub=3000&objekt=>; Abgerufen am 26.7.2011

<sup>3</sup> <http://www.storck-bicycle.de/de/presse.asp?Bike=349>; Abgerufen am 5.9.2011

<sup>4</sup> <http://www.storck-bicycle.de/de/web-anz-bikes.asp?ID=3051&ID2=3084&sub=3000&objekt=>; Abgerufen am 26.7.2011

<sup>5</sup> <http://www.storck-bicycle.de/de/bike-anz7.asp?ID=3051&ID2=3084&ID5=94&sub=3000>; Abgerufen am 26.7.2011

In Abbildung 1 ist das Modell Raddar Multitask in einer Darstellung des Herstellers zu sehen. Zusätzlich zu den in Abbildung 1 dargestellten Ausstattungsmerkmalen waren alle Pedelecs im Projekt mit Schlössern der Fa. Trelock und Aufklebern des Projektes ausgestattet.

## 2.1.2 Diamant Zouma Supreme +

Vom Typ Diamant Zouma Supreme + des Herstellers TREK Fahrrad GmbH wurden im Rahmen des Projekts 2 Elektrofahrräder eingesetzt. Sie verfügen mit dem Antriebssystem Ride+ über einen 250-Watt-Motor, der bis zu einer Geschwindigkeit von 40 km / h genutzt werden kann. Damit ist das Fahrzeug zulassungspflichtig.

Der Motor wird aus einem Lithium-Ionen-Mangan Akku mit 6,4 Ah Nennkapazität bei 40,7 V Nennspannung gespeist. Damit kann der Akku eine Energie von 260,5 Wh liefern. Es finden sich keine Angaben über die zu erwartende Reichweite. Neben der üblichen Ladung durch das Ladegerät kann der Akku auch während der Fahrt durch Rekuperation von Bewegungsenergie geladen werden. Vollständig ausgestattet wiegt das Elektrofahrrad 20,6 kg.<sup>6</sup>

In Abbildung 2 ist das Modell Diamant Zouma Supreme+ in einer Darstellung des Herstellers zu sehen. Wie in Abbildung 2 dargestellt verfügten die Fahrzeuge über schwarz-weiß-rote Farbgebung. Im Gegensatz zur Abbildung wurden die Fahrzeuge für den Test zusätzlich mit einem Schloss der Fa. Trelock und Aufklebern der Fa. juwi ausgestattet.

Abbildung 2:  
Diamant Zouma  
Supreme+<sup>7</sup>



<sup>6</sup> <http://www.diamantrad.com/archiv/modelle-2010/fahrspass-elektrokraft/zouma-supreme/>; Abgerufen am 5.9.2011

<sup>7</sup> <http://www.diamantrad.com/typo3temp/pics/454b6b6c74.jpg>; Abgerufen am 5.9.2011

### 2.1.3 Diamant Zouma Elite +

Insgesamt 6 Pedelecs des Typs Diamant Zouma Elite + vom Hersteller TREK Fahrrad GmbH wurden in dem Projekt eingesetzt. Dabei wurden 3 Damen- und 3 Herrenmodelle verwendet. Die technische Ausstattung beider Modelle ist bis auf die Rahmengeometrie identisch. Beide Modelle sind mit einer gefederten Gabel am Vorderrad ausgestattet und wiegen jeweils 21,8 kg.

Als Motor ist ein bürstenloser Motor mit unbekannter Leistung in der Hinderadnabe verbaut. Er wird aus einem Lithium-Ionen-Mangan-Akku mit 40,7 V Nennspannung und 6,4 Ah Nennkapazität gespeist. Es können also nominal 260,5 Wh gespeichert werden. Neben der üblichen Ladung durch das Ladegerät kann der Akku auch während der Fahrt durch Rekuperation von Bewegungsenergie geladen werden.

Das Pedelec ist zulassungsfrei. Auch hier wird die Unterstützung durch den Motor ab einer Geschwindigkeit von 25 km / h abgeschaltet.<sup>8</sup>

In Abbildung 3 ist das Damenmodell vom Typ Diamant Zouma Elite + in einer Darstellung des Herstellers zu sehen. Im Gegensatz zur dargestellten Rahmengeometrie in Abbildung 3 wurden auch 3 Modelle mit einem oben geführten Oberrohr eingesetzt.

Abbildung 3:  
Diamant Zouma  
Elite + Damen<sup>9</sup>



<sup>8</sup> <http://www.diamantrad.com/archiv/modelle-2010/fahrspass-elektrokraft/zouma-elite/>; Abgerufen am 26.7.2011

<sup>9</sup> <http://www.diamantrad.com/typo3temp/pics/8bb2d3978a.jpg>; Abgerufen am 26.7.2011

#### 2.1.4 Diamant Zouma +

Als drittes Modell des Herstellers TREK Fahrrad GmbH wurden 2 Pedelecs des Typs Diamant Zouma + eingesetzt. Es handelt sich dabei um 2 Fahrräder mit Tiefeinstieg, Kettenschaltung und jeweils 8 Gängen. Die Räder wiegen jeweils 25,6 kg und sind mit einer arretierbaren Federgabel am Vorderrad ausgestattet.

Das Antriebssystem besteht aus einem bürstenlosen Elektromotor in der Hinterradnabe und einem Lithium Ionen Mangan Akku mit einer Nennkapazität von 6,4 Ah bei einer Nennspannung von 40,7 V. Die energetische nominale Kapazität beträgt also 260,5 Wh. Neben der üblichen Ladung durch das Ladegerät kann der Akku auch während der Fahrt durch Rekuperation von Bewegungsenergie geladen werden.

Das Pedelec ist zulassungsfrei. Der Elektromotor wird also nur unterstützend eingesetzt und ab einer Geschwindigkeit von 25 km / h abgeschaltet.<sup>10</sup>

In Abbildung 4 ist das Modell in einer Darstellung des Herstellers zu erkennen. Zusätzlich zum dargestellten Felgenschloss am Hinterrad, waren auch diese Modelle für den Test mit Schlössern der Fa. Trelock ausgestattet.

Abbildung 4:  
Diamant Zouma+<sup>11</sup>



<sup>10</sup> <http://www.diamantrad.com/archiv/modelle-2010/fahrspass-elektrokraft/zouma/>; Abgerufen am 5.8.2011

<sup>11</sup> <http://www.diamantrad.com/typo3temp/pics/15a0e9621e.jpg>; Abgerufen am 5.8.2011

## 2.1.5 Übersicht Pedelecs

Um die Merkmale der verschiedenen Pedelecs einfacher vergleichbar zu machen, wird im Folgenden in Tabelle 1 noch eine Übersicht über die zentralen Eigenschaften der verschiedenen Modelle gegeben.

Tabelle 1: Übersicht Ausstattungsmerkmale Pedelecs und Elektrofahrräder

	Raddar Multitask	Zouma Supreme +	Zouma Elite +	Zouma +
Modelljahrgang	2010	2010	2010	2010
Gewicht	22,4 kg	20,6 kg	21,8 kg	25,6 kg
Nennspannung	25,2 V	40,7 V	40,7 V	40,7 V
Nennkapazität	253 Wh	260 Wh	260 Wh	260 Wh
Rekuperation	Ja	Ja	Ja	Ja
Schaltung	Ketten	Ketten	Ketten	Naben
Unterstützung bis	25 km/h	40 km/h	25 km/h	25 km/h
Motorleistung	250 W	250 W		
Drehmoment	60 Nm			

Wie in Tabelle 1 ersichtlich, handelt es sich bei den Pedelecs jeweils um Modelle des Jahrgangs 2010. Gegenüber den aktuellen Modellen können sich damit Abweichungen in der technischen Ausstattung ergeben.

Auf telefonische Anfrage hin bestätigte der Hersteller TREK Fahrrad GmbH der Pedelecs und Elektrofahrräder der Diamant-Serie, dass bei allen aktuellen Modellen die Akkus und Ladegeräte gegenüber den Vorjahresmodellen gewechselt haben und somit keine wechselseitige Kompatibilität besteht.

## 2.2 Roller

### 2.2.1 Solarscooter Sport SCP-4040 li.on

Vom Hersteller Sunharvest wurde im Rahmen dieses Projekts das Modell Solarscooter Sport SCP-4040 li.on in 3-facher Ausführung genutzt. Es handelt sich dabei um einen Elektroroller mit Lithium-Eisen-Akku. Der Akku verfügt über eine Nennkapazität von 40 Ah bei 64 Volt Nennspannung.

Aus dem Akku wird ein bürstenloser Radnabenmotor mit einer Nennleistung von 4 kW versorgt. Dieser beschleunigt den Roller bis auf eine Maximalgeschwindigkeit von 88 km / h.<sup>12</sup>

Als Reichweite wird je nach Betriebsmodus eine Strecke von bis zu 100 km angegeben. Geladen wird der Akku über ein mitgeliefertes Ladegerät an einer normalen Steckdose.

Der Roller wiegt leer 120 kg und kann bis zu einem maximalen Gesamtgewicht von 305 kg beladen werden.

In Abbildung 5 ist das Modell Solarscooter Sport SCP-4040 li.on auf dem Foto eines Händlers zu sehen. Im Vergleich zu dem Modell EVT 4000e wird das sehr moderne und in leuchtenden Farben gehaltene Design deutlich.

Abbildung 5:  
Solarscooter Sport  
SCP 4040 li.on auf  
dem Foto eines  
Händlers<sup>13</sup>



<sup>12</sup> <http://www.solar-mobil-gmbh.de/de/solar-scooter/solar-scooter-scp-4040-sport.html>; Abgerufen am 19.8.2011

<sup>13</sup> <http://www.solar-mobil-gmbh.de/images/solarscooter/solar-scooter-sport-sm.jpg>; Abgerufen am 19.8.2011

### 2.2.2 EVT 4000e

Vom Hersteller EVT Technology Co., Ltd wurde im Rahmen des Projekts 6-mal das Modell EVT 4000e genutzt. Dabei handelt es sich um einen Elektroroller mit einem in der Hinterradfelge integrierten Permanentmagnet-Motor, der in der Spitze bis zu 2,8 kW leistet. Als Nennleistung für den Dauerbetrieb ist eine Leistung von 1,5 kW angegeben. Die Kraftübertragung erfolgt damit getriebelos direkt auf das Hinterrad.

Gespeist wird der Motor aus 4 wartungsfreien Blei-Vlies-Akkus mit je 50 Ah Kapazität bei einer Nennspannung von 12 V. Es ergibt sich bei Reihenschaltung der Batterien also eine Nennbetriebsspannung des Antriebssystems von 48 V.

Die Reichweite des Rollers variiert laut Herstellerangaben zwischen 45 und 70 km. Geladen wird über ein separates Ladegeräte an normalen Steckdosen.<sup>14</sup>

Der Roller wiegt leer 125 kg und kann mit bis zu 150 kg, also im Normalfall 2 Personen, beladen werden.

In Abbildung 6 ist das Modell EVT 4000e in einer Darstellung des Herstellers zu sehen. Wie dargestellt, fällt in der Hinterradfelge der deutlich erkennbare Elektromotor auf.

Abbildung 6:  
EVT 4000e<sup>15</sup>



<sup>14</sup> [http://www.evt-scooter.com/index.php?article\\_id=18](http://www.evt-scooter.com/index.php?article_id=18); Abgerufen am 29.7.2011

<sup>15</sup> [http://www.evt-scooter.com/files/4000e\\_20silver.jpg](http://www.evt-scooter.com/files/4000e_20silver.jpg); Abgerufen am 2.9.2011

## 3 Datenerfassung und Datenauswertung

### 3.1 Messdaten und Datenqualität

Für die vorliegende Auswertung wurden Aufzeichnungen zu den gefahrenen Strecken und der für das Laden benötigten Leistung und Energie verwendet. Die Streckendaten wurden mit GPS-fähigen Fahrradcomputern aufgezeichnet; die verbrauchte Energie mit Leistungs- bzw. Energiemessgeräten, die zwischen die Ladegeräte und die Steckdose gesteckt wurden.

#### 3.1.1 Fahrdaten

Zur Erfassung der Fahrdaten und Geschwindigkeitsdaten wurden für alle Fahrzeuge, also sowohl Pedelecs als auch Roller, einheitliche Fahrradcomputer eingesetzt. Als Fahrradcomputer wurden Geräte des Typs EDGE 500 vom Hersteller Garmin verwendet. In Abbildung 7 ist ein entsprechendes Gerät zu erkennen.

Abbildung 7:  
Fahrradcomputer  
EDGE 500



Durch einen GPS-Empfänger und einen barometrischen Höhensensor werden aktuelle Position, Höhe, Geschwindigkeit und Distanz der zurückgelegten Strecke berechnet, angezeigt und im Gerät gespeichert.

Die Aufzeichnungen wurden anschließend über eine spezielle Software an einen externen Server der Webplattform <http://www.sportics.net> des IT-Dienstleisters Carbon Logistics GmbH gesendet, wo die Datenauswertung anonymisiert wird. Alle eventuell auf Personen rückführbare Informationen wurden somit vor der Auswertung der Daten im Fraunhofer IWES entfernt.

Aus den Aufzeichnungen der Fahrradcomputer standen somit schließlich Daten zur Höhe, der Geschwindigkeit und der Distanz zur Verfügung. Die Daten wurden jeweils mit Zeit- und Datumstempel und Geräte-ID als csv.-Dateien abgespeichert. In diesem Format standen schließlich 540.019 Datenzeilen zu den Pedelecs und 274.338 Zeilen Fahrdaten der Roller. Nach den später erläuterten Kriterien entsprach dies 1095 und 929 einzelnen Fahrten.

Während der Großteil der Daten in sich schlüssig erschienen, mussten einzelne Zeilen vollständig von der Auswertung ausgeschlossen werden. Vor der weiteren Berechnung der Ergebnisse wurde dazu eine Datenprüfung implementiert, die als Voraussetzung für die Verwendung der Zeile genutzt wurde.

Insbesondere wurden die Daten dabei nach den in Tabelle 2 folgenden Kriterien geprüft:

Tabelle 2: Kriterien zur Prüfung der Fahrdaten

Datenspalte	Einheit	Minimum	Maximum	Ausschlusswert
Datum	-	29.01.2011	10.07.2011	-
Uhrzeit	-	-	-	0:00:00
Höhe	m	-150	1000	-
Distanz	m	0	200	-
Geschwindigkeit	m / s	-	-	-

Die Datumsprüfung wurde eingeführt, da vereinzelt Zeilen mit einem Zeitstempel außerhalb des Jahres 2011 abgelegt wurden.

Bei der Uhrzeit wurde aus der Betrachtung der Daten deutlich, dass der Zähler scheinbar vereinzelt, statt einer korrekten Uhrzeit, exakt Mitternacht als Wert abspeicherte. Da die Zeitstempel für die Auswertung von großer Bedeutung waren, mussten diese Zeilen ausgeschlossen werden. Damit wurde akzeptiert, dass Datenzeilen, die real exakt bei Mitternacht entstanden, nicht berücksichtigt wurden. Der damit akzeptierte Verlust ist jedoch marginal.

Bei den Höhenwerten wurden alle Werte unter 150 m unter Normalnull und über 1000 m über Normalnull ausgeschlossen. Insgesamt scheinen die Höhenangaben in absoluten Werten ungenau zu sein, da in mehreren Datensätzen

auch Höhenangaben unter Normalnull vorkommen. In Realität liegt der tiefste Punkt im Umkreis von ca. 30 km um Wörrstadt, dem Hauptsitz der juwi Holding AG, bei ca. 85 m über Normalnull. Für die Auswertung wurden jedoch einzig die relativen Unterschiede zwischen den Höhenangaben genutzt, die vermutlich eine größere Genauigkeit aufweisen.

Durch Gegenüberstellen der aufsummierten aufwärts und abwärts gefahrenen Höhendifferenzen kann ein Hinweis auf die Genauigkeit dieser Aufzeichnungen gegeben werden. Nach Durchlauf der Datenfilterung summierten sich die aufwärts gefahrenen Höhenmeter auf nur 91592,6 während 93952,8 Höhenmeter bergab gefahren wurden. Möglicherweise wurden die Fahrzeuge vereinzelt, z.B. in Zügen oder ähnlichen Verkehrsmitteln transportiert und wurden so bei den eigentlichen Fahrten mehr bergab wie bergauf bewegt. Generell kann dieser Einfluss aber wohl als gering eingeschätzt werden. Auch der Fehler durch Filterung der Daten dürfte marginal sein, da auch nach der Filterung über 99,9 % der Daten genutzt werden konnten.

Bei den Rollern ist diese Differenz etwas geringer. Hier stehen 54634,8 Höhenmeter bergauf 55132,8 Höhenmeter bergab gegenüber. Da Roller jedoch deutlich schwieriger in sonstigen Verkehrsmitteln zu transportieren sind, dürfte der Faktor der nur in eine Richtung gefahrenen Strecken hier auch keine Relevanz haben.

Bei den Distanzangaben musste ebenfalls manche Zeilen pauschal ausgeschlossen werden. Da die Aufzeichnungen alle in chronologischer Reihenfolge vorlagen und die Distanz die Entfernung zwischen zwei Aufzeichnungspunkten beschreibt, wurden alle negative Werte, wie sie vereinzelt vorkamen, ausgeschlossen. Außerdem wurden nach Analyse der vorliegenden Daten Werte über 200 m ausgeschlossen.

Die Geschwindigkeitsspalte wurde nicht weiter geprüft, da diese Werte in keine Berechnung der Auswertung einfließen.

Insgesamt wurden durch diese Datenprüfung bei den Pedelecs 0,027 % und bei den Rollern 0,13 % der Fahrdaten von der Auswertung ausgeschlossen.

Nach Durchlauf der eigentlichen Berechnungen zur Auswertung wurden die gewonnen Streckendaten einer zweiten vereinfachten Prüfung unterzogen. Dies wurde insbesondere eingeführt, weil an vereinzelt Stellen Aufzeichnungen über mehrere Stunden bei sehr kurzen Distanzen in der Auswertung in vielen Fahrten resultierten. Vermutlich handelte es sich um Aufzeichnungen, bei denen die Fahrradcomputer im stehenden Zustand durch schlechten Empfang Positionsverschiebungen registrierten, die nicht real existieren.

Durch diese Filterung wurden darum nur Fahrten mit Streckenlängen über 50 m in der Auswertung zugelassen. Die Anzahl der Fahrten reduzierte sich damit bei Pedelecs und Rollern um fast 10 %, während die Gesamtstrecke nur um jeweils rund 2 Kilometer verringert wurde.

### 3.1.2 Leistungs- und Energiedaten

Als Leistungs- und Energiemessgeräte wurde der Energielogger „Power Detective“ der Firma AWIS GmbH genutzt. Ein entsprechendes Gerät ist in Abbildung 8 dargestellt.

Bei einer Wechselspannung zwischen 85 und 265 V können im Leistungsbe-  
reich von 0,1 bis 3680 W der momentaner Strom, die Leistung, der Energiever-  
brauch in Kilowattstunden, die momentane Spannung, die Energiekosten in  
Messzeitraum, die jährlichen Energiekosten und die aktuelle Systemzeituhr er-  
fasst werden. Die Daten werden mit Zeitstempel in einem definierten Zeitinter-  
vall zwischen einer Sekunde und 60 Minuten auf eine SD-Karte geschrieben.  
Die zufällige Messungenauigkeit des Systems ist dabei laut Hersteller kleiner als  
2% des Anzeigewerts.<sup>16</sup> Die Messgeräte wurden für das Projekt mit einer spezi-  
ellen Firmware ausgestattet. Somit konnte bei der Anzeige nur zwischen zwei  
Werte umgeschaltet werden und die Optionen zur Datenaufzeichnung waren  
unveränderlich voreingestellt.

Abbildung 8:  
Energielogger  
"Power Detective"<sup>17</sup>



Für die Aufzeichnungen wird pro Tag eine eigene csv.-Datei auf der Speicher-  
karte angelegt. Falls das Gerät innerhalb eines Tages vom Netz entfernt und  
wieder angeschlossen wird, wird in der bestehenden Datei weitergeschrieben.

Die Aufzeichnungen der Datenwerte wurden in einem Intervall zwischen ca. 20  
und 60 Sekunden abgelegt. Anhand des eindeutigen Zeitstempels war dies je-  
doch deutlich zu identifizieren.

Als nicht nachvollziehbar erwiesen sich Abweichungen in der internen Kalkula-  
tion des Energieverbrauchs. So waren die aufgezeichneten Energieverbrauchs-  
werte in Relationen zu den Leistungsmesswerten meist um einen Faktor von ca.  
16,4 zu hoch. Für die Auswertung wurde der Energieverbrauchswert darum aus  
den Aufzeichnungen der Zeit und der Leistung neu berechnet. Dieses Verfahren  
kann angewandt werden, weil bei der Analyse des Messgerätes deutlich wurde,  
dass zwar der Strom-, Spannungs- und Leistungsfaktor-Wert als Momentan-  
wert zur Zeitpunkt der Aufzeichnung, die Leistung jedoch als Mittelwert der  
Leistung zwischen dem aktuellen und dem vorangegangenen Datenpunkt auf-  
gezeichnet wird.

<sup>16</sup> <http://www.awis-gmbh.com/PDF/emsd.pdf>; Abgerufen am 28.7.2011

<sup>17</sup> [http://www.awis-gmbh.com/grafik/produkte\\_powerdetective.jpg](http://www.awis-gmbh.com/grafik/produkte_powerdetective.jpg); Abgerufen am 28.7.2011

Die Aufzeichnungen der Daten erfolgte im Zeitraum von Anfang Februar 2011 bis Ende Juni 2011. Verfügbar für die Auswertung waren insgesamt 481.285 einzelne Datenzeilen zu den Pedelecs und Elektrofahrrädern und 210.557 Datenzeilen zu den Elektrorollern. Damit wurden nach den in Tabelle 3 definierten Kriterien 277 Ladevorgänge der Roller und 580 Ladevorgänge der Pedelecs und Elektrofahrräder beschrieben.

Analog zur Datenprüfung der Fahrdaten wurden auch die Energiedaten vor der weiteren Verwendung im Rahmen der Auswertung einer grundlegenden Plausibilitätsprüfung unterzogen. Die dabei verwendeten Kriterien sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Kriterien zur Prüfung der Energie- und Leistungsdaten

Datenspalte	Einheit	Minimum	Maximum	Ausschlusswert
Datum	-	29.01.2011	10.07.2011	-
Uhrzeit	-	-	-	0:00:00
Leistung	W	0	1000	-
Energie	-	-	-	-
Spannung	V	200	300	
Strom	A	0	10	-
Leistungsfaktor	-	0	1	

Die Kriterien zur Prüfung des Datums und der Zeit wurden analog zu den Festlegungen bei den Fahrdaten festgelegt.

Die Werte der Leistung, Spannung, des Strom und des Leistungsfaktors wurden entsprechend der erwarteten Datenbereiche in weite Grenzen gefasst.

Leistungswerte wurden auf Werte von 0 bis 1000 W eingegrenzt. Real hatten die stärksten Ladegeräte im Test eine maximale Leistung von knapp über 700 W.

Da es sich um Messungen am Niederspannungsnetz handelt, wurden die erlaubten Spannungswerte auf den Bereich zwischen 200 und 300 Volt begrenzt.

Der Strom wurde mit einem maximalen Wert von 10 A sehr großzügig begrenzt, wodurch auch eventuell aufgetretene Stromspitzen nicht von der Auswertung ausgeschlossen werden sollten.

Zuletzt wurde der Leistungsfaktor auf den physikalisch möglichen Bereich von 0 bis 1 eingeschränkt.

Während bei den Rollern durch diese Datenprüfung keinerlei Datenzeilen von der Auswertung ausgeschlossen wurden, waren es bei den Pedelecs 0,0056 % der Daten, die anschließend nicht verwendet wurden.

### 3.1.3 Wetterdaten

Um den Einfluss des Wetters auf die Nutzung der Fahrzeuge zu überprüfen, wurden zusätzlich zu den selbst erfassten Messdaten auch Daten der Wetterstation Frankfurt a. Main Flughafen eingesetzt. Die Daten sind auf der Homepage des Deutschen Wetterdienstes frei zugänglich.<sup>18</sup>

Die Station Frankfurt a. Main Flughafen ist rund 40 km Luftlinie von Wörrstadt, dem Hauptsitz der juwi holding AG, entfernt. Da jedoch keine direkten Aufzeichnungen aus Wörrstadt verfügbar waren und die Daten nur grob hinsichtlich eines Einflusses überprüft werden sollten, wurde die Verwendung dieser Daten ohne weitere Prüfung beschlossen.

Die Daten enthalten umfangreiche Aufzeichnungen zu allen relevanten Wetterfaktoren, jedoch wurden für die Auswertung einzig die tägliche Niederschlagshöhe genutzt.

## 3.2 Nutzbarkeit der Daten

Insgesamt war die Datenlage für die gewünschte Auswertung sehr gut. Durch die Vielzahl der erfassten Parameter und die große Anzahl der eingesetzten Geräte ist ein großer Datenpool entstanden, aus dem noch deutlich mehr Informationen gewonnen werden können, als bisher im Rahmen dieses Berichts geschehen.

Unsicherheiten in der Auswertung sind jedoch durch fehlende direkte Zuordnungen der Daten zu einzelnen Vorgängen entstanden. So waren die Aufzeichnungen der Fahrradcomputer nicht in einzelne Aktivitäten unterteilt, sondern konnten nur anhand von Zeitdifferenzen in unterschiedliche Fahrten unterteilt werden. Bei regulärem Betrieb des Fahrradcomputers zeigte sich diese Methode als zuverlässig, da sich der Fahrradcomputer nach einer gewissen Stillstandszeit automatisch abschaltete.

In einzelnen Situationen scheinen die Fahrradcomputer auch im Stehen noch aufgezeichnet zu haben und eventuell durch schlechten Satellitenempfang kurze Fahrstrecke erkannt zu haben. Es wurden darum abschließend Fahrten mit Strecken unter 50 m aus den Ergebnissen ausgefiltert.

Weitere Unstimmigkeiten gegenüber dem realen Fahrtverhalten sind eventuell entstanden, da der Fahrradcomputer eine gewisse Zeit zum erstmaligen Berechnen der Position benötigt. So ist es auch möglich, dass sehr kurze Fahrten nur unzureichend berücksichtigt wurden.

Auch bei den Energiedaten ist eine relevante Unsicherheit bei der Aufteilung in einzelne Ladevorgänge entstanden, denn der verwendete Energielogger führt

<sup>18</sup>[http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwww/Desktop?\\_nfpb=true&\\_windowLabel=T26607173141161345039102&\\_urlType=action&\\_pageLabel=dwdwww\\_spezielle\\_nutzer\\_energiewirtschaft\\_historisch](http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwww/Desktop?_nfpb=true&_windowLabel=T26607173141161345039102&_urlType=action&_pageLabel=dwdwww_spezielle_nutzer_energiewirtschaft_historisch), Abgerufen am 5.9.2011

seine Aufzeichnungen auch dann fort, wenn die Ladegeräte abgezogen wurden und nur der Energielogger in der Steckdose verbleibt. Wurde das Ladegerät dann ohne Abziehen des Energieloggers wieder eingesteckt, wurde weiter in die gleiche Datei geschrieben und die Aufzeichnungen ohne zeitliche Unterbrechung fortgesetzt.

Um die einzelnen Ladevorgänge innerhalb der Reihe der Aufzeichnungen zu identifizieren, wurden zunächst die Differenzen zwischen den Zeitstempeln geprüft. Lag die Differenz über 0,00347 Tagen, was 4,997 Minuten entspricht, wurde dies als Indikator für den Beginn eines neuen Ladevorgangs genutzt. Auch bei negativen Differenzen wurde dies als neuer Ladevorgang gedeutet.

Hatte in den letzten 10 Zeilen kein neuer Ladevorgang begonnen, wird zusätzlich geprüft, ob die Leistung stark gestiegen ist. Damit wird zusätzlich erkannt, falls bei durchgehend angeschlossenem Ladegerät der Akku abgezogen war und neu angeschlossen wird. Wie stark der Anstieg der Verbraucherleistung dabei jeweils sein durfte, musste spezifisch für die verschiedenen Modelle angepasst werden.

Zur Beurteilung der Leistung wurden die gemessenen Leistungswerte bei den Rollern und Pedelecs in verschiedene Klassen unterteilt. Die jeweiligen Stufen der Leistungsklassen sind in Tabelle 4 aufgeschlüsselt.

Tabelle 4: Kriterien zur Einteilung in Leistungsstufen

Leistungsstufen	Roller		Pedelecs	
	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
1	0	<2	0	<2
2	2	<5	2	<5
3	5	<10	5	<10
4	10	<100	10	<20
5	100	<200	20	<30
6	200	<300	30	<40
7	300	<400	40	<50
8	400	<500	50	<60
9	500	<600	60	<80
10	600	<700	80	<100
11	700	<800	100	<120
12	800	<1000		

Bei den Pedelecs musste die Ladeleistung um mehr als 4 Leistungsstufen steigen, um dies als Kriterium für den Beginn eines neuen Ladevorgangs zu wer-

ten. Dies könnte also beispielsweise einem Anstieg von 7 auf 52 W entsprechen.

Da bei den Rollern teilweise gepulste Leistungen im Ladeerhaltungsmodus eingesetzt wurden, wurden die Kriterien an dieser Stelle noch etwas weiter gewählt. Erst bei einem Anstieg der Leistung um mehr als 6 Leistungsstufen wurde dies als Kriterium für den Beginn eines neuen Ladevorgangs genutzt.

Trotz der Anpassung der Ladevorgangsunterscheidung ist damit zu rechnen, dass nicht alle Ladevorgänge exakt erkannt wurden.

Da die Ladegeräte meist deutlich länger als eigentlich notwendig angeschlossen waren, kann anhand der durchschnittlichen Ladedauer von rund 13 Stunden und 17 Minuten bei den Pedelecs und rund 11 Stunden und 54 Minuten bei den Rollern davon ausgegangen werden, dass der Großteil der Ladevorgänge richtig identifiziert wurde. Verbliebene Unstimmigkeiten wirken sich vor allem auf Genauigkeit in der Berechnung der durchschnittlichen Ladedauer und die Anzahl der Ladevorgänge aus.

Abschließend ist bei den genutzten Aufzeichnungsmethoden leider nicht garantiert, dass alle Ladevorgänge und alle Fahrten im betrachteten Zeitraum tatsächlich aufgezeichnet wurden.

Für die Berechnung von streckenbezogenen Verbräuchen wurden zwar die Fahr- und Energiedaten dahingehend eingeschränkt, dass sich die Gesamtzeiträume, in denen die Daten jeweils aufgezeichnet wurden, vollständig überschneiden. Innerhalb dieser Zeiträume wurden die Daten jedoch nicht vollständig auf Synchronität überprüft. Es ist also möglich, dass die Anwender einerseits bei manchen Fahrten die Fahrdaten nicht aufzeichneten, jedoch die Ladevorgänge erfassten und andererseits können Fahrdaten aufgezeichnet worden sein, jedoch der zugehörige Ladevorgang nicht. Da teilweise mehrere Fahrten zwischen den Ladevorgängen absolviert wurden und Ladevorgänge auf Grund des an der Steckdose verbliebenen Ladegeräts die Fahrten überdauerten, wäre eine vollständige Prüfung nur mit sehr großem Aufwand möglich gewesen. Zur Einschätzung der Situation ist jedoch jeweils in der Einleitung zu den Ergebnissen der Berechnungen zum streckenbezogenen Verbrauch eine grafische Übersicht zur Datenverfügbarkeit gegeben.

### **3.3 Auswertung**

Die Daten wurden rechnergestützt mit Hilfe der Software OriginPro in der Version 8.5.1G SR2 der OriginLab Corporation ausgewertet.

### 3.3.1 Daten aus AWIS-Energieloggern

Die Energiedaten wurden zunächst durch Zuweisung der jeweiligen AWIS-Geräte-IDs rückverfolgbar gekennzeichnet und für die Auswertung anschließend zusammengefasst.

Anhand der Zeitdifferenz und dem Anstieg der Leistung zwischen den Zeitstempeln wurden die Aufzeichnungen in einzelne Ladevorgänge unterteilt. Die genaue Methodik bei der Unterscheidung der Ladevorgänge ist in Abschnitt 3.2 „Verwendbarkeit der Daten“ erklärt.

Jedem Ladevorgang konnte dann in der Auswertung jeweils eine Kennziffer und anhand der Zeitstempel der Ladebeginn und das Ende des Ladevorgangs eindeutig zugeordnet werden. So waren auch Aussagen zur Dauer des Ladens sowie zur Uhrzeit und dem Wochentag beim Starten und Beenden des Ladevorgangs möglich.

Wegen verschiedener Beobachtungen im Rahmen der Datenauswertung wurde der Energieverbrauch schließlich genauer hinsichtlich der dabei bezogenen Leistung ausgewertet. Die Energie, die zwischen zwei Zeitstempeln erfasst wurde, wurde dazu der jeweiligen Leistungsklasse zugeordnet. So konnte also spezieller untersucht werden, welcher Anteil der Energie bei welcher Leistung verbraucht wurde. Insbesondere zur Einschätzung des Energieverbrauchs im Standby- und im Ladeerhaltungsbetrieb konnten so wichtige Informationen gewonnen werden.

### 3.3.2 Daten aus Garmin-Fahrradcomputern

Die Streckendaten waren durch integrierte Aufzeichnung der Geräte-ID jeweils bereits eindeutig den Geräten und damit den einzelnen Fahrzeugen zuzuordnen.

Auch hier wurden die Daten in einzelne Vorgänge, also Fahrten, unterteilt. Die genaue Methodik der Unterscheidung ist in Abschnitt 3.2 „Verwendbarkeit der Daten“ erklärt.

Den einzelnen Fahrten konnte so eine durchlaufende Zahl zugeordnet und die einzelnen Auswertungen darauf bezogen werden.

Anhand der aufgezeichneten Distanz zwischen zwei Datenpunkten wurde jeweils die zurückgelegte Strecke innerhalb einer Fahrt und über die Fahrtdauer auch die Durchschnittsgeschwindigkeit berechnet. Den Strecken konnten außerdem die jeweils gefahrenen Höhenmeter, sowohl bergauf als auch bergab, zugeordnet werden. Durch die Zeitstempel konnte zusätzlich der Zeitpunkt des Beginns und des Endes der Fahrt untersucht werden.

Die verschiedenen Werte wie Streckenlänge, gefahrene Höhenmeter, Fahrdauer und Durchschnittsgeschwindigkeit wurden schließlich für jedes Fahrzeug auch kumuliert über alle Fahrten berechnet.

## 4 Nutzungsprofile

### 4.1 Gesamtenergieverbrauch und gefahrene Strecke

Insgesamt wurden über den betrachteten Testzeitraum durch die Ladung der Akkus bei den 9 Rollern rund 368 kWh und bei den 16 Pedelecs bzw. Elektrofahrzeugen ca. 102,1 kWh elektrische Energie verbraucht. Der Verbrauch wurde jeweils dem Leistungsbereich zugeordnet, in dem die Energie verbraucht wurde, um Rückschlüsse auf mögliche Standby-Verluste und Energiebedarf für Ladungserhaltung ziehen zu können.

Bei den Pedelecs wurde insgesamt rund 19,4 % der Energie bei Leistungen unter 10 W verbraucht. Bei Betrachtung der charakteristischen Ladekurven in Abschnitt 4.6.1 „Charakteristik der Ladegeräte“ kann dies weitestgehend als Standby-Verbrauch gedeutet werden.

Bei den Rollern wurde diese Grenze zur Definition des Standby-Verbrauchs bei 100 W gezogen. Dabei wurden rund 11,4 % der Energie Leistungen unter 100 W verbraucht. Hier umfasst dieser Bereich aber nicht nur den Standby-Verbrauch, sondern insbesondere bei den Bleibatterien auch den Ladeerhaltungsbetrieb.

Genauere Aussagen zum Standby-Verbrauch und Verbrauch für Ladeerhaltung finden sich im Abschnitt 5.5 „Standby-Verbrauch“.

Dem dargestellten elektrischen Energieverbrauch stehen 4683,2 km erfasste Strecke bei den Rollern und 8341,8 km erfasste Strecke bei den Pedelecs und Elektrofahrzeugen gegenüber. Diese Gesamtstrecken unterteilten sich nach Auswertung in 1095 Fahrten bei den Pedelecs und 929 Fahrten bei den Rollern.

Da darin auch viele Daten enthalten sind, die sich nicht mit den Aufzeichnungen des jeweils zugehörigen zweiten Messgeräts überschneiden, lassen sich aus diesen Gesamtwerten keine Aussagen zum Durchschnittsverbrauch treffen. Grenzt man die Gesamtdaten jedoch auf die sich überschneidenden Aufzeichnungen ein, lassen sich entsprechende Aussagen treffen.

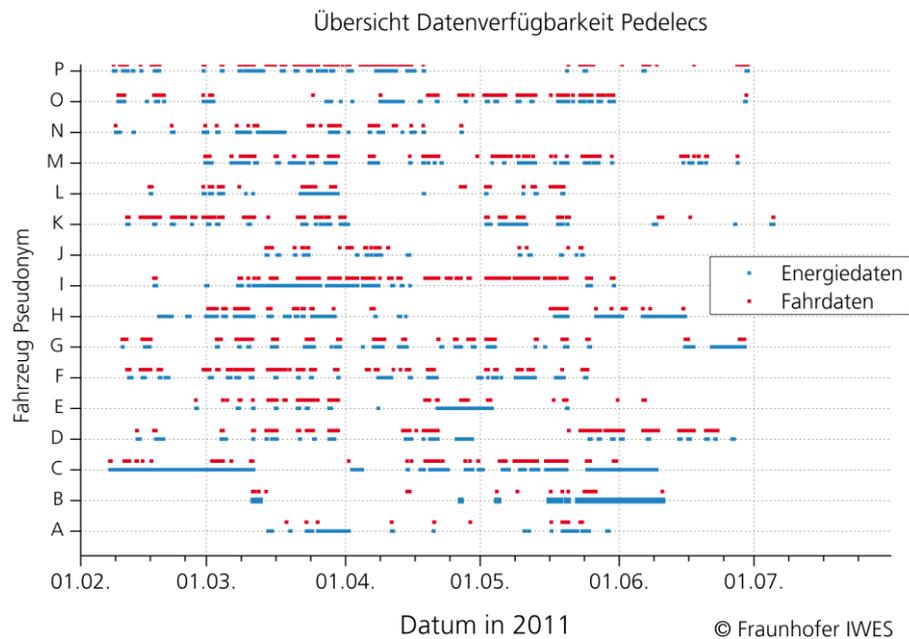
Auch diese Angaben sind jedoch mit erheblicher Unsicherheit behaftet, da im Rahmen dieser Auswertung nicht überprüft werden konnte, ob tatsächlich alle Fahrten und alle Ladevorgänge erfasst wurden.

### 4.2 Energieverbrauch der Pedelecs und Elektrofahräder

Einzig zur Bestimmung des streckenbezogenen Energieverbrauchs wurden die erfassten Daten zu den gefahrenen Strecken und der verbrauchten Energien in Relation zueinander gebracht. Für diese Auswertung war es also maßgeblich, dass die Datenerfassung mit beiden Geräten vollständig oder zumindest in glei-

chem Maße erfolgte. Um die möglicherweise entstandenen Fehler durch fehlende Aufzeichnungen von einem der Geräte einschätzen zu können, ist in Abbildung 9 eine visuelle Auswertung der Datenverfügbarkeit dargestellt.

Abbildung 9:  
Übersicht Datenverfügbarkeit  
Pedelecs



Man erkennt, dass die Daten im Allgemeinen gut passend zueinander erfasst wurden. In der Grafik müssen sich die roten und blauen Balken dabei nicht zwingend exakt entsprechen, da die Fahrten und Energiedaten grundsätzlich zeitversetzt erfasst wurden. Durchlaufende Aufzeichnungen der Energiedaten deuten darauf, dass die Ladegeräte dauerhaft an der Steckdose verblieben.

Große Lücken sind einzig beim Fahrzeug mit dem Pseudonym I zwischen Mitte April und Ende Mai in den Energiedaten zu entdecken. Da das Fahrzeug in dieser Zeit jedoch scheinbar sehr regelmäßig bewegt wurde, ist zumindest die kombinierte Auswertung beider Datensätze an dieser Stelle nicht möglich. Bei der Berechnung der entsprechenden Kennwerte wurde dieses Fahrzeug darum ausgeschlossen.

#### 4.2.1 Storck Raddar Multitask

Bei den Fahrzeugen des Typs Storck Raddar Multitask handelt es sich um das am häufigsten eingesetzte Pedelec im Rahmen des Projekts, wodurch sich die beste Vergleichbarkeit und Datenlage ergibt. Zu den 6 eingesetzten Rädern wurde eine zurückgelegte Gesamtstrecke von 2810,4 km aufgezeichnet. Um den Durchschnitt von 468,9 km schwankte dieser Wert zwischen 290 und 897,4 km pro Fahrer.

Im Gegensatz zu den gefahrenen Kilometern ist der Verbrauch pro Strecke bei den 6 Rädern jeweils vergleichbar groß. Die konkreten Werte sind in Tabelle 5 dargestellt. Die durchschnittlichen Verbrauchswerte liegen maximal 13 % über und 24 % unter dem Durchschnittswert. Der durchschnittliche Verbrauch der eingesetzten Storck Raddar Multitask lag bei 1,15 kWh / km.

Tabelle 5: Einflussfaktoren auf den Verbrauch Storck Raddar Multitask

Pseudonym	Verbrauch (kWh / 100 km)	Anteil des Verbrauchs unter 10 Watt (%)	Höhenmeter bergauf (m / km)	Durchschnitts- geschwindigkeit (km / h)
A	0,87	12,96	9,96	23,50
B	0,94	14,72	9,72	29,05
C	1,17	12,14	8,00	23,84
D	1,29	9,25	13,83	18,77
E	1,07	4,69	10,97	23,97
F	1,30	7,35	11,01	23,83
<b>Gesamt</b>	<b>1,15</b>	<b>10,13</b>	<b>10,14</b>	<b>23,45</b>

Außerdem wurden mögliche Ursachen für die Schwankung der Verbrauchswerte aufgezeigt. Faktoren, die aus den vorhandenen Messdaten hervorgehen, sind das Höhenprofil der gefahrenen Strecke, die gefahrene Geschwindigkeit und der Anteil des Standby-Verbrauchs. In Tabelle 5 sind diese Faktoren mit den Werten der einzelnen Pedelecs aufgeführt. Keiner der Faktoren scheint allein maßgeblich für die Schwankungen verantwortlich zu sein. Erstaunlich sind die großen Schwankungen bei den gefahrenen Durchschnittsgeschwindigkeiten.

Einige für den Energieverbrauch ebenfalls maßgebliche Faktoren, wie das Gewicht des Fahrers/der FahrerIn, die Fahrweise, die gewählte Unterstützungsstufe und z.B. der Reifendruck sind nicht erfasst und können somit im Rahmen dieser Auswertung nicht analysiert werden.

#### 4.2.2 Diamant Zouma Supreme +

Das Diamant Zouma Supreme + war im Test das einzige Elektrofahrrad, das auch über die Schwelle von 25 km / h unterstützt und darum zulassungspflichtig ist. Die beiden eingesetzten Elektrofahrräder wurden sehr gut genutzt: Es wurden Gesamtleistungen von 730,9 bzw. 632,9 km erfasst.

Da im Alltag die Geschwindigkeit von 25 km / h schnell erreicht werden kann, könnte die zusätzliche Unterstützung einen deutlichen Mehrverbrauch bedeuten.

In der Tat liegt der durchschnittliche Verbrauch der beiden Diamant Zouma Supreme merklich über dem Verbrauch der Storck Raddar Multitask. Aber auch hier gibt es Überschneidungen. So verbrauchte das Storck-Pedelec mit dem höchsten Verbrauch mehr Energie als das verbrauchsärmste Diamant-Elektrofahrrad. Der Energieverbrauch pro Strecke der beiden Elektrofahrräder weist eine recht große Differenz auf. In Tabelle 6 ist der Verbrauch und einige der möglicherweise maßgeblichen Faktoren aufgelistet.

Tabelle 6: Einflussfaktoren auf den Verbrauch Diamant Zouma Supreme

Pseudonym	Verbrauch (kWh / 100 km)	Anteil des Verbrauchs unter 10 Watt (%)	Höhenmeter bergauf (m / km)	Durchschnitts- geschwindigkeit (km / h)
G	1,28	17,89	10,42	23,97
H	1,62	37,45	11,60	25,98
<b>Gesamt</b>	<b>1,44</b>	<b>28,20</b>	<b>10,97</b>	<b>24,87</b>

Alle der aufgelisteten Faktoren können Ursachen für den Mehrverbrauch des Fahrzeugs mit dem Pseudonym H sein.

Der stärkste Einfluss für den Mehrverbrauch kommt durch den deutlich höheren Standby-Verbrauch. Dieser Anteil ist insbesondere gegenüber den Storck-Pedelecs deutlich erhöht. In Tabelle 7 wurde der Einfluss des Standby-Verbrauchs herausgerechnet.

Tabelle 7: Einfluss Standby-Verbrauch Diamant Zouma Supreme

Pseudonym	Verbrauch (kWh / 100 km)	Anteil des Verbrauchs unter 10 Watt (%)	Verbrauch Standby- bereinigt (kWh / 100 km)	Durchschnitt Ladedauer (hh:mm:ss)
G	1,28	17,89	1,051	07:59:34
H	1,62	37,45	1,012	17:05:56

Offensichtlich sind die Unterschiede im Verbrauch dann nur noch sehr gering. Anhand der durchschnittlichen Ladedauer wird auch deutlich, dass dies der maßgebliche Grund für den deutlichen Mehrverbrauch unter 10 Watt ist.

Die verbleibende Differenz im Verbrauch kann durch die höhere Durchschnittsgeschwindigkeit, durch die zusätzlichen Höhenmeter oder durch sonstige, nicht erfasste Einflussfaktoren wie Gewicht des Fahrers oder Fahrweise begründet sein.

Auf den Einfluss des Standby-Verbrauchs und die Unterschiede der Ladegeräte wird im Kapitel 5.5 „Standby-Verbrauch“ gesondert eingegangen.

### 4.2.3 Diamant Zouma Elite +

Zur Untersuchung der Nutzungs- und Verbrauchsdaten wurden die Herren- und Damenmodelle des Diamant Zouma Elite + in der Auswertung als gleiches Modell gewertet. Für diese Auswertung ist dies aufgrund der identischen elektrischen Ausstattung zulässig.

Von den 6 Pedelecs wurden insgesamt 3470,94 km gefahrene Strecke erfasst. Pro Rad also 578 km, wobei dieser Wert in der Realität zwischen 235,2 und 1251,3 km schwankte.

In Verbindung mit den Messdaten der Ladevorgänge wurden die durchschnittlichen Verbräuche ermittelt. Da beim Fahrzeug mit dem Pseudonym I in einem großen Zeitraum die entsprechenden Energiedaten fehlten, wurde dies von dieser Auswertung ausgeschlossen.

Die Schwankungsbreite im Verbrauch pro gefahrene Strecke ist vergleichbar mit den zuvor beobachteten Verbrauchsschwankungen. Die Schwankungsbreite des Verbrauchs pro Strecke liegt bei -20% bis +22% gegenüber dem Durchschnitt.

Die genauen Daten mit einigen der möglichen Einflussfaktoren sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Einflussfaktoren auf den Verbrauch Diamant Zouma Elite

Pseudonym	Verbrauch (kWh / 100 km)	Anteil des Verbrauchs unter 10 Watt (%)	Höhenmeter bergauf (m / km)	Durchschnitts- geschwindigkeit (km / h)
I		17,60	11,63	22,03
J	1,36	12,27	12,96	16,97
K	1,19	15,51	12,57	21,52
L	1,06	27,68	10,68	25,55
M	1,55	19,34	11,28	19,22
N	1,61	31,02	11,36	22,67
<b>Gesamt</b>	<b>1,32</b>	<b>20,79</b>	<b>11,67</b>	<b>21,47</b>

Interessanterweise weist hier das Fahrzeug mit der höchsten Durchschnittsgeschwindigkeit den mit Abstand am niedrigsten elektrischen Energieverbrauch. Da die Unterstützung ab 25 km/h eingestellt wird, ist dies gut nachzuvollziehen.

Ansonsten hier kann der Standby-Verbrauch wieder als ein starker Einflussfaktor identifiziert werden. Der Einfluss ist darum in Tabelle 9 nochmals explizit dargestellt. Auch nach Herausrechnen des Standby-Verbrauchs liegt die Schwankungsbreite um den Durchschnitt noch bei -27 und +19 %. Damit ist

der Standby-Verbrauch zwar ein wesentlicher Faktor, jedoch auch eindeutig nicht allein für die Differenzen maßgeblich.

Tabelle 9: Einfluss Standby-Verbrauch Diamant Zouma Elite

Pseudonym	Verbrauch (kWh / 100 km)	Anteil des Verbrauchs unter 10 Watt (%)	Verbrauch Standby- bereinigt (kWh / 100 km)	Durchschnitt Ladedauer (hh:mm:ss)
I		17,60		09:44:33
J	1,36	12,27	1,194	05:19:49
K	1,19	15,51	1,006	09:10:01
L	1,06	27,68	0,765	08:36:03
M	1,55	19,34	1,247	07:04:33
N	1,61	31,02	1,112	16:17:05
<b>Gesamt</b>	<b>1,32</b>	<b>20,79</b>	<b>1,049</b>	

Neben den erfassten Einflussfaktoren können, wie bereits beschrieben, auch nicht erfasste Faktoren wie Gewicht des Fahrers, Fahrweise und Zustand des Fahrrads Ursachen für die deutlichen Schwankungen sein.

#### 4.2.4 Diamant Zouma +

Von den Pedelecs des Typs Diamant Zouma + waren zwei Fahrzeuge im Einsatz. Es lassen sich damit nur relativ wenig Aussagen zum Einfluss der Fahrer machen. Jedoch ist die elektrische Ausstattung offensichtlich praktisch identisch mit den Modellen des Typs Diamant Zouma Elite. Im Rahmen des Projekts wurden insgesamt 698,8 zurückgelegte Kilometer mit diesem Modell erfasst. Sie verteilten sich mit 371 und 327 km relativ gleichmäßig auf die beiden Fahrzeuge.

Die allgemeinen Verbrauchsdaten der beiden Pedelecs sind in Tabelle 10 dargestellt. Der Verbrauchswert des Pedelecs mit dem Pseudonym P ist der im Rahmen des Projekts mit Abstand höchste berechnete Verbrauch eines Pedelecs. In Tabelle 10 sind außerdem einige der möglichen Einflussfaktoren dargestellt.

Tabelle 10: Einflussfaktoren auf den Verbrauch Diamant Zouma +

Pseudonym	Verbrauch (kWh / 100 km)	Anteil des Verbrauchs unter 10 Watt (%)	Höhenmeter bergauf (m / km)	Durchschnitts- geschwindigkeit (km / h)
O	1,52	16,68	10,19	22,28
P	1,95	19,93	13,41	17,42
<b>Gesamt</b>	<b>1,80</b>	<b>18,42</b>	<b>11,71</b>	<b>19,70</b>

Auch hier ist es schwierig den Einfluss durch einzelne Faktoren genauer zu spezifizieren. Diesmal ergibt sich insbesondere bei der Durchschnittsgeschwindigkeit ein deutlicher Unterschied. Wie in Abschnitt 5.2.3. entspricht die Datenlage der Tendenz, dass der Energieverbrauch mit sinkender Durchschnittsgeschwindigkeit deutlich steigt. Dies trifft wohl in besonderem Maße zu, wenn die geringere Durchschnittsgeschwindigkeit auch durch mehr gefahrene Höhenmeter verursacht wurde.

Tabelle 11: Einfluss Standby-Verbrauch Diamant Zouma +

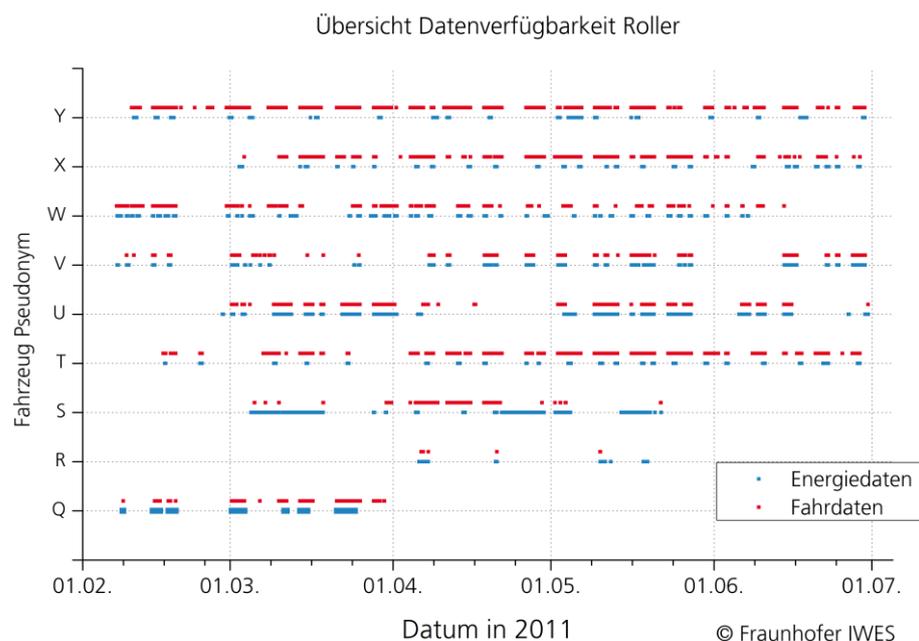
Pseudonym	Verbrauch (kWh / 100 km)	Anteil des Verbrauchs unter 10 Watt (%)	Verbrauch Standby- bereinigt (kWh / 100 km)	Durchschnitt Ladedauer (hh:mm:ss)
O	1,52	16,68	1,269	07:45:35
P	1,95	19,93	1,558	07:45:16

Dargestellt ist in Tabelle 11 nochmals explizit der Einfluss des Standby-verbrauchs. Auch hier wird wieder deutlich, dass dies nicht der allein maßgebliche Faktor für den Mehrverbrauch gegenüber sonstigen Pedelecs war.

### 4.3 Energieverbrauch der Roller

Analog zur Auswertung des Energieverbrauchs der Pedelecs soll auch an dieser Stelle zunächst eine Übersicht zu den verfügbaren und für die Auswertung genutzten Energie- und Fahrdaten gegeben werden. In Abbildung 10 ist dazu eine grafische Veranschaulichung dargestellt.

Abbildung 10:  
Übersicht Datenverfügbarkeit Roller



Zu erkennen ist, dass die Aufzeichnungen praktisch vollständig synchron erfolgt sind und kein Defizit der Datenverfügbarkeit über einen größeren Zeitraum vorliegt. Bei den Fahrzeugen mit den Pseudonymen Y und X scheinen zwar nur relativ wenige Daten zum Energieverbrauch vorzuliegen; da die Aufzeichnungen aber in regelmäßigen Abständen vorliegen und der streckenbezogene Verbrauch sogar eher höher als bei den sonstigen Fahrzeugen ist, scheint es keine Lücke bei den Aufzeichnungen zu geben.

Beim Fahrzeug mit dem Pseudonym R könnten jedoch eventuell Fahrdaten für das Ende des Nutzungszeitraums fehlen. Denn hier zeigt sich auch gegenüber den anderen Fahrzeugen ein stark gesteigerter Verbrauch pro Strecke.

### 4.3.1 Solarscooter Sport SCP 4040 li.on

Im beschriebenen Projekt wurden 3 Roller des Typs Solarscooter Sport SCP 4040 li.on eingesetzt. Für die Roller wurden jeweils Gesamtstrecken zwischen 86,1 und 268,8 km erfasst. Die kurzen Gesamtstrecken kamen durch Ausfälle an den Rollern zustande. Alle 3 Roller sind im Zeitrahmen des Projekts ausgefallen und wurden nicht weiter verwendet. Die berechneten Verbrauchsdaten sind gemeinsam mit den erfassten Einflussfaktoren in Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12: Einflussfaktoren auf den Verbrauch Solarscooter Sport SCP 4040 li.on

Pseudonym	Verbrauch (kWh / 100 km)	Anteil des Verbrauchs unter 10 Watt (%)	Höhenmeter (m / km)	Durchschnitts- geschwindigkeit (km / h)
Q	7,10	6,95	10,55	37,87
R	12,24	2,67	10,20	40,58
S	8,89	18,10	11,97	37,36
<b>Gesamt</b>	<b>8,72</b>	<b>12,00</b>	<b>11,23</b>	<b>37,95</b>

Mit 19 % unter und 40 % über dem Durchschnitt ist die Schwankungsbreite des Verbrauchs sehr groß, was angesichts der recht geringen Anzahl an aufgezeichneten Fahrten jedoch nicht sehr verwunderlich ist. Einerseits mitteln sich so zufällige Faktoren wie z.B. Wetterbedingungen nicht aus den Daten heraus und andererseits haben die Anwender weniger Praxis in der Nutzung der Messgeräte und haben die Daten möglicherweise nur teilweise erfasst. Insbesondere bei dem Fahrzeug mit dem Pseudonym R scheint es anhand Abbildung 10 möglich, dass einzelne Fahrdaten fehlen.

Von den dargestellten Einflussfaktoren kommt ansonsten einzig die Durchschnittsgeschwindigkeit als Teil der Ursache für den massiven Mehrverbrauch des Fahrzeugs mit dem Pseudonym R in Frage. Auch die häufigen Defekte sind ein wesentlicher möglicher Einflussfaktor. In Anbetracht von nur 70,5 km, die im Nutzungszeitraum des Energiemessgerätes zurückgelegt wurden, handelt es

sich jedoch auch bei angenommener vollständiger Aufzeichnung um eine sehr schlechte Datenlage.

#### 4.3.2 EVT 4000e

Vom Typ EVT 4000e wurden insgesamt 6 Fahrzeuge im Rahmen des Projekts eingesetzt und getestet. Pro Fahrzeug wurde durchschnittlich eine Gesamtstrecke von 691,5 km erfasst, bei Einzelwerten zwischen 352,1 und 1227,4 km. Insgesamt wurde eine Gesamtfahrleistung von 4149,2 km aufgezeichnet.

Wie Tabelle 13 zu entnehmen ist, sind trotz der jeweils recht großen Fahrleistung deutliche Schwankungen zwischen - 24 und + 38 % im Energieverbrauch aufgetreten. Insgesamt liegen die Werte aber erkennbar unter dem Niveau des Solarscooter Sport SCP 4040 li.on.

Hier ist jedoch tatsächlich ein deutlicher Zusammenhang zwischen den gefahrenen Höhenmeter und dem Verbrauch pro Strecke zu erkennen. Je mehr Höhenmeter gefahren wurden, desto höher liegt der Verbrauch pro Strecke. Die genauen Werte dazu finden sich in Tabelle 13.

Die Durchschnittsgeschwindigkeit verhält sich nachvollziehbar insgesamt gegenläufig zu den gefahrenen Höhenmetern pro Strecke.

Tabelle 13: Einflussfaktoren auf den Verbrauch EVT 4000e

Pseudonym	Verbrauch (kWh / 100 km)	Anteil des Verbrauchs unter 10 Watt (%)	Höhenmeter bergauf (m / km)	Durchschnitts- geschwindigkeit (km / h)
T	7,46	16,45	13,80	22,30
U	6,23	9,23	9,72	31,44
V	5,64	7,52	9,98	34,04
W	9,97	12,02	13,62	23,27
X	9,74	12,61	13,35	24,92
Y	10,30	13,55	16,80	18,79
<b>Gesamt</b>	<b>7,45</b>	<b>11,04</b>	<b>11,74</b>	<b>27,20</b>

Beim Fahrzeug mit dem Pseudonym V handelt es sich um eines der am meisten gefahrenen Fahrzeuge mit einer auswertbaren Fahrleistung von über 1000 km. Ein Verbrauch von knapp unter 6 kWh / 100 km scheint also im Alltag gut realisierbar zu sein.

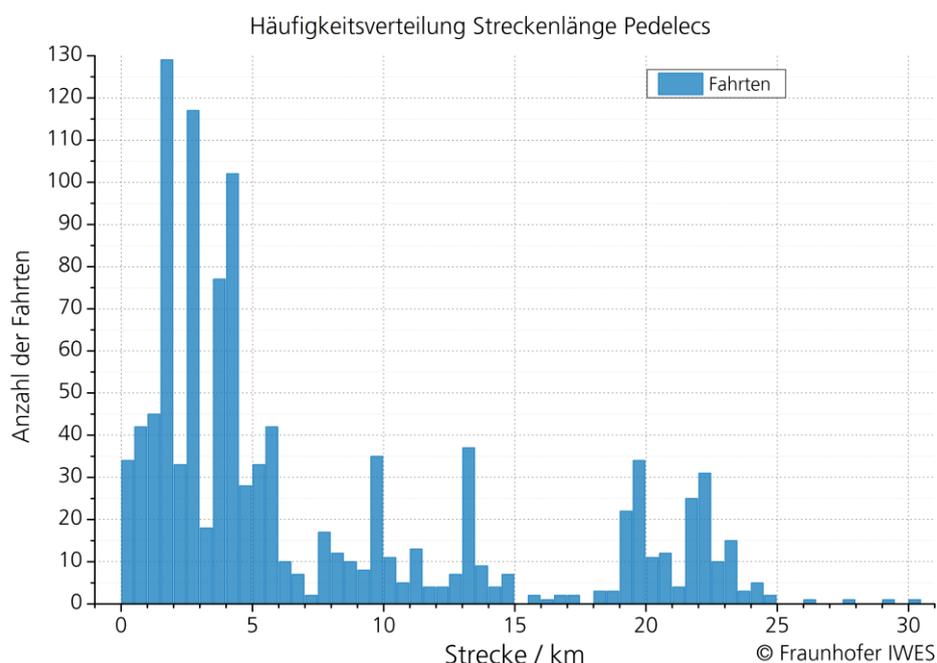
Bei den Rollern des Modells EVT 4000e war auch die tatsächlich nutzbare Datenmenge recht groß, da die sich die Aufzeichnungen der Fahr- und Energiedaten sehr gut überschneiden. Pro Fahrzeug konnten so durchschnittlich 674, 8 der insgesamt 691,5 erfassten Kilometer für die Verbrauchsberechnung genutzt werden.

## 4.4 Nutzung der Pedelecs

Im Rahmen des Projekts sollte insbesondere auch das Nutzerverhalten beim Einsatz der Pedelecs beobachtet werden. Als charakteristischstes Merkmal wurde zunächst die Streckenlänge der einzelnen Fahrten betrachtet. Anhand der Zeitstempel der Aufzeichnungen ließen sich die Streckendaten in insgesamt 1095 Fahrten unterteilen. Bei insgesamt rund 8341,8 km erfasster Fahrtstrecke entspricht dies einer durchschnittlichen Fahrtstrecke von ca. 7,6 km.

Pro Pedelec bzw. Elektrofahrrad wurden damit durchschnittlich 68,4 Fahrten im Rahmen des Projekts erfasst und rund 521,4 km gefahren. Um die typischen Fahrtstrecken zu identifizieren, wurde zunächst die Häufigkeitsverteilung der Länge der Fahrtstrecken untersucht und in Abbildung 11 dargestellt.

Abbildung 11:  
Häufigkeitsverteilung  
Streckenlängen  
Pedelecs



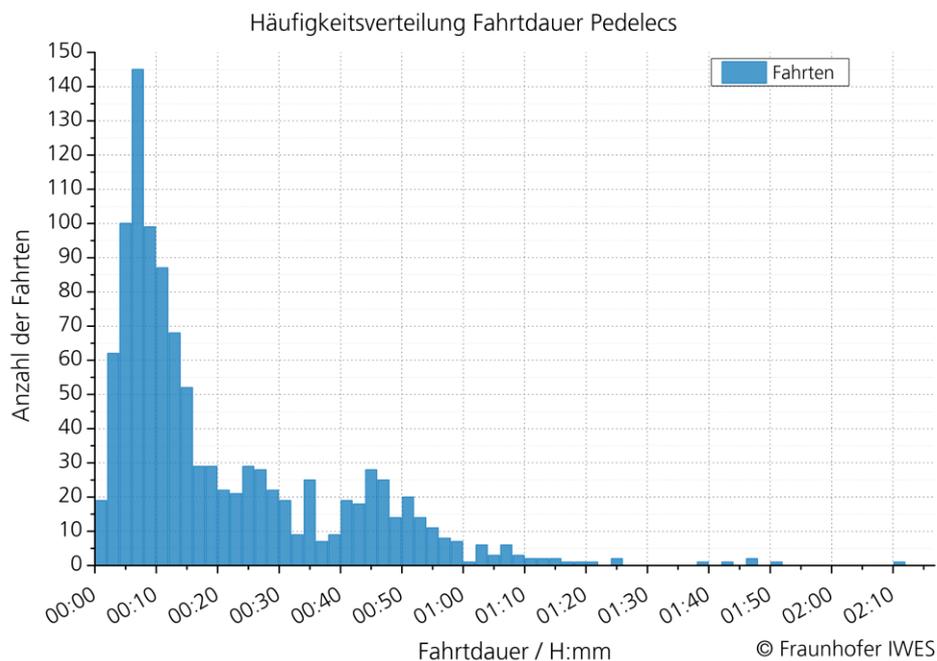
Es ist klar zu erkennen, dass der Großteil der erfassten Fahrten eine Länge zwischen 0 und 6 km hatte. Außerdem zeigt sich deutlich, dass einzelne Streckenlänge z.B. 13 km, 19 bis 20 km und 22 km ebenfalls gehäuft vorkamen. Diese Fahrten wurden jeweils vorwiegend durch bestimmte Fahrer bzw. Fahrerinnen gefahren.

Es ist zu vermuten, dass die typischen gefahrenen Streckenlängen maßgeblich durch die Länge des Arbeitswegs der einzelnen Personen geprägt sind. Bei einer größeren Gesamtheit an Fahrern und betrachteten Pedelecs sollten sich die Einflüsse der Einzelpersonen relativieren.

Praktisch analog ergibt sich die typische Fahrtdauer bei der Nutzung der Pedelecs. Über alle erfassten Fahrten betrachtet, dauerte die durchschnittliche Fahrt rund 20 Minuten und 43 Sekunden. Auch hier wurde die Häufigkeitsverteilung analysiert und in Abbildung 12 dargestellt.

Da hier jedoch die gefahrene Geschwindigkeit als zusätzliche Variable zu reinen Fahrtstrecke einfließt, ergibt sich bereits eine deutlich stetigere Verteilung der Fahrtzeiten. Der Großteil der Fahrten dauerte weniger als 15 Minuten, aber auch bei ca. 25 Minuten und ca. 45 Minuten gibt es wieder erkennbare Häufungen in der Verteilung.

Abbildung 12:  
Häufigkeitsverteilung  
Fahrdauer Pedelecs



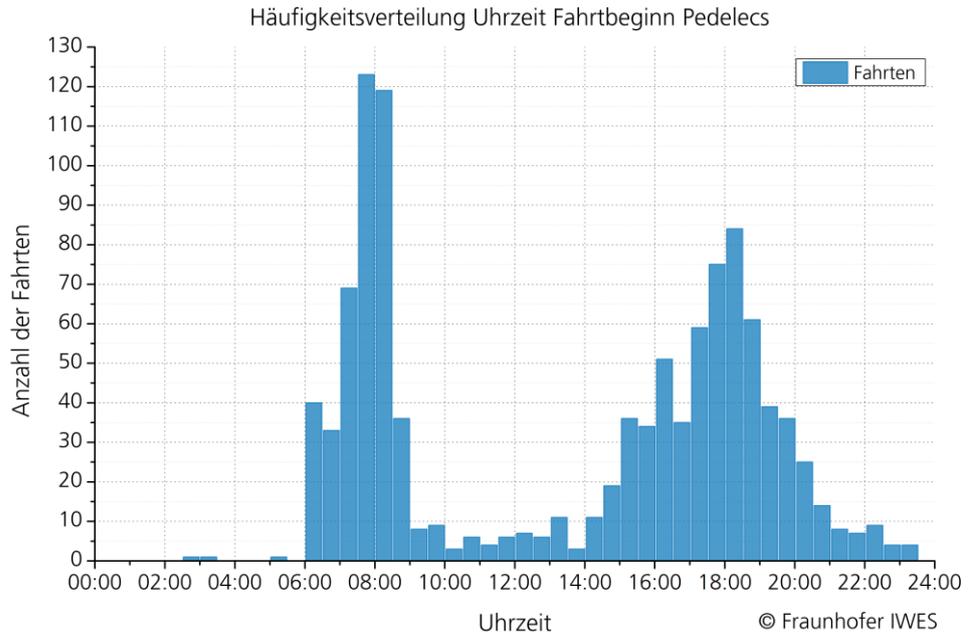
Auch diese Häufungen sind wohl wieder mit den typischen Pendlerstrecken einzelner Projektteilnehmer zu erklären.

Zusätzlich zur Beschreibung der gefahrenen Strecken sollte auch der Zeitpunkt der jeweiligen Fahrten untersucht werden. Dazu wurden einerseits die Uhrzeit bei Beginn der jeweiligen Fahrten und andererseits der Wochentag betrachtet. In Abbildung 13 ist zunächst die Verteilung der Fahrten über die Tageszeit dargestellt.

Hier ergibt sich eine sehr charakteristische Verteilung über den Tag. Rund ein Drittel der Fahrten wurde zwischen 6 und 9 Uhr angetreten. Der Großteil dieser Fahrten ist vermutlich mit der Anfahrt zur Arbeit zu erklären.

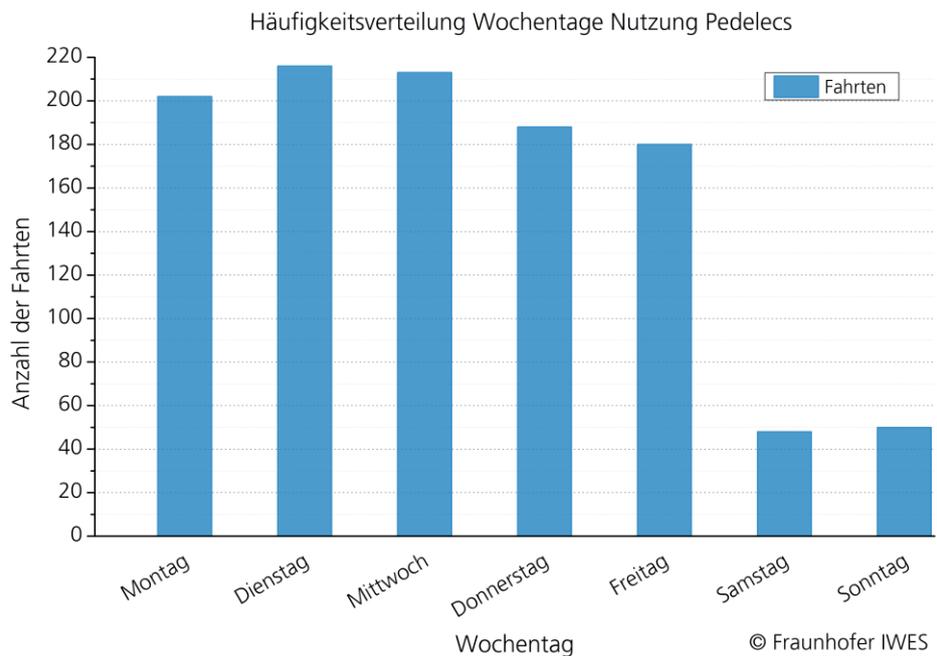
Dementsprechend sollte auch die typische Zeit für die Rückfahrt von der Arbeit erkennbar sein. Zwar ergibt sich auch dabei eine erkennbare Häufung im Zeitraum zwischen 15 und 21 Uhr, aber verteilen sich die Fahrten dabei über einen deutlich größeren Zeitraum. Ursache dafür können zum Beispiel unterschiedlich lange Arbeitszeiten sein.

Abbildung 13:  
Häufigkeitsverteilung  
Uhrzeit bei Fahrtbe-  
ginn mit Pedelecs



Eine weitere interessante Information zum Nutzungsverhalten kann der Vergleich der einzelnen Wochentage liefern. In Abbildung 14 ist die Verteilung der Fahrten auf die Wochentage dargestellt.

Abbildung 14:  
Verteilung Nutzung  
Pedelecs auf Wo-  
chentage



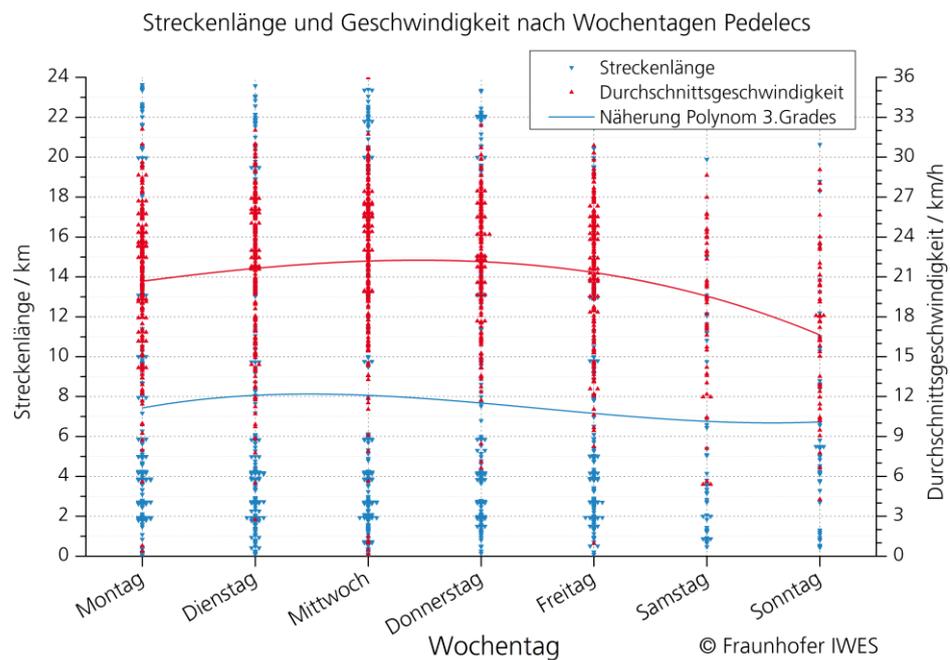
Aus Abbildung 14 geht eindeutig hervor, dass der Großteil der Nutzung der Pedelecs an den Werktagen Montag bis Freitag geschah. Auch am Wochenen-

de wurden die Pedelecs genutzt. Die Anzahl der Fahrten an Samstag oder Sonntag liegt jedoch nur bei rund 20 Prozent des werktäglichen Niveaus.

Die geringere Anzahl der Fahrten am Donnerstag gegenüber der sonstigen Woche lässt sich wohl zumindest teilweise mit den Feiertagen am Donnerstag den 2. Juni und Donnerstag den 23. Juni erklären. Sonstige Feiertage im Testzeitraum waren Freitag der 22. April und Montag der 13. Juni.

Zusätzlich zur reinen Häufigkeitsverteilung der Fahrten auf die Wochentage wurden auch mögliche Unterschiede in der Nutzung an den Wochentagen gesucht. Dazu sind in Abbildung 15 die gefahrenen Streckenlängen nach Wochentagen und die jeweiligen Durchschnittsgeschwindigkeiten aufgetragen.

Abbildung 15:  
Streckenlänge und  
Geschwindigkeit  
nach Wochentagen  
Pedelecs



Die große Anzahl und sehr breite Verteilung der einzelnen Datenpunkte lässt kaum noch eine visuelle Auswertung zu. Darum wurden beide Datensammlungen jeweils durch einen Polynom 3.Grades genähert und ebenfalls in das Diagramm eingezeichnet.

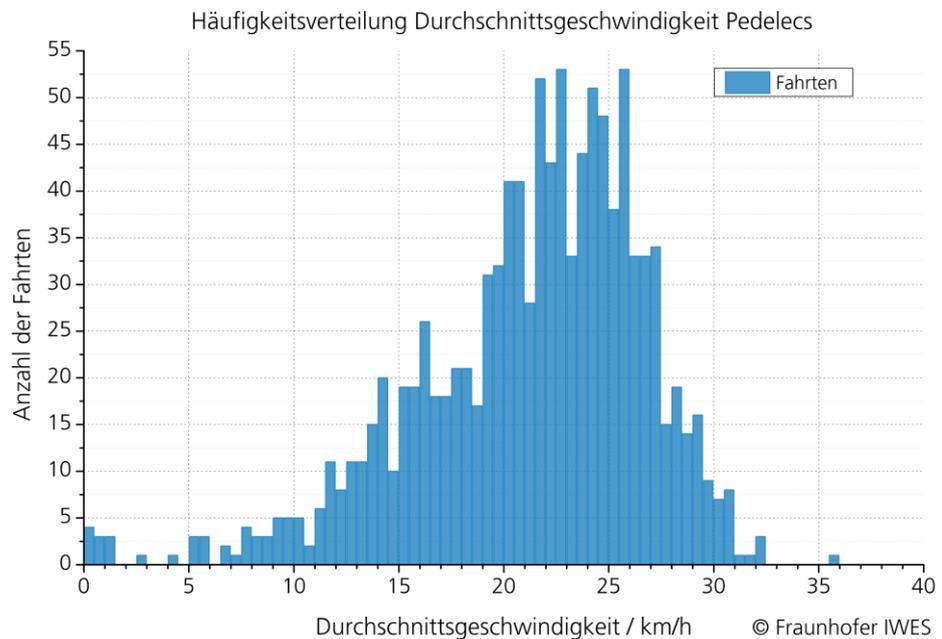
Die durchschnittliche Streckenlänge liegt über die Woche zwischen 7 und 8 km und sinkt am Wochenende auf ca. 6,5 km.

Die Durchschnittsgeschwindigkeit weist über die Wochentage stärkere Unterschiede auf. Innerhalb der Woche wurde an Montagen scheinbar am langsamsten gefahren. Deutlich zu erkennen ist ebenfalls, dass am Wochenende insgesamt langsamer als an den Wochentagen gefahren wird. Die Fahrten am Samstag und Sonntag scheinen also tatsächlich eher dem Bild einer gemütlichen Freizeittour zu entsprechen.

Über die gesamten erfassten Strecken der Pedelecs und Elektrofahrräder ergibt sich eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 22,34 km / h. Auch die Durchschnittsgeschwindigkeit lässt sich mit Hilfe der Häufigkeitsverteilung, wie in Abbildung 16 dargestellt, genauer analysieren.

Es ergibt sich insgesamt eine recht homogene Verteilung, wobei die meisten Fahrten bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen 19 und 27 km / h absolviert wurden. Die Maximalwerte der Durchschnittsgeschwindigkeit liegen bei 31 km / h. Diese Geschwindigkeiten wurden vorwiegend durch die Elektrofahrräder Diamant Zouma Supreme+ gefahren. Da dies das einzige Modell ist, bei dem die elektrische Unterstützung auch oberhalb einer Geschwindigkeit von 25 km / h zugeschaltet bleibt, ist dies gut nachzuvollziehen.

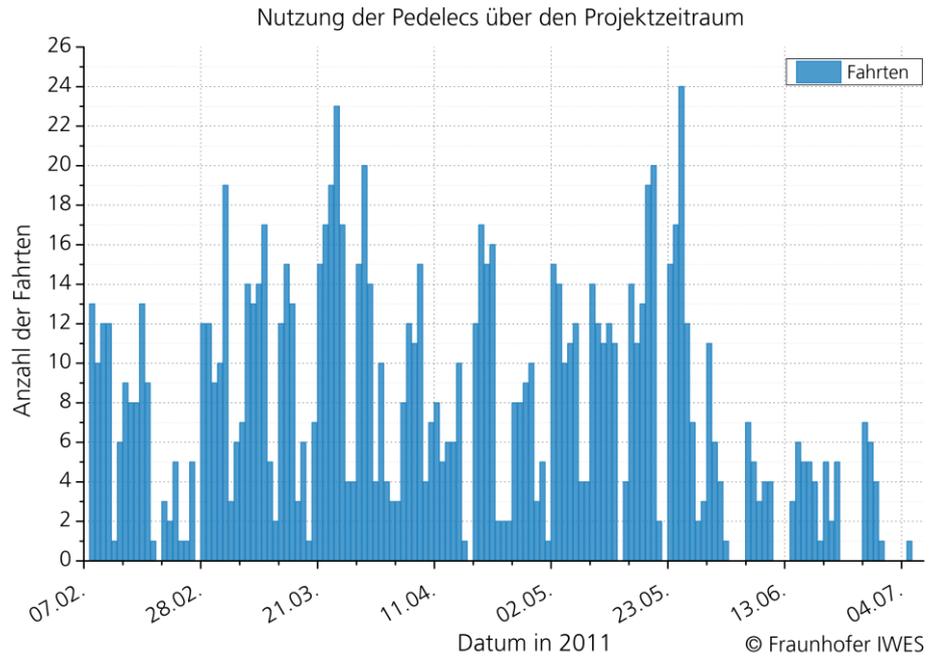
Abbildung 16:  
Häufigkeitsverteilung  
Durchschnitts-  
geschwindigkeiten  
Pedelecs



Als abschließende Darstellung zur Nutzung der Pedelecs und Elektrofahrräder ist in Abbildung 17 die Verteilung der Fahrten auf die einzelnen Tage im Projektzeitraum dargestellt.

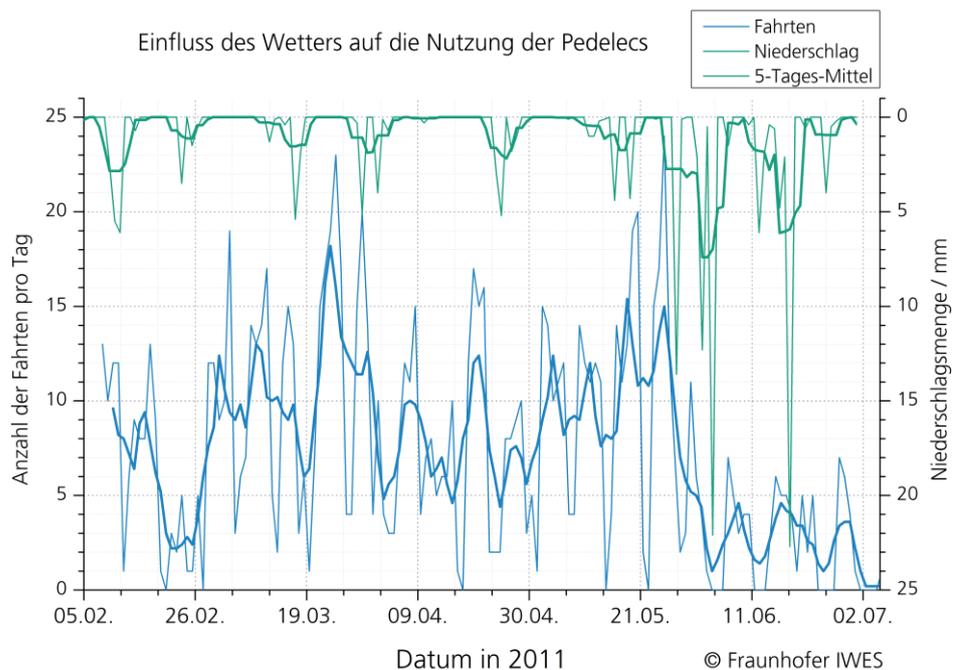
Die ausgeschriebenen Daten an der Zeitachse sind jeweils Montage im Abstand von 3 Wochen. Somit ist klar zu erkennen, dass die Nutzung an den Wochenenden gegenüber den Wochentagen stark reduziert ist. Außerdem wird deutlich, dass die Fahrzeuge im Zeitraum Mitte Februar bis Anfang Juni am stärksten genutzt wurden. Dies ist zu einem gewissen Teil wohl mit den teilweise eingeschränkten Aufzeichnungszeiträumen zu begründen. So enden Ende Mai bereits die ersten Aufzeichnungen der GPS-Geräte.

Abbildung 17:  
Nutzung der Pedelecs über den Projektzeitraum



Insgesamt sind jedoch keine klar erkennbaren Tendenzen zu einer stark zunehmenden oder abnehmenden Nutzung über den Projektzeitraum vorhanden. Mit 23 bzw. 24 Fahrten zeigen aber auch die Tage mit den meisten Fahrten, dass nicht alle Fahrzeuge regelmäßig für den Arbeitsweg genutzt wurden. Da die Verwendung für den Arbeitsweg mindestens 2 Fahrten pro Tag entspricht, sind an diesem Tag also maximal 11 bzw. 12 der 16 Fahrzeuge eingesetzt worden. Weiterhin ist aber auch möglich, dass bei einzelnen Fahrzeugen die Datenaufzeichnung teilweise ausgesetzt wurde.

Abbildung 18:  
Einfluss des Wetters auf die Nutzung der Pedelecs



Ansonsten ist zu vermuten, dass das Wetter einen deutlichen Einfluss auf die Nutzung der Fahrzeuge hatte. Darum wurden die Nutzungsdaten in Abbildung 18 in Zusammenhang mit Aufzeichnungen der Niederschläge gebracht. Die Wetterdaten stammen jedoch nicht aus Wörrstadt, sondern von dem ca. 40 km entfernten Flughafen Frankfurt Main.

In Abbildung 18 wurde neben den Tageswerten auch die Mittelwerte über 5 Tage eingezeichnet, wodurch die tendenziellen Zusammenhänge noch besser zu erkennen sind. Insbesondere zwischen Anfang Juni und Juli ist klar zu erkennen, dass die Nutzung an Tagen mit Niederschläge deutlich zurückgegangen ist.

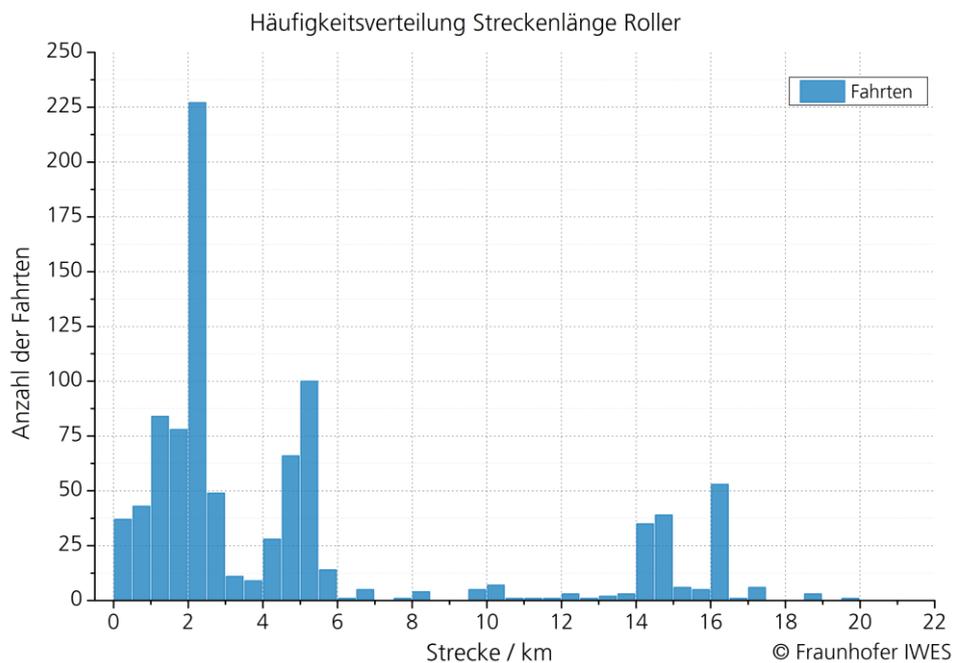
#### 4.5 Nutzung der Roller

Neben den Energieverbrauchsdaten wurden im Rahmen des Projekts auch die Nutzungsdaten der Roller untersucht. Die Auswertung erfolgte analog zu den Betrachtungen bezüglich der Nutzung der Pedelecs und Elektrofahrrädern.

Bei den Rollern wurden insgesamt 929 einzelne Fahrten erfasst. Bei insgesamt 4683,2 gefahrenen Kilometern ergibt dies eine durchschnittliche Streckenlänge von 5,04 km. Damit liegen waren die mit den Rollern gefahrenen Strecken sogar deutlich kürzer als die Strecken der Pedelecs.

Auch die Häufigkeitsverteilung der Streckenlänge gibt dieses Bild deutlich wieder. So ist in Abbildung 19 klar zu erkennen, dass der Großteil der Fahrten bei Entfernungen bis maximal 3 km getätigt wurde.

Abbildung 19:  
Häufigkeitsverteilung  
Streckenlänge Roller



Doch auch hier ist zu sehen, dass es auch bei anderen Streckenlängen kleinere Häufungen von Fahrten ergibt. Durch die gegenüber den Pedelecs wiederum reduzierte Gesamtheit von erfassten Fahrzeugen, dürfte dies durch typische Fahrten einzelner Fahrer bedingt sein. Bei Betrachtung einer größeren Gesamtheit von Fahrzeugen würde sich wohl eine homogenere Verteilung ergeben.

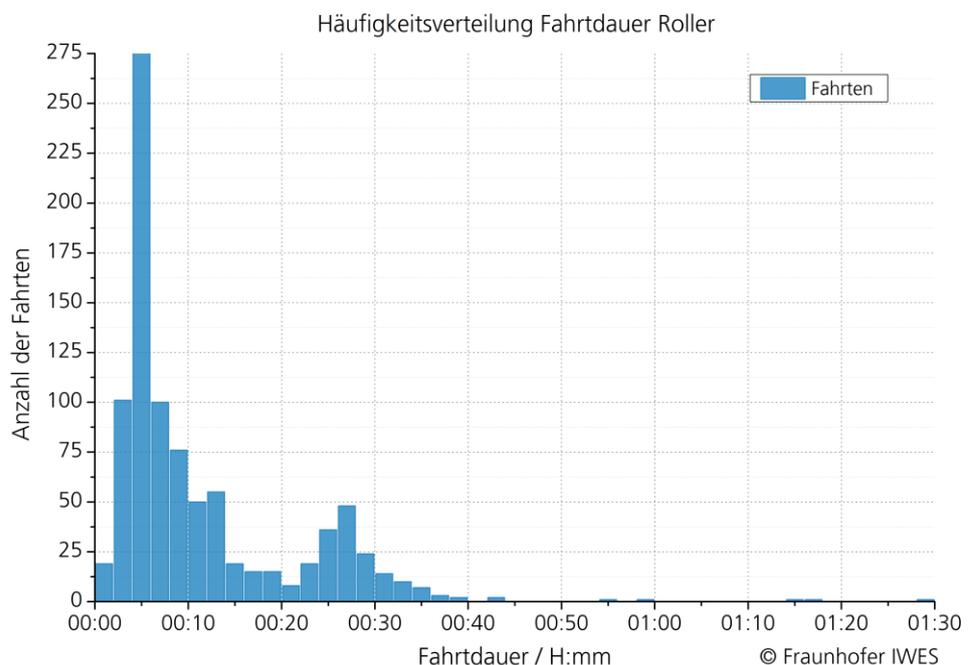
Im Gegensatz zu der durchschnittlichen Streckenlänge liegt die Anzahl der Fahrten pro Fahrzeug erkennbar über dem Niveau der Pedelec. Gegenüber ca. 79 Fahrten pro Pedelec im Projektzeitraum waren es bei den Rollern rund 103 Fahrten pro Fahrzeug.

Beachtet man, dass drei der erfassten Roller wegen Defekten nur sehr wenig genutzt wurden, ergibt sich für die restlichen 6 Roller sogar eine durchschnittliche Anzahl von rund 160 Fahrten pro Fahrzeug. Damit ist die gefahrene Gesamtstrecke pro Fahrzeug höher als bei den Pedelecs und Elektrofahrrädern. So wurden die 6 durchgehend genutzten Roller durchschnittlich 691,5 km bewegt. Dem stehen 521,5 km pro genutztem Pedelec bzw. Elektrofahrrad gegenüber.

Die Roller scheinen also mehr als die Pedelecs auch als Haupttransportmittel für den Arbeitsweg eingesetzt worden zu sein und waren das dominierende Verkehrsmittel für die Nutzer.

Analog zu den einzelnen Strecken ist auch die jeweilige Fahrtdauer bei den Rollern meist deutlich geringer als bei den Pedelecs. Die durchschnittliche Fahrtdauer beträgt nur 12 Minuten und 42 Sekunden.

Abbildung 20:  
Häufigkeitsverteilung  
der Fahrtdauer der  
Roller



Die Verteilung ist in Abbildung 20 aufgezeichnet. Es wird deutlich, dass der Großteil der Fahrten sogar nur weniger als 10 Minuten dauerte. Einerseits ist

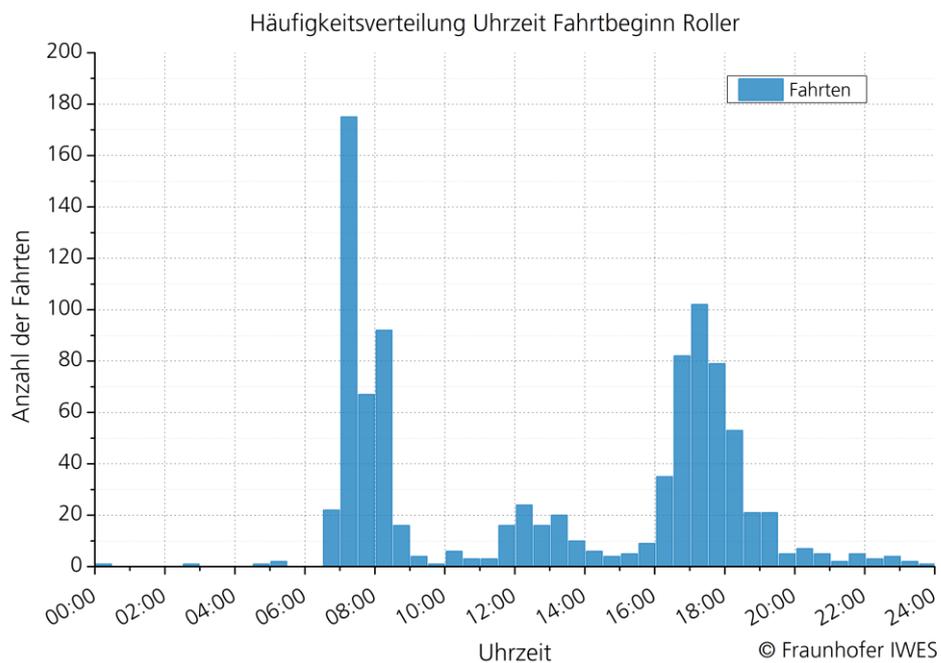
dies durch die kürzeren Strecken, andererseits aber auch durch höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten bedingt.

Interessant ist auch, dass der Anteil der Fahrten mit einer Dauer von mehr als 30 Minuten bereits verschwindend gering ist.

Merklich vergleichbarer gegenüber den Pedelecs ist das Nutzerverhalten bei den Rollern bei der Verteilung der Fahrten über die Tageszeiten. Diese Verteilung ist in Abbildung 21 dargestellt.

Wie bei den Pedelecs findet sich dabei ein deutlicher Peak in der Zeit zwischen 7 und 9 Uhr am Morgen und eine etwas breitere Häufung zwischen 16 und 19 Uhr.

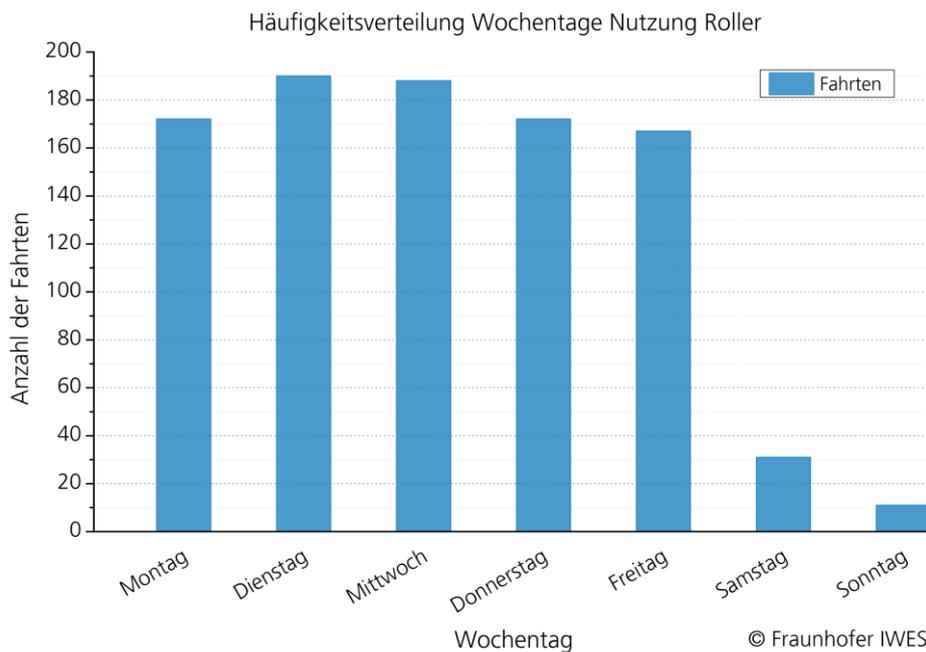
Abbildung 21:  
Häufigkeitsverteilung  
Uhrzeit bei Fahrtbeginn Roller



In Abbildung 22 ist analog zu den Untersuchungen bei den Pedelecs die Verteilung der Fahrten auf die einzelnen Wochentage dargestellt.

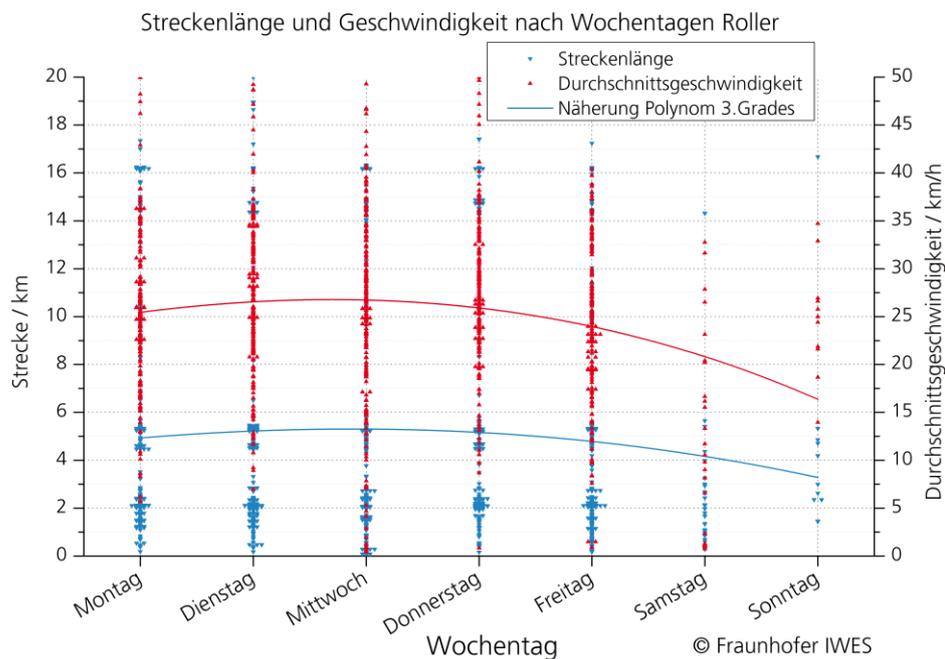
Es ist zu erkennen, dass die Roller gegenüber den Pedelecs noch stärker nur an den Wochentagen genutzt wurden. Die Nutzung am Wochenende beschränkt sich auf nur rund 10 Prozent der werktäglichen Nutzung.

Abbildung 22:  
Häufigkeitsverteilung  
der Rollernutzung  
auf die Wochentage



Auch bei den Rollern wurde schließlich noch untersucht, wie weit der Wochentag einen Einfluss auf das sonstige Nutzungsverhalten hatte. Die Ergebnisse dazu sind in Abbildung 23 dargestellt.

Abbildung 23:  
Streckenlänge und  
Geschwindigkeit  
nach Wochentagen  
Roller

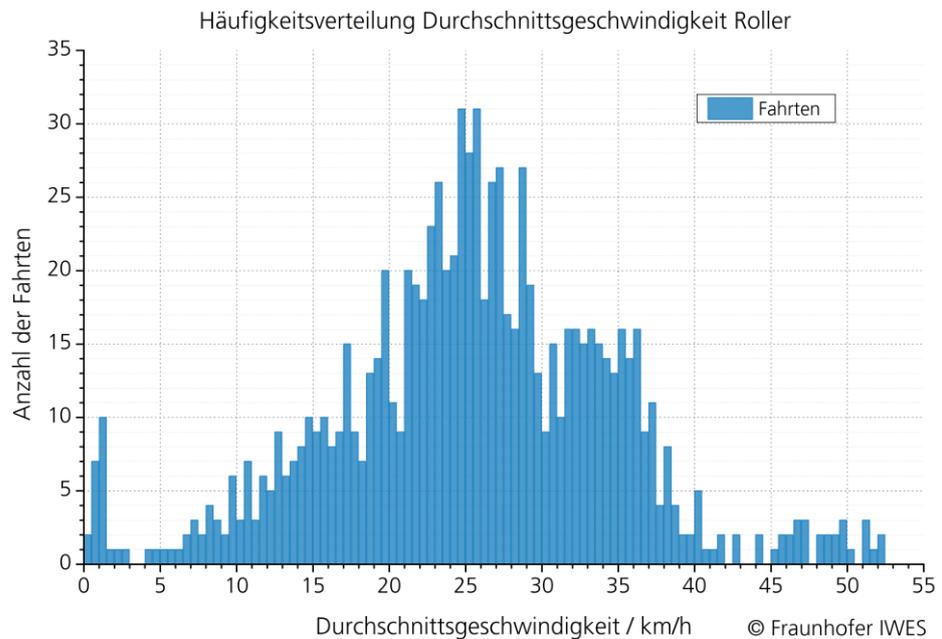


Im Gegensatz zu den Beobachtungen zur Nutzung der Pedelecs sind die gefahrenen Strecken bei den Rollern am Wochenende eher noch kürzer als an den Wochentagen. Bei der Tendenz der Durchschnittsgeschwindigkeit stimmen die

Beobachtungen jedoch miteinander ein. Auch bei den Rollern liegt die am Wochenende gefahrene Durchschnittsgeschwindigkeit unter der Geschwindigkeit der Wochentage.

Auch bei den Rollern wurde noch die Verteilung der erfassten Durchschnittsgeschwindigkeiten untersucht. Die Verteilung ist in Abbildung 24 dargestellt.

Abbildung 24:  
Häufigkeitsverteilung  
Durchschnitts-  
geschwindigkeiten  
Roller

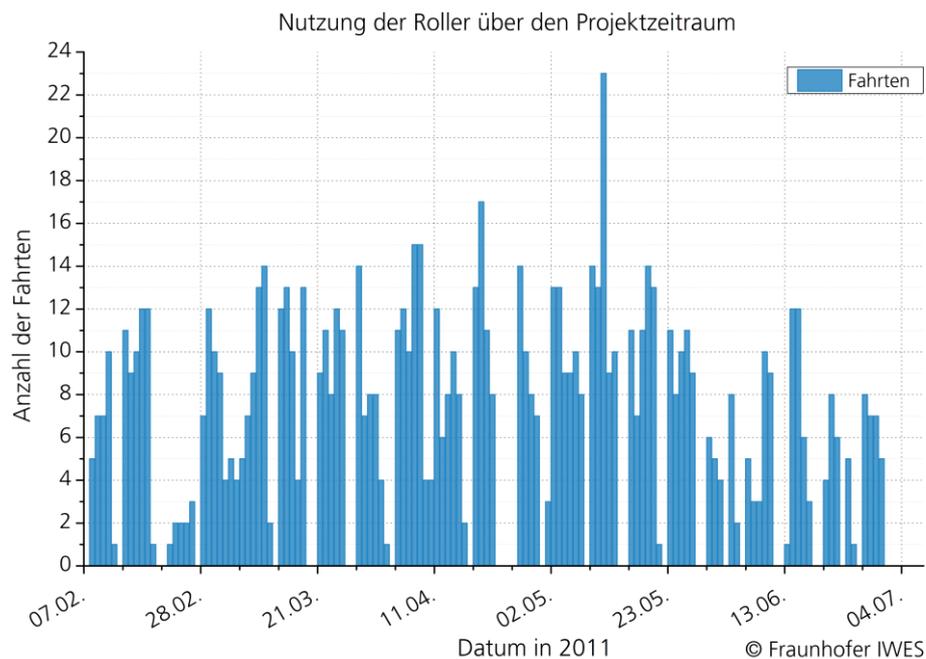


Auch anhand der berechneten und dargestellten Normalverteilung zeigt sich die sehr stete Verteilung der erfassten Durchschnittsgeschwindigkeiten. Einzig eine geringe Anzahl von Fahrten mit Durchschnittsgeschwindigkeiten von 45 bis 53 km / h entsprechen nicht dem Muster der Normalverteilung.

Diese Fahrten wurden jedoch praktisch ausschließlich durch die Roller des Typs Solarscooter Sport SCP 4040 li.on gefahren. Wegen der deutlich höheren Motorleistung und Höchstgeschwindigkeit sind mit diesen Modellen die höheren Geschwindigkeiten problemlos zu erreichen.

Abschließend ist auch hier in Abbildung 25 eine Übersicht zur Nutzung der Roller über den gesamten Projektzeitraum gegeben.

Abbildung 25:  
Nutzung der Roller  
über den Projektzeit-  
raum

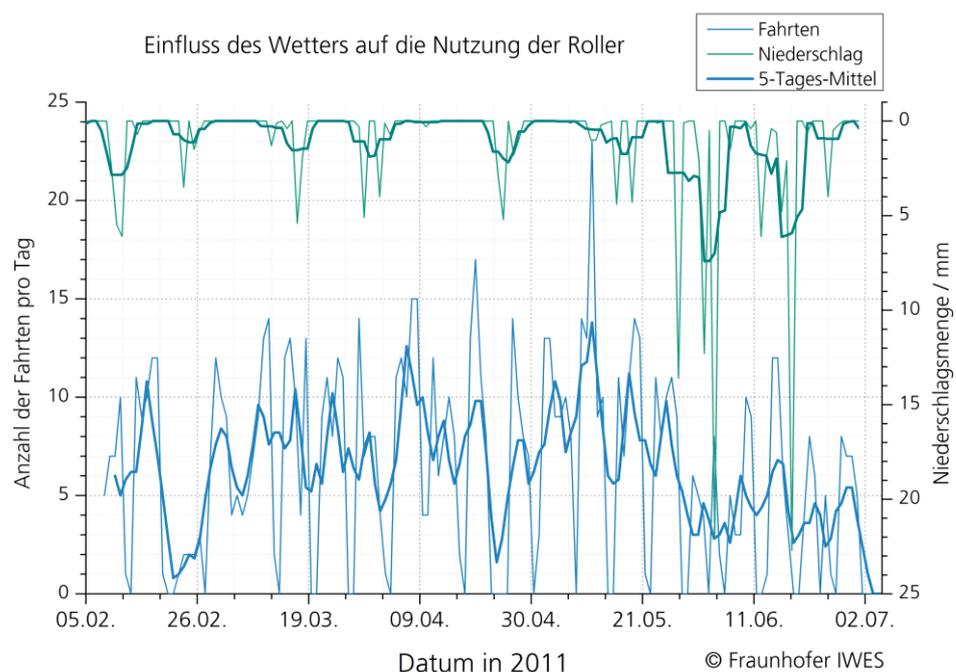


Wie bei den Pedelecs findet sich auch hier keine eindeutige Tendenz zur Steigerung oder Reduktion der Nutzung über den Projektzeitraum. Der Ausreißer am 12. März stammt möglicherweise aus Daten eines einzelnen Fahrzeugs. Vermutlich handelt es sich hierbei um fehlerhafte Daten, die durch schlechten Satellitenempfang an einem eigentlich abgestellten Fahrzeug entstanden sind. Da nur alle Fahrten unter 50 m nicht zugelassen wurden, besteht dieser Peak eventuell aus anderen Fahrten sehr kurzer Länge.

Es ist außerdem zu beachten, dass die Datenaufzeichnungen der Roller des Typs Solarscooter Sport SCP 4040 li.on bereits Ende März bzw. im Mai beendet wurden. Die Daten der EVT-Roller wurden bis mindestens Mitte Juni, bei 5 der 6 Fahrzeuge sogar bis Ende Juni aufgezeichnet.

Auch bei den Rollern wurde noch eine Untersuchung der Nutzung hinsichtlich eines Zusammenhangs zwischen Anzahl der Fahrten pro Tag und Niederschlagsituation durchgeführt. In Abbildung 26 sind die tägliche Anzahl der Fahrten, die Niederschlagsmenge am gleichen Tag und jeweils Mittelwerte über 5 Tage dargestellt.

Abbildung 26:  
Einfluss des Wetters  
auf die Nutzung der  
Roller



Wie bei den Pedelecs zeigen sich auch deutliche Zusammenhänge zwischen den Niederschlägen und der Nutzung der Roller. Die Aussagekraft der Nutzungsdaten im Juni ist leider bereits durch das vorzeitige Ende mancher Aufzeichnungen eingeschränkt. Beispielsweise Mitte April, also mitten im Projektzeitraum, ist der Einbruch der Nutzung aber deutlich im Zusammenhang mit den Niederschlägen zu sehen. Hier spielte jedoch auch der Feiertag am 22. April eine zusätzliche Rolle.

## 4.6 Laden der Pedelecs

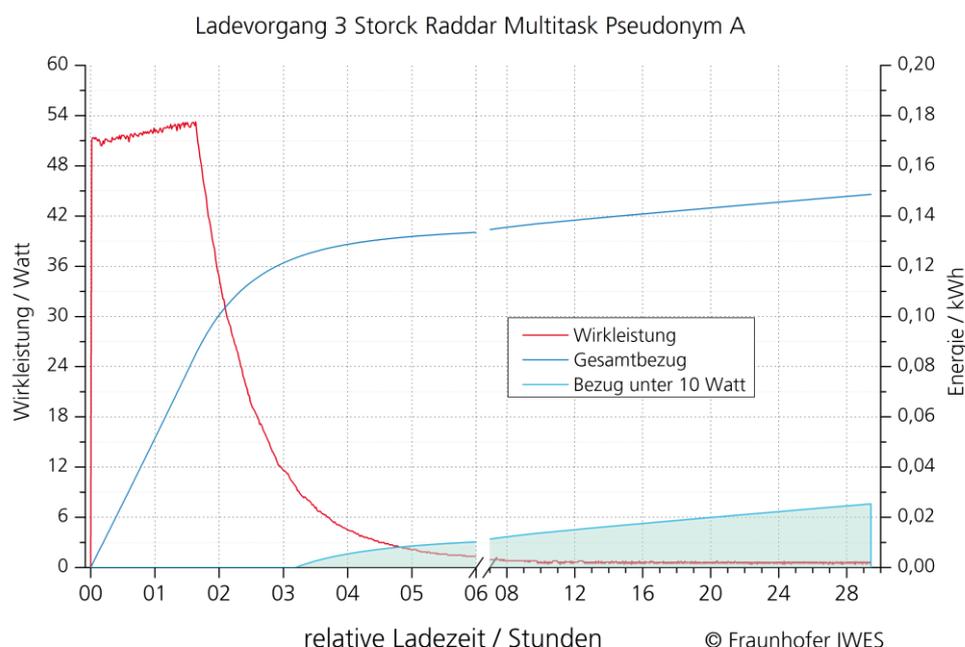
### 4.6.1 Charakteristik der Ladegeräte

Durch die kontinuierliche Aufzeichnung der Strom-, Spannungs- und Leistungsfaktorwerte über die gesamten Ladevorgänge kann sowohl das Verhalten der Nutzer, als auch der Ladegeräte sehr genau untersucht werden.

Zunächst soll dabei für jedes Modell ein charakteristischer Ladevorgang aufgezeigt werden. Ausgewiesen sind die elektrische Wirkleistung des Ladegeräts am Netz, der zugehörige Leistungsfaktor und die während des Ladevorgangs bereits verbrauchte Energie. Da im Rahmen der Auswertung recht schnell eine erhebliche Relevanz der Standby-Verluste festgestellt wurde, ist außerdem der Energiebedarf bei sehr geringen Leistungen gesondert ausgewiesen.

In Abbildung 27 ist zunächst ein typischer Ladevorgang der Modelle Storck Raddar Multitask dargestellt.

Abbildung 27:  
charakteristischer  
Ladevorgang Storck  
Raddar Multitask



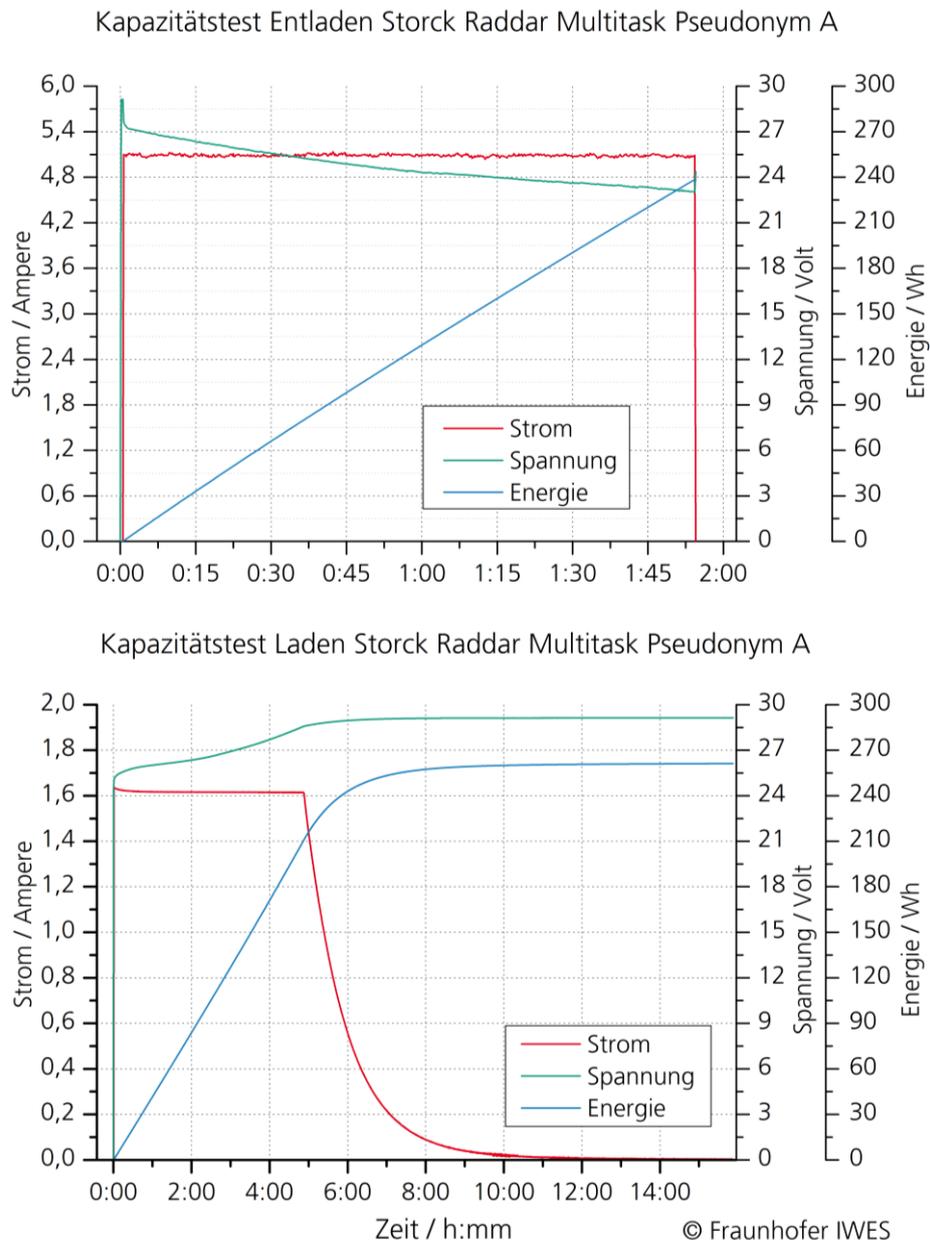
Anhand der Leistung ist deutlich der typische Verlauf eines Ladevorgangs zu erkennen. Während zu Beginn bei maximaler Leistung, hier rund 50 W, geladen werden kann, wird die Leistung anschließend allmählich reduziert, um die Zellen schonend vollständig zu laden.

Im dargestellten Verlauf hätte der Ladevorgang wohl ungefähr nach 4 Stunden beendet werden können. Zu diesem Zeitpunkt sind ungefähr 0,13 kWh an Energie für den Ladevorgang verbraucht. Da jedoch keinerlei Information zur vorherigen Entladetiefe des Akkus vorliegen, kann dies nicht in Relation zur tatsächlich in die Batterie geladenen Energie gesetzt werden.

Auch so kann jedoch erkannt werden, dass das Ladegerät auch nach dem Voll-laden der Batterie noch weiter elektrische Leistung aus dem Netz bezieht. Bei dem dargestellten Modell sind dies nach ca. 10 Stunden noch rund 0,7 W Dauerleistung. Bei Beendigung des dargestellten Ladevorgangs wurden so nach 30 Stunden rund 0,025 kWh, bzw. rund 16 % des Gesamtverbrauchs bei Leistungen unterhalb von 10 W verbraucht.

Im Rahmen der Kapazitätstests wurde das Verhalten der Ladegeräte auch gleichspannungsseitig vermessen. Da die Akkus dabei ganz bewusst vollständig entladen wurden, handelt es sich um vollständige Lade- und Entladevorgänge. Die Aufzeichnungen eines Entlade- und Ladevorgangs sind in Abbildung 28 dargestellt.

Abbildung 28:  
batterieseitige Cha-  
rakteristik Ladegerät  
Storck Raddar Mul-  
titask

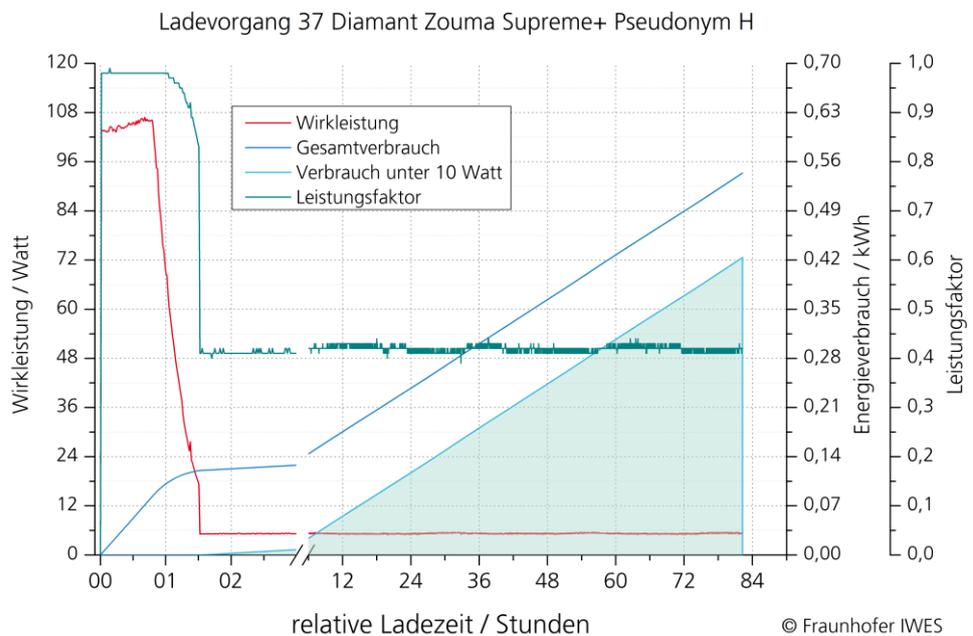


Der Entladetest wurde mit einem Strom von 5,0 A, durchgeführt, wodurch der Akku nach etwas unter 2 Stunden entladen war. Es wurde knapp über 240 Wh entnommen.

Der Ladevorgang mit dem Ladegerät des Herstellers wurde über ca. 14 Stunden durchgeführt. Es ist klar ersichtlich, dass zunächst über rund 5 Stunden mit voller Leistung geladen wurde. Dabei fließt ein Ladestrom von ungefähr 1,6 A. Anschließend wird der Ladestrom fließend reduziert, bis er nach 9 Stunden unterhalb von 0,1 A liegt. Durch die fließende Reduktion des Ladevorgangs ist das Ende des Ladens schwer definierbar. Insgesamt wurden rund 260 Wh in den Akku geladen.

Ein deutlicher Kontrast stellt ein typischer Ladevorgang des Modells Diamant Zouma Supreme+, in Abbildung 29 abgebildet, dar. Hierbei liegt die maximale Leistung des Ladegeräts zwar deutlich höher, nämlich bei rund 105 W, aber auch die dauerhaft bezogene Standbyleistung nach Beendigung des Ladevorgangs ist erheblich größer.

Abbildung 29:  
charakteristischer  
Ladevorgang Dia-  
mant Zouma Sup-  
reme+



Im dargestellten Fall scheint der Ladevorgang nach ca. 1,5 Stunden bereits beendet zu sein. Es sind dann rund 0,12 kWh verbraucht. Das Ladegerät bezieht dann aber weiter eine elektrische Leistung von knapp über 5 Watt aus dem Netz.

So hat sich nach rund 30 Stunden der Energieverbrauch auf Grund des Standby-Verbrauchs mehr als verdoppelt. Im konkreten Fall wurde das Ladegerät sogar erst nach ca. 80 Stunden vom Netz getrennt, wodurch schließlich fast 80% der bezogenen Energie im Standby-Betrieb verbraucht wurden. Es ist zu beachten, dass es sich bei dem dargestellten Ladevorgang um einen speziell ausgewählten Ladevorgang mit langer Ladezeit handelt.

In Abbildung 30 ist das Verhalten des Ladegeräts batterie-seitig dargestellt.

Abbildung 30:  
batterie-seitige Charakteristik Ladegerät  
Diamant Zouma Elite



Der Entladetest wurde mit einem Entladestrom von ca. 6,5 A durchgeführt. Der Akku wurde damit nach etwas mehr als 50 Minuten entladen. Es konnten dabei rund 215 Wh aus dem Akku entnommen werden.

Wie Abbildung 30 zu entnehmen ist, liefert das Ladegerät bei voller Leistung einen Ladestrom von rund 2,1 A. Die Ladeleistung wird nach etwas mehr als 2 Stunden schrittweise reduziert. Anhand des Ladestroms ist klar zu erkennen, dass der Ladevorgang bei ungefähr 3 Stunden eindeutig beendet wird. Der Ladestrom sinkt dabei schlagartig von 0,3 auf 0 A.

Das Ladegerät verblieb jedoch noch einige Stunden am Netz und an der Batterie angeschlossen. In Verbindung zu der netzseitigen Untersuchung des Ladegeräts, wie z.B. in Abbildung 29, wird deutlich, dass im Standbybetrieb des Ladegeräts keinerlei Ladeleistung mehr an den Akku geliefert wird. Die Leistungen unter 10 W liefern als keine weitere Funktion für die Batterien.

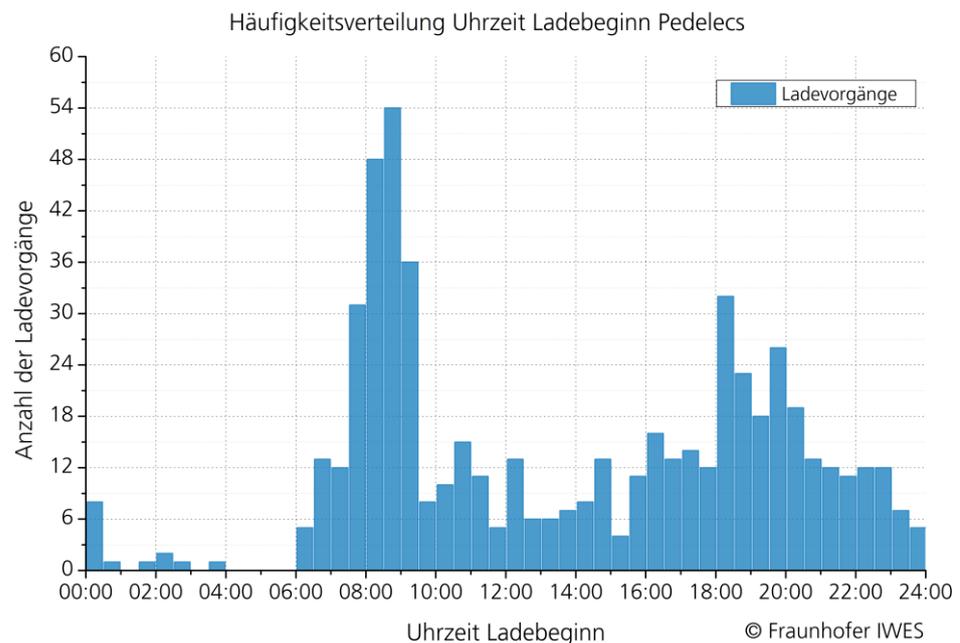
#### 4.6.2 Verhalten der Nutzer

Da es noch keine standardisierten Lösungen für das Laden von Pedelecs gibt, gehört zu jedem Pedelec-Modell ein spezifisches Ladegerät, das vom Nutzer zum Laden manuell angeschlossen werden muss.

Im Idealfall sollte das Ladegerät, nachdem der Akku vollgeladen wurde, vom Netz getrennt werden und erst für den nächsten Ladevorgang wieder angeschlossen werden. In der Realität scheinen die Ladegeräte jedoch meist deutlich länger am Netz angeschlossen zu bleiben. Dies verdeutlicht die durchschnittliche Ladedauer von ca. 13 Stunden und 17 Minuten.

Zusätzlich zu der Dauer der Ladevorgänge wurden auch die typischen Zeitpunkte zum Anschließen und Abziehen der Ladegeräte untersucht. In Abbildung 31 ist dargestellt, bei welchen Uhrzeiten die Ladevorgänge begonnen wurden.

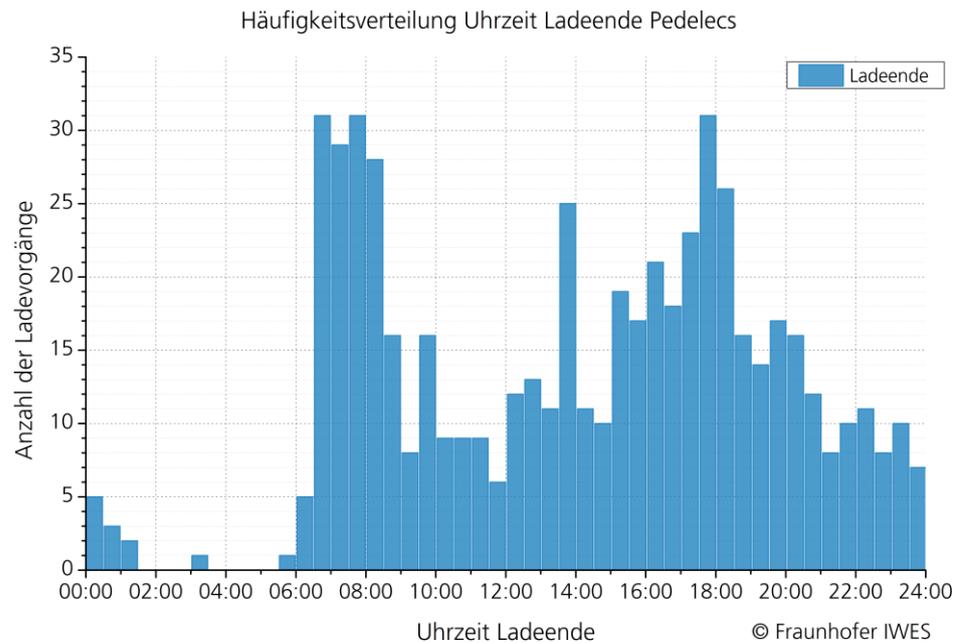
Abbildung 31:  
Häufigkeitsverteilung  
Uhrzeit bei Ladebeginn der Pedelecs



Anhand der Häufung zwischen 7:30 und 9:30 ist davon auszugehen, dass der Großteil der Pedelecs nach der Anfahrt am Arbeitsplatz geladen wurde. Da zwischen 16:00 und 23:00 jedoch ebenfalls viele Ladevorgänge gestartet wurden, scheinen die Ladegeräte auch wieder zurück zum Heimatort transportiert worden zu sein.

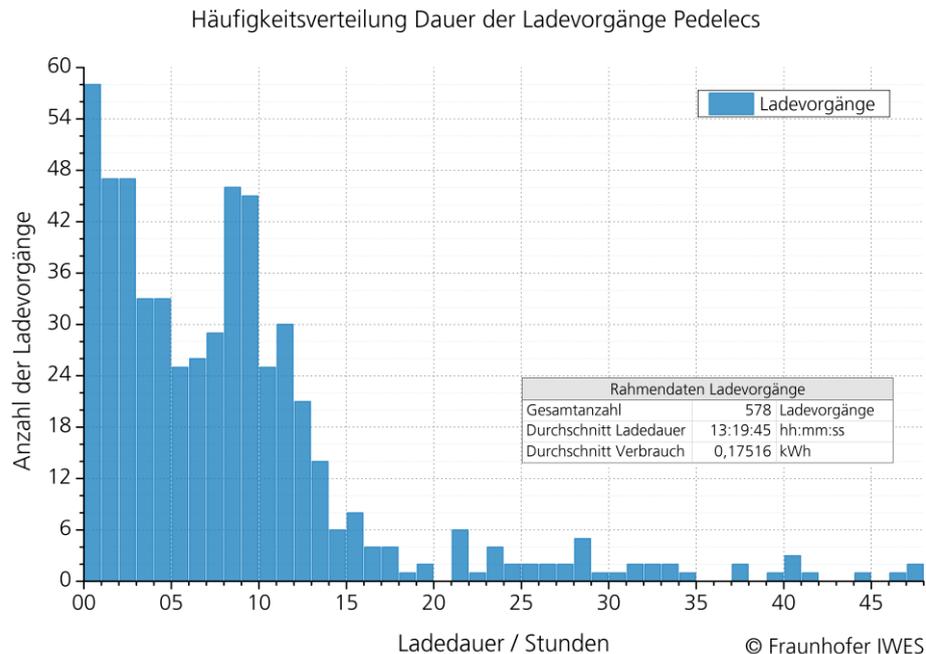
Analog wurde auch eine Auswertung des Endes der Ladevorgänge erstellt. Die dazugehörige Häufigkeitsverteilung entsprechend der Uhrzeiten ist in Abbildung 32 dargestellt. Im Vergleich zur Verteilung des Ladebeginns sind die Endpunkte der Ladevorgänge homogener über den Tag verteilt. Insgesamt ähnelt die Verteilung der Verteilung der Uhrzeiten bei Fahrtbeginn, wobei sich die Peaks in der Uhrzeit aber leicht hin zu früheren Uhrzeiten verschoben haben. Bei vielen Fahrten wurde vermutlich das Ladegerät direkt vor Antritt der Fahrt getrennt und dann nach Ankunft direkt wieder angeschlossen.

Abbildung 32:  
Häufigkeitsverteilung  
der Uhrzeit bei Ende  
der Ladevorgänge  
Pedelects



Eine sehr wichtige Information um die Relevanz von Standby-Verbrauch einzuschätzen ist die übliche Dauer der Ladevorgänge, also wie lange die Ladegeräte mit dem Netz verbunden sind. Diese Zeit ist zwar durch die benötigte Ladezeit von der Auslegung der Batterien und der Ladegeräte bezüglich des Minimalwerts beeinflusst, ansonsten jedoch primär vom Verhalten der Nutzer abhängig. Die genaue Verteilung der Dauer der Ladevorgänge ist in Abbildung 33 dargestellt.

Abbildung 33:  
Häufigkeitsverteilung  
Ladedauer Pedelecs



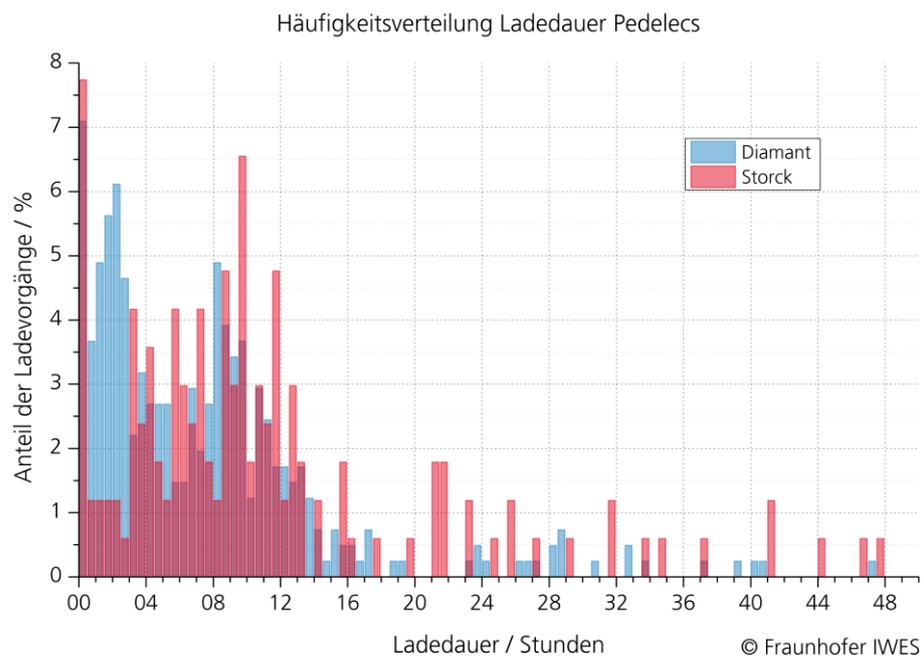
Insgesamt ergab sich über alle Ladevorgänge bei den Pedelecs eine durchschnittliche Ladedauer von gut 13 Stunden und 17 Minuten. Gegenüber dem angegebenen Zeitbedarf für das vollständige Laden von beispielsweise 3-4 Stunden<sup>19</sup> beim Diamant Zouma Supreme ergibt sich also eine deutlich verlängerte Zeit.

Interessanterweise unterscheiden sich die durchschnittlichen Zeiten für den Ladevorgang je nach Pedelec-Modell sehr stark. So liegt die durchschnittliche Ladedauer bei den Storck-Modellen bei 20 Stunden und 7 Minuten, während es bei den Diamant-Elite-Modellen nur 10 Stunden und 18 Minuten sind. Eventuell waren die Diamant-Ladegeräte besser als offensichtliche Standby-Verbraucher zu erkennen. Im Gegensatz zum Storck-Ladegerät verfügt das Diamant-Ladegeräte über eine LED-Anzeige, die das Ende des Ladevorgangs signalisiert. Da dem Nutzer ansonsten alle Anhaltspunkte zum Beenden des Ladevorgangs fehlen, könnte dies ein ausschlaggebender Grund sein.

In Abbildung 34 sind die jeweiligen Häufigkeitsverteilungen der Dauer der Ladevorgänge nochmals explizit getrennt nach den beiden Ladegeräten aufgezeigt. Bei den Diamant-Pedelecs gibt es im Gegensatz zu den Storck-Pedelecs eine deutliche Häufung bei 2 bis 3 Stunden, was wohl der real benötigten Zeit für einen Ladevorgang entspricht. Damit erhärtet sich die Vermutung, dass die Statusanzeige einen Einfluss auf die reale Ladedauer hat.

<sup>19</sup> <http://www.diamantrad.com/modelle-2011/elektro-sport/zouma-supreme/>; Abgerufen am 19.08.2011

Abbildung 34:  
Häufigkeitsverteilung  
Dauer der Ladevor-  
gänge für verschie-  
dene Ladegeräte



Die Häufung bei 8 bis 10 Stunden, die bei beiden Modellen in ähnlichem Maße auftritt, sollte durch die Ladevorgänge über die gesamte Nacht, bzw. über den gesamten Arbeitstag bedingt sein.

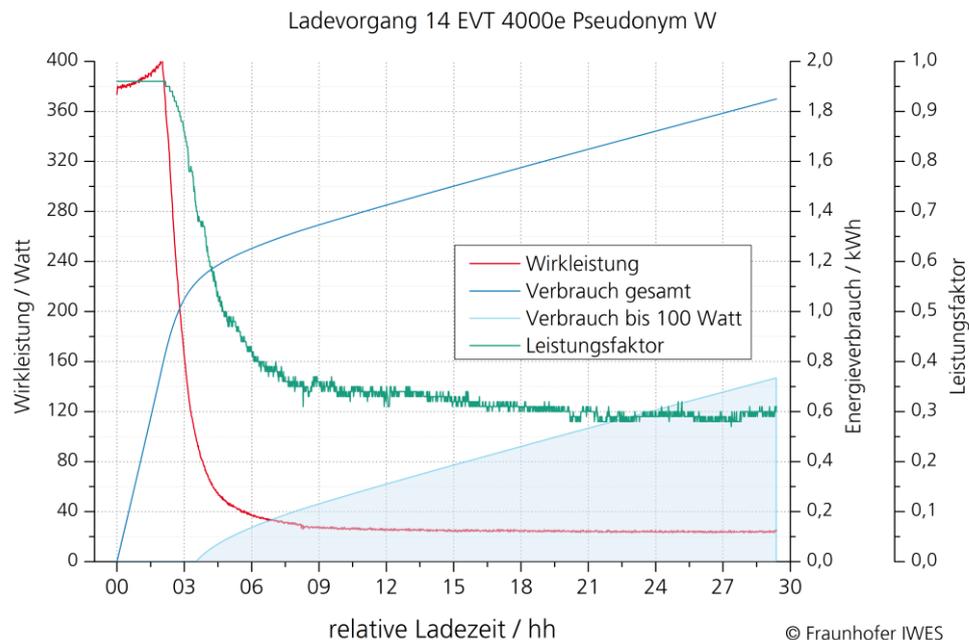
## 4.7 Laden der Roller

Da auch bei den Rollern die Ladevorgänge vollständig in Form von Datenreihen der Strom-, Spannungs- und Leistungsfaktorwerten aufgezeichnet wurden, kann auch hier eine detaillierte Analyse erfolgen.

### 4.7.1 Charakteristik der Ladegeräte

Dazu sind zunächst auch hier charakteristische Ladevorgänge der beiden eingesetzten Modelle aufgezeigt. In Abbildung 35 ist ein charakteristischer Ladevorgang des Modell EVT 4000e, also des Rollers mit Blei-Vlies-Batterien, dargestellt.

Abbildung 35:  
typischer Ladevorgang  
EVT 4000e



Auch hier zeigt sich wieder deutlich der typische Verlauf einer Ladekurve. In einem abhängig vom Ladezustand definierten Zeitraum wird mit voller Leistung geladen, um dann die Leistung zum schonenden Abschließen des Ladevorgangs allmählich zu reduzieren. Die maximale Ladeleistung des Ladegeräts liegt bei ca. 400 W. Im dargestellten Ladevorgang wurde der Akku knapp über 2 Stunden mit voller Leistung geladen. Anschließend wird die Leistung allmählich reduziert, bis schließlich das Niveau der Standby-Leistung, bzw. des Ladeerhaltungsbetrieb erreicht wird.

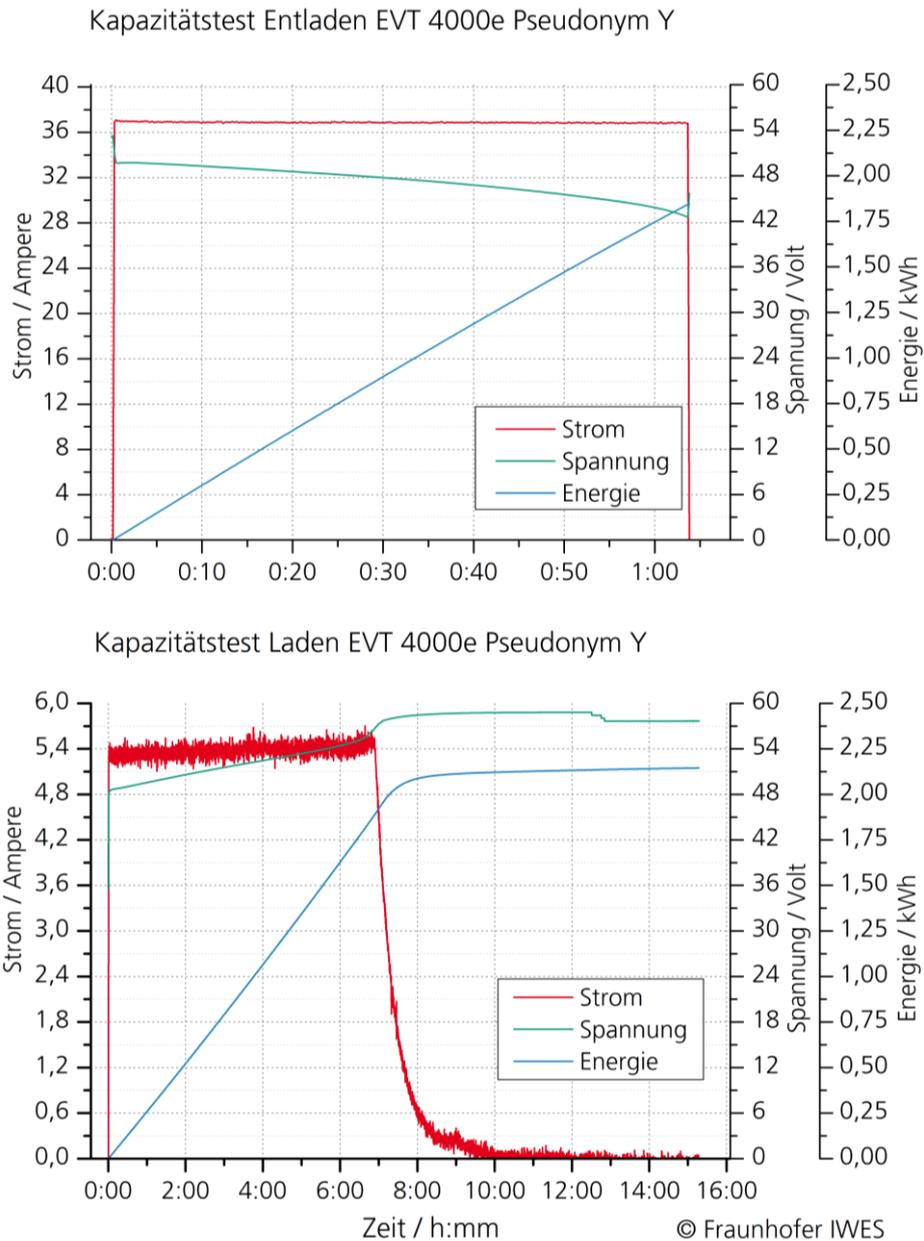
Im dargestellten Fall ist der Hauptladevorgang nach ca. 5 Stunden weitgehend beendet und ab Stunde 9 bleibt die Leistung auf einem konstanten Niveau von ca. 25 W. Einerseits kann dies als Standby-Verluste bezeichnet werden, andererseits entspricht dies vermutlich dem bei Bleibatterien üblicherweise angewandten Verfahren des Ladeerhaltungsbetriebs. Dabei wird weiterhin eine konstante Ladespannung an die Batterien angelegt, um einerseits die Selbstentladungsverluste auszugleichen und andererseits die Korrosion zu minimieren und so die Lebensdauer der Batterien zu erhöhen.

Unabhängig von der Bewertung dieses Verfahrens bezüglich seiner Auswirkung auf die Batterielebensdauer kann festgestellt werden, dass dadurch ein relevanter Mehrverbrauch an elektrische Energie entsteht. Bei dem betrachteten Roller und Ladevorgang sind so nach 30 Stunden ca. 40 % der gesamten Energie bei Leistungen unter 100 W verbraucht worden.

In Abbildung 36 ist das batterie-seitige Verhalten des Ladegeräts explizit dargestellt. Dargestellt sind ein vollständiger Entlade- und Ladevorgang. Der Entladevorgang wurde mit einem Strom von ca. 37 A durchgeführt und dauerte etwas länger als eine Stunde. Bis zum Beenden des Ladevorgangs bei der Entlade-

schlussspannung von 42,5 V wurden so rund 1,8 kWh elektrische Energie entnommen.

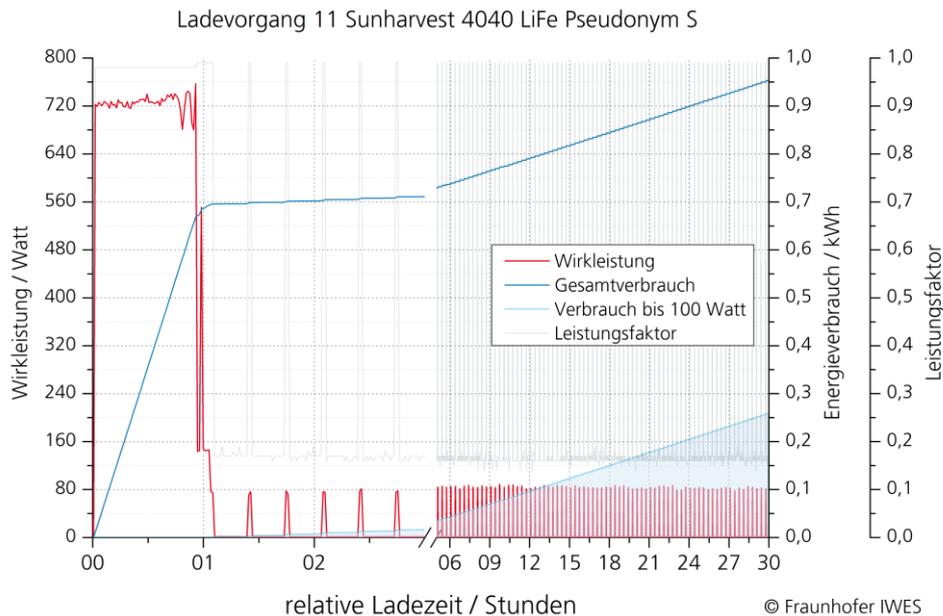
Abbildung 36:  
batterieseitige Charakteristik Ladegerät EVT 4000e



Der Ladevorgang wurde mit dem vom Hersteller mitgelieferten Ladegerät durchgeführt. Es ist zu erkennen, dass zunächst für rund 7 Stunden ein maximaler Ladestrom von ca. 5,4 A geliefert wird. Anschließend sinkt der Ladestrom kontinuierlich und liegt nach ca. 9 Stunden Ladezeit kontinuierlich unterhalb von 0,3 A. Nach ca. 15 Stunden wurden so rund 2,15 kWh Energie in die Batterie geladen.

Analog zu Abbildung 35 ist in Abbildung 37 ein charakteristischer Ladevorgang des Modells Solarscooter Sport SCP 4040 li.on abgebildet. Bei diesem Modell sind Lithium-Ionen-Batterien im Einsatz.

Abbildung 37:  
 charakteristischer  
 Ladevorgang So-  
 larscooter Sport SCP  
 4040 li.on



Zunächst ist ersichtlich, dass das Ladegerät mit rund 750 W eine deutliche höhere maximale Ladeleistung besitzt und dass der Ladevorgang deutlich schneller beendet wird. Die Reduzierung der Ladeleistung verläuft hier erkennbar steiler. Das Gerät wechselt schneller in den Standby-Betrieb.

Im Standby-Betrieb benötigt das Gerät mit ca. 1,3 W nur eine relativ geringe Leistung. Ungefähr alle 15 Minuten erfolgt allerdings ein zusätzliches impulsförmiges Laden mit bis zu 70 W. Nach ca. 30 Stunden sind so rund 27 % der Energie bei Leistungen unter 100 W verbraucht worden.

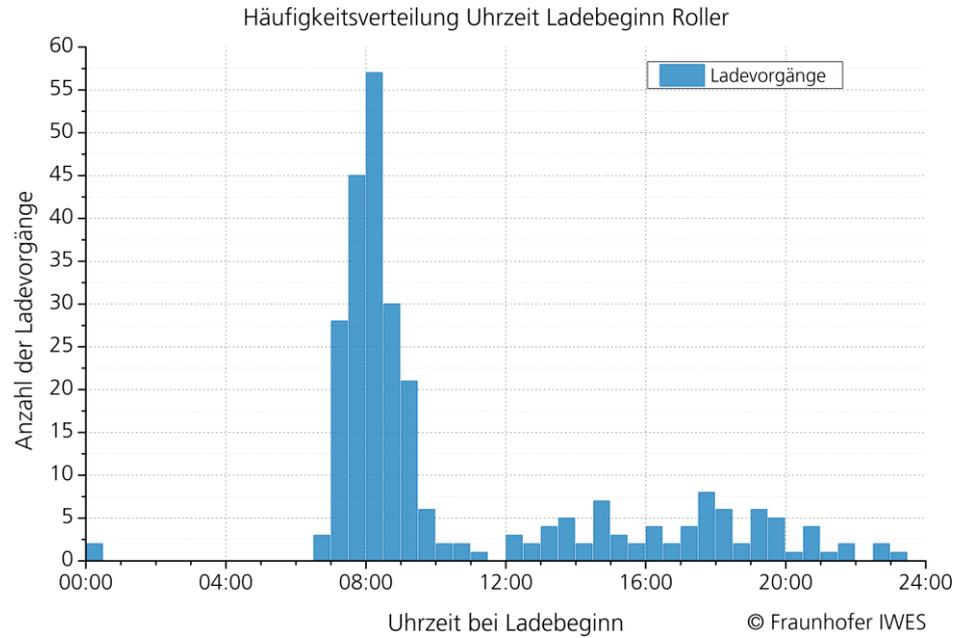
Wegen der aufgetretenen Problemen beim Batteriemangement wurden mit diesen Akkus keine Kapazitätstests durchgeführt.

#### 4.7.2 Verhalten der Nutzer

Auch bei den Rollern waren jeweils spezifische Ladegeräte für das Laden der Akkus notwendig. Die Ladegeräte konnten aber jeweils in den Fahrzeugen verstaut werden, so dass die Geräte standardmäßig mitgeführt wurden. Dennoch wurden die Fahrzeuge im Verhältnis zu den Fahrten deutlich seltener als die Pedelecs geladen. Während dieses Verhältnis bei den Pedelecs und Elektrofahrzeugen bei ungefähr 2 lag, wurden die Roller durchschnittlich erst nach jeder 3. bis 4. Fahrt wieder geladen.

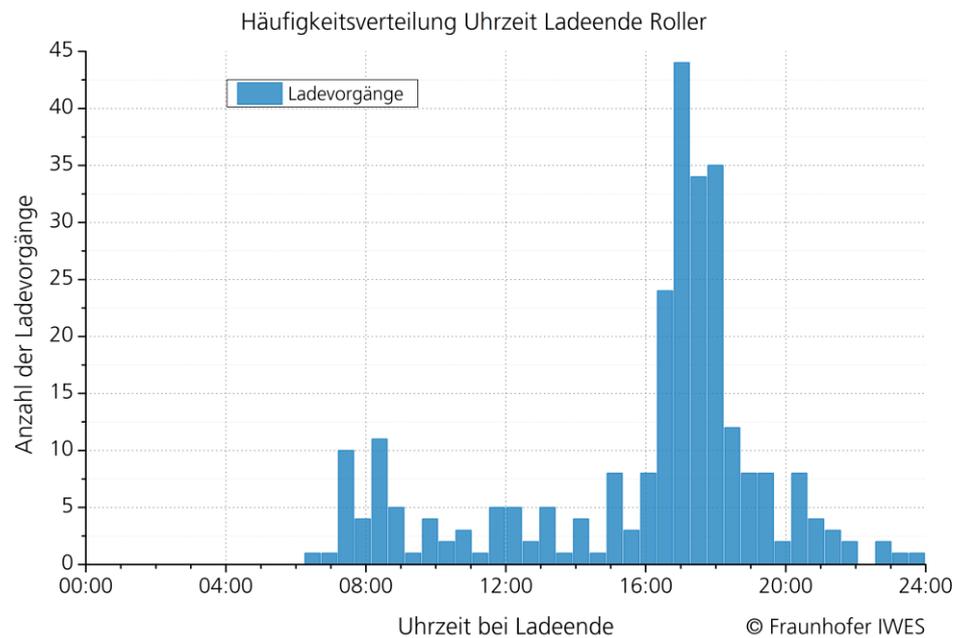
Auch bei Betrachtung des sonstigen Ladeverhaltens zeigen sich deutliche Unterschiede gegenüber den Pedelecs. In der in Abbildung 38 dargestellten Häufigkeitsverteilung zeigt sich eindeutig, dass der Großteil der Ladevorgänge zwischen 7 Uhr und 9 Uhr 30 begann und damit wohl nach der Ankunft am Arbeitsplatz stattfanden. Über den sonstigen Tag verteilt wurden nur sehr vereinzelt Ladevorgänge gestartet.

Abbildung 38:  
Häufigkeitsverteilung  
Uhrzeit bei Ladebe-  
ginn der Roller



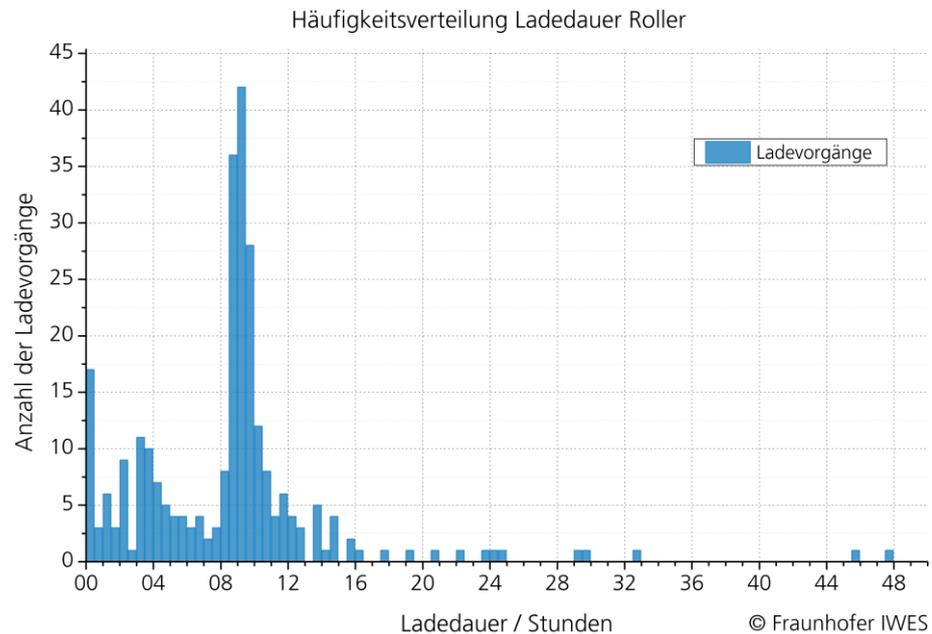
Die Häufigkeitsverteilung der Uhrzeiten bei Ladeende der Roller in Abbildung 39 zeigt eine eindeutige Entsprechung zur Verteilung der Uhrzeiten bei Ladebeginn. Der eindeutige Großteil der Ladevorgänge wurde zwischen 16 Uhr 30 und 18 Uhr 30 beendet. Zwischen ca. 8 Uhr 30 und 17 Uhr ergibt sich also eine übliche Ladedauer von 8,5 Stunden.

Abbildung 39:  
Häufigkeitsverteilung  
der Uhrzeit bei Ende  
der Ladevorgänge  
Roller



Diese Abschätzung anhand der Uhrzeiten bestätigt sich auch bei der gesonderten Betrachtung der Dauer der Ladevorgänge in Abbildung 40. Eindeutig ist zu sehen, dass die meisten Ladevorgänge eine Dauer zwischen 8,5 und 10,5 Stunden aufweisen.

Abbildung 40:  
Häufigkeitsverteilung  
Ladedauer Roller



Offenbar war das Laden der Roller, viel mehr als bei den Pedelecs, ein geplanter Vorgang, der zu bestimmten Zeiten durchgeführt wurde und einem eingespielten Verhalten folgte. Teilweise ist dies wohl dadurch zu erklären, dass die Akkus der Roller nicht unabhängig von den Fahrzeugen bewegt werden konnten und somit nur dann geladen wurden, wenn eine am Parkplatz vorhandene Steckdose erreichbar war.

Insgesamt ergab sich über alle Ladevorgänge bei den Rollern eine durchschnittliche Ladedauer von 11 Stunden und 59 Minuten. Vom Hersteller wird beim EVT 4000e eine Ladezeit von 3-4 Stunden für das Laden bis 80 % der Kapazität angegeben<sup>20</sup>. Für den Sunharvest SCP 4040 li.on werden von verschiedenen Händlern Ladezeiten von bis zu 4 Stunden<sup>21</sup> oder bis zu 6 Stunden<sup>22</sup> angegeben.

Der durchschnittliche Verbrauch pro Ladevorgang lag beim Modell EVT 4000e bei 1,41 kWh pro Ladung und beim Modell Sunharvest SCP 4040 li.on waren es durchschnittlich 1,05 kWh pro Ladevorgang. Da es keine Informationen zur Restladung der Akkus bei Ladebeginn gibt, können daraus leider keine Informationen zur Effizienz der Ladegeräte gewonnen werden.

<sup>20</sup> [http://www.evt-scooter.com/index.php?article\\_id=18](http://www.evt-scooter.com/index.php?article_id=18), Abgerufen am 29.8.2011

<sup>21</sup> <http://www.solar-mobil-gmbh.de/de/solar-scooter/solar-scooter-scp-4040-sport.html>, Abgerufen am 29.8.2011

<sup>22</sup> <http://www.greenmobil.at/elektro-roller/scp-4040-lion.html>; Abgerufen am 29.8.2011

## 5 Akkumulatoren und Ladetechnik

Zur umfassenden technischen Bewertung der eingesetzten Fahrzeuge wurden in Rahmen des Projekts auch die Akkus der Fahrzeuge gesondert getestet. Die Akkus wurden jeweils vor Beginn und nach mehreren Monaten auf ihre Funktion und ihre Kapazität geprüft.

Die genaue Auswertung der dabei angewandten Verfahren und den gewonnenen Daten erfolgt in gesonderten Berichten. Jedoch sollen an dieser Stelle einige der Ergebnisse aufgegriffen werden.

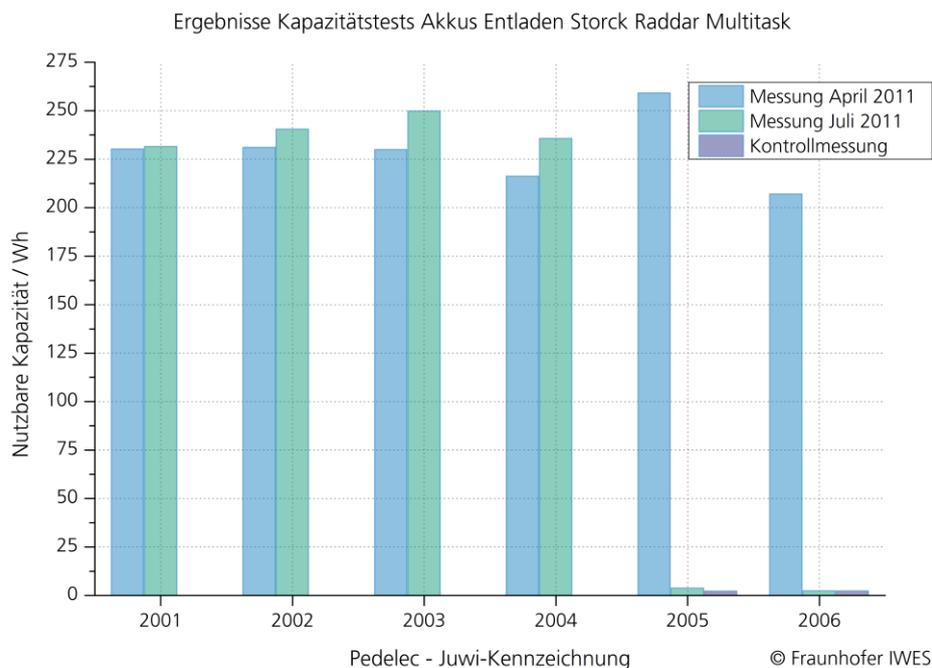
Zur Bewertung der Akkus wurden die Messungen gleichspannungsseitig, also zwischen den Ladegeräten und den Akkus, durchgeführt. Dadurch konnten jedoch auch, unabhängig vom Verhalten am Netz, die Charakteristika der Ladegeräte untersucht werden. Um dies im entsprechenden Zusammenhang darzustellen, wurden diese Ergebnisse bereits in den Abschnitten 4.6 „Laden der Pedelecs“ und 4.7 „Laden der Roller“ aufgegriffen.

Im Folgenden sollen nun die Ergebnisse der Kapazitätsprüfungen der Akkus der verschiedenen Fahrzeugmodelle dargestellt werden.

## 5.1 Storck Raddar Multitask

In Abbildung 41 ist eine Übersicht zu den Ergebnissen bei den Akkus der Storck Raddar Multitask gegeben. Dargestellt sind die bei der Entladung entzogenen Energiemengen in Wh. Diese Messungen wurden im April und im Juli 2011 durchgeführt. Falls erhebliche Abweichungen gegenüber den Erwartungen auftraten, wurde zusätzlich mindestens eine weitere Kontrollmessung durchgeführt.

Abbildung 41:  
Ergebnisse der  
Kapazitäts-  
messungen Storck  
Raddar Multitask



Bei den Akkus der Pedelects vom Typ Storck Raddar Multitask war dies insbesondere bei den Fahrzeugen mit der Juwi-Kennziffer 2005 und 2006 notwendig. Die zweiten Messungen ergaben eine nutzbare Kapazität von unter 10 Wh und auch die zusätzlichen Kontrollmessungen bestätigten diese Ergebnisse.

Bei den ersten Messungen lagen die nutzbaren Kapazitäten bei Entladung mit 0,5 C im Bereich von ca. 210 bis 230 Wh. Einzig beim Akku des Fahrzeugs 2005 wurde sogar eine Kapazität von rund 260 Wh gemessen, dies ist aber vermutlich zu großen Teilen dem geringeren Entladestrom geschuldet und kann deshalb kaum direkt verglichen werden. Beim Großteil der Akkus nahm die Kapazität bei der 2. Messung gegenüber der ersten Messung leicht zu.

Im Gegensatz dazu verloren die Akkus der Fahrzeuge 2005 und 2006 jedoch fast ihre gesamte Kapazität. Erstaunlicherweise gab es zu diesem Problem keinerlei Rückmeldungen von Seiten der Nutzer.

Nominal sind diese Akkus vom Hersteller mit einer Nennspannung von 25,2 Volt und einer Nennkapazität von 10 Ah angegeben. Zu diesen Angaben fehlen jedoch leider die Entladeparameter.

Bei den Tests waren als Entladebedingung ein nominaler Entladestrom von 5 A, ein minimaler Entladestrom von 1 A und eine Entladeschlussspannung von 23 V eingestellt.

In der Tabelle 14 wird anhand der Zahlenwerte besser erkennbar, dass die Akkus bei der Ladungsmenge den Bereich der angegebenen Kapazität erreichen. Bei den 1. Messungen lagen die entnommenen Ladungsmengen zwischen 8,4 und 10,34 Ah. Der Akku mit dem besten Ergebnis wurde mit einem etwas geringeren Strom entladen. Dies kann zu einer größeren nutzbaren Ladungsmenge führen, ist also nicht direkt vergleichbar.

Tabelle 14: Ergebnistabelle Kapazitätsmessungen Storck Raddar Multitask

Bezeichnung	Entn. Ah	Entn. Wh	Entladeschlussspannung	Entladedauer
Messungen April 2011				
RM-JU-PA 2001	9,28 Ah	230,28 Wh	23,21 V	01:50:00
RM-JU-PA 2002	9,30 Ah	231,09 Wh	23,27 V	01:49:20
RM-JU-PA 2003	9,25 Ah	229,95 Wh	23,22 V	01:49:10
RM-JU-PA 2004	8,73 Ah	216,21 Wh	23,24 V	01:42:50
RM-JU-PA 2005	10,34 Ah	259,15 Wh	23,09 V	02:55:10
RM-JU-PA 2006	8,40 Ah	207,01 Wh	23,26 V	01:38:50
Messungen Juli 2011				
RM-JU-PA 2001	9,65 Ah	231,51 Wh	23,02 V	01:54:30
RM-JU-PA 2002	9,67 Ah	240,48 Wh	23,12 V	01:54:50
RM-JU-PA 2003	10,06 Ah	249,79 Wh	23,01 V	01:58:30
RM-JU-PA 2004	9,55 Ah	235,69 Wh	23,00 V	01:52:30
RM-JU-PA 2005	0,14 Ah	3,85 Wh	26,92 V	00:02:20
Kontrolle	0,09 Ah	2,30 Wh	26,94 V	00:01:40
RM-JU-PA 2006	0,09 Ah	2,43 Wh	27,17 V	00:01:40
Kontrolle	0,09 Ah	2,35 Wh	26,94 V	00:01:50

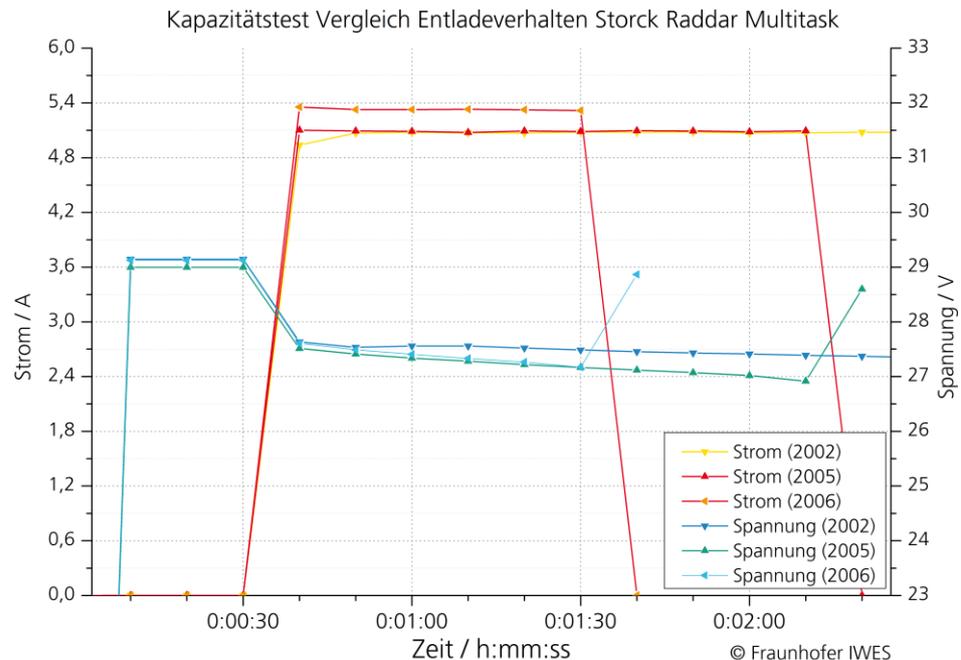
Auch bei den 2. Messungen lagen die nutzbaren Ladungsmengen bei den Akkus mit den Kennziffern 2001 bis 2004 im Bereich der Nominalkapazität. Die Akkus der Pedelecs 2005 und 2006 konnten jedoch nicht vollständig entladen werden. Ein Abbruch der Entladung erfolgte jeweils durch die Batterielast, die anhand der voreingestellten Konfiguration ein Unterschreiten der Entladeschlussspannung feststellte.

Durch den letzten aufgezeichneten Spannungswert ist dies kaum nachzuvollziehen. Da die Messwerte jedoch nur im 10-Sekunden-Takt aufgezeichnet wurden, kann ein Spannungseinbruch unterhalb dieser Aufzeichnungsfrequenz eingetreten sein. Und in der Tat war auch zuvor eine schnellere Reduktion der Entladespannung festzustellen. Beispielhaft ist dies in Abbildung 42 dargestellt.

Dabei sind die ersten Minuten des Entladevorgangs bei dem korrekt funktionierenden Akku des Fahrzeugs 2005 und den fehlerhaften Akkus der Fahrzeuge 2005 und 2006 zu erkennen.

Bei praktisch identischem Entladestrom von 5 Ampere sinkt die Spannung der fehlerhaften Akkus erkennbar schneller, was nach 1 Minuten und 30 Sekunden bzw. 2 Minuten und 10 Sekunden zum Abbruch der Entladevorgänge führte.

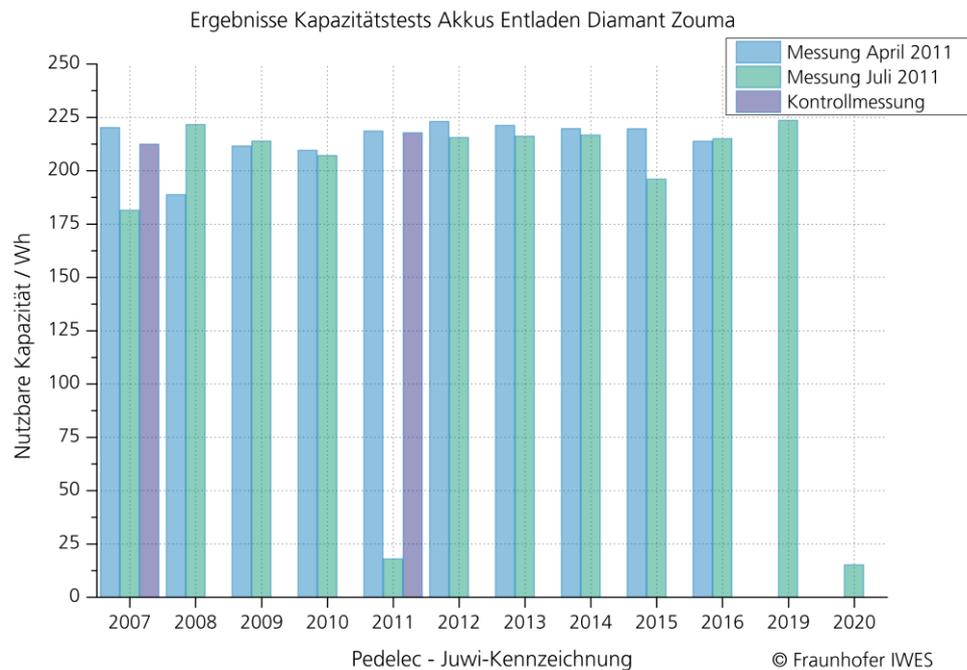
Abbildung 42:  
Kapazitätstest Vergleich Entladeverhalten Storck Raddar Multitask



menge stabil zwischen 200 und 220 Wh liegt. Bei den Akkus der Fahrzeuge 2007 und 2011 hatten die 2. Messungen deutliche Abweichungen zu den erwarteten Ergebnissen gezeigt. Kontrollmessungen erbrachten jedoch jeweils Ergebnisse von rund 210 Wh nutzbarer Kapazität.

Die Tests wurden jeweils mit einem nominalen Entladestrom von 6,4 Ampere, einem minimalen Entladestrom von 1 Ampere und einer Entladeschlussspannung von 34 Volt durchgeführt.

Abbildung 43:  
Ergebnisse der  
Kapazitäts-  
messungen Diamant  
Zouma



Entsprechend der Nennkapazität von 6,4 Ah und der vom Hersteller angegebenen Nennbetriebsspannung von 40,7 Volt sollten 260 Wh genutzt werden können.<sup>23</sup>

Da die nutzbare Kapazität stark von den Entladebedingungen abhängt und diese vom Hersteller nicht angegeben sind, kann jedoch kein direkter Vergleich zu den erzielten Messergebnissen hergestellt werden.

In Tabelle 15 sind die Ergebnisse der Kapazitätstests nochmals detailliert dargestellt. Allgemein wurde bei diesen Tests eine Kapazitätsbestimmung entsprechend 1C angestrebt. Nominale Entladedauer war also eine Stunde. Real wurden die Entladungen durch Erreichen der Entladeschlussspannung meist nach ungefähr 50 Minuten abgebrochen.

<sup>23</sup> <http://www.diamantrad.com/archiv/modelle-2010/fahrspass-elektrokrift/zouma-elite/>; Abgerufen am 29.09.2011

Tabelle 15: Ergebnistabelle Kapazitätsmessungen Diamant Zouma

Bezeichnung	Entn. Ah	Entn. Wh	Entlade- schluss- Spannung	Entladedauer
Messungen April 2011				
RM-JU-PA 2007	5,56 Ah	220,20 Wh	34,14 V	00:52:00
RM-JU-PA 2008	4,79 Ah	188,73 Wh	34,31 V	01:00:00
RM-JU-PA 2009	5,36 Ah	211,57 Wh	34,30 V	00:50:00
RM-JU-PA 2010	5,30 Ah	209,54 Wh	34,43 V	00:49:00
RM-JU-PA 2011	5,51 Ah	218,57 Wh	34,33 V	00:51:10
RM-JU-PA 2012	5,61 Ah	223,01 Wh	34,44 V	00:52:00
RM-JU-PA 2013	5,56 Ah	221,22 Wh	34,35 V	00:52:00
RM-JU-PA 2014	5,54 Ah	219,72 Wh	34,37 V	00:51:30
RM-JU-PA 2015	5,56 Ah	219,63 Wh	34,34 V	00:51:20
RM-JU-PA 2016	5,41 Ah	213,77 Wh	34,32 V	00:50:30
Messungen Juli 2011				
RM-JU-PA 2007	4,50 Ah	181,43 Wh	36,82 V	00:41:50
Kontrolle	5,35 Ah	212,43 Wh	34,05 V	00:49:30
RM-JU-PA 2008	5,57 Ah	221,58 Wh	34,11 V	00:51:10
RM-JU-PA 2009	5,40 Ah	213,82 Wh	34,04 V	00:50:00
RM-JU-PA 2010	5,24 Ah	207,08 Wh	34,07 V	00:49:00
RM-JU-PA 2011	0,42 Ah	18,02 Wh	42,53 V	00:04:30
Kontrolle	5,49 Ah	217,77 Wh	34,02 V	00:51:00
RM-JU-PA 2012	5,44 Ah	215,50 Wh	34,25 V	00:50:20
RM-JU-PA 2013	5,47 Ah	216,13 Wh	34,14 V	00:49:20
RM-JU-PA 2014	5,46 Ah	216,64 Wh	34,11 V	00:50:50
RM-JU-PA 2015	5,00 Ah	196,00 Wh	34,20 V	00:46:40
RM-JU-PA 2016	5,42 Ah	214,95 Wh	34,24 V	00:49:20

### 5.3 EVT 4000e

Auch die Akkus der Roller vom Typ EVT 4000e wurden mehreren Kapazitätstests unterzogen. Die Messungen lagen ungefähr 1 Jahr auseinander, so dass auch gewisse Rückschlüsse auf die Auswirkung der Nutzung gezogen werden können. Dazu sind zunächst die jeweiligen Laufleistungen der einzelnen Fahrzeuge zum Zeitpunkt der Messungen in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Laufleistungen EVT 4000e zum Zeitpunkt Kapazitätstests

Laufleistungen / km			
Bezeichnung	Juni 2010	Juli 2011	Differenz
HDO 542	777	1777	1000
HDO 543	1576	2596	1020
HDO 544	1096	4207	3111
HDO 545	840	2931	2091
HDO 546	2373	4108	1735
HDO 547	1703	2417	714

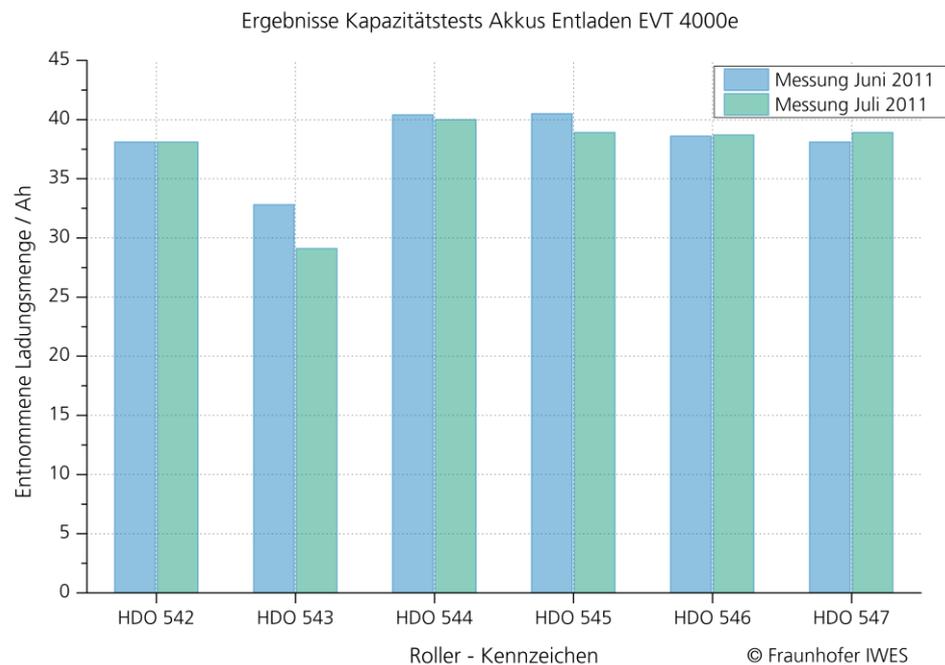
Bei den getesteten Akkus handelt es sich als einzige im Test um Blei-Akkumulatoren. Konkret sind in jedem Fahrzeug 4 Blei-Vlies-Akkus à 12 Volt Nennspannung und 50 Ah Nominalkapazität vom Hersteller B.B. Batterie verbaut. Die Nominalkapazität bezieht sich auf eine Entladung über 20 Stunden.

Im Fahrzeug sind die Batterien in Reihe verschaltet und versorgen den Antrieb mit 48 Volt Nennsystemspannung.

Für den Kapazitätstest wurden die Akkumodule mit einem Entladestrom von 36 A bis zur Entladeschlussspannung von 42 Volt entladen.

Die unter diesen Bedingungen entnommenen Ladungsmengen bei den Messungen im Juni und Juli 2011 sind in Abbildung 44 dargestellt.

Abbildung 44:  
Ergebnisse der  
Kapazitätstests  
EVT 4000e



Es ist zu erkennen, dass bei fast allen Akkus 38 bis 40 Ah entnommen werden konnten. Die Unterschiede zwischen den beiden Messungen sind relativ gering. Die Fahrzeuge HDO 544 und HDO 545, welche die höchsten Laufleistungen hatten, weisen bei der zweiten Messung eine geringfügig geringere Kapazität auf. Dies erscheint jedoch nicht repräsentativ, da das Akkumodul des Fahrzeugs HDO 546 bei geringfügig niedrigerer Laufleistung sogar eine Steigerung der Kapazität aufwies.

Einzig das Akkumodul des Fahrzeugs mit dem Kennzeichen HDO 543 zeigte deutliche Einbußen bei der Kapazität. Im Rahmen der Kapazitätstests wurde festgestellt, dass bei diesem Fahrzeug der Akku 4 nicht korrekt geladen wurde und dass bei den Entladetests die Spannung dieses Akkus deutlich schneller einbrach und somit schließlich zum Abbruch des Tests führte. Vermutlich besteht bei diesem Modell ein Problem mit der Verkabelung der Ladegeräte oder des Ladegeräts in sich. Basierend auf dieser Vermutung ist auch nachzuvollziehen, dass die Kapazität bedingt durch die schlechte Akkupflege zwischen den beiden Messungen stark zurückgegangen ist.

Genauere Beschreibungen zur eingesetzten Messtechnik und den damit verbundenen Unsicherheiten in den Messwerten finden sich in dem gesonderten internen Bericht „Kurzbericht über Kontrollmessungen für die Kapazitätsmessung der Blei-Vlies Akkumulatoren der Elektroroller von juwi“ Stand 6.9.2011.

#### **5.4 Solarscooter Sport SCP 4040 li.on**

Die Akkus der Roller vom Typ Solarscooter Sport SCP 4040 li.on konnten im Rahmen des Projekts nur einer Kapazitätsprüfung unterzogen werden, da sie zum Zeitpunkt der zweiten Messungen nicht mehr zur Verfügung standen. Es lassen sich somit keine Vergleiche über die Nutzungsdauer herstellen, sondern es können nur die verschiedenen Akkus verglichen werden.

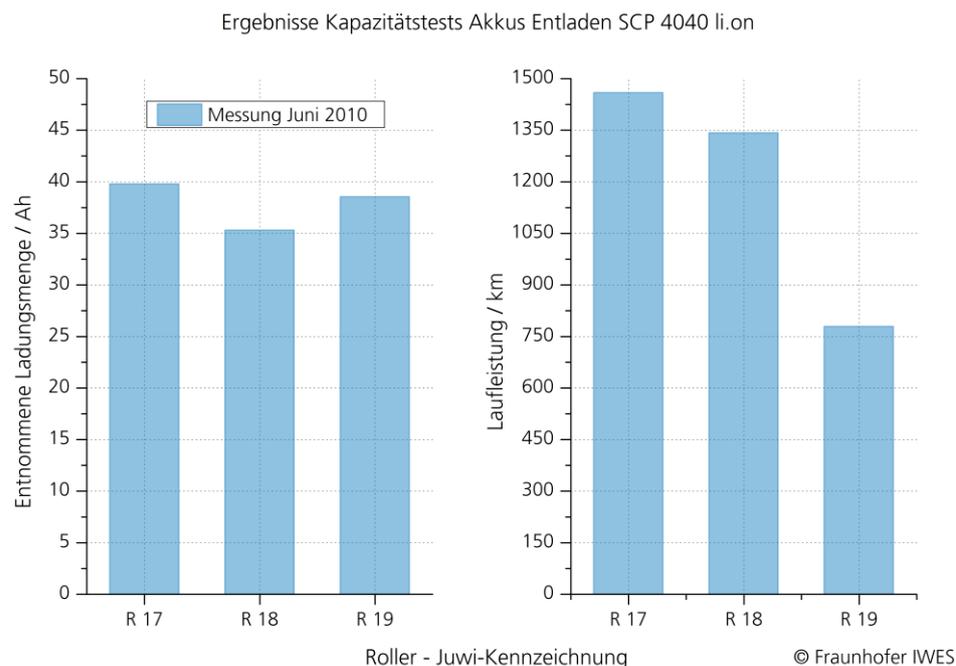
Entsprechend der eingesetzten Fahrzeuge wurden 3 Akkus getestet, die bereits über verschiedene Laufleistungen genutzt worden waren.

Bei den getesteten Akkus handelt es sich um Lithium-Eisen-Akkumulatoren der Fa. ThunderSky (Typ TS-LFP40AHA). Die Akkus besitzen eine Nominalkapazität von 40 Ah bei 20 in Serie geschalteten Zellen. Die Ladeschlussspannung der Zellen beträgt 4,0 Volt, die Entladeschlussspannung liegt bei 2,8 Volt. Die Zellen können mit einem maximal mit einem konstanten Strom von 120 A betrieben werden.

Der Entladevorgang des Kapazitätstests wurde mit der Entladerate C1, also 40 A, durchgeführt und mit der Entladeschlussspannung von 56 Volt beendet.

Die unter diesen Entladebedingungen festgestellten Kapazitäten und der damalige Stand der Laufleistungen sind in Abbildung 45 dargestellt.

Abbildung 45:  
Ergebnisse Kapazitätstests  
Akkus Entladen SCP 4040  
li.on



Man erkennt, dass die ermittelten Kapazitäten leicht unter der Nennkapazität von 40 Ah liegen. Für diese Nennkapazität sind jedoch keine Angaben zur den Entladebedingungen bekannt. Es ist kein Zusammenhang zwischen Laufleistung und ermittelter Kapazität erkennbar.

Genauere Beschreibungen zur eingesetzten Messtechnik und den damit verbundenen Unsicherheiten in den Messwerten finden sich in dem gesonderten internen Bericht „Ermittlung der Kapazität von Lithium Akkumulatoren“ vom 14.7.2010.

## 5.5 Standby-Verbrauch

Wie bereits anhand des Abschnitts 4.6.1 „Charakteristik der Ladegeräte“ erkennbar ist, ist der Standby-Verbrauch der Ladegeräte ein Thema, dem Beachtung geschenkt werden sollte. In diesem Abschnitt soll spezieller auf die Auswirkungen und die Einflussgrößen des Standby-Verbrauchs eingegangen werden.

Generell wird der Standby-Verbrauch maßgeblich durch die Leistung der Ladegeräte und durch die Zeit, über die das Gerät an den Steckdosen angeschlossen ist, bestimmt. Bei der Leistung der Ladegeräte handelt es sich um gerätespezifische Eigenschaften, die durch den Hersteller vorgegeben werden, während die Zeit, die ein Ladegerät angeschlossen ist, maßgeblich vom Verhalten des Nutzers abhängt.

Zunächst sollen an dieser Stelle die Unterschiede zwischen den verschiedenen Ladegeräten aufgezeigt werden. Es ist zu beachten, dass es sich dabei um die

Ladegeräte des Modelljahrgangs 2010 handelt, möglicherweise haben die Aussagen zum elektrischen Verhalten der Geräte keine Gültigkeit für die aktuellen Modelle.

Bei den Pedelecs waren nur zwei Typen von Ladegeräten zu unterscheiden, da alle Modelle des Herstellers Storck und alle Modelle der Reihe Diamant Zouma jeweils die gleichen Ladegeräte nutzten.

Ein Foto des Ladegeräts der Storck-Pedelecs ist in Abbildung 46 dargestellt. Es handelt sich um ein sehr kompaktes Ladegerät mit offensichtlich keinerlei mechanisch beweglichen Teilen.

Abbildung 46:  
Ladegerät der Storck  
Raddar Multitask  
Pedelecs



Im Gegensatz dazu sind die Ladegeräte der Modellreihe Diamant Zouma deutlich größer. In Abbildung 47 ist dieses Ladegerät abgebildet. Nur schwer zu erkennen ist dabei, dass dieses Ladegerät sogar über eine aktive Lüftung verfügt.

Abbildung 47:  
Ladegerät der Dia-  
mant Zouma Pede-  
lecs bzw. Elektro-  
fahrräder



Neben den offensichtlichen äußerlichen Unterschieden, ist auch das elektrische Verhalten der Ladegeräte stark verschieden.

Das Ladegerät der Storck-Pedelecs verfügt über eine maximale Leistung von rund 54 W am Netz. Die maximale Leistung des Ladegeräts der Diamant-Modellreihe ist dem gegenüber mit rund 110 W fast doppelt so groß.

Analog zur maximalen Leistung ist auch die Leistung im Standbybetrieb beim Modell der Diamant-Modellreihe deutlich höher. Sie liegt bei knapp über 5 W, während es beim Ladegerät der Storck-Pedelecs nur ca. 0,7 W sind. In Tabelle 17 ist dazu eine Berechnung dargestellt, um die Konsequenzen des Standby-Betriebs für den Energieverbrauch zu verdeutlichen. Als Stromkosten sind dabei 0,25 € / kWh angenommen.

Tabelle 17: resultierender Energieverbrauch durch Standby-Betrieb

	Standby- Leistung (W)	Verbrauch in 24 Stunden (kWh)	Verbrauch pro Jahr (kWh)	Kosten pro Jahr (€)
Storck	0,7	0,0168	6,132	1,53
Diamant	5,3	0,1272	46,428	11,61

Auch wenn die resultierenden Kosten mit 1,53 € bzw. 11,61 € pro Jahr im Rahmen eines üblichen Haushaltsbudgets keine große Rolle spielen dürften, ist der Energieverbrauch in Relation doch bereits recht hoch.

Mit der Energie von 0,127 kWh, die pro Tag für den Standby-Betrieb des Diamant-Ladegeräts benötigt wird, ließen sich bei einem Wirkungsgrad von 90 % auch täglich über 40 % der Akkukapazität laden.

### 5.5.1 EU-Verordnungen zu Standby-Verbrauch

Auf Basis der EU-Richtlinie 2005/32/EG, die in Deutschland seit März 2008 als Energiebetriebene-Produkte-Gesetzgültig ist, kann die Europäische Kommission Verordnungen zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen erlassen.

Dabei deckt die EU-Verordnung 1275 / 2008 allgemein den Stromverbrauch im Bereitschafts- und Aus-Zustand von elektrischen und elektronischen Haushalts- und Bürogeräte ab. Dabei sind auch Sportausrüstungen mit elektrischen und elektronischen Komponenten explizit eingeschlossen, was für eine Anwendbarkeit dieser Verordnung auf Pedelecs sprechen könnte, dies jedoch nicht eindeutig festlegt.

Nach dieser Verordnung dürfen ab 1 Jahr nach Inkrafttreten der Verordnung (im Januar 2009) die beschriebenen Geräte im „Aus-Zustand“ die Leistungsaufnahme 1 W nicht überschreiten. Je nach genauem Funktionsumfang im „Bereitschaftszustand“ darf in demselben die Leistungsaufnahme 1 oder 2 W nicht überschreiten. Vier Jahre nach Inkrafttreten der Verordnung, also im Januar 2013, halbieren sich diese Werte nochmals.<sup>24</sup>

Zusätzlich zur Verordnung 1275 / 2008 besteht die EU-Verordnung 278 / 2009, die Ökodesign-Anforderungen an die Leistungsaufnahme externer Netzteile bei Nulllast und ihre durchschnittliche Effizienz im Betrieb festlegt. In dieser Verordnung wird in Absatz 14 darauf Bezug genommen, dass beide Verordnungen auf externe Netzteile anwendbar wären, und es wird eine entsprechende Veränderung der Verordnung 1275/2008 vorgeschlagen, um die strengere Verordnung 278 / 2009 gelten zu lassen. Nach dieser Verordnung darf die Leistungsaufnahme bei Nulllast ein Jahr nach Inkrafttreten (Mai 2009) 0,5 W nicht überschreiten, und zwei Jahre nach Inkrafttreten sogar teilweise nur noch 0,3 W. Prinzipiell erscheinen diese Regeln für die Ladegeräte von Pedelecs anwendbar, jedoch werden im Artikel 1, Satz 2 c) Batterieladegeräte explizit aus dem Gültigkeitsbereich der Verordnung ausgeschlossen. Dabei wird ein Batterieladegerät als ein Gerät bezeichnet, „an dessen Ausgangsschnittstelle unmittelbar eine abnehmbare Batterie angeschlossen wird“.<sup>25</sup>

Damit sind Ladegeräte von Pedelecs eindeutig aus der Gültigkeit dieser Verordnung ausgeschlossen und es wird nicht klar, ob es überhaupt geltende Regeln für die Effizienz von Batterieladegeräten gibt. Die Rechtslage in diesem Bereich sollte genauer geprüft werden, da im Rahmen des Projekts die Dringlichkeit einer solchen Regelung eindeutig belegt wurde.

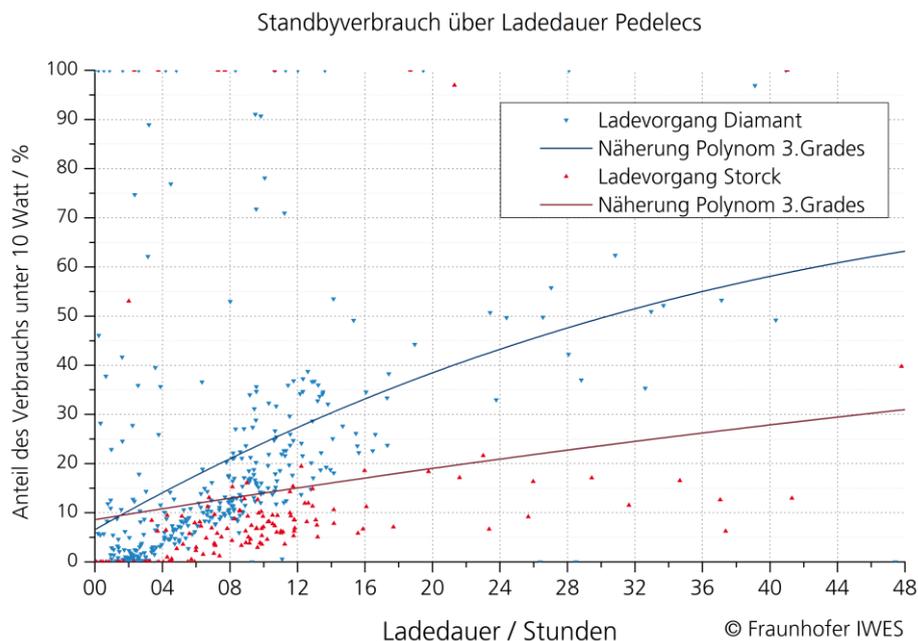
<sup>24</sup> <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:339:0045:0052:de:PDF>; EU-Verordnung Nr. 1275/2008 abgerufen am 13.10.2011

<sup>25</sup> <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:093:0003:0010:DE:PDF>; EU-Verordnung Nr. 278/2009 abgerufen am 13.10.2011

## 5.5.2 Auswirkung der Ladezeit

Um neben der Beschaffenheit der Ladegeräte den Einfluss der Ladezeit genauer aufzuzeigen, wurden die Auswirkungen auf den Standby-Verbrauch gesondert für die beiden Typen der Ladegeräte ermittelt. Dazu sind die Datenpunkte und jeweils eine polynomielle Näherung der Datenverteilung in Abbildung 48 nach Modellen unterschieden ausgewiesen.

Abbildung 48:  
Standbyverbrauch  
abhängig von der  
Ladedauer der  
Pedelecs



Entsprechend der zuvor aufgezeigten Unterschiede bei der Standby-Leistung zeigen sich deutliche Unterschiede in der Datenverteilung. Der Anteil des Standby-Verbrauchs steigt bei den Diamant-Ladegeräten mit der Ladedauer markant stärker an als bei den Storck-Geräten.

Insgesamt zeigt sich klar, dass der Standby-Verbrauch stark von der Zeit abhängt, über die das Ladegerät an der Steckdose angeschlossen ist. Diese Zeit wird zwar schließlich durch den Nutzer festgelegt, jedoch kann der Nutzer in dem Umgang mit den Geräten beeinflusst werden. Dies zeigt deutlich der in Kapitel 4.6.2 „Verhalten der Nutzer“ herausgearbeitete Unterschied in der Ladedauer bei den beiden Ladegeräten. Durch welche Faktoren genau diese Unterschiede im Verhalten ausgelöst wurde, sollte im Rahmen von sozialwissenschaftlichen Untersuchungen genauer geprüft werden.

## 6 Weitere Erfahrungen aus dem Betrieb

Insgesamt stand bereits eine große Menge an Daten zur umfangreichen Auswertung zur Verfügung und auch über diesen Bericht hinaus können diese Daten noch zur weiteren Informationsgewinnung genutzt werden. Dazu sind im Folgenden Maßnahmen aufgezeigt, mit denen die Sicherheit der im diesem Bericht getroffenen Aussagen auf Basis der bestehenden Daten vergrößert werden kann.

Um die einzelnen Einflussfaktoren auf den streckenbezogenen Verbrauch der Fahrzeuge besser prüfen zu können, muss sichergestellt werden, dass jeweils die Fahr- und Energiedaten vollständig und jeweils entsprechend aufgezeichnet wurden. Dies könnte einerseits nachträglich durch eine softwareseitige Implementierung einer entsprechenden Datenprüfung bei der Auswertung der Daten oder andererseits zukünftig durch bauliche Verknüpfung der Messgeräte mit den Fahrzeugen bzw. Ladegeräten und automatische Aktivierung derselben geschehen.

Insbesondere im bestehenden Projekt, bei dem mehrere Mitarbeiter eines Unternehmens teilweise identische Fahrzeugmodelle testeten, ist es möglich, dass man sich beispielsweise bei der Nutzung der Ladegeräte abgesprochen hat und nur ein einzelnes Gerät am Arbeitsplatz vorhanden war, das dann für mehrere Fahrzeuge genutzt worden. Da die Messdaten jedoch fahrzeuggebunden ausgewertet wurden, könnten auf diese Weise Verfälschungen der Aussagen entstanden sein. Eine Selbsteinschätzung der Projektteilnehmer könnte dieses Fehlerpotential einschätzbar machen.

Bei den festgestellten Unterschieden im Nutzerverhalten bezüglich der Dauer des Ladevorgangs kann auf Grund der rein technischen Messdaten nur über die Gründe gemutmaßt werden. Eine sozialwissenschaftliche Untersuchung, z.B. zur Wirkung der Ladezustandsanzeige am Ladegeräte, könnte dazu mehr Klarheit bringen.

## 7 Ausblick

Mit den gemachten Erfahrungen kann die juwi Holding AG die Nutzung von Elektrofahrzeugen im firmeneigenen Fuhrpark weiter optimieren. Einerseits konnten zentrale Punkte identifiziert werden, wie ein hoher Stand-By-Verbrauch und nicht standardisierte Ladegeräte, die Hindernisse für eine breitere und nachhaltige Nutzung von Elektromobilität sein können. Andererseits konnte mit den positiven Erfahrungen in der Nutzung bestimmter Fahrzeugtypen und mit den teilweise großen Strecken, die einzelne Nutzer mit Pedelecs und Elektrofahrzeugen zurücklegten, das realisierbare Potenzial verdeutlicht werden.

Im aktuellen Projekt wurde die Elektromobilität noch weitgehend isoliert von der Stromerzeugung und dem Netzbetrieb betrachtet.

Durch eine breitere Nutzung von Elektromobilität bei allen Fahrzeugtypen und intelligente Vernetzung mit Stromerzeugungsanlagen soll die Elektromobilität zukünftig auch wichtige Funktionen bei der Integration erneuerbare Energien leisten. Allein durch zeitliche Verschiebung der Ladevorgänge kann ein erhebliches Potential zur Anpassung des Stromverbrauchs an die aktuelle Erzeugung genutzt werden. Dies wurde auch im aktuellen Projekt durch die lange Dauer, die die Ladegeräte durchschnittlich zum Laden an den Steckdosen angeschlossen sind, verdeutlicht.

Den nächsten Schritt in dieser Entwicklung hat die juwi mit der zunehmenden Integration von Elektromobilen und langfristig der vollständigen Umstellung des Fuhrparks bereits angekündigt.<sup>26</sup>

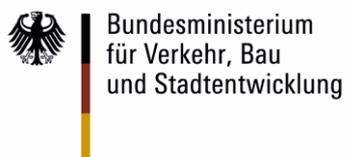
<sup>26</sup> [http://www.juwi.de/fileadmin/user\\_upload/de/pdf/digitale\\_Infomappe/juwi\\_gruppe\\_de\\_Mobil\\_mit\\_sauberem\\_Strom.pdf](http://www.juwi.de/fileadmin/user_upload/de/pdf/digitale_Infomappe/juwi_gruppe_de_Mobil_mit_sauberem_Strom.pdf) Abgerufen am 12. Dezember 2011

**Bericht Technische Begleitforschung**  
SOH Elektrotankstelle





Gefördert durch:



Koordiniert durch:



Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) unter dem Förderkennzeichen 03KP5511 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

# Impressum

## Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Windenergie und  
Energiesystemtechnik IWES  
Institutsteil Kassel  
Königstor 59  
34119 Kassel  
[www.iwes.fraunhofer.de](http://www.iwes.fraunhofer.de)

## Projektleitung

Dipl.-Ing. Markus Landau  
Telefon: +49 561 7294-243  
Telefax: +49 561 7294-200  
[markus.landau@iwes.fraunhofer.de](mailto:markus.landau@iwes.fraunhofer.de)

## Bearbeiter

Dipl.-Ing. Johannes Prior

Kassel, Dezember 2011

# Inhalt

	<b>Abbildungen</b>	<b>iv</b>
	<b>Tabellen</b>	<b>v</b>
<b>0</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Gegenstand der Untersuchung</b>	<b>3</b>
2.1	DC-Schnellladestation „Epyon Terra 51 Charge Station“	3
2.2	Elektrofahrzeug „Mitsubishi i-MiEV“	7
2.3	DC-Stecker-Buchsenttechnik „CHAdeMO“	9
2.4	Energieversorgung und Standort	12
<b>3</b>	<b>Messaufbau und Umgebungsbedingungen</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>15</b>
4.1	Ladecharakteristik	15
4.2	Messgenauigkeit	17
4.3	Energiebedarf	17
4.4	Effizienzbestimmung	18
4.5	Netzurückwirkungen der Schnellladestation	18
<b>5</b>	<b>Ausblick</b>	<b>19</b>
	<b>Anhang</b>	<b>20</b>
	Netzurückwirkungen der Schnellladestation	20

# Abbildungen

Abbildung 1:	Epyon Terra 51 Charge Station	4
Abbildung 2:	Epyon Terra 51 Charge Station, aufgestellt in Offenbach	6
Abbildung 3:	Bedienoberfläche Epyon Terra 51 Charge Station	6
Abbildung 4:	Mitsubishi i-MiEV der Offenbacher Verkehrsbetriebe GmbH	7
Abbildung 5:	Bestimmung der ökonomisch und technisch optimalen Ladeleistung für DC-Ladestationen	9
Abbildung 6:	Darstellung der Kommunikations-leitungen nach CHAdeMO Standard	9
Abbildung 7:	CHAdeMO Stecker	10
Abbildung 8:	CHAdeMO Stecker in Betrieb	10
Abbildung 9:	Buchse für den Anschluss von CHAdeMO Steckern	11
Abbildung 10:	Verteilstation auf dem Betriebsgelände der Offenbacher Verkehrsbetriebe	12
Abbildung 11:	Messaufbau zur Charakterisierung der Schnelllade-station auf der AC- und DC-Seite	13
Abbildung 12:	Messaufbau mit dem Dewe-2602 zur Erfassung der elektrischen Eigenschaften auf AC- und DC-Seite der Schnelllade-station	13
Abbildung 13:	Messaufbau mit dem Haag Euro-Quant zur Erfassung der elektrischen Eigenschaften auf der AC-Seite der Schnellladestation	14
Abbildung 14:	Ladekurven der Schnellladung über den gesamten Ladeprozess	15
Abbildung 15:	Verlauf der Wirk-leistung auf der AC- und DC-Seite	16
Abbildung 16:	Verlauf der DC-Spannung	16
Abbildung 17:	Verlauf des DC-Stroms	17
Abbildung 18:	Verlauf ausgesuchter Power Quality Parameter während einer Ladung	21
Abbildung 19:	Harmonische	22
Abbildung 20:	Zwischenharmonische	23
Abbildung 21:	Anteile höherer Harmonischer von 2-9 kHz	23

## Tabellen

Tabelle 1:	Auflistung der bezogenen AC- und DC-Energie und der erweiterten Messunsicherheit	18
Tabelle 2:	Auflistung der bezogenen AC- und DC-Leistungen	18



## 0 Zusammenfassung

Für den vorliegenden Bericht sind exemplarische Untersuchungen an der DC-Schnellladestation der SOH gemacht worden, die am Standort der Offenbacher Verkehrsbetriebe installiert ist. Es ist die DC-Schnellladung eines i-MiEVs vermessen worden, dazu wurden zwei hochgenaue Messgeräte eingesetzt, die das Betriebsverhalten aufzeichnen können und an Hand der aufgenommenen Daten Aussagen über Wirkungsgrade sowie Netzverträglichkeit zulassen.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass die Ladung von 20% SOC (State Of Charge) auf 80% SOC in weniger als 20 Minuten erfolgt. Dabei hat die Schnellladestation einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 92,2%. Dieser entspricht der Angabe des Herstellers von einem Wirkungsgrad > 92%. Die bei der Leistungsmessung erreichte Genauigkeit bzw. die erweiterte Messunsicherheit liegt bei 1,2% bezogen auf eine Nennleistung von 40 kW.

Bezüglich des Ladeprozesses ist festzuhalten, dass die Ladung nicht bis zu einem SOC von 100% durchgelaufen ist, sondern zwischenzeitig abgebrochen hat und per Hand neu gestartet werden musste.

Beim Handling des Anschlusssteckers hat sich im Rahmen der Untersuchungen ergeben, dass der Steckvorgang technische Vorkenntnisse oder eine Einweisung erfordert. Auch der nötige Kraftaufwand zeigte sich als hoch, verglichen mit der bekannten AC-Anschlussstechnik für Elektrofahrzeuge.

Zur Netzverträglichkeit sind einige Fragen offen geblieben, da die Untersuchung im Feld durch die unbekanntes Eigenschaften des Ortsnetzes beeinflusst wird. Nach der Analyse kann aber gesagt werden, dass die Ladestation deutliche Netzurückwirkungen aufweist, die weiter untersucht werden sollten.

# 1 Einleitung

Im Projekt SOH Elektrotankstelle wurde die DC-Schnellladestation auf dem Betriebshof der Offenbacher Verkehrsbetriebe geplant, aufgestellt und in Betrieb genommen. Mit der DC-Ladestation wird die Schnellladung eines elektrisch betriebenen Busses realisiert, der im Linienverkehr der Verkehrsbetriebe eingesetzt wird. Neben dem Linienbus wurden auch mehrere Mitsubishi i-MiEV angeschafft, die auch mit der DC-Ladestation schnell geladen werden können.

Nachfolgend wird die Technik der DC-Ladestation erläutert und einige Ergebnisse der durchgeführten Messungen vorgestellt.

## 2 Gegenstand der Untersuchung

Gegenstand der Feldmessung, die am 30.08.2011 auf dem Betriebsgelände der Offenbacher Verkehrsbetriebe GmbH durchgeführt wurde, war die Untersuchung einer Schnellladestation im Betrieb. Im Vorfeld wurden die Themen Netzbeeinflussung sowie Effizienz und Ladecharakteristik als zentrale zu untersuchende Punkte definiert.

### 2.1 DC-Schnellladestation „Epyon Terra 51 Charge Station“

Die DC-Schnellladestation „*Terra 51 Charge Station*“ des Herstellers Epyon B.V.<sup>1</sup> wird von Epyon als Einstiegsmodell in die DC-Ladetechnik beworben und vermarktet. Mit einer Maximalleistung von 50 kW kann, laut Hersteller, eine „typische Ladung“ eines Elektroautos innerhalb von 15 bis 30 Minuten erfolgen. Als Funktionalitäten der Ladestation werden vom Hersteller folgende Punkte in der Produktdarstellung<sup>2</sup> angegeben:

- Standard der DC-Anbindung zum Fahrzeug: CHAdeMO
- Nutzer Bedienoberfläche: Farb LCD, Start-Stopp und Notaus Bedienelemente
- Authentifizierung: per RFID
- Installierte Ladeleistung: 50 kW<sub>DC</sub>
- Verbindung zum Fahrzeug: ein flexibler 50 kW<sub>max</sub> CHAdeMO DC-Anschluss
- Anbindung ans Versorgungsnetz: 400 V<sub>AC</sub>, 3-phasig
- Anbindung ans Kommunikationsnetz: Kabelgebundene Ethernet Verbindung
- Anschlussleistung: 55 kVA, 3-phasig

<sup>1</sup> Am 01.07.2011 hat die Firma ABB Ltd. den Kauf von Epyon B.V. bekannt gegeben. Siehe dazu Press Release: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/8d090a3a4d58d6f4c12578c00026b56f.aspx> Abgerufen am 16.09.2011

<sup>2</sup> <http://www.epyonpower.com/Documents.aspx?directdocument=Epyon-Terra-51-Charge-Station-90003-DL.pdf> Abgerufen am 16.09.2011

### optionale Eigenschaften und Leistungen:

- Energiemessung auf der DC-Seite
- Ausführung für den Einsatz bei niedrigen Temperaturen, mit angepassten Komponenten und einer Möglichkeit zur Beheizung
- individuelles Design
- Betriebs- und Wartungs-Services
- Anbindung an Navigationssysteme, zur online Anzeige der Betriebsbereitschaft und Organisation von Reservierungen

Abbildung 1:  
Epyon Terra 51  
Charge Station <sup>3</sup>



Die technischen Spezifikationen der „Terra 51 Charge Station – CHAdeMO“ werden vom Hersteller wie folgt angegeben:

#### System

Typ :	DC-Schnellladestation mit einem Ladeanschluss
Betriebstemperatur :	0 °C bis +40 °C bzw. -25 °C bis +40 °C (bei der Niedertemperatur-Option)
Lagertemperatur :	-40 °C to +70 °C

<sup>3</sup> <http://www.epyonpower.com/Documents.aspx?directdocument=Epyon-Terra-51-Charge-Station-90003-DL.pdf> Abgerufen am 16.09.2011

Relative Luftfeuchtigkeit :	20% - 95%
Umgebung :	Außenaufstellung
Kompliance und Sicherheit :	CE / CHAdeMO

### Inputs

AC-Netzanbindung :	3-phasig + PE
AC-Spannungsbereich :	400 V <sub>AC</sub> +/- 10%
AC-Nennspannung :	400 V <sub>AC</sub>
AC-Nennstrom :	80 A
AC-Nennleistung :	55 kVA
Frequenz :	50 Hz or 60 Hz
Leistungsfaktor (unter Volllast) :	> 0,98
AC-Überstrombegrenzung :	Ja
Wirkungsgrad :	> 92% bei Nennleistung

### Outputs

Maximale DC-Leistung :	50 kW
Maximaler DC-Strom :	120 A
DC-Spannungsbereich :	50 - 550 V
DC-Überstrombegrenzung :	Ja
DC-Kurzschlusschutz :	Ja

### Allgemein

DC-Kabellänge :	2,5 m
DC-Steckertyp :	JEVS G105
RFID System :	13.56 MHz, ISO 14443A
Netzwerkverbindung:	10/100 Base-T Ethernet
Leerlaufverluste :	100 VA (nominal)
Klimatisierung :	1000 VA (max)
Abmessungen	
Ladestation :	600 mm x 1898 mm x 960 mm (TxHxB)
Fundament :	600 mm x 600 mm x 1060 mm (TxHxB)
Gewichte	
Ladestation :	300 kg
Fundament :	670 kg
Schutzart :	IP 54

Abbildung 2:  
Epyon Terra 51  
Charge Station,  
aufgestellt in  
Offenbach



Abbildung 3:  
Bedienoberfläche  
Epyon Terra 51  
Charge Station



## 2.2 Elektrofahrzeug „Mitsubishi i-MiEV“

Bei dem für den Ladeversuch verwendeten Elektrofahrzeug handelt es sich um einen Kompaktwagen des Typs i-MiEV der Marke Mitsubishi, der uns für die Tests von den Offenbacher Verkehrsbetrieben zur Verfügung gestellt wurde.

Abbildung 4:  
Mitsubishi i-MiEV  
der Offenbacher  
Verkehrsbetriebe  
GmbH



Die allgemeinen Leistungsdaten gibt der Hersteller wie folgt an<sup>4</sup>:

Motor Typ :	Permanentmagnetisierter Synchronmotor
Batterie Typ :	Lithium-Ionen
Abgasnorm :	EURO 6
Feinstaubplakette :	Grün

<sup>4</sup> <http://www.imiev.de/docs/iMiEV-daten.pdf> Abgerufen am 16.09.2011

## **Leistung**

Max. Leistung :	49 kW / 67 PS
Max. Drehmoment :	bei 0-2000 U/min 180 Nm
Elektrischer Energieverbrauch :	13,5 kWh/100km
Reichweite :	150 km
Beschleunigung :	0 - 100 km/h in 15,9 sec
Höchstgeschwindigkeit :	130 km/h

## **Batterie und Ladesystem**

Betriebsspannung :	330 V
Energiespeicher :	16 kWh
Schnellladung :	max. 50 kW / 400 V, 30 min Ladedauer
Normalladung :	230 V, 16 A, 6 Std. Ladedauer
CO2-Emissionen :	Fahrbetrieb, kombiniert 0 g/km

## **Abmessungen**

Länge :	3.475 mm
Breite :	1.475 mm
Höhe :	1.610 mm
Radstand :	2.550 mm
Spur vorne/hinten :	1.310/1.270 mm
Bodenfreiheit :	155 mm (unbeladen)
Länge Innenraum :	1.790 mm
Breite Innenraum :	1.270 mm
Höhe Innenraum :	1.250 mm
Gepäckraum (VDA) :	min. 227 l / max. 860 l (umgeklappte Rückbank)
Leergewicht :	1.110 kg
Zuladung :	340 kg
Sitzplätze :	4 Personen

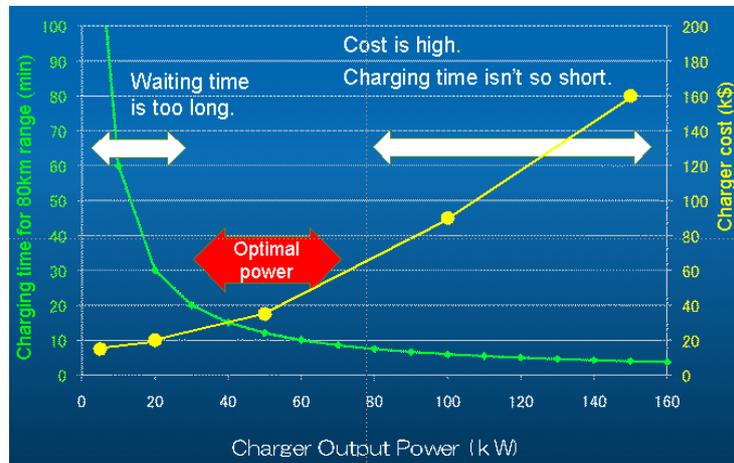
## **Allgemein**

Reifen:	Leichtlaufreifen vorne 145/65 R15 hinten 175/55 R15
Lenkung :	elektrische Servolenkung
Wendekreis :	(Bordstein zu Bordstein) 9,0 m
Antrieb Typ :	Heckantrieb

## 2.3 DC-Stecker-Buchsenttechnik „CHAdeMO“

CHAdeMO ist ein in Japan entwickelter und im Markt vertretener „Standard“ für die DC-Ladung. Die optimal bereitzustellende DC-Nennleistung an einer Schnellladestation mit CHAdeMO Standard wurde, laut dem Konsortium wie in Abbildung 5 zu sehen, bestimmt.

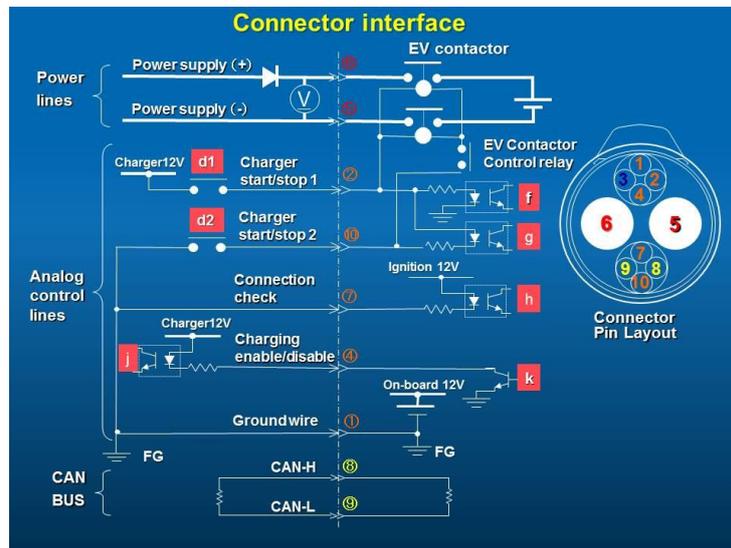
Abbildung 5: Bestimmung der ökonomisch und technisch optimalen Ladeleistung für DC-Ladestationen<sup>5</sup>



Im CHAdeMO Standard sind unter anderem der maximale Strom von 200 A, die Compliance und Sicherheitszertifikate nach UL/CE und die Kommunikation definiert.

CHAdeMO Schnellladestationen verwenden analoge und digitale Signale zur Kommunikation in einem redundanten Design. Digital wird über CAN kommuniziert. Der Aufbau des Steckersystems ist in Abbildung 6 zu sehen.

Abbildung 6: Darstellung der Kommunikationsleitungen nach CHAdeMO Standard<sup>6</sup>



<sup>5</sup> <http://www.chademo.com> Abgerufen am 16.09.2011

<sup>6</sup> <http://www.chademo.com> Abgerufen am 16.09.2011

In den nachfolgenden Abbildung 7, Abbildung 8 und Abbildung 9 ist der CHAdeMO Stecker und die Buchse zusehen.

Abbildung 7:  
CHAdeMO Stecker



Abbildung 8:  
CHAdeMO Stecker  
in Betrieb



Abbildung 9:  
Buchse für den  
Anschluss von  
CHAdEMO Steckern



## 2.4 Energieversorgung und Standort

Der Standort der DC-Schnellladestation wurde von der Offenbacher Verkehrsbetriebe GmbH gewählt. Da ein Linienbus im Rahmen des Projekts elektrisch betrieben und an der Schnellladestation geladen werden sollte, wurde die Station auf dem Betriebsgelände der Offenbacher Verkehrsbetriebe GmbH aufgestellt. Angeschlossen wurde die Station direkt in der Verteilstation des Betriebsgeländes, die einen 630-kVA-Transformator mit Anschluss an die Mittelspannungsebene beinhaltet. Die Vorsicherung der Ladestation wurde mit 250 A ausgeführt. Intern ist die Ladestation dann noch mit einem Leistungstrenner, FI und Einzelabsicherungen für die 5 Leistungsmodule ausgerüstet.

Abbildung 10:  
Verteilstation auf  
dem Betriebsgelände  
der Offenbacher  
Verkehrsbetriebe



### 3 Messaufbau und Umgebungsbedingungen

Abbildung 11 zeigt den Aufbau der Messgeräte im vermessenen System. Die Schnellladestation ist direkt an einen MS/NS-Transformator (20/0,4 kV) angeschlossen, der die Spannung von der 20-kV-Mittelspannungsebene auf die 400-V-Niederspannungsebene herunter transformiert. Für die Messung wurden sowohl die AC-Größen an der Schnittstelle zum öffentlichen Netz als auch die DC-Größen an der Schnittstelle zum Elektroauto zeitsynchron aufgenommen. Dazu wurde das Messgerät 1, ein Dewe-2602<sup>7</sup> (siehe Abbildung 12) verwendet. Auf der AC-Seite wurde zusätzlich noch eine redundante Messung mit dem Messgerät 2, einem Haag Euro-Quant (siehe Abbildung 13) durchgeführt.

Abbildung 11:  
Messaufbau zur  
Charakterisierung  
der Schnelllade-  
station auf der AC-  
und DC-Seite

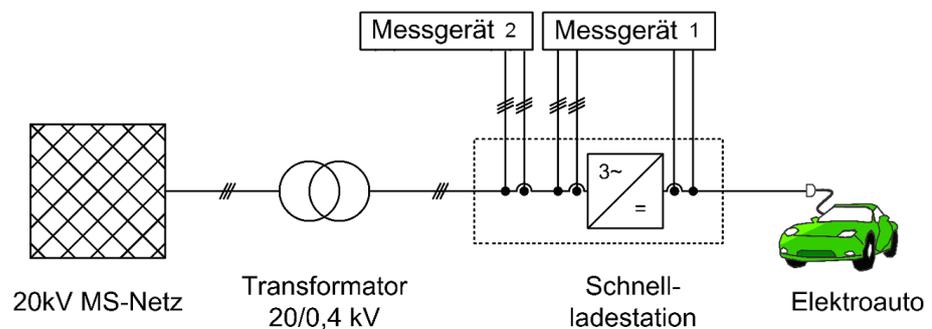


Abbildung 12:  
Messaufbau mit dem  
Dewe-2602 zur  
Erfassung der  
elektrischen  
Eigenschaften auf  
AC- und DC-Seite  
der Schnelllade-  
station



<sup>7</sup> Das Dewe-2602 ist im Projekt „Erprobung Neuer Netze“ beschafft worden und konnte für die hier gemachten Untersuchungen sehr gut genutzt werden.

Abbildung 13:  
Messaufbau mit dem  
Haag Euro-Quant  
zur Erfassung der  
elektrischen  
Eigenschaften auf  
der AC-Seite der  
Schnellladestation



Die Umgebungs- und Anfangsbedingungen der Messungen stellten sich wie folgt dar:

- 20% SOC Anfangswert des Ladezustands des i-MiEV
- Umgebungstemperatur plus 25 °C und direkte Sonneneinstrahlung
- Ausfall eines Leistungsmoduls an der Ladestation, daher eine um 20% reduzierte DC-Leistung

## 4 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Messung vom 30.08.2011 an der Schnellladestation auf dem Gelände der Offenbacher Verkehrsbetriebe dargestellt.

### 4.1 Ladecharakteristik

Die durchgeführte Messung an der DC-Schnellladestation kann an Hand der Ladekurven für Strom, Spannung, Leistung und dem SOC dargestellt werden. Wie in Abbildung 14 zu sehen erfolgt die Ladung in zwei Abschnitten. Zuerst wird stromgeregelt geladen. Ist dann, auf Grund des Ladezustands der Batterie, die zulässige maximale Ladespannung erreicht wird von der stromgeregelt in die spannungsgeregelte Ladung übergegangen. In Abbildung 14 ist der Wechsel zwischen strom- und spannungsgeregelter Ladung am besten am DC-Ladestrom ( $I_{\text{batt}}$ ) zu sehen. Da dieser bis zum Wechsel nach ca. 0,15 h konstant ist und anschließend abfällt.

Abbildung 14:  
Ladekurven der Schnellladung über den gesamten Ladeprozess

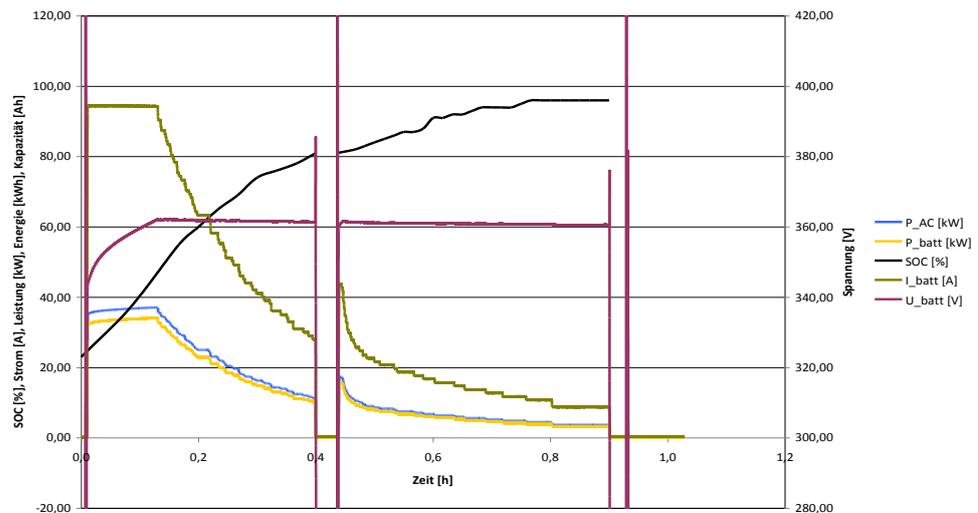


Abbildung 15, 16 und 17 zeigen den gemessenen Ladeverlauf bei einer DC-Schnellladung des Elektroautos von ca. 20% auf ca. 80% SOC. Der Vorgang ist innerhalb von etwa 20 Minuten abgeschlossen. Die Ladung bis 80% kann als der typische Anwendungsfall einer Schnellladestation gesehen werden, da gerade in diesem Bereich ein Zeitvorteil durch die Schnellladestation entsteht. Auf Grund der dadurch gegebenen Relevanz für den Benutzer und der prozessbedingten Unterbrechung der Ladung bei einem SOC von ca. 80% (siehe Abbildung 14), wird folgend nur noch der Ladeprozess von 20% bis 80% SOC betrachtet.

Der Graph in Abbildung 15 stellt die Wirkleistung am Ein- und Ausgang der Schnellladestation dar. Die geringere Wirkleistung auf der DC-Seite entsteht durch die Verluste beim Gleichrichten der AC-Spannung.

Die Graphen in Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen die Verläufe der DC-Spannung und des DC-Stroms. Durch das eingesetzte Ladeverfahren Konst-U-I (wie oben beschrieben) wird die Leistungsaufnahme am Anschlusspunkt der Ladestation bestimmt.

Abbildung 15:  
Verlauf der Wirkleistung auf der AC- und DC-Seite

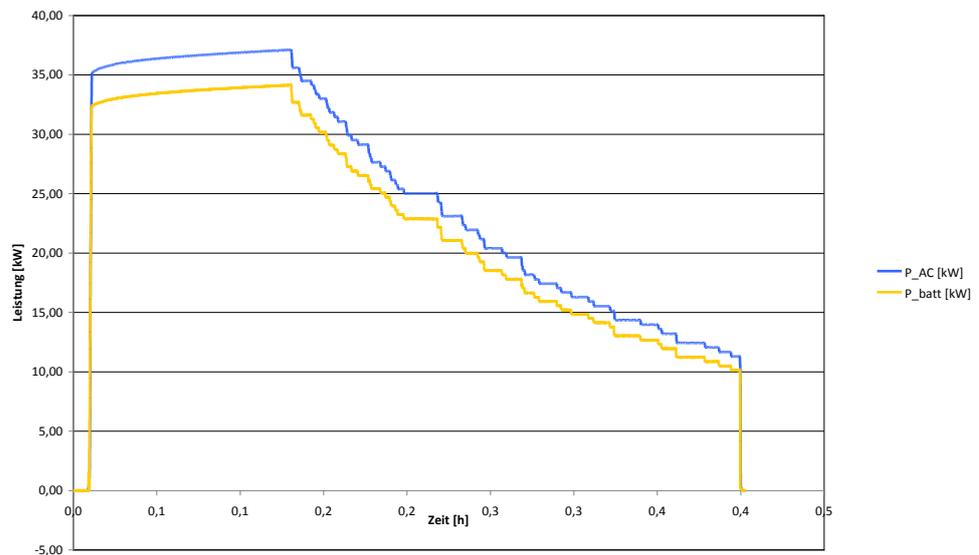


Abbildung 16:  
Verlauf der DC-Spannung

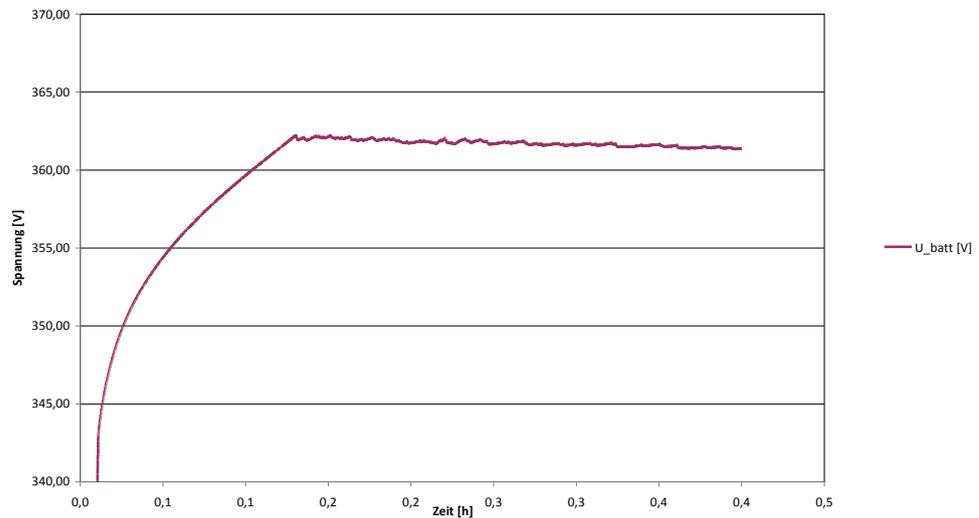
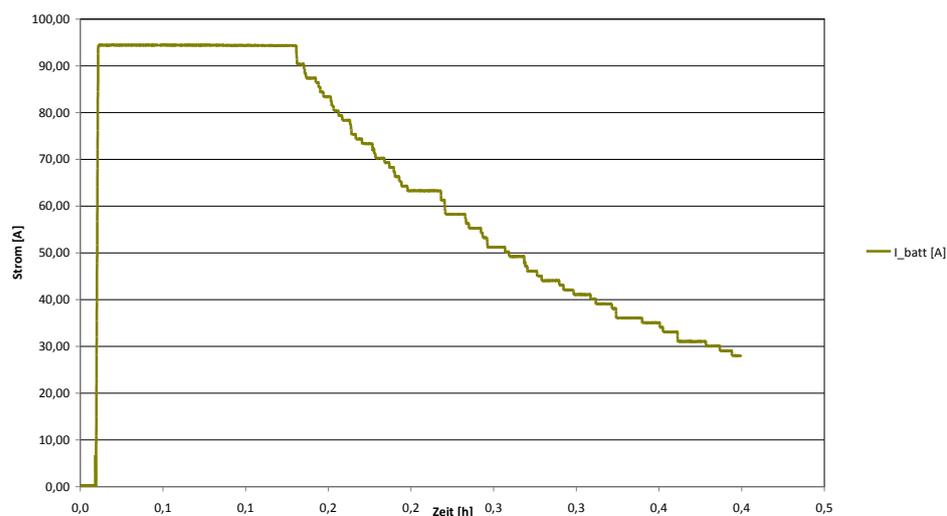


Abbildung 17:  
Verlauf des DC-  
Stroms



Insbesondere wenn mehrere Ladestationen innerhalb eines Netzabschnitts angeschlossen sind, kann es beim gleichzeitigen Ladebeginn zu Spitzen im Leistungsbezug kommen. Dies ist durch das benötigte Ladeverfahren der Batterien bestimmt. Deshalb scheint es bei einem zukünftigen vermehrten Einsatz von Schnellladestationen innerhalb eines Netzabschnitts sinnvoll, die Ladevorgänge zu koordinieren, um Netzüberlastungen oder Leistungsspitzen vermeiden zu können.

## 4.2 Messgenauigkeit

Die erweiterte Messunsicherheit für die Aufzeichnung der Leistung und damit auch für die errechneten Werte der Energie liegt bei 1,2% bezogen auf die angesetzte Nennleistung von 40 kW.

## 4.3 Energiebedarf

Der Energiebedarf bei der Ladung ergibt sich aus den aufgenommenen Daten wie in Tabelle 1 zu sehen ist. Dabei wird zwischen den Phasen 1 und 2 des Ladeprozesses unterschieden. Phase 1 ist die Phase der Ladung in der mit konstantem Strom geladen wird. Diese beginnt zum Zeitpunkt 0 und dauert ca. 7 Minuten (siehe Abbildung 17). Phase 2 beginnt mit dem Ende von Phase 1 und wird durch das Erreichen der maximalen Batteriespannung (362 V) des i-MiEVs bewirkt (siehe Abbildung 16). Dies geschieht durch das Umschalten der Regelung der Ladestation, auf eine Konstantspannungsladung. Dabei wird die Spannung möglichst konstant auf dem Wert von 362 V gehalten, indem der Strom und damit auch die Leistung reduziert werden.

Tabelle 1:  
Auflistung der bezogenen AC- und DC-Energie und der erweiterten Messunsicherheit

	DC-Energie	erweiterte Messunsicherheit bezogen auf den Messwert	AC-Energie	erweiterte Messunsicherheit bezogen auf den Messwert
Ladephase 1	4,0 kWh	1,4%	4,4 kWh	1,3%
Ladephase 2	5,1 kWh	2,5%	5,5 kWh	2,3%
gesamt	9,1 kWh	2,0%	9,9 kWh	1,9%

#### 4.4 Effizienzbestimmung

Zur Bestimmung der Effizienz bzw. des Wirkungsgrads werden die aufgenommenen Werte der Leistung aus der AC- und DC-Messung verglichen. Die Division der DC- durch die AC-Leistung ergibt die bei der Umwandlung der Energie von Wechselstrom in Gleichstrom in der Ladestation auftretenden Wirkungsgrade. Dies gilt für die verschiedenen Phasen der Ladung und auch für den gesamten Zeitraum der Messung. Es ist zu beachten, dass auch hier die besagten Messunsicherheiten gelten.

Tabelle 2:  
Auflistung der bezogenen AC- und DC-Leistungen

	Ø DC Leistung	max DC Leistung	Ø AC Leistung	max AC Leistung	Ø Wirkungsgrad <sup>8</sup>
Ladephase 1	33,32 kW	34,16 kW	36,05 kW	36,94 kW	92,4%
Ladephase 2	18,80 kW	33,85 kW	20,45 kW	36,62 kW	91,5%
gesamt	26,06 kW	34,16 kW	28,25 kW	36,94 kW	92,2%

#### 4.5 Netzurückwirkungen der Schnellladestation

Im Projekt „Erprobung Neuer Netze – Aufbau eines Referenzlabors für neue Netzkomponenten und Netzbetriebsmittel“ sind die Netzurückwirkungen an der Schnellladestation untersucht worden. Die Ergebnisse sind diesem Bericht der Vollständigkeit halber im Anhang beigefügt.

<sup>8</sup> Wirkungsgrad zwischen den Messpunkten der AC- und DC-Messung.

## 5 Ausblick

Bezüglich des Leistungsvermögens von DC-Schnellladestationen ist festzuhalten, dass die Ladung bis zu einem SOC von ca. 50% sehr schnell funktioniert. Auch bis zu einem SOC von ca. 80% ist die Ladung mit einer DC-Schnellladestation wesentlich schneller als mit einem einphasigen 3 kW oder 3phasigen 9 kW On-Board-Ladegerät. Für die Vollladung ab ca. 80% sind Schnellladestationen nicht besser geeignet als leistungsschwächere On-Board-Ladegerät. Daher ist aus wirtschaftlicher Sicht eine Verwendung von DC-Schnellladestationen für Zwischenladungen bis zu einem SOC < 80% zu empfehlen. Da so in der Betriebszeit der Station mehr Elektrofahrzeuge mit hoher Leistung geladen werden können.

Dieser Zusammenhang ist auch schon in die Geschäftsmodellentwicklung mehrerer großer Energieversorger eingeflossen, da DC-Schnellladestationen es ermöglichen in kurzer Zeit viele Kunden mit großen Energiemengen zu versorgen. Es wird davon ausgegangen, dass schon bei einer Auslastung von 8-10 Stunden am Tag tragfähige Geschäftsmodelle gefunden werden können.

Das Angebot verschiedener DC-Schnellladestationen auf dem Markt und im Feld erhöht sich ständig. Dabei ist vor allem interessant, dass mit dem Combo 2 eine weitere Steckerlösung, neben der bekannten Lösung des CHAdeMO Standards angedacht wird und als Vorschlag in die Deutsche Standardisierung eingebracht worden ist. Damit entsteht allerdings auch gleichzeitig die Problematik von nicht kompatibler Infrastruktur einher, was durch schnelle Einigung in der Standardisierung verhindert werden sollte.

Durch den Einsatz von Ladestationen im Niederspannungsnetz kommen weitere neue Betriebsmittel hinzu, die im Netzbetrieb berücksichtigt werden müssen. Insbesondere für Schnellladestationen, die über aktive Komponenten verfügen, üblicherweise Leistungselektronik zur Wandlung von AC nach DC, sollten entsprechende spezifische Prüfvorschriften erstellt werden. Diese können auf Grundlage bereits existierender Prüfvorschriften, z.B. FGW TR3 erfolgen, da bei diesen auch leistungselektronische Komponenten getestet werden.<sup>9</sup>

Für die Vermessung im Feld sollte das Thema Netzvorbelastung näher untersucht werden, damit eine Abgrenzung zwischen den durch die Anlage und den durch das Netz verursachten Rückwirkungen getroffen werden kann. Hierbei kann natürlich auch die Vermessung der Schnellladestation an geeigneten Netzsimulatoren weiterhelfen, um ungewünschte Netzvorbelastungen vermeiden zu können.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Fazit zu den, im Projekt „Erprobung Neuer Netze“ durchgeführten, Messungen zur Netzzrückwirkung von Schnellladestationen.

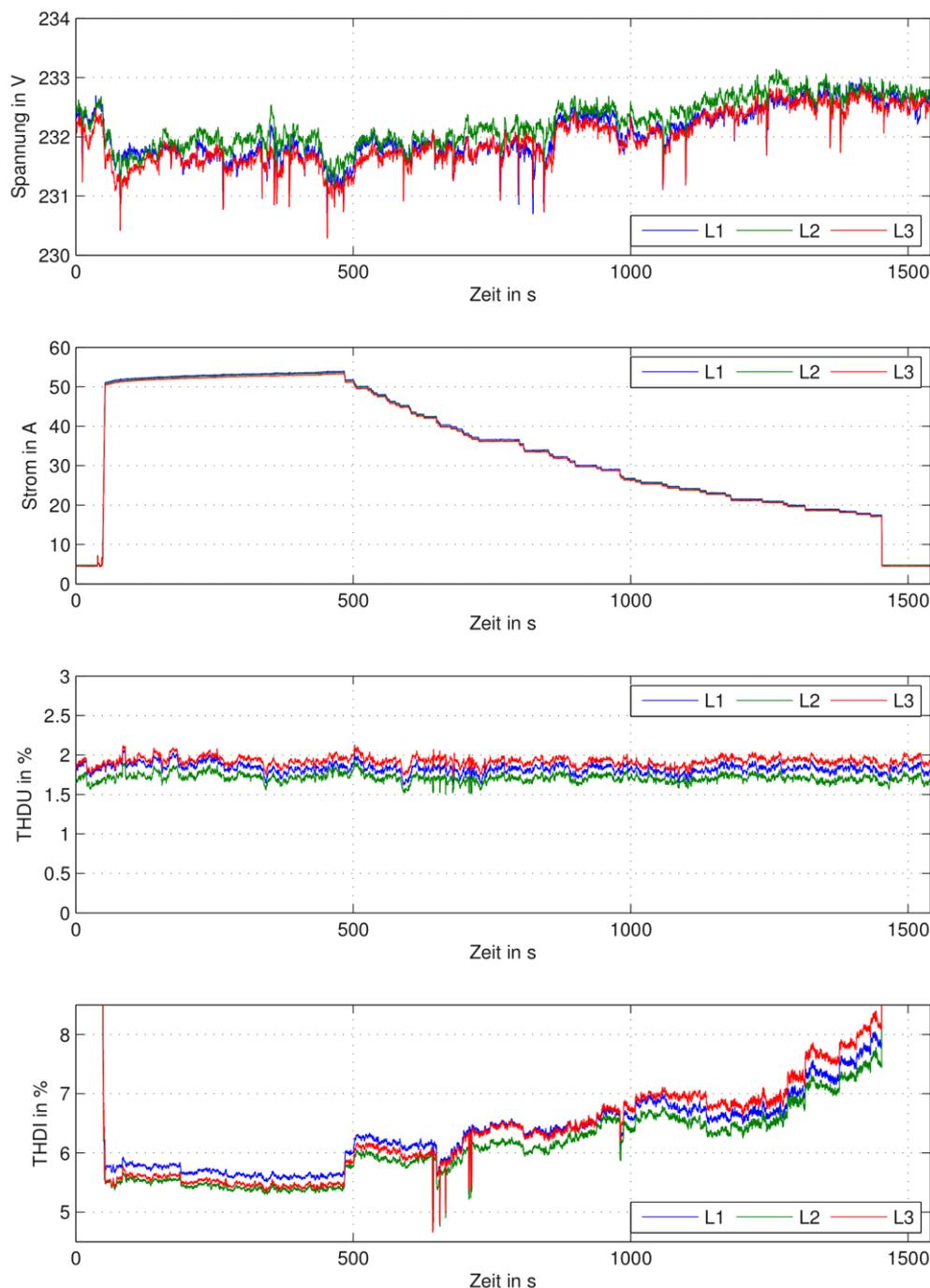
# Anhang

## **Netzurückwirkungen der Schnellladestation**

Durch die Bewertung ausgesuchter Parameter sollen die Netzurückwirkungen der Schnellladestation während eines Ladevorgangs bestimmt werden. Bisher gibt es noch keine speziellen Prüfvorschriften für Ladestationen.

Abbildung 18 gibt einen Überblick des Verlaufs der Spannungen und Ströme sowie der Werte für den THDU (Total Harmonic Distortion of Voltage, Deu.: Gesamte harmonische Verzerrung der Spannung) und den THDI (Total Harmonic Distortion of Current, Deu.: Gesamte harmonische Verzerrung der Spannung).

Abbildung 18:  
Verlauf ausgesuchter  
Power Quality  
Parameter während  
einer Ladung



Dadurch, dass die Ladestation direkt an einen Transformator angeschlossen ist, ergibt sich beim Start der Ladung eine vernachlässigbare Spannungsreduzierung von etwa 1 V. Bei einem Anschluss innerhalb eines Niederspannungsnetzes kann es durchaus zu größeren Spannungsabsenkungen kommen. Die Netzqualität am Anschlusspunkt der Ladestation kann als gut eingestuft werden. Dies wird auch durch den niedrigen THDU-Wert von etwa 2% indiziert.

Die Netzurückwirkungen durch die Ladestation scheinen jedoch recht hoch zu sein, was der hohe THDI-Wert (Oberschwingungsgehalt des Stromflusses an der AC-Schnittstelle) verdeutlicht. Deshalb wurde eine genauere Untersuchung der Belastung durch Oberschwingungen durchgeführt. Abbildung 19, 20 und 21 zeigen die Ergebnisse bezogen auf den Nennstrom der Anlage. Dabei sind entsprechend den herkömmlichen Richtlinien für die Vermessung von Erzeugungsanlagen (BDEW-MS-Richtlinie und FGW TR3) folgende Auswertungen durchgeführt worden:

- Harmonische bis zur 50ten Ordnung
- Interharmonische bis zur 49,5ten Ordnung
- Anteil bei höheren Frequenzen von 2-9 kHz in Bändern von 200 Hz

Abbildung 19:  
Harmonische

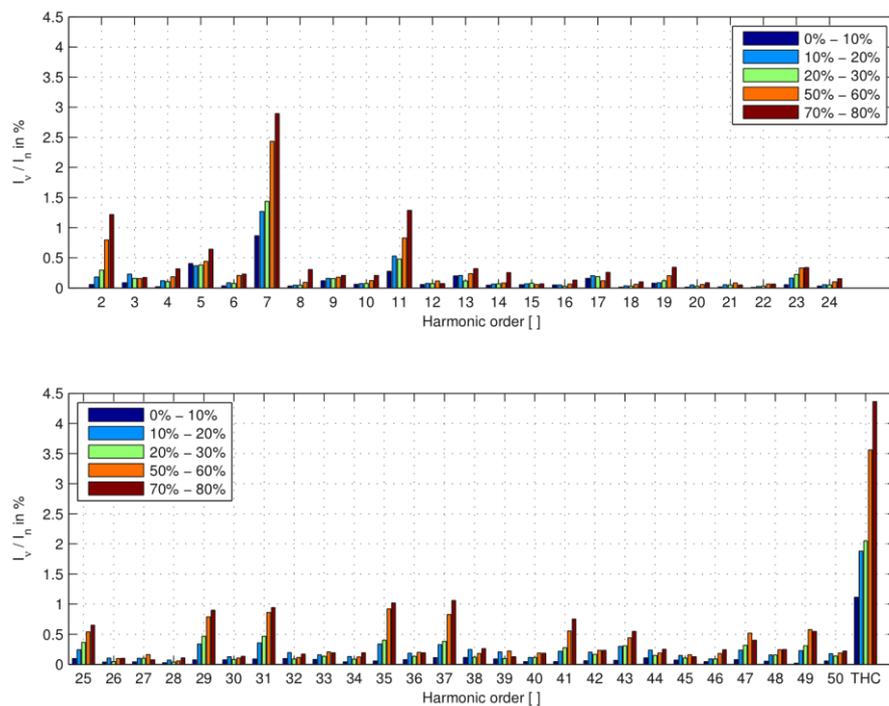


Abbildung 20:  
Zwischen-  
harmonische

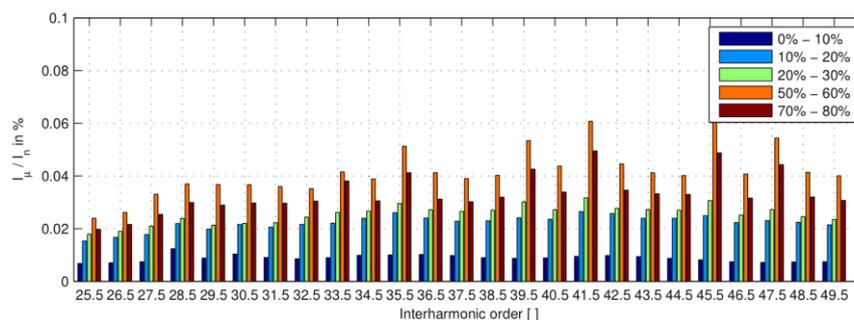
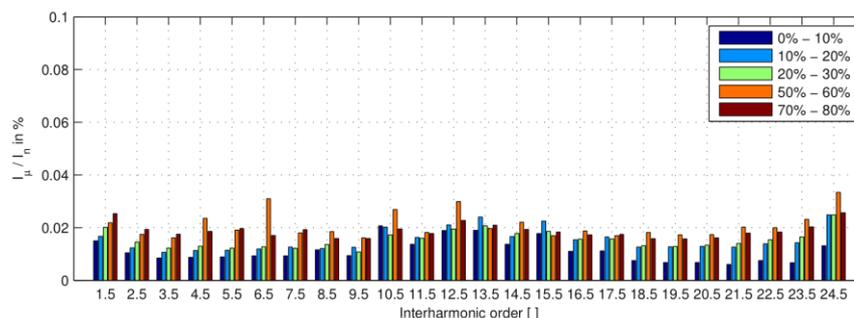
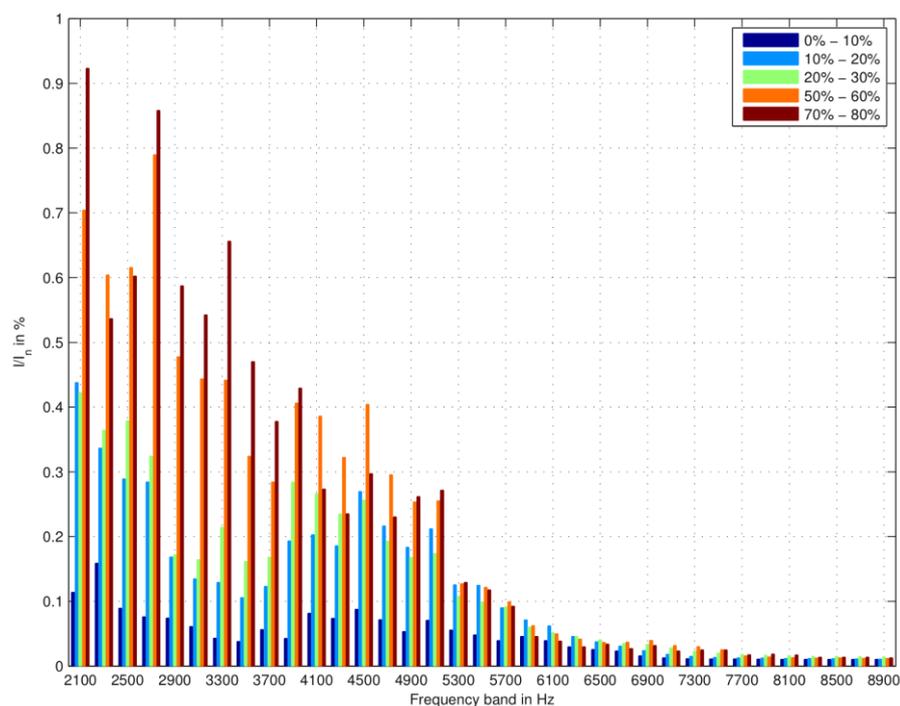


Abbildung 21:  
Anteile höherer  
Harmonischer von  
2-9 kHz



Die Auswertung ist weiterhin in verschiedenen Leistungsklassen (Aufteilung in 10%-Leistungsbänder) unterteilt worden. Grundlage sind 10-Minuten-Mittelwerte.

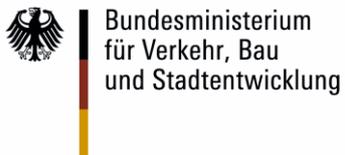
Die Ergebnisse zeigen, dass die Anlage insbesondere bei höheren Leistungen auch höhere Netzrückwirkungen erzeugt. Inwieweit diese durch eine Vorbelastung im Netz oder durch die Anlage selbst erzeugt wurde, kann anhand der vorliegenden Messung nicht restlos geklärt werden.

**Zukunft Elektromobilität**  
**Technische Begleitforschung**  
Steckbriefe Fahrzeuge Modellregion Rhein-Main





Gefördert durch:



Koordiniert durch:



Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) unter dem Förderkennzeichen 03KP5511 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

# Impressum

## Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Windenergie und  
Energiesystemtechnik IWES  
Institutsteil Kassel  
Königstor 59  
34119 Kassel  
[www.iwes.fraunhofer.de](http://www.iwes.fraunhofer.de)

## Projektleitung

Dipl.-Ing. Markus Landau  
Telefon: +49 561 7294-243  
Telefax: +49 561 7294-200  
[markus.landau@iwes.fraunhofer.de](mailto:markus.landau@iwes.fraunhofer.de)

## Bearbeiter

Björn Born  
Roland Gaber  
Eugen Lippecke (Kfz-Innung)

Kassel, Dezember 2011

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einspurig</b>	<b>1</b>
1.1	Avenue Hybrid	1
1.2	Birdy	3
1.3	Delite hybrid 250 HT	5
1.4	EVT 4000	7
1.5	Govecs SC	10
1.6	Jetstream	13
1.7	Raddar Multitask	15
1.8	SCP4040	19
1.9	Town:e	22
1.10	Zouma Elite	24
1.11	Zouma Plus	27
1.12	Zouma Supreme	30
<b>2</b>	<b>Mehrspurig</b>	<b>34</b>
2.1	CityEL	34
2.2	EcoCarrier	39
2.3	Mülldiesel 2532	44
2.4	Müllhybrid	46
2.5	i MiEV	49
2.6	Modec UPS	53
2.7	Mega Multitruck	55
2.8	REVA i	59
2.9	Starlab Easy	64
2.10	Stromos	68
2.11	Tazzari Zero	72
2.12	Twike	74

## Erläuterungen zu den Diagrammen

Die Diagramme zeigen auf einem Rollenprüfstand aufgenommenen Kennlinien von Beschleunigungs- und Auslaufvorgängen der Fahrzeuge. Es wurden die Parameter Moment, Verlustleistung und Leistung am Rad vom Rollenprüfstand messtechnisch erfasst. Während des Auslaufversuches konnte näherungsweise die Rekuperationsleistung bestimmt werden. Diese wird in den Diagrammen durch die Größe  $P_{\text{RekuRad}}$  dargestellt. Abzüglich der Verlustleistung  $P_{\text{VAntrieb}}$  ergibt sich die bereinigte Rekuperationsleistung  $P_{\text{RekuRes}}$ , welche jedoch weiterhin nur ein Maß für die tatsächliche Rekuperationsleistung ist. Bei Darstellungen, welche keine Rekuperationsleistung enthalten, war eine Aufnahme dieser nicht möglich. Die Aufnahme der Verlustleistung ergab in manchen Fällen keine darstellbaren Ergebnisse, da die Werte unterhalb des Messbereiches des Rollenprüfstandes lagen. In diesen Fällen wurde die Verlustleistung auf der Nulllinie dargestellt.

# 1 Einspurig

## 1.1 Avenue Hybrid

Abbildung 1:  
Avenue Hybrid



### Hersteller

Listenpreis

**Riese & Müller**

2699,- bis 3499,- €

### Technische Daten

Fahrzeugart

L1e

Rahmen

Alu 7005 T6, WIG geschweißt

Höchstgeschwindigkeit

k.A. km/h

Beschleunigung

k.A. s

Steigfähigkeit

k.A. %

Reichweite

k.A. km

Verbrauch

k.A. Wh/km

Netzverbrauch

k.A. kWh/100km

Sitzplätze

1 Person(/en)

Zuladung

k.A. kg

Gepäckraum

- Liter

zGM

k.A. kg

Leergewicht

24,9 kg

### Abmessungen

k.A.

### Antrieb

vorn

Schaltung

Nabenschaltung Shimano Nexus

Lenkung

direkt

Reifen

Schwalbe Marathon 47-559

Wendekreis

k.A. m

### Bremsanlage

Tektro EL 540

vorn

V - Avid Single Digit 5

hinten

V - Avid Single Digit 5

<b>Batterie</b>	Li-Ion
Typ	LiPo
Zellenzahl	k.A.
Block	k.A.
Betriebsspannung	36 V
Arbeitsbereich	k.A. V
Nennkapazität	8 oder 10 Ah
davon verfügbar	k.A. Ah
Hersteller	k.A.
<b>Ladegerät</b>	
Normalladung	230V / k.A.
Zeitdauer Normalladung	k.A.
Schnellladung	-
Lage des Anschlusses	k.A.
<b>Motor Art</b>	Transx PST Nabenmotor
Leistung	0,25 kW
Max. Drehmoment	k.A. Nm
Kühlung	Luft
Hersteller	k.A.
<b>Antriebselektronik Art</b>	k.A.
<b>Bordnetzversorgung</b>	-
<b>Interner Laststrom</b>	-
<b>Komfort</b>	-
<b>Cockpitanzeige</b>	-
<b>Geräusentwicklung</b>	k.A.
<b>Sicherheit</b>	
Rettungsdatenblatt	nein
Kabelmarkierung	nein
Galvanische Trennung	ja
Schutzschaltung	nein
Isolationswächter	nein
Verkabelung	nein
Losfahrschutz	nein
Garagenschutz	nein
Betriebsanleitung auf Fahrzeug zugeschnitten	ja
Crashtest	k.A.

## 1.2 Birdy

Abbildung 2:  
Birdy



### Hersteller

Listenpreis

### Riese & Müller

3499,- €

### Technische Daten

Fahrzeugart

L1e

Rahmen

Alu 7005 T6, WIG geschweißt

Höchstgeschwindigkeit

k.A. km/h

Beschleunigung

k.A. s

Steigfähigkeit

k.A. %

Reichweite

k.A. km

Verbrauch

k.A. Wh/km

Netzverbrauch

k.A. kWh/100km

Sitzplätze

1 Person(/en)

Zuladung

k.A. kg

Gepäckraum

k.A. Liter

zGM

k.A. kg

Leergewicht

18,4 kg

### Abmessungen

k.A.

### Antrieb

hinten

Schaltung

k.A.

Lenkung

direkt

Reifen

Schwalbe Big Apple 50-355

Wendekreis

k.A. m

### Bremsanlage

Tektro EL 520

vorn

V - Avid Single Digit 5

hinten

V - Avid Single Digit 5

<b>Batterie</b>	Li-Ion
Typ	k.A.
Zellenzahl	k.A.
Block	k.A.
Betriebsspannung	24 V
Arbeitsbereich	- V
Nennkapazität	10 Ah
davon verfügbar	k.A. Ah
Hersteller	k.A.
<b>Ladegerät</b>	k.A.
Normalladung	230V / k.A.
Zeitdauer Normalladung	k.A.
Schnellladung	-
Lage des Anschlusses	k.A.
<b>Motor Art</b>	Nabenmotor
Leistung	0,25 kW
Max. Drehmoment	k.A. Nm
Kühlung	Luft
Hersteller	BionX PL-250
<b>Antriebselektronik Art</b>	k.A.
Rekuperation	k.A.
Hersteller	BionX
<b>Bordnetzversorgung</b>	-
<b>Interner Laststrom</b>	-
<b>Komfort</b>	-
<b>Cockpitanzeige</b>	-
<b>Geräuschentwicklung</b>	k.A.
<b>Sicherheit</b>	
Rettungsdatenblatt	nein
Kabelmarkierung	nein
Galvanische Trennung	ja
Schutzschaltung	nein
Isolationswächter	nein
Verkabelung	nein
Losfahrerschutz	nein
Garagenschutz	nein
Betriebsanleitung auf Fahrzeug zugeschnitten	ja
Crashtest	k.A.

### 1.3 Delite hybrid 250 HT

Abbildung 3:  
Delite hybrid 250 HT



**Hersteller**  
Listenpreis

**Riese & Müller**  
3999,- bis 5399,- €

**Technische Daten**

Fahrzeugart	L1e
Rahmen	Alu 7005 T6, WIG geschweißt
Höchstgeschwindigkeit	25 km/h
Beschleunigung	k.A. s
Steigfähigkeit	k.A. %
Reichweite	k.A. km
Verbrauch	k.A. Wh/km
Netzverbrauch	k.A. kWh/100km
Sitzplätze	1 Person(/en)
Zuladung	k.A. kg
Gepäckraum	- Liter
zGM	k.A. kg
Leergewicht	25,1 kg
<b>Abmessungen</b>	k.A.
<b>Antrieb</b>	vorn
Schaltung	Kettenschaltung 24 Gang
Lenkung	direkt
Reifen	26''Schwalbe Supreme 50-559
Wendekreis	k.A. m
<b>Bremsanlage</b>	Tektro Auriga E-Sub
vorn	Scheibe
hinten	Scheibe

<b>Batterie</b>	Li-Ion	
Typ	LiMn	
Zellenzahl	k.A.	
Block	k.A.	
Betriebsspannung	36	V
Arbeitsbereich	k.A.	V
Nennkapazität	10	Ah
davon verfügbar	k.A.	Ah
Hersteller	k.A.	
<b>Ladegerät</b>	Bion-X	
Normalladung	230V / k.A.	
Zeitdauer Normalladung	4h (in 2h 75%)	
Schnellladung	-	
Lage des Anschlusses	k.A.	
<b>Motor Art</b>	Nabenmotor	
Leistung	0,25 (max 0,6)	kW
Max. Drehmoment	35	Nm
Kühlung	Luft	
Hersteller	Bion PL-250HT	
<b>Antriebselektronik Art</b>	k.A.	
<b>Bordnetzversorgung</b>	-	
<b>Interner Laststrom</b>	-	
<b>Komfort</b>	-	
<b>Cockpitanzeige</b>	-	
<b>Geräusentwicklung</b>	k.A.	
<b>Sicherheit</b>		
Rettungsdatenblatt	nein	
Kabelmarkierung	nein	
Galvanische Trennung	ja	
Schutzschaltung	nein	
Isolationswächter	nein	
Verkabelung	nein	
Losfahrerschutz	nein	
Garagenschutz	nein	
Betriebsanleitung auf Fahrzeug zugeschnitten	ja	
Crashtest	k.A.	

## 1.4 EVT 4000

Abbildung 4:  
EVT 4000



<b>Hersteller</b>	<b>EVT Scooter</b>	
Listenpreis	2890,-	€
<b>Technische Daten</b>		
Fahrzeugart	L1e	
Karosserie	Kunststoff	
Höchstgeschwindigkeit	35(Economic) / 45(Power)	km/h
Beschleunigung	k.A.	s
Steigfähigkeit	14	%
Reichweite	35 - 70	km
Verbrauch	40 - 50	Wh/km
Netzverbrauch	k.A.	kWh/100km
Sitzplätze	2	Person(/en)
Zuladung	150	kg
Gepäckraum	12	Liter
zGM	275	kg
Leergewicht	145	kg
<b>Abmessungen</b>		
Länge	1690	mm
Breite	630	mm
Höhe	990	mm
Radstand	1300	mm
Spur vorn/hinten	-	mm
Bodenfreiheit	150	mm
Länge/Breite/Höhe		
Innenraum	-	mm
<b>Antrieb</b>	hinten; Nabenmotor	
Getriebe	direkt	
Lenkung	direkt	
Reifen	3.00 x 1052J	
Wendekreis	k.A.	m

<b>Bremsanlage</b>	Hydraulisch	
vorn	Scheibe	
hinten	Scheibe	
<b>Batterie</b>	Bleiakkumulator	
Typ	Blei - Flies	
Zellenzahl	6	
Block	4	
Betriebsspannung	48	V
Arbeitsbereich	k.A.	V
Nennkapazität	50	Ah
davon verfügbar	k.A.	Ah
Hersteller	B.B. Battery	
<b>Ladegerät</b>	Prozessor Ladegerät 450W	
Normalladung	230V / 6A	
Zeitdauer Normalladung	3 – 4h / 80%	
Schnellladung	-	
Lage des Anschlusses	unter Sitzbank	
<b>Motor Art</b>	Brushless Drehstrom	
Leistung	1,5 – 2,8	kW
Max. Drehmoment	k.A.	Nm
Kühlung	Luft	
Hersteller	EVT	
<b>Antriebselektronik Art</b>	Wechselrichter	
Rekuperation	Nein	
Hersteller	EVT	
<b>Bordnetzversorgung</b>		
Spannung	k.A.	V
DC/DC	k.A.	W
Batterie	nein	
Verbraucher	15	W
<b>Interner Laststrom</b>	-	
<b>Komfort</b>	-	
<b>Cockpitanzeige</b>		
Ladeanzeige / SOC	4 LED	
Reichweite	nein	
Strom	nein	

## Geräusentwicklung

k.A.

## Sicherheit

Rettungsdatenblatt  
 Kabelmarkierung  
 Galvanische Trennung  
 Schutzschaltung  
 Isolationswächter  
 Verkabelung  
 Losfahrerschutz  
 Garagenschutz  
 Betriebsanleitung auf  
 Fahrzeug zugeschnitten  
 Crashtest

nein  
 nein  
 nein  
 nein  
 nein  
 Isolierte Leitungen  
 nein  
 nein  
 ja  
 k.A.

Abbildung 5:  
 Motor,  
 EVT 4000



Abbildung 6:  
 Batterie,  
 EVT 4000



Abbildung 7:  
 Antriebs-  
 elektronik  
 und  
 Ladegerät,  
 EVT 4000



Abbildung 8:  
 Cockpit, EVT  
 4000



## 1.5 Govecs SC

Abbildung 9:  
Govecs SC



<b>Hersteller</b>	<b>Govecs</b>
Listenpreis	k.A. €
<b>Technische Daten</b>	
Fahrzeugart	L1e
Karosserie	Kunststoff
Höchstgeschwindigkeit	35(Economic) /45 (Power) km/h
Beschleunigung	k.A. s
Steigfähigkeit	14 %
Reichweite	35 -70 km
Verbrauch	40 - 50 Wh/km
Netzverbrauch	k.A. kWh/100km
Sitzplätze	2 Person(/en)
Zuladung	k.A. kg
Gepäckraum	k.A. Liter
zGM	k.A. kg
Leergewicht	k.A. kg
<b>Abmessungen</b>	k.A.
<b>Antrieb</b>	hinten; Zahnriemen
Getriebe	direkt
Lenkung	direkt
Reifen	3.00 x 1052J
Wendekreis	k.A. m
<b>Bremsanlage</b>	hydraulisch
vorn	Scheibe
hinten	Scheibe

<b>Batterie</b>	Blei
Typ	Blei – Flies
Zellenzahl	6
Block	4
Betriebsspannung	48 V
Arbeitsbereich	k.A. V
Nennkapazität	50 Ah
davon verfügbar	k.A. Ah
Hersteller	B.B. Battery
<b>Ladegerät</b>	
Normalladung	230V / 6A
Zeitdauer Normalladung	3 – 4h / 80%
Schnellladung	-
Lage des Anschlusses	k.A.
<b>Motor Art</b>	Brushless Drehstrom
Leistung	k.A. kW
Max. Drehmoment	k.A. Nm
Kühlung	Luft
Hersteller	k.A.
<b>Antriebselektronik Art</b>	k.A.
Rekuperation	k.A.
Hersteller	k.A.
<b>Bordnetzversorgung</b>	-
<b>Interner Laststrom</b>	-
<b>Komfort</b>	-
<b>Cockpitanzeige</b>	
Ladeanzeige / SOC	4 LED
Reichweite	nein
Strom	nein
<b>Geräusentwicklung</b>	k.A.
<b>Sicherheit</b>	k.A.

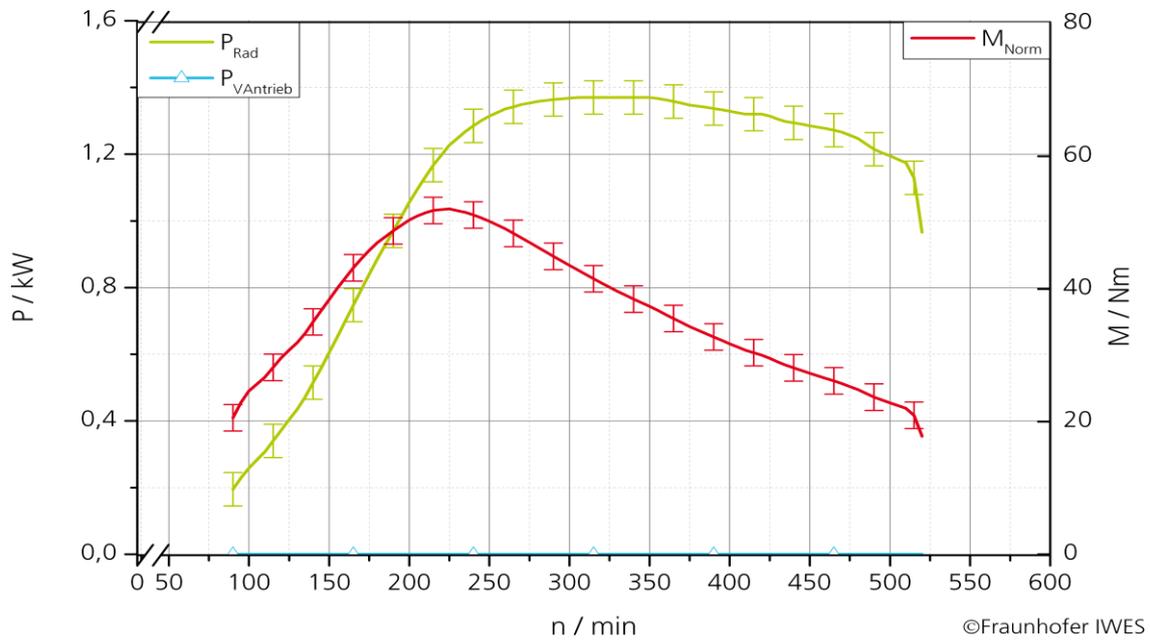


Diagramm 1: Leistungs- und Momentenkennlinien, Govecs

## 1.6 Jetstream

Abbildung 10:  
Jetstream



### Hersteller

Listenpreis

**Riese & Müller**

3599,- bis 3699,- €

### Technische Daten

Fahrzeugart

L1e

Rahmen

Alu 7005 T6, WIG geschweißt

Höchstgeschwindigkeit

25 km/h

Beschleunigung

k.A. s

Steigfähigkeit

k.A. %

Reichweite

k.A. km

Verbrauch

k.A. Wh/km

Netzverbrauch

k.A. kWh/100km

Sitzplätze

1 Person(/en)

Zuladung

k.A. kg

Gepäckraum

k.A. Liter

zGM

k.A. kg

Leergewicht

24,7 kg

### Abmessungen

k.A.

### Antrieb

hinten

Schaltung

Shimano LX 8-/3- Gang

Lenkung

direkt

Reifen

Schwalbe Marathon 47-559

reflex

Wendekreis

k.A. m

### Bremsanlage

Magura Julie

vorn

Scheibe

hinten

Scheibe

<b>Batterie</b>	Li-Ion
Typ	k.A.
Zellenzahl	k.A.
Block	k.A.
Betriebsspannung	24 V
Arbeitsbereich	k.A. V
Nennkapazität	10 Ah
davon verfügbar	10 Ah
Hersteller	k.A.
<b>Ladegerät</b>	k.A.
Normalladung	230V / k.A.
Zeitdauer Normalladung	k.A.
Schnellladung	-
Lage des Anschlusses	k.A.
<b>Motor Art</b>	hinten; Nabenmotor
Leistung	0,25 kW
Max. Drehmoment	k.A. Nm
Kühlung	Luft
Hersteller	BionX PL250
<b>Antriebselektronik Art</b>	-
Rekuperation	-
Hersteller	BionX
<b>Bordnetzversorgung</b>	-
<b>Interner Laststrom</b>	-
<b>Komfort</b>	-
<b>Cockpitanzeige</b>	nein
<b>Geräuschentwicklung</b>	k.A.
<b>Sicherheit</b>	
Rettungsdatenblatt	nein
Kabelmarkierung	nein
Galvanische Trennung	ja
Schutzschaltung	nein
Isolationswächter	nein
Verkabelung	nein
Losfahrerschutz	nein
Garagenschutz	nein
Betriebsanleitung auf Fahrzeug zugeschnitten	ja
Crashtest	k.A.

## 1.7 Raddar Multitask

Abbildung 11:  
Raddar



<b>Hersteller</b>	<b>Storck</b>
Listenpreis	3199,- €
<b>Technische Daten</b>	
Fahrzeugart	L1e
Rahmen	Aluminium
Höchstgeschwindigkeit	25(Economic) / 40(Power) km/h
Beschleunigung	k.A. s
Steigfähigkeit	k.A. %
Reichweite	40 - 90 km
Verbrauch	k.A. Wh/km
Netzverbrauch	k.A. kWh/100km
Sitzplätze	1 Person(/en)
Zuladung	k.A. kg
Gepäckraum	- Liter
zGM	k.A. kg
Leergewicht	21,5 kg
<b>Abmessungen</b>	
Länge	k.A. mm
Breite	k.A. mm
Höhe	k.A. mm
Radstand	1120 mm
Spur vorn/hinten	- mm
Bodenfreiheit	- mm
Länge/Breite/Höhe	
Innenraum	- mm
<b>Antrieb</b>	hinten; Nabenmotor
Schaltung	Shimano XT 27-Gang
Lenkung	Direkt
Reifen	Schwalbe big apple 60-622
Wendekreis	k.A. m

<b>Bremsanlage</b>	hydraulisch
vorn	Scheibe
hinten	Scheibe
<b>Batterie</b>	Li-Ion
Typ	LiPo
Zellenzahl	k.A.
Block	k.A.
Betriebsspannung	25,2 V
Arbeitsbereich	k.A. V
Nennkapazität	10 Ah
davon verfügbar	9,9 Ah
Hersteller	k.A.
<b>Ladegerät</b>	
Normalladung	230V / 1,6A
Zeitdauer Normalladung	k.A.
Schnellladung	-
Lage des Anschlusses	offboard
<b>Motor Art</b>	HR-Nabenmotor
Leistung	0,25 kW
Max. Drehmoment	60 Nm
Kühlung	Luft
Hersteller	Storck
Maße d / l	200 / 75 mm / mm
<b>Antriebselektronik Art</b>	Brushless Drehstrom
Rekuperation	Ja
Hersteller	k.A.
<b>Bordnetzversorgung</b>	-
<b>Interner Laststrom</b>	-
<b>Komfort</b>	-
<b>Cockpitanzeige</b>	
Ladeanzeige / SOC	3LED
Reichweite	nein
Strom	nein
<b>Geräusentwicklung</b>	k.A.

## Sicherheit

Rettungsdatenblatt  
 Kabelmarkierung  
 Galvanische Trennung  
 Schutzschaltung  
 Isolationswächter  
 Verkabelung  
 Losfahrerschutz  
 Garagenschutz  
 Betriebsanleitung auf  
 Fahrzeug zugeschnitten  
 Crashtest

nein  
 nein  
 ja  
 nein  
 nein  
 nein  
 nein  
 nein  
 nein  
 ja  
 nein

Abbildung 12:  
 Motor und  
 Antriebs-  
 elektronik,  
 Raddar



Abbildung 13: Steck-  
 verbindung  
 Motor,  
 Raddar



Abbildung 14:  
 Batterie,  
 Raddar



Abbildung 15:  
 Anschluss  
 Batterie,  
 Raddar



Abbildung 16:  
 Ladegerät,  
 Raddar



Abbildung 17:  
 Ladeanzeige,  
 Raddar



Abbildung 18:  
Wählhebel und  
Schalter,  
Raddar

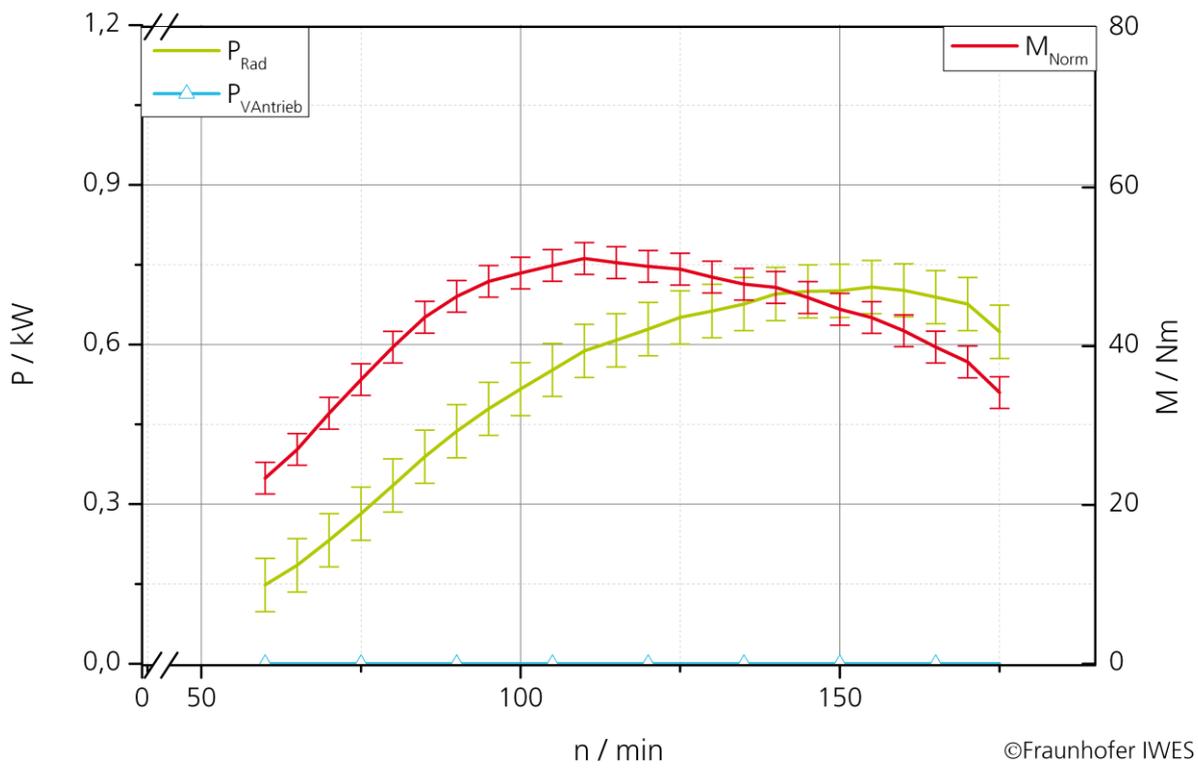


Diagramm 2: Leistungs- und Momentenkennlinien, Raddar

## 1.8 SCP4040

Abbildung 19:  
SCP4040



### Hersteller

TAIZHOU HUANGYAN  
XINRONG

Listenpreis

4490,- €

### Technische Daten

Fahrzeugart

L3e

Rahmen

Kunststoff

Höchstgeschwindigkeit

88 km/h

Beschleunigung

k.A. s

Steigfähigkeit

30 %

Reichweite

45 - 60 km

Verbrauch

k.A. Wh/km

Netzverbrauch

4 kWh/100km

Sitzplätze

2 Person(/en)

Zuladung

150 kg

Gepäckraum

- Liter

zGM

281 kg

Leergewicht

131 kg

### Abmessungen

Länge

2300 mm

Breite

670 mm

Höhe

1210 mm

Radstand

1460 mm

Spur vorn/hinten

- mm

Bodenfreiheit

- mm

Länge/Breite/Höhe

Innenraum

- mm

### Antrieb

Heckantrieb

Getriebe

direkt

Lenkung

direkt

Reifen

130 / 60 - 13

Wendekreis

k.A. m

<b>Bremsanlage</b>	hydraulisch
vorn	Scheibe
hinten	Scheibe
<b>Batterie</b>	Li-Ion
Typ	LiFePO
Zellenzahl	20
Block	5
Betriebsspannung	64 V
Arbeitsbereich	56 – 80 V
Nennkapazität	40 Ah
davon verfügbar	k.A. Ah
Hersteller	Thundersky
<b>Ladegerät</b>	onboard
Normalladung	230V / k.A.
Zeitdauer Normalladung	4 – 5h
Schnellladung	-
Lage des Anschlusses	unter Sitz
<b>Motor Art</b>	BLDC Nabenmotor
Leistung	4 kW
Max. Drehmoment	k.A. Nm
Kühlung	Luft
Hersteller	k.A.
Maße d / l	k.A. mm / mm
<b>Antriebelektronik Art</b>	Wechselrichter
Rekuperation	ohne
Hersteller	k.A.
<b>Bordnetzversorgung</b>	
Spannung	12 V
DC/DC	k.A. W
Batterie	ohne
Verbraucher	k.A. W
<b>Interner Laststrom</b>	-
<b>Komfort</b>	-
<b>Cockpitanzeige</b>	
Ladeanzeige / SOC	ja
Reichweite	nein
Strom	ja
<b>Geräuschentwicklung</b>	k.A.

## Sicherheit

Rettungsdatenblatt  
 Kabelmarkierung  
 Galvanische Trennung  
 Schutzschaltung  
 Isolationswächter  
 Verkabelung  
 Losfahrerschutz  
 Garagenschutz  
 Betriebsanleitung auf  
 Fahrzeug zugeschnitten  
 Crashtest

nein  
 nein  
 nein  
 nein  
 nein  
 isolierte Leitungen  
 nein  
 nein  
 ja  
 nein

Abbildung 20:  
 Motor und  
 Antriebs-  
 elektronik,  
 SCP4040



Abbildung 21:  
 Steck-  
 verbindung  
 Motor,  
 SCP4040



Abbildung 22:  
 Batterie,  
 SCP4040



Abbildung 23:  
 Anschluss  
 Batterie,  
 SCP4040



Abbildung 24:  
 Ladegerät,  
 SCP4040



Abbildung 25:  
 Ladeanzeige,  
 SCP4040



## 1.9 Town:e

Abbildung 26:  
Town:e



<b>Hersteller</b>	<b>Winora</b>
Listenpreis	2299,- €
<b>Technische Daten</b>	
Fahrzeugart	L1e
Karosserie	45cm Monotube Aluminium-Legierung 6061 T6
Höchstgeschwindigkeit	25 km/h
Beschleunigung	k.A. s
Steigfähigkeit	k.A. %
Reichweite	k.A. km
Verbrauch	k.A. Wh/km
Netzverbrauch	k.A. kWh/100km
Sitzplätze	1 Person(/en)
Zuladung	102 kg
Gepäckraum	25 Liter
zGM	127 kg
Leergewicht	25 kg
<b>Abmessungen</b>	k.A.
<b>Antrieb</b>	HR-Nabenmotor
Schaltung	Shimano Deore mix
Lenkung	Direkt
Reifen	20" 55-406
Wendekreis	k.A. m
<b>Bremsanlage</b>	Hydraulisch
vorn	Scheibe
hinten	Scheibe

<b>Batterie</b>	Li-Ion
Typ	LiPo
Zellenzahl	k.A.
Block	k.A.
Betriebsspannung	36 V
Arbeitsbereich	k.A. V
Nennkapazität	11 Ah
davon verfügbar	k.A. Ah
Hersteller	k.A.
<b>Ladegerät</b>	k.A.
Normalladung	230V / k.A.
Zeitdauer Normalladung	k.A.
Schnellladung	-
Lage des Anschlusses	hinten im Batteriefach
<b>Motor Art</b>	HR-Nabenmotor
Leistung	0,25 kW
Max. Drehmoment	k.A. Nm
Kühlung	Luft
Hersteller	Mionic EXP
<b>Antriebselektronik Art</b>	k.A.
<b>Bordnetzversorgung</b>	-
<b>Interner Laststrom</b>	-
<b>Komfort</b>	-
<b>Cockpitanzeige</b>	
Ladeanzeige / SOC	Akkusymbol 5 Segmente
Reichweite	nein
Strom	nein
<b>Geräusentwicklung</b>	k.A.
<b>Sicherheit</b>	
Rettungsdatenblatt	nein
Kabelmarkierung	nein
Galvanische Trennung	ja
Schutzschaltung	nein
Isolationswächter	nein
Verkabelung	nein
Losfahrerschutz	nein
Garagenschutz	nein
Betriebsanleitung auf Fahrzeug zugeschnitten	ja
Crashtest	k.A.

## 1.10 Zouma Elite

Abbildung 27:  
Zouma Elite



### Hersteller

Listenpreis

### Diamant

2799,- €

### Technische Daten

Fahrzeugart

L1e

Rahmen

hydrogeformter Aluminium-  
Rahmen H50-55-60

Höchstgeschwindigkeit

25 km/h

Beschleunigung

k.A. s

Steigfähigkeit

k.A. %

Reichweite

20 - 70 km

Verbrauch

k.A. Wh/km

Netzverbrauch

k.A. kWh/100km

Sitzplätze

1 Person(/en)

Zuladung

k.A. kg

Gepäckraum

k.A. Liter

zGM

k.A. kg

Leergewicht

21,8 kg

### Abmessungen

k.A.

### Antrieb

hinten; Nabenmotor

Schaltung

Shimano Deore LX 27-Gang

Lenkung

direkt

Reifen

Schwalbe Marathon Supreme

622 x 37

Wendekreis

k.A. m

### Bremsanlage

vorn

Tektro RX 6 Mini-V

hinten

Tektro RX 6 Mini-V

<b>Batterie</b>	Li-Ion
Typ	LiMn
Zellenzahl	44
Block	4
Betriebsspannung	40,7 V
Arbeitsbereich	k.A. V
Nennkapazität	6,4 Ah
davon verfügbar	6,3 Ah
Hersteller	k.A.
<b>Ladegerät</b>	
Normalladung	230V / 1,5A
Zeitdauer Normalladung	3 - 4h
Schnellladung	-
Lage des Anschlusses	-
<b>Motor Art</b>	HR-Nabenmotor
Leistung	0,25 kW
Max. Drehmoment	40 Nm
Kühlung	Luft
Hersteller	RoHs BionX
Maße d / l	255 / 55 mm / mm
<b>Antriebelektronik Art</b>	Brushless Drehstrom
Rekuperation	4 Stufen
Hersteller	BionX
<b>Bordnetzversorgung</b>	-
<b>Interner Laststrom</b>	-
<b>Komfort</b>	-
<b>Cockpitanzeige</b>	
Ladeanzeige / SOC	Balkenanzeige
Reichweite	nein
Strom	nein

## Geräusentwicklung

k.A.

## Sicherheit

Rettungsdatenblatt  
 Kabelmarkierung  
 Galvanische Trennung  
 Schutzschaltung  
 Isolationswächter  
 Verkabelung  
 Losfahrerschutz  
 Garagenschutz  
 Betriebsanleitung auf  
 Fahrzeug zugeschnitten  
 Crashtest

nein  
 nein  
 nein  
 nein  
 nein  
 isolierte Leitungen  
 nein  
 nein  
 ja  
 k.A.

Abbildung 28:  
 Motor und  
 Antriebs-  
 elektronik,  
 Zouma Elite



Abbildung 29:  
 Motor und  
 Antriebs-  
 elektronik,  
 Zouma Elite

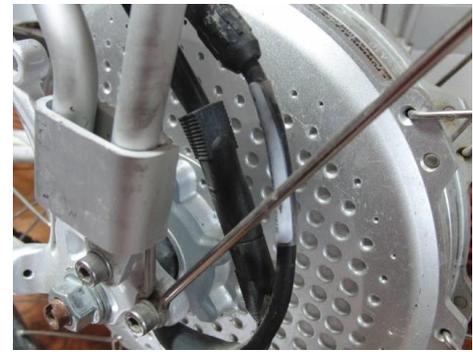


Abbildung 30:  
 Batterie,  
 Zouma Elite



Abbildung 31:  
 Ladegerät,  
 Zouma Elite



Abbildung 32:  
 Cockpit mit  
 Bedienungs-  
 -knöpfen,  
 Zouma Elite



## 1.11 Zouma Plus

Abbildung 33:  
Zouma Plus



### Hersteller

Listenpreis

### Diamant

2199,- €

### Technische Daten

Fahrzeugart  
Rahmen

L1e  
hydrogeformter Aluminium-  
Rahmen 45-50-55

Höchstgeschwindigkeit

25 km/h

Beschleunigung

k.A. s

Steigfähigkeit

k.A. %

Reichweite

20 - 70 km

Verbrauch

k.A. Wh/km

Netzverbrauch

k.A. kWh/100km

Sitzplätze

1 Person(/en)

Zuladung

k.A. kg

Gepäckraum

k.A. Liter

zGM

k.A. kg

Leergewicht

25,6 kg

### Abmessungen

Länge

1800 mm

Breite

645 mm

Höhe

1100 mm

Radstand

1080 mm

Spur vorn/hinten

- mm

Bodenfreiheit

- mm

Länge/Breite/Höhe

- mm

Innenraum

- mm

### Antrieb

Schaltung

hinten; Nabenmotor  
Shimano Deore LX 27-Gang

Lenkung

direkt

Reifen

Schwalbe Marathon Plus 37 x

622

Wendekreis

k.A. m

**Bremsanlage**

vorn	Shimano V-Bremse
hinten	Shimano V-Bremse

**Batterie**

Typ	Li-Ion
Zellenzahl	LiMn
Block	44
Betriebsspannung	4
Arbeitsbereich	40,7 V
Nennkapazität	k.A. V
davon verfügbar	6,4 Ah
Hersteller	6,3 Ah
	k.A.

**Ladegerät**

Normalladung	230V / 1,5A
Zeitdauer Normalladung	3 - 4h
Schnellladung	-
Lage des Anschlusses	k.A.

**Motor Art**

	HR-Nabenmotor
Leistung	0,25 kW
Max. Drehmoment	40 Nm
Kühlung	Luft
Hersteller	RoHs BionX
Maße d / l	255 / 55 mm / mm

**Antriebselektronik Art**

	Brushless Drehstrom
Rekuperation	4 Stufen
Hersteller	BionX

**Bordnetzversorgung**

-

**Interner Laststrom**

-

**Komfort**

-

**Cockpitanzeige**

Ladeanzeige / SOC	Balkenanzeige
Reichweite	nein
Strom	nein

## Geräusentwicklung

k.A.

## Sicherheit

Rettungsdatenblatt		nein
Kabelmarkierung		nein
Galvanische Trennung		ja
Schutzschaltung		nein
Isolationswächter		nein
Verkabelung	isolierte Leitungen	
Losfahrerschutz		nein
Garagenschutz		nein
Betriebsanleitung auf Fahrzeug zugeschnitten		ja
Crashtest		k.A.

Motor und Antriebs-  
elektronik, Zouma Plus  
Batterie, Zouma Plus  
Cockpit mit Bedienungs-  
knöpfen, Zouma Plus

siehe Abbildung 28

siehe Abbildung 30

siehe Abbildung 32

Motor und Antriebs-  
elektronik, Zouma Plus  
Ladegerät, Zouma Plus

siehe Abbildung 29

siehe Abbildung 31

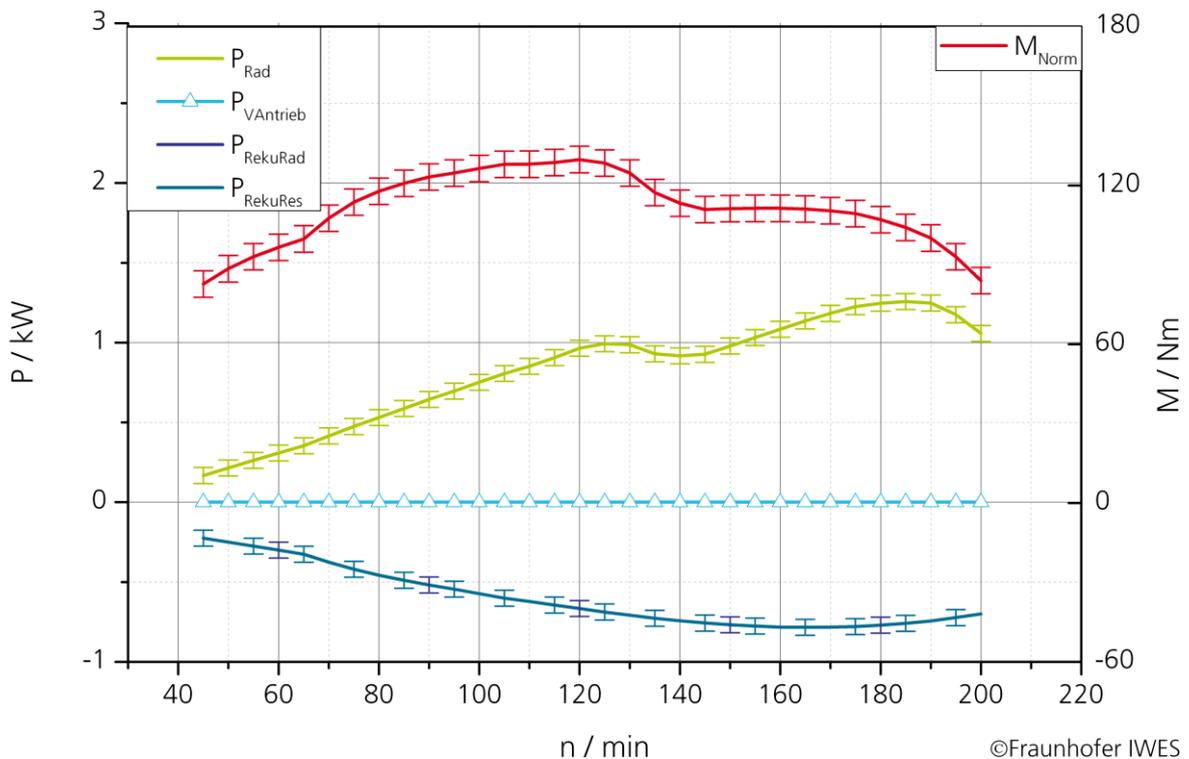


Diagramm 3: Leistungs- und Momentenkennlinien, Zouma Plus

## 1.12 Zouma Supreme

Abbildung 34:  
Zouma Supreme



### Hersteller

Listenpreis

### Diamant

3299,- €

### Technische Daten

Fahrzeugart

L1e

Rahmen

hydrogeformter Aluminium-  
Rahmen 50-55-60

Höchstgeschwindigkeit

20(Economic)/45(Power) km/h

Beschleunigung

k.A. s

Steigfähigkeit

k.A. %

Reichweite

20 - 70 km

Verbrauch

k.A. Wh/km

Netzverbrauch

k.A. kWh/100km

Sitzplätze

1 Person(/en)

Zuladung

108 kg

Gepäckraum

- Liter

zGM

130 kg

Leergewicht

22 kg

### Abmessungen

Länge

1800 – 1900 mm

Breite

580 – 700 mm

Höhe

1100 – 1400 mm

Radstand

1000 - 1200 mm

Spur vorn/hinten

- mm

Bodenfreiheit

- mm

Länge/Breite/Höhe

- mm

Innenraum

- mm

### Antrieb

hinten; Nabenmotor

Schaltung

Shimano DeoreXT

Lenkung

direkt

Reifen

37-622 / 40-622

Wendekreis

k.A. m

**Bremsanlage**

vorn hydraulische Felgenbremse  
hinten hydraulische Felgenbremse

**Batterie**

Typ Li-Ion  
LiMn  
Zellenzahl 44  
Block 4  
Betriebsspannung 40,7 V  
Arbeitsbereich k.A. V  
Nennkapazität 6,4 Ah  
davon verfügbar 6,3 Ah  
Hersteller k.A.

**Ladegerät**

Normalladung 230V / 1,5A  
Zeitdauer Normalladung 3 - 4h  
Schnellladung -  
Lage des Anschlusses k.A.

**Motor Art**

HR-Nabenmotor  
Leistung 0,25 kW  
Max. Drehmoment 40 Nm  
Kühlung Luft  
Hersteller RoHs BionX  
Maße d / l 255 / 55 mm / mm

**Antriebselektronik Art**

Brushless Drehstrom  
Rekuperation 4 Stufen  
Hersteller BionX

**Bordnetzversorgung**

-.

**Interner Laststrom**

-

**Komfort**

-

**Cockpitanzeige**

Ladeanzeige / SOC Balkenanzeige  
Reichweite nein  
Strom nein

## Geräusentwicklung

k.A.

## Sicherheit

Rettungsdatenblatt		nein
Kabelmarkierung		nein
Galvanische Trennung		ja
Schutzschaltung		nein
Isolationswächter		nein
Verkabelung	isolierte Leitungen	
Losfahrerschutz		nein
Garagenschutz		nein
Betriebsanleitung auf Fahrzeug zugeschnitten		ja
Crashtest		k.A.

Motor und Antriebs-  
elektronik, Zouma Supreme  
Batterie, Zouma Supreme

siehe Abbildung 28

siehe Abbildung 30

Motor und Antriebs-  
elektronik, Zouma Supreme  
Ladegerät, Zouma Supreme

siehe Abbildung 29

siehe Abbildung 31

Cockpit mit Bedienungs-  
knöpfen, Zouma Supreme

siehe Abbildung 32

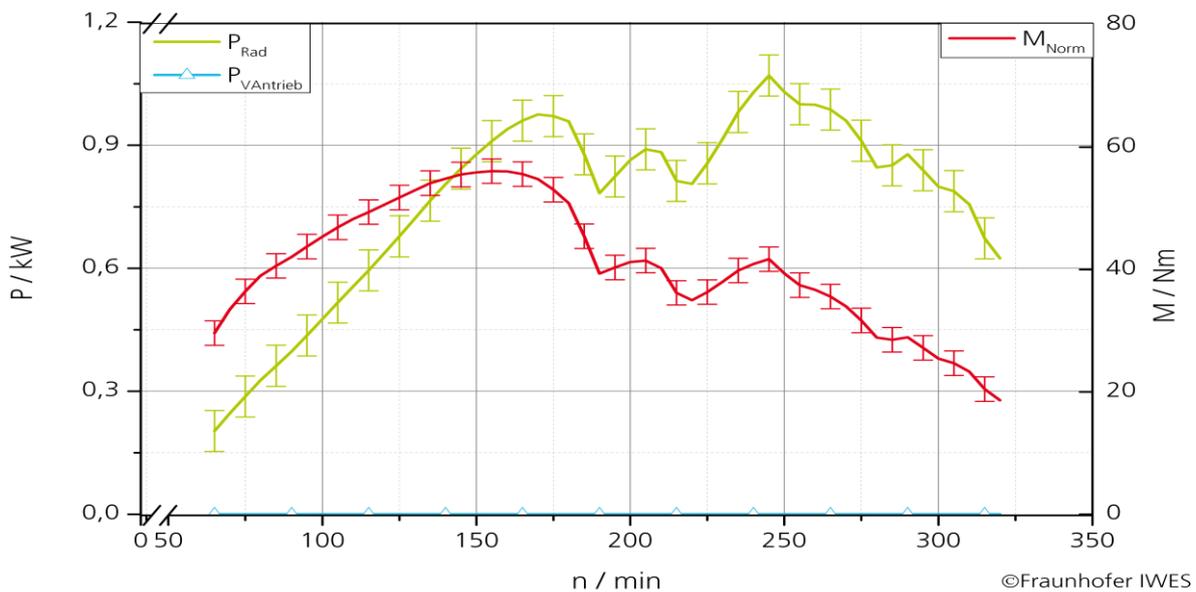


Diagramm 4: Leistungs- und Momentenkennlinien mit Schaltvorgängen nur mit Elektroantrieb, Zouma Supreme

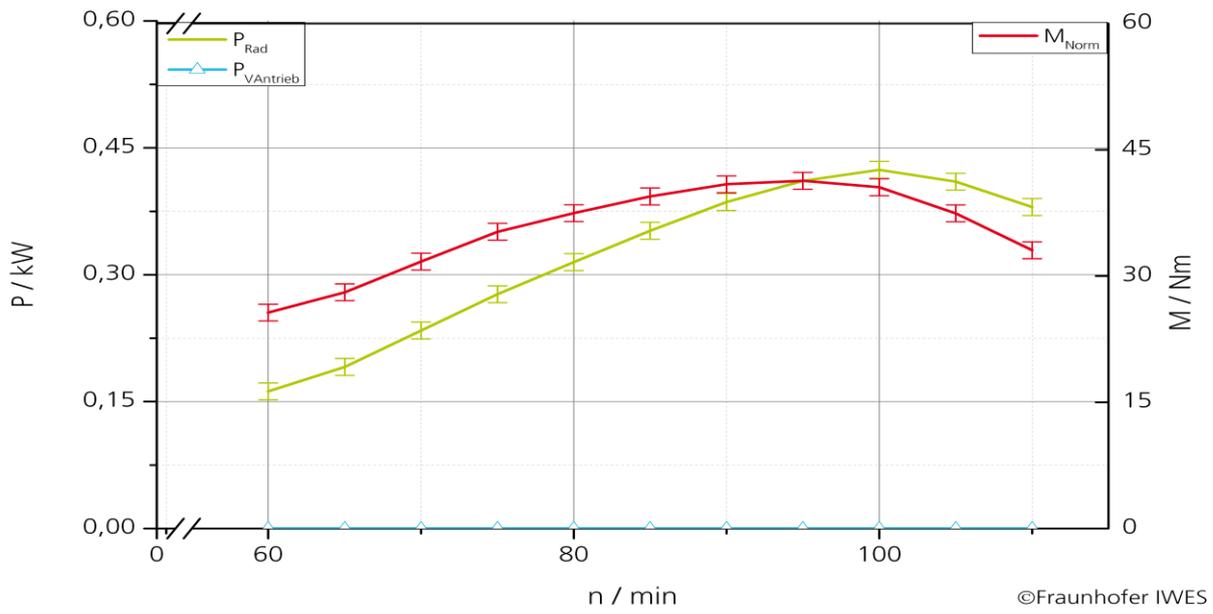


Diagramm 5: Leistungs- und Momentenkennlinien mit einem Gang und maximalen Kräfteinsatz, Zouma Supreme

## 2 Mehrspurig

### 2.1 CityEL

Abbildung 35: CityEL



#### Hersteller

Listenpreis

#### City-Com Smiles AG

9999,- (zusätzlich 1599,- bis €  
2999,- für die Batterie)

#### Technische Daten

Fahrzeugart

L2e o. L5e

Karosserie

Alu, Stahl, energie-  
absorbierender Hartschaum

Höchstgeschwindigkeit

45 – 63 km/h

Beschleunigung

k.A. s

Steigfähigkeit

14 – 18 %

Reichweite

60 – 120 km

Verbrauch

k.A. Wh/km

Netzverbrauch

k.A. kWh/100km

Sitzplätze

1 Person(/en)

Zuladung

140 – 180 kg

Gepäckraum

280 Liter

zGM

400 kg

Leergewicht

220 – 260 kg  
(incl. Batterien)

#### Abmessungen

Länge

2741 mm

Breite

1060 mm

Höhe

1260 mm

Radstand

1810 mm

Spur vorn/hinten

930 mm

Bodenfreiheit

120 mm

Länge/Breite/Höhe

k.A. mm

Innenraum

k.A. mm

<b>Antrieb</b>	Heckantrieb	
Getriebe	Direktantrieb über Duplexkette	
Lenkung	Kegel-Tellerrad	
Reifen (v / h)	80/70 – 16''	
Wendekreis	8,5	m
<b>Bremsanlage</b>	Hydraulische Zweikreisanlage	
vorn	Trommel	
hinten	Trommel	
<b>Batterie</b>	Li-Ion	
Typ	LiFePO	
Zellenzahl	15	
Block	1	
Betriebsspannung	36 oder 48	V
Arbeitsbereich	k.A.	V
Nennkapazität	60 – 100	Ah
davon verfügbar	k.A.	Ah
Hersteller	TS	
<b>Ladegerät</b>		
Normalladung	360V / k.A.	
Zeitdauer Normalladung	10h	
Schnellladung	k.A.	
Zeitdauer Schnellladung	1,5h	
Lage des Anschlusses	unter Sitz	
<b>Motor Art</b>	Scheibenläufermotor	
Leistung	2,5 max. 4,5	kW
Max. Drehmoment	k.A.	Nm
Kühlung	Luft	
Hersteller	Lynch	
Maße d / l	200 / 160	mm / mm
<b>Antriebselektronik Art</b>	PWM	
Rekuperation	nein	
Hersteller	Curtiss	
<b>Bordnetzversorgung</b>		
Spannung	12	V
DC/DC	k.A.	W
Batterie	nein	
Verbraucher	k.A.	W
<b>Interner Laststrom</b>		
Heizung	9 / 17	A
Lenkung	0,7 / 1	A
Klimaanlage	-	A

### Komfort

Heizung	elektrisch
Klimaanlage	nein
Elektrische Fensterheber	nein
Elektrische Außenspiegel	nein
Zentralverriegelung mit FB	nein
ASR / ESP	nein
Airbags	nein
Anhängekupplung	nein

### Cockpitanzeige

Ladeanzeige / SOC	ja
Reichweite	nein
Strom	ja

### Geräusentwicklung

Stand	0	dB
Fahrt	63	dB

### Sicherheit

Rettungsdatenblatt	nein
Kabelmarkierung	nein
Galvanische Trennung	nein
Schutzschaltung	nein
Isolationswächter	nein
Verkabelung	nein
Losfahrerschutz	ja
Garagenschutz	nein
Betriebsanleitung auf Fahrzeug zugeschnitten	ja
Crashtest	ja

Abbildung 36:  
Motor, CityEL



Abbildung 38:  
Ladegerät,  
CityEL



Abbildung 37:  
Batterie,  
CityEL



Abbildung 39:  
Steckverbinu  
ng  
Ladegerät,  
CityEL



Abbildung 40:  
Antriebs-  
elektronik,  
CityEL

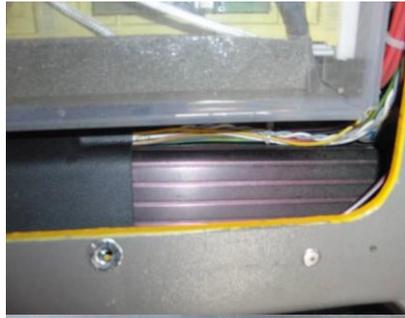


Abbildung 42:  
Sitzheizungs-  
regelung  
CityEL



Abbildung 44:  
Cockpit,  
CityEL



Abbildung 46:  
Lenkung,  
CityEL



Abbildung  
41:  
Heizungs-  
regelung,  
CityEL



Abbildung  
43:  
Cockpit,  
CityEL



Abbildung  
45:  
Lenkung,  
CityEL



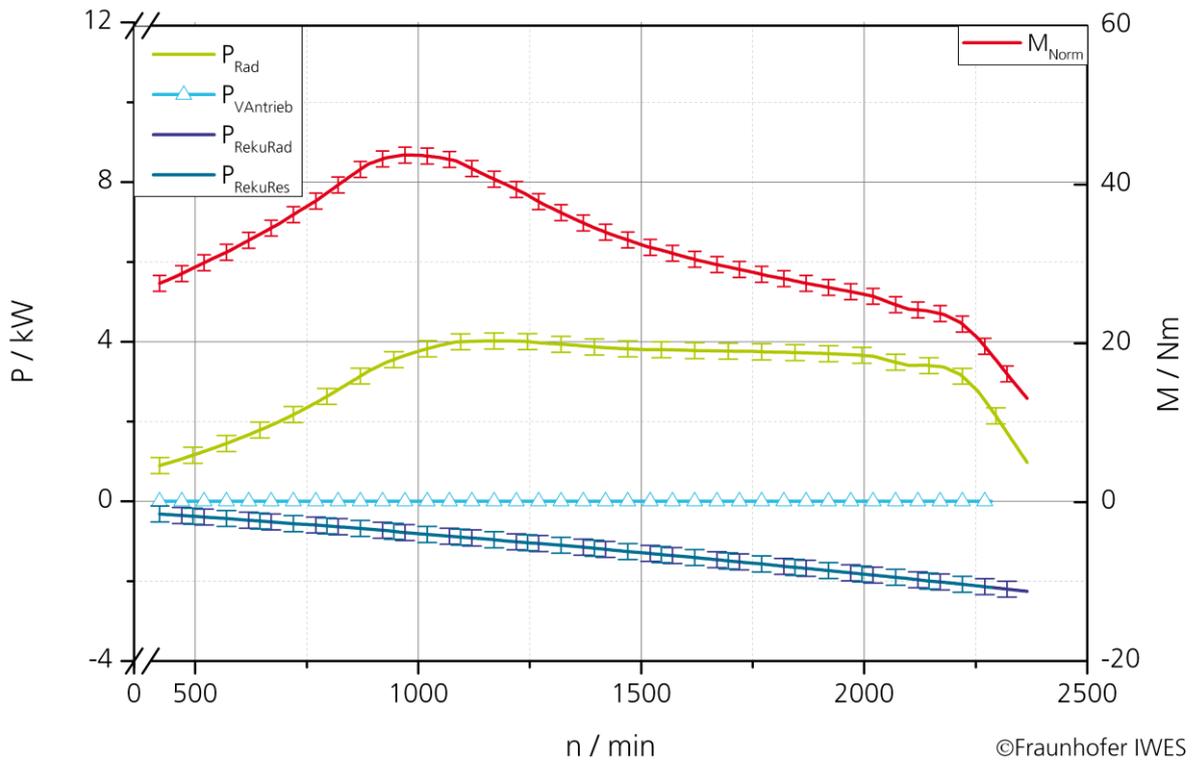


Diagramm 6: Leistungs- und Momentenkennlinien, CityEL

## 2.2 EcoCarrier

Abbildung 47:  
EcoCarrier



### Hersteller

**Ecocraft Automotive GmbH  
& CoKG**

Listenpreis 36900,- €

### Technische Daten

Fahrzeugart	N1	
Karosserie	Kunststoff	
Höchstgeschwindigkeit	75	km/h
Beschleunigung	8,5 ( 0 auf 50km/h)	s
Steigfähigkeit	k.A.	%
Reichweite	80	km
Verbrauch	k.A.	Wh/km
Netzverbrauch	10	kWh/100km
Sitzplätze	2 (3)	Person(/en)
Zuladung	900	kg
Gepäckraum	1800	Liter
zGM	2350	kg
Leergewicht	1450	kg
<b>Abmessungen</b>		
Länge	5300	mm
Breite	1750	mm
Höhe	2100	mm
Radstand	3600	mm
Spur vorn/hinten	1436 / 1500	mm
Bodenfreiheit	k.A.	mm
Länge/Breite/Höhe		
Innenraum	1350	mm
<b>Antrieb</b>		
Getriebe	Heckantrieb	
	einstufige Untersetzung ohne	
	Kupplung	
Lenkung	mechanisch	
Reifen (v / h)	195 / 70R15	
Wendekreis	k.A.	m

<b>Bremsanlage</b>	hydraulische Zweikreisbremse	
vorn	Scheiben, innen belüftet	
hinten	Trommel	
<b>Batterie</b>	Bleibatterie	
Typ	Blei Gel	
Zellenzahl	3	
Block	14	
Betriebsspannung	84	V
Arbeitsbereich	k.A.	V
Nennkapazität	180	Ah
davon verfügbar	k.A.	Ah
Hersteller	Sonnenschein	
<b>Ladegerät</b>		
Normalladung	230V / k.A.	
Zeitdauer Normalladung	k.A.	
Schnellladung	-	
Lage des Anschlusses	links hinter Führerhaus	
<b>Motor Art</b>	Drehstrom Asynchronmotor	
Leistung	15/5700 min <sup>-1</sup>	kW/min <sup>-1</sup>
Max. Drehmoment	950	Nm
Kühlung	Luft	
Hersteller	ABM Greiffenberger Antriebstechnik	
Maße d / l	k.A.	mm / mm
<b>Antriebselektronik Art</b>	Drehstrom Asynchron	
Rekuperation	ja	
Hersteller	ZIVAN	
<b>Bordnetzversorgung</b>		
Spannung	12	V
DC/DC	k.A.	W
Batterie	35	Ah
Verbraucher	k.A.	W
<b>Interner Laststrom</b>		
Heizung	15	A
Lenkung	-	A
Klimaanlage	-	A

### Komfort

Heizung	elektrisch
Klimaanlage	nein
Elektrische Fensterheber	nein
Elektrische Außenspiegel	nein
Zentralverriegelung mit FB	ja
ASR / ESP	nein
Airbags	nein
Anhängekupplung	ja (500kg)

### Cockpitanzeige

Ladeanzeige / SOC	ja
Reichweite	nein
Strom	nein

### Geräuscentwicklung

Stand	k.A.	dB
Fahrt	k.A.	dB

### Sicherheit

Rettungsdatenblatt	nein
Kabelmarkierung	nein
Galvanische Trennung	nein
Schutzschaltung	nein
Isolationswächter	nein
Verkabelung	isolierte Leitungen
Losfahrerschutz	nein
Garagenschutz	nein
Betriebsanleitung auf Fahrzeug zugeschnitten	ja
Crashtest	k.A.

Abbildung 48:  
Motor,  
EcoCarrier

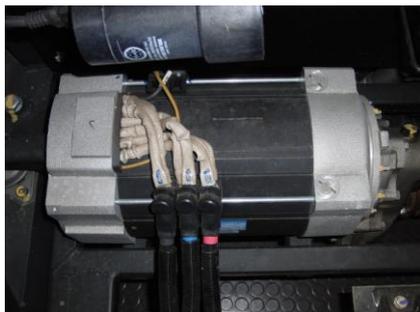


Abbildung 50:  
Batterie,  
EcoCarrier



Abbildung 49:  
Getriebe,  
EcoCarrier



Abbildung 51:  
Steckverbindung  
Ladegerät,  
EcoCarrier



Abbildung 52:  
Antriebs-  
elektronik,  
EcoCarrier

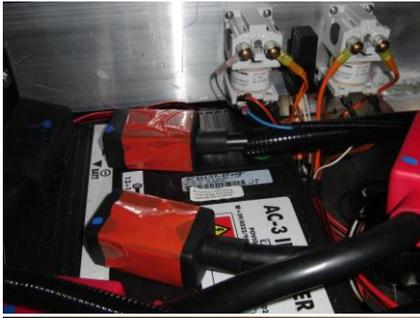


Abbildung 53:  
Cockpit,  
EcoCarrier



Abbildung 54:  
Heizungsreg-  
elung,  
EcoCarrier

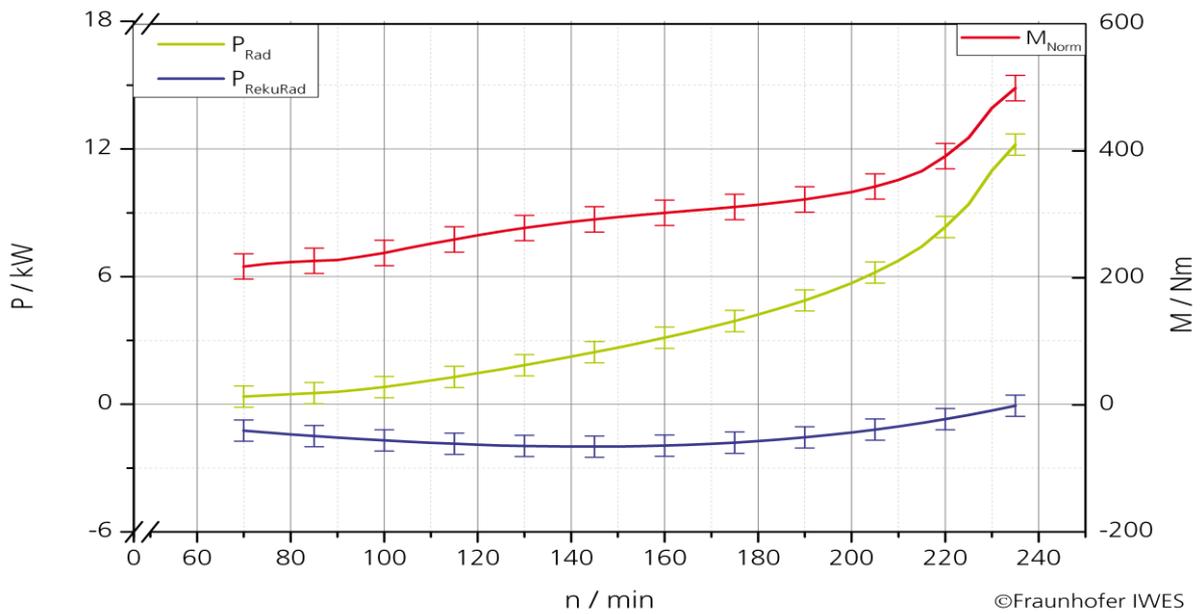


Diagramm 7: Leistungs- und Momentenkennlinien im E-Mode (keine Daten zur Verlustleistung), EcoCarrier

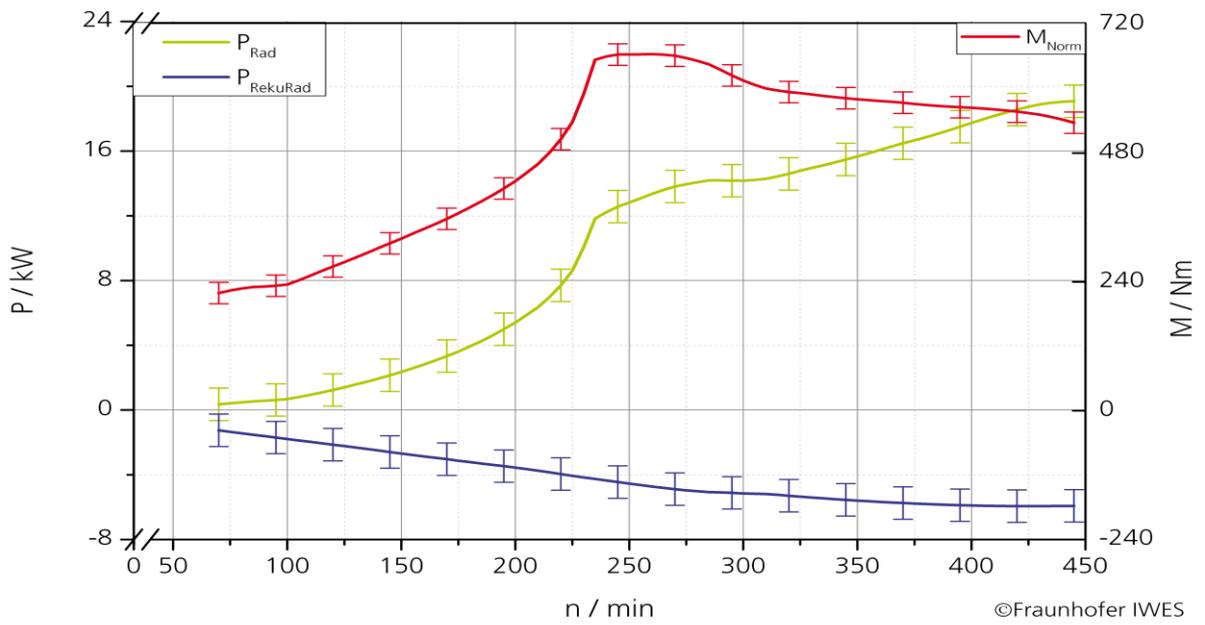


Diagramm 8: Leistungs- und Momentenkennlinien im N-Mode (keine Daten zur Verlustleistung), EcoCarrier

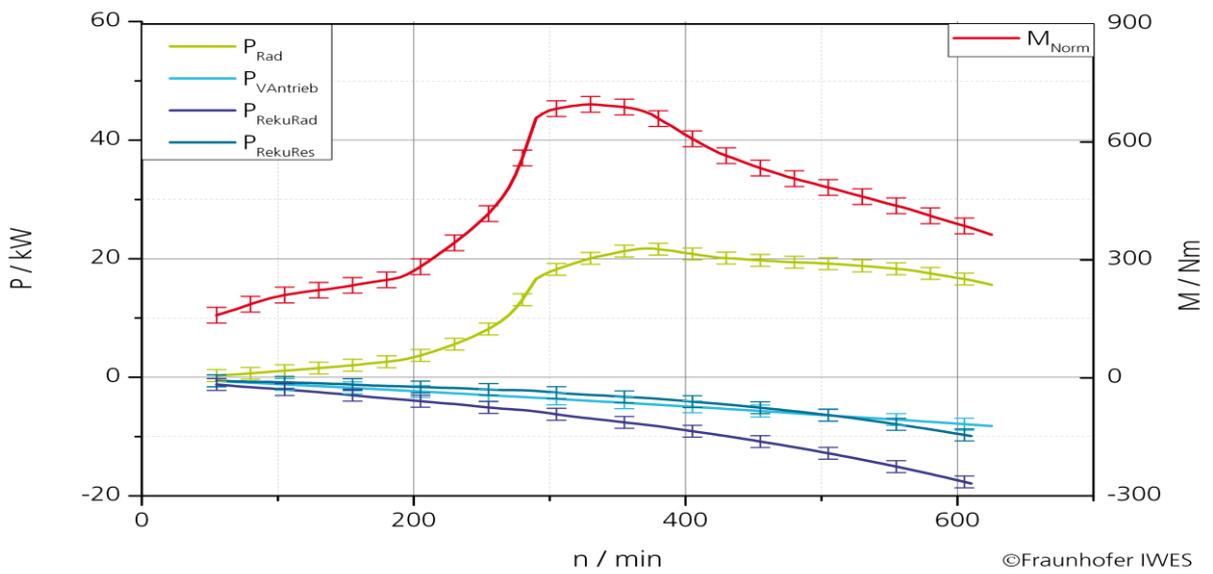


Diagramm 9: Leistungs- und Momentenkennlinien im H-Mode, EcoCarrier

## 2.3 Mülldiesel 2532

Abbildung 55:  
Mülldiesel 2532



<b>Hersteller</b>	<b>Faun</b>
Listenpreis	172000,- €
<b>Technische Daten</b>	
Fahrzeugart	N3
Karosserie	Fahrgestell Daimler, Aufbau FAUN
Höchstgeschwindigkeit	90 km/h
Beschleunigung	k.A. s
Steigfähigkeit	k.A. %
Reichweite	k.A. km
Verbrauch	k.A. Wh/km
Netzverbrauch	- kWh/100km
Sitzplätze	3 Person(/en)
Zuladung	11775 kg
Gepäckraum	- Liter
zGM	26000 kg
Leergewicht	14225 kg
<b>Abmessungen</b>	
Länge	8950 mm
Breite	2550 mm
Höhe	3650 mm
Radstand	k.A. mm
Spur vorn/hinten	k.A. mm
Bodenfreiheit	k.A. mm
Länge/Breite/Höhe	
Innenraum	k.A. mm
<b>Antrieb</b>	Heckantrieb 6x2
Getriebe	k.A.
Lenkung	servo, hydraulisch
Reifen (v / h)	315 / 70 R 22,5
Wendekreis	k.A. m

<b>Bremsanlage</b>	Druckluftbremsanlage
vorn	Scheibe
hinten	Scheibe
<b>Batterie</b>	-
<b>Ladegerät</b>	-
<b>Motor Art</b>	Diesel
Leistung	235 kW/n
Max. Drehmoment	k.A. Nm
Kühlung	Wasser
Hersteller	Daimler
Maße d / l	k.A. mm / mm
<b>Antriebselektronik Art</b>	-
<b>Bordnetzversorgung</b>	k.A.
<b>Interner Laststrom</b>	k.A.
<b>Komfort</b>	
Heizung	ja
Klimaanlage	ja
Elektrische Fensterheber	ja
Elektrische Außenspiegel	ja
Zentralverriegelung mit FB	ja
ASR / ESP	ja
Airbags	Fahrer
Anhängekupplung	nein
<b>Cockpitanzeige</b>	-
<b>Geräusentwicklung</b>	
Stand	80 dB
Fahrt	86 dB
<b>Sicherheit</b>	k.A.

## 2.4 Müllhybrid

Abbildung 56:  
Müllhybrid



<b>Hersteller</b>	<b>Faun</b>	
Listenpreis	k.A.	€
<b>Technische Daten</b>		
Fahrzeugart		N3
Karosserie		k.A.
Höchstgeschwindigkeit	90	km/h
Beschleunigung	k.A.	s
Steigfähigkeit	k.A.	%
Reichweite	k.A.	km
Verbrauch	k.A.	Wh/km
Netzverbrauch	k.A.	kWh/100km
Sitzplätze	3	Person(/en)
Zuladung	10280	kg
Gepäckraum	-	Liter
zGM	26500	kg
Leergewicht	16220	kg
<b>Abmessungen</b>		
Länge	10600	mm
Breite	2550	mm
Höhe	3550	mm
Radstand	k.A.	mm
Spur vorn/hinten	k.A.	mm
Bodenfreiheit	k.A.	mm
Länge/Breite/Höhe		
Innenraum	k.A.	mm
<b>Antrieb</b>		
	Heckantrieb	
Getriebe	Automatik	
Lenkung	hydraulisch unterstützt	
Reifen (v / h)	315 / 80 R 22,5	
Wendekreis	k.A.	m
<b>Bremsanlage</b>		
vorn	Druckluftbremsanlage	
hinten	Scheibe	
	Scheibe	

<b>Batterie</b>	-
<b>Ladegerät</b>	-
<b>Motor Art</b>	Drehstrom Synchron
Leistung	85 / 3000 kW/min <sup>-1</sup>
Max. Drehmoment	k.A. Nm
Kühlung	Luft
Hersteller	Faun
Maße d / l	k.A. mm / mm
<b>Antriebselektronik Art</b>	Wechselrichter
Rekuperation	ja
Hersteller	Siemens
<b>Bordnetzversorgung</b>	k.A.
<b>Interner Laststrom</b>	k.A.
<b>Komfort</b>	
Heizung	Wasserheizung über Fz-Motor
Klimaanlage	ja
Elektrische Fensterheber	ja
Elektrische Außenspiegel	ja
Zentralverriegelung mit FB	ja
ASR / ESP	ja
Airbags	Fahrer
Anhängekupplung	nein
<b>Cockpitanzeige</b>	
Ladeanzeige / SOC	Balkenanzeige und Prozentanzeige
Reichweite	nein
Strom	nein
<b>Geräuschentwicklung</b>	k.A.
<b>Sicherheit</b>	
Rettungsdatenblatt	nicht vorhanden
Kabelmarkierung	ja
Galvanische Trennung	ja
Schutzschaltung	ja
Isolationswächter	ja
Verkabelung	isolierte Leitungen
Losfahrerschutz	nein
Garagenschutz	nein
Betriebsanleitung auf Fahrzeug zugeschnitten	ja
Crashtest	nein

Abbildung 57:  
Elektromotor,  
Faun Hybrid



Abbildung 58:  
Elektromotor mit  
Verteilgetriebe,  
Faun Hybrid

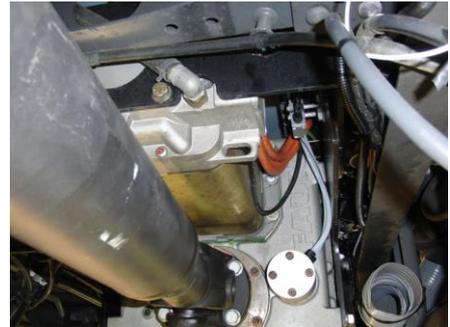


Abbildung 59:  
Antriebs-  
elektronik,  
Faun Hybrid



Abbildung 60:  
Energimono-  
nitor, Faun  
Hybrid



Abbildung 61:  
Fahrsteuerung,  
Faun Hybrid



Abbildung 62:  
Bedienhebel und  
Feststellbremse



Abbildung 63:  
Armaturenbrett  
mit Klima-  
und  
Heizungsregelung,  
Faun  
Hybrid



## 2.5 i MiEV

Abbildung 64:  
i MiEV



### Hersteller

Listenpreis

### Mitsubishi-Motors

34990,- €

### Technische Daten

Fahrzeugart

PKW

Karosserie

RISE Sicherheits-Karosserie

Höchstgeschwindigkeit

130 km/h

Beschleunigung

15,9 (0 auf 100km/h) s

Steigfähigkeit

k.A. %

Reichweite

150 km

Verbrauch

135 Wh/km

Netzverbrauch

- kWh/100km

Sitzplätze

4 Person(/en)

Zuladung

340 kg

Gepäckraum

227 – 860 Liter

zGM

1450 kg

Leergewicht

1110 kg

### Abmessungen

Länge

3475 mm

Breite

1475 mm

Höhe

1610 mm

Radstand

2550 mm

Spur vorn/hinten

1310 / 1270 mm

Bodenfreiheit

150 mm

Länge/Breite/Höhe

Innenraum

1790/1290/1250 mm

### Antrieb

Heckantrieb

Getriebe

Automatik

Lenkung

Elektrische Servolenkung

Reifen (v / h)

145 / 65 R 15 ; 175 / 55 R 15

Wendekreis

9 m

<b>Bremsanlage</b>	ABS mit EBD	
vorn	Scheibe	
hinten	Trommel	
<b>Batterie</b>	Li-Ion	
Typ	LiFePO	
Zellenzahl	88	
Block	k.A.	
Betriebsspannung	330	V
Arbeitsbereich	k.A.	V
Nennkapazität	48	Ah
davon verfügbar	k.A.	Wh
Hersteller	k.A.	
<b>Ladegerät</b>		
Normalladung	230V / k.A.	
Zeitdauer Normalladung	6h	
Schnellladung	200V / 125A	
Zeitdauer Schnellladung	30min (80%)	
Lage des Anschlusses	hinten rechts(Normalladung), hinten links(Schnellladung)	
<b>Motor Art</b>	Synchronmotor (permanentmagnetisch)	
Leistung	49 / 67	kW / PS
Max. Drehmoment	180/0-2000	Nm/min <sup>-1</sup>
Kühlung	k.A.	
Hersteller	k.A.	
Maße d / l		mm / mm
<b>Antriebselektronik Art</b>	k.A.	
Rekuperation	ja	
Hersteller	k.A.	
<b>Bordnetzversorgung</b>		
Spannung	12	V
DC/DC	k.A.	W
Batterie	k.A.	Ah
Verbraucher	k.A.	W
<b>Interner Laststrom</b>		
Heizung	0,3	A
Lenkung	k.A.	A
Klimaanlage	0,4	A

### Komfort

Heizung	elektrisch
Klimaanlage	ja
Elektrische Fensterheber	ja
Elektrische Außenspiegel	ja
Zentralverriegelung mit FB	ja
ASR / ESP	MASC / MATC
Airbags	Fahrer, Seiten, deaktivierbar Bei.
Anhängekupplung	nein

### Cockpitanzeige

Ladeanzeige / SOC	ja
Reichweite	ja
Strom	ja

### Geräusentwicklung

k.A.

### Sicherheit

Rettungsdatenblatt	vorhanden
Kabelmarkierung	ja
Galvanische Trennung	ja
Schutzschaltung	k.A.
Isolationswächter	ja
Verkabelung	isolierte Leitungen
Losfahrerschutz	ja
Garagenschutz	nein
Betriebsanleitung auf Fahrzeug zugeschnitten	ja
Crashtest	ADAC

Abbildung 65: Antriebs-elektronik, i MiEV



Abbildung 66: Ladegerät und DC/DC, i MiEV



Abbildung 67: Steck-verbinding Ladegerät onboard 230V, i MiEV



Abbildung 68: Steck-verbinding Ladegerät offboard Schnell-ladung, i MiEV



Abbildung 69:  
Cockpit,  
i MiEV



Abbildung 70:  
Cockpit,  
i MiEV



Abbildung 71:  
Wählhebel,  
i MiEV



Abbildung 72:  
Heizungs-  
regelung,  
i MiEV

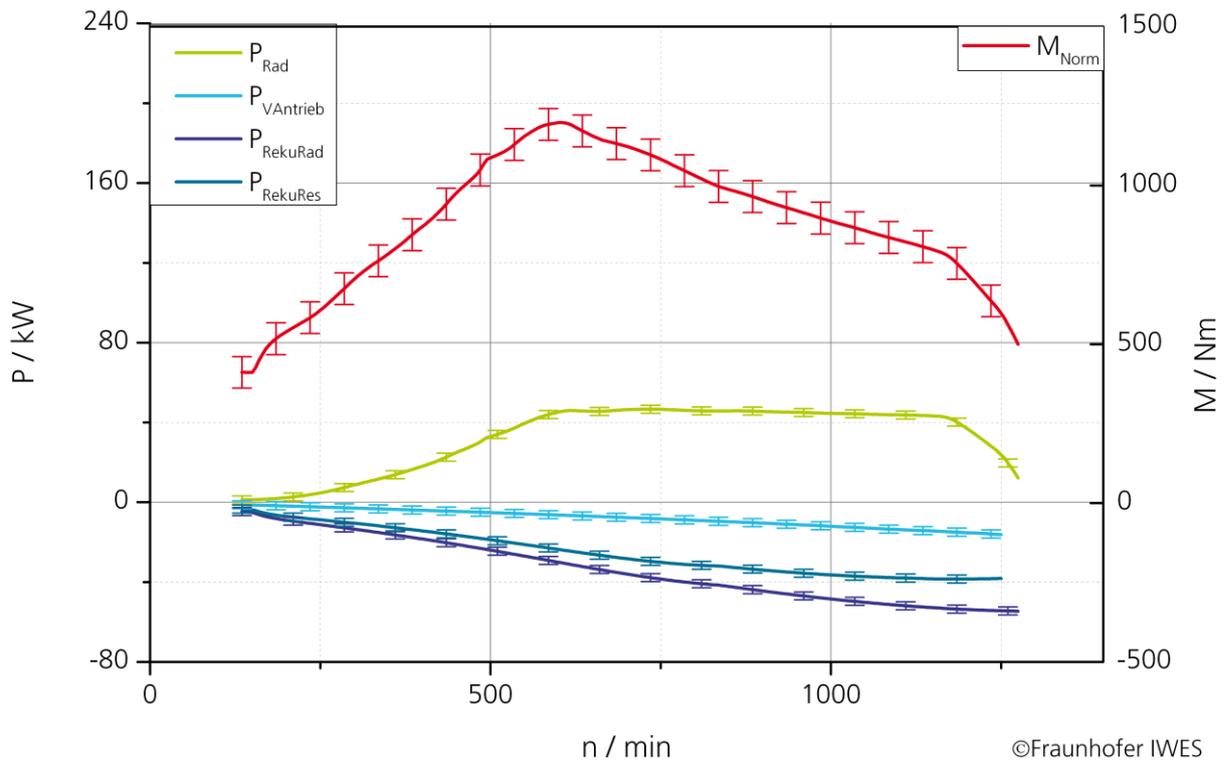


Diagramm 10: Leistungs- und Momentenkennlinien, i MiEV

## 2.6 Modec UPS

Abbildung 73:  
Modec UPS



<b>Hersteller</b>	<b>Modec</b>	
Listenpreis	k.A.	€
<b>Technische Daten</b>		
Fahrzeugart	N2	
Karosserie	k.A.	
Höchstgeschwindigkeit	80	km/h
Beschleunigung	k.A.	s
Steigfähigkeit	k.A.	%
Reichweite	70 – 100	km
Verbrauch	k.A.	Wh/km
Netzverbrauch	k.A.	kWh/100km
Sitzplätze	2	Person(/en)
Zuladung	1630	kg
Gepäckraum	15	m <sup>3</sup>
zGM	5500	kg
Leergewicht	3870	kg
<b>Abmessungen</b>		
Länge	7170	mm
Breite	2015	mm
Höhe	2960	mm
Radstand	3600	mm
Spur vorn/hinten	k.A.	mm
Bodenfreiheit	k.A.	mm
Länge/Breite/Höhe Innenraum	4100/1850/1950	mm
<b>Antrieb</b>	Heckantrieb	
Getriebe	Automatik	
Lenkung	Elektrohydraulische Servolenkung	
Reifen (v / h)	205/75 R 17.5	
Wendekreis	10,8	m

<b>Bremsanlage</b>	zweikreis Hydraulik mit ABS	
vorn	Scheibe	
hinten	Trommel	
<b>Batterie</b>	Li-Ion	
Typ	k.A.	
Zellenzahl	k.A.	
Block	k.A.	
Betriebsspannung	k.A.	V
Arbeitsbereich	k.A.	V
Nennkapazität	51	kWh
davon verfügbar	k.A.	Wh
Hersteller	k.A.	
<b>Ladegerät</b>		
Normalladung	230V /	k.A.
Zeitdauer Normalladung	k.A.	
Schnellladung	-	
Lage des Anschlusses	k.A.	
<b>Motor Art</b>		
Leistung	70/5500	kW/min <sup>-1</sup>
Max. Drehmoment	300	Nm
Kühlung	k.A.	
Hersteller	Zytek	
Masse	105	kg
<b>Antriebselektronik Art</b>	k.A.	
<b>Bordnetzversorgung</b>	k.A.	
<b>Interner Laststrom</b>	k.A.	
<b>Komfort</b>	k.A.	
<b>Cockpitanzeige</b>	k.A.	
<b>Geräusentwicklung</b>		
Stand	k.A.	dB
Fahrt	75	dB
<b>Sicherheit</b>	k.A.	

## 2.7 Mega Multitruck

Abbildung 74:  
Mega Multitruck



### Hersteller

Listenpreis

### AIXAM MEGA

21284,- €

### Technische Daten

Fahrzeugart

L7e

Karosserie

Kunststoff

Höchstgeschwindigkeit

45 km/h

Beschleunigung

k.A. s

Steigfähigkeit

20 %

Reichweite

70 km

Verbrauch

k.A. Wh/km

Netzverbrauch

k.A. kWh/100km

Sitzplätze

2 Person(/en)

Zuladung

400 kg

Gepäckraum

3000 Liter

zGM

1120 kg

Leergewicht

720 kg

### Abmessungen

Länge

1800 – 2500 mm

Breite

1476 – 1550 mm

Höhe

1800 - 2500 mm

Radstand

2325 mm

Spur vorn/hinten

1299 / 1273 mm

Bodenfreiheit

k.A. mm

Länge/Breite/Höhe

Innenraum

1505/1415/1468 mm

### Antrieb

Frontantrieb

Getriebe

einstufig

Lenkung

manuell

Reifen (v / h)

145 / 70 R 13 ; 145 / 70 R 13

Wendekreis

k.A. m

<b>Bremsanlage</b>	hydraulische Zweikreisbremse
<b>Batterie Typ</b>	Blei / Li-Ion
Zellenzahl	6 / 15
Block	12 / k.A.
Betriebsspannung	48 / 54 V
Arbeitsbereich	k.A. V
Nennkapazität	200 Ah
davon verfügbar	k.A. Ah
Hersteller	ABT / TS
<b>Ladegerät</b>	onboard
Normalladung	230V / k.A.
Zeitdauer Normalladung	k.A.
Schnellladung	-
Lage des Anschlusses	links hinter Fahrertür
<b>Motor Typ</b>	DLGF 112200-4
Leistung	8/3400 kW/min <sup>-1</sup>
Max. Drehmoment	k.A. Nm
Kühlung	Luft
Hersteller	ABM
Maße d / l	k.A. mm / mm
<b>Antriebelektronik Art</b>	Drehstrom
Rekuperation	ja
Hersteller	Sevcon
<b>Bordnetzversorgung</b>	
Spannung	12 V
DC/DC	300 W
Batterie	40 Ah
Verbraucher	k.A. W
<b>Interner Laststrom</b>	
Heizung	17 A
Lenkung	- A
Klimaanlage	- A
<b>Komfort</b>	
Heizung	elektrisch
Klimaanlage	nein
Elektrische Fensterheber	nein
Elektrische Außenspiegel	nein
Zentralverriegelung mit FB	nein
ASR / ESP	nein
Airbags	nein
Anhängekupplung	nein

### Cockpitanzeige

Ladeanzeige / SOC

Reichweite

Strom

ja

nein

ja

### Geräusentwicklung

k.A.

### Sicherheit

Rettungsdatenblatt

Kabelmarkierung

Galvanische Trennung

Schutzschaltung

Isolationswächter

Verkabelung

Losfahrerschutz

Garagenschutz

Betriebsanleitung auf

Fahrzeug zugeschnitten

Crashtest

nein

nein

k.A.

nein

nein

isolierte Leitungen

ja

nein

ja

k.A.

Abbildung 75:  
Motor,  
Multitruck

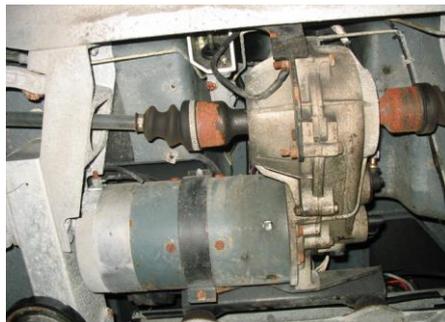


Abbildung 76:  
Batterie,  
Multitruck



Abbildung 77:  
Ladegerät,  
Multitruck



Abbildung 78:  
Steck-  
verbindung  
Ladegerät,  
Multitruck



Abbildung 79:  
Antriebs-  
elektronik,  
Multitruck



Abbildung 80:  
Cockpit,  
Multitruck



Abbildung 81:  
Wählhebel,  
Multitruck



Abbildung  
82:  
Energy-  
monotoring,  
Multitruck

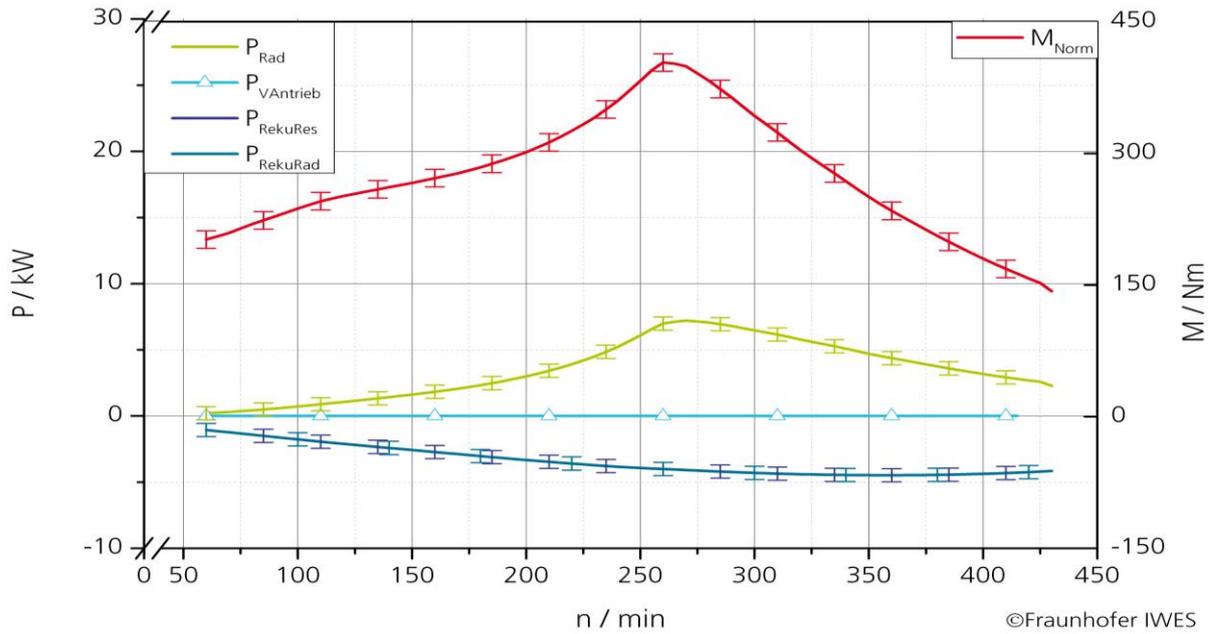


Diagramm 11: Leistungs- und Momentenkennlinien ohne Boost, Multitruck

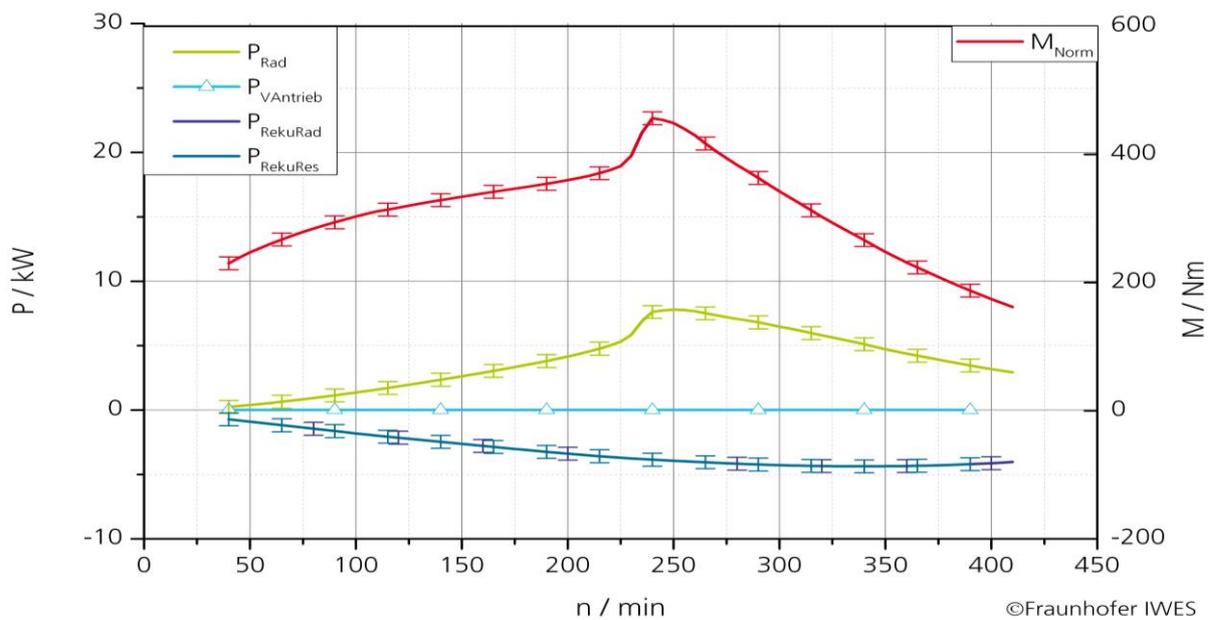


Diagramm 12: Leistungs- und Momentenkennlinien mit Boost, Multitruck

## 2.8 REVA i

Abbildung 83:  
REVA i



<b>Hersteller</b>	<b>Reva</b> (Indien)	
Listenpreis	14499,- bis 20299,-	€
<b>Technische Daten</b>		
Fahrzeugart	L7e	
Karosserie	Kunststoff	
Höchstgeschwindigkeit	75	km/h
Beschleunigung	7 (0 auf 40km/h)	s
Steigfähigkeit	18	%
Reichweite	50 – 100	km
Verbrauch	k.A.	Wh/km
Netzverbrauch	k.A.	kWh/100km
Sitzplätze	2 + 2	Person(/en)
Zuladung	230	kg
Gepäckraum	k.A.	Liter
zGM	940	kg
Leergewicht	700	kg
<b>Abmessungen</b>		
Länge	2640	mm
Breite	1320	mm
Höhe	1510	mm
Radstand	1810	mm
Spur vorn/hinten	1160	mm
Bodenfreiheit	118	mm
Länge/Breite/Höhe Innenraum	1450/1120/1180	mm
<b>Antrieb</b>	Heckantrieb	
Getriebe	konstant 9,4:1	
Lenkung	mechanisch	
Reifen (v / h)	145 / 70 R 13 ; 145 / 70 R 13	
Wendekreis	3,5 m	

<b>Bremsanlage</b>	zweikreisig hydraulisch ohne Unterstützung
vorn	Scheibe
hinten	Trommel
<b>Batterie Typ</b>	Bleisäure / Li-Ion
Zellenzahl	k.A.
Block	8
Betriebsspannung	48 V
Arbeitsbereich	36 – 64 V
Nennkapazität	200 Ah
davon verfügbar	k.A. Ah
Hersteller	TS
<b>Ladegerät</b>	
Normalladung	230V / 2,2kW
Zeitdauer Normalladung	9h (3h 80%)
Schnellladung	-
Lage des Anschlusses	hinten links
<b>Motor Art</b>	Drehstromasynchronmotor
Leistung	13 kW
Max. Drehmoment	52 Nm
Kühlung	Luft
Hersteller	k.A.
Maße d / l	k.A. mm / mm
<b>Antriebelektronik Art</b>	Drehstrom
Rekuperation	ja
Hersteller	Curtiss PMC
<b>Bordnetzversorgung</b>	
Spannung	12 V
DC/DC	400 W
Batterie	nein Ah
Verbraucher	- W
<b>Interner Laststrom</b>	k.A.

### Komfort

Heizung	elektrisch
Klimaanlage	nein
Elektrische Fensterheber	nein
Elektrische Außenspiegel	nein
Zentralverriegelung mit FB	ja
ASR / ESP	nein
Airbags	nein
Anhängerkupplung	nein

### Cockpitanzeige

Ladeanzeige / SOC	ja
Reichweite	ja
Strom	ja

### Geräuschentwicklung

k.A.

### Sicherheit

Rettungsdatenblatt	nein
Kabelmarkierung	nein
Galvanische Trennung	nein
Schutzschaltung	nein
Isolationswächter	nein
Verkabelung	isolierte Leitungen
Losfahrerschutz	ja
Garagenschutz	nein
Betriebsanleitung auf Fahrzeug zugeschnitten	ja
Crashtest	k.A.

Abbildung 84:  
Motor und  
Getriebe,  
REVA i



Abbildung 86:  
Batterie, REVA i



Abbildung 85:  
Lenkung,  
REVA i



Abbildung 87:  
Antriebs-  
elektronik,  
REVA i



Abbildung 88:  
Ladegerät  
und DC/DC,  
REVA i



Abbildung 90:  
Antriebs-  
elektronik,  
REVA i



Abbildung 92:  
Cockpit,  
REVA i



Abbildung 94:  
Wählhebel,  
REVA i



Abbildung 89:  
Steck-  
verbindung  
Ladegerät,  
REVA i



Abbildung 91:  
Batterie-  
management,  
REVA i



Abbildung 93:  
Cockpit, REVA i



Abbildung 95:  
Heizungs-  
regelung, REVA i



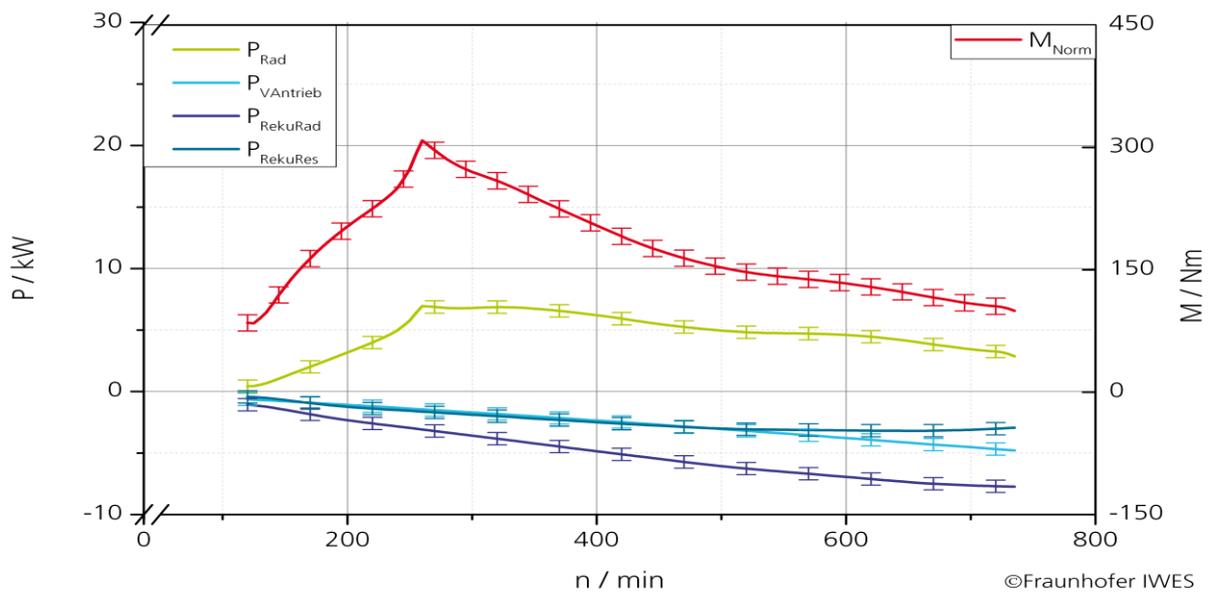


Diagramm 13: Leistungs- und Momentenkennlinien Stufe F, REVA i

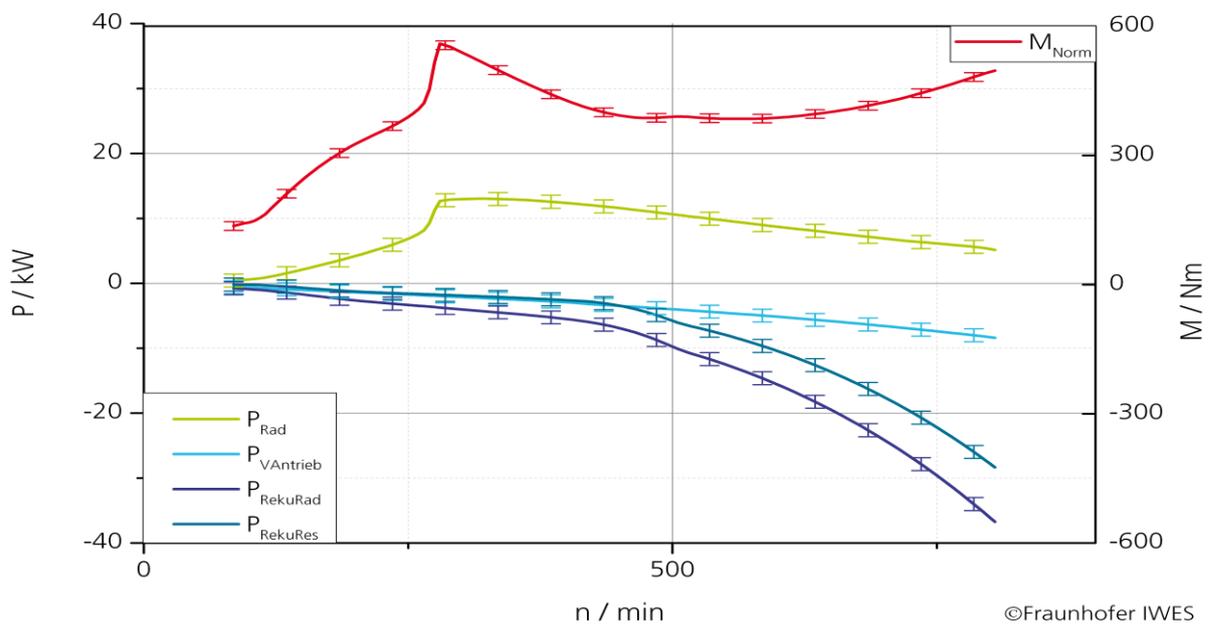


Diagramm 14: Leistungs- und Momentenkennlinien Stufe B, REVA i

## 2.9 Starlab Easy

Abbildung 96:  
Starlab Easy



<b>Hersteller</b>	<b>Starlab</b>
Listenpreis	19800,- €
<b>Technische Daten</b>	
Fahrzeugart	L7e
Karosserie	Kunststoff
Höchstgeschwindigkeit	65 km/h
Beschleunigung	k.A. s
Steigfähigkeit	18 %
Reichweite	bis zu 80 km
Verbrauch	k.A. Wh/km
Netzverbrauch	9 kWh/100km
Sitzplätze	2 Person(/en)
Zuladung	231 kg
Gepäckraum	263 Liter
zGM	741 kg
Leergewicht	510 kg
<b>Abmessungen</b>	
Länge	2405 mm
Breite	1240 mm
Höhe	1525 mm
Radstand	1725 mm
Spur vorn/hinten	1125 mm
Bodenfreiheit	k.A. mm
Länge/Breite/Höhe	
Innenraum	k.A. mm
<b>Antrieb</b>	Heckantrieb
Getriebe	einstufig
Lenkung	mechanisch
Reifen (v / h)	135 / 70 R 13 68T
Wendekreis	k.A. m

<b>Bremsanlage</b>	hydraulisch Zweikreisbremse	
vorn	Scheibe	
hinten	Trommel	
<b>Batterie</b>	Li-Ion	
Typ	LiPo	
Zellenzahl	14	
Block	k.A.	
Betriebsspannung	46,8	V
Arbeitsbereich	3,4 – 4,15 pro Zelle	V
Nennkapazität	100	Ah
davon verfügbar	80	Ah
Hersteller	Kokam	
<b>Ladegerät</b>	onboard	
Normalladung	230V / k.A.	
Zeitdauer Normalladung	7h	
Schnellladung	-	
Lage des Anschlusses	vorn, unter Frontscheibe	
<b>Motor Art</b>	Drehstrom	
Leistung	4 / 7	kW
Max. Drehmoment	k.A.	Nm
Kühlung	Luft	
Hersteller	k.A.	
Maße d / l	k.A.	mm / mm
<b>Antriebselektronik Art</b>	Wechselrichter	
Rekuperation	ja	
Hersteller	Curtiss	
<b>Bordnetzversorgung</b>		
Spannung	k.A.	V
Batterie	ohne	
Verbraucher	k.A.	W
<b>Interner Laststrom</b>	k.A.	
<b>Komfort</b>		
Heizung	elektrisch	
Klimaanlage	nein	
Elektrische Fensterheber	nein	
Elektrische Außenspiegel	nein	
Zentralverriegelung mit FB	nein	
ASR / ESP	nein	
Airbags	nein	
Anhängekupplung	nein	

### Cockpitanzeige

Ladeanzeige / SOC

ja

Reichweite

nein

Strom

ja

### Geräuscentwicklung

k.A.

### Sicherheit

Rettungsdatenblatt

nein

Kabelmarkierung

ja

Galvanische Trennung

k.A.

Schutzschaltung

k.A.

Isolationswächter

k.A.

Verkabelung

isolierte Leitungen

Losfahrerschutz

ja

Garagenschutz

nein

Betriebsanleitung auf

Fahrzeug zugeschnitten

ja

Crashtest

ja

Abbildung 97:  
Motor und  
Getriebe, Starlab  
Easy



Abbildung 98:  
Lekung,  
Starlab Easy

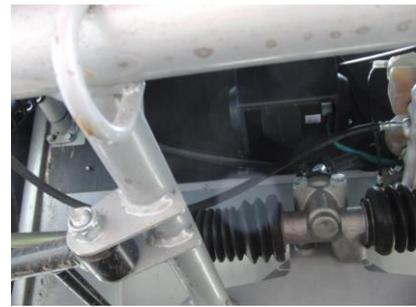


Abbildung 99:  
Steckverbindung  
Ladegerät,  
Starlab Easy



Abbildung  
100: Antriebs-  
elektronik,  
Starlab Easy



Abbildung 101:  
Cockpit,  
Starlab Easy



Abbildung  
102: Cockpit,  
Starlab Easy



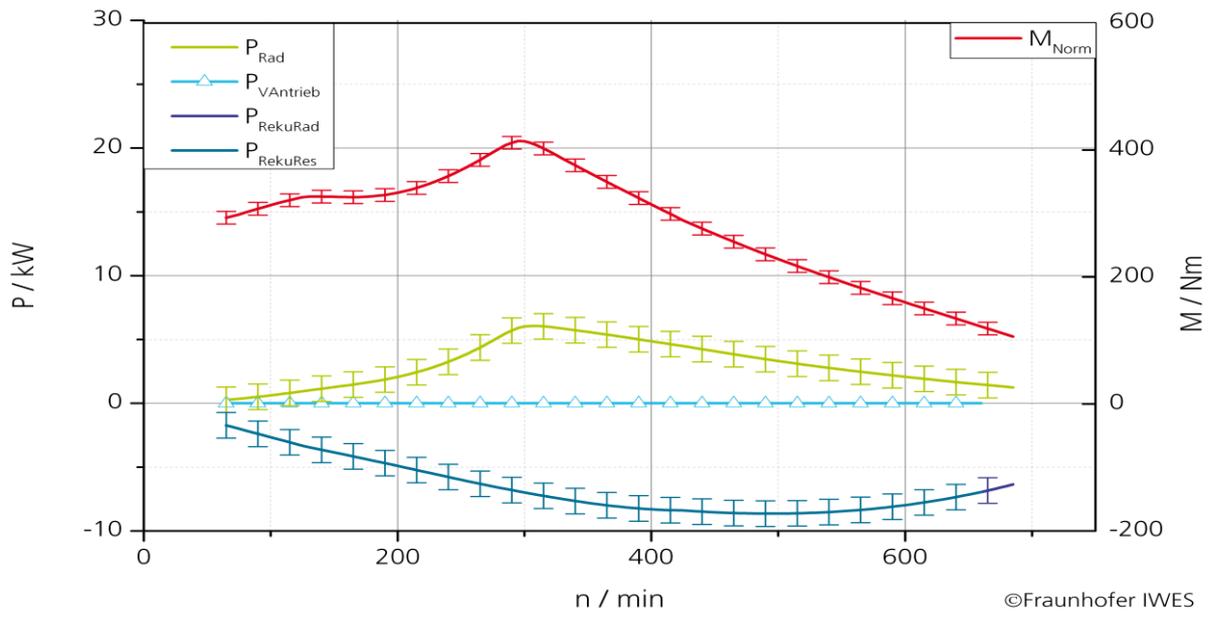


Diagramm 15: Leistungs - und Momentenkenlinien, Starlab Easy

## 2.10 Stromos

Abbildung 103:  
Stromos



### Hersteller

Listenpreis

### German E CARS

k.A. €

### Technische Daten

Fahrzeugart

M1

Karosserie

Stahlblech

Höchstgeschwindigkeit

120 km/h

Beschleunigung

k.A. s

Steigfähigkeit

k.A. %

Reichweite

70 – 100 km

Verbrauch

150 - 200 Wh/km

Netzverbrauch

k.A. kWh/100km

Sitzplätze

3 Person(/en)

Zuladung

240 kg

Gepäckraum

178 – 1050 Liter

zGM

1530 kg

Leergewicht

1290 kg

### Abmessungen

Länge

3730 mm

Breite

1680 mm

Höhe

1590 mm

Radstand

2360 mm

Spur vorn/hinten

1460 / 1470 mm

Bodenfreiheit

k.A. mm

Länge/Breite/Höhe

Innenraum

k.A. mm

### Antrieb

Fräger

Getriebe

5 Gang

Lenkung

elektrische Servolenkung

Reifen (v / h)

185 / 60 R 15 84H

Wendekreis

9,4 m

<b>Bremsanlage</b>	hydraulische Zweikreisbremse mit ABS und EBV	
vorn	Scheibe	
hinten	Trommel	
<b>Batterie</b>	Li-Ion	
Typ	LiFePO	
Zellenzahl	98	
Block	k.A.	
Betriebsspannung	k.A.	V
Arbeitsbereich	k.A.	V
Nennkapazität	60	Ah
davon verfügbar	k.A.	Ah
Hersteller	TS	
<b>Ladegerät</b>	onboard	
Normalladung	230V / k.A.	
Zeitdauer Normalladung	6h	
Schnellladung	-	
Lage des Anschlusses	hinten links	
<b>Motor Art</b>	Drehstrom Synchron	
Leistung	29 max 56	kW
Max. Drehmoment	140	Nm
Kühlung	Flüssigkeit	
Hersteller	Fräger FST3	
Maße d / l	k.A.	mm / mm
<b>Antriebselektronik Art</b>	Wechselrichter	
Rekuperation	ja	
Hersteller	Fräger FMC3	
<b>Bordnetzversorgung</b>		
Spannung	12	V
DC/DC	k.A.	W
Batterie	k.A.	Ah
Verbraucher	k.A.	W
<b>Interner Laststrom</b>	k.A.	
<b>Komfort</b>		
Heizung	elektrisch	
Klimaanlage	optional	
Elektrische Fensterheber	ja	
Elektrische Außenspiegel	nein	
Zentralverriegelung mit FB	ja	
ASR / ESP	k.A.	
Airbags	Fahrer, Beifahrer, Seiten	
Anhängekupplung	nein	

### Cockpitanzeige

Ladeanzeige / SOC  
Reichweite  
Strom

Prozent  
LCD Display  
LCD Display

### Geräuschentwicklung

Stand  
Fahrt

k.A. dB  
70 dB

### Sicherheit

Rettungsdatenblatt  
Kabelmarkierung  
Galvanische Trennung  
Schutzschaltung  
Isolationswächter  
Verkabelung  
Losfahrerschutz  
Garagenschutz  
Betriebsanleitung auf  
Fahrzeug zugeschnitten  
Crashtest

k.A.  
ja  
ja  
ja  
ja  
isolierte Leitungen  
ja  
nein  
ja  
k.A.

Abbildung 104:  
Motor und  
Getriebe,  
Stromos

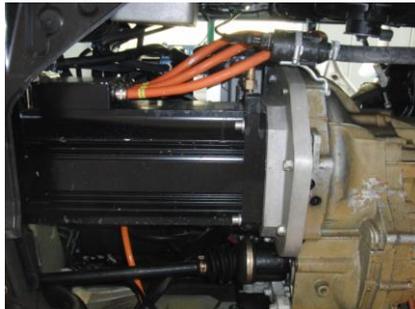


Abbildung 106:  
Batterie,  
Stromos



Abbildung 108:  
Batterie,  
Stromos



Abbildung 105:  
Lenkung,  
Stromos



Abbildung 107:  
Batterie,  
Stromos



Abbildung 109:  
Ladegerät,  
Stromos



Abbildung 110:  
Steck-  
verbindung,  
Stromos



Abbildung 112:  
DC/DC,  
Stromos



Abbildung 114:  
Energie-  
monitor,  
Stromos



Abbildung 111:  
Antriebs-  
elektronik,  
Stromos

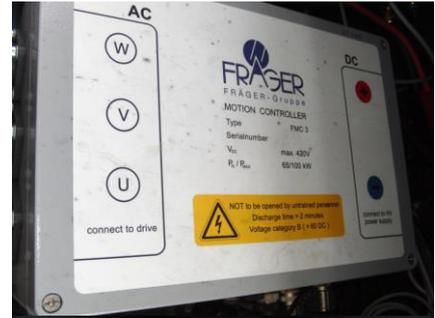


Abbildung 113:  
Cockpit,  
Stromos



Abbildung 115:  
Wählhebel und  
Heizungs-  
regelung,  
Stromos

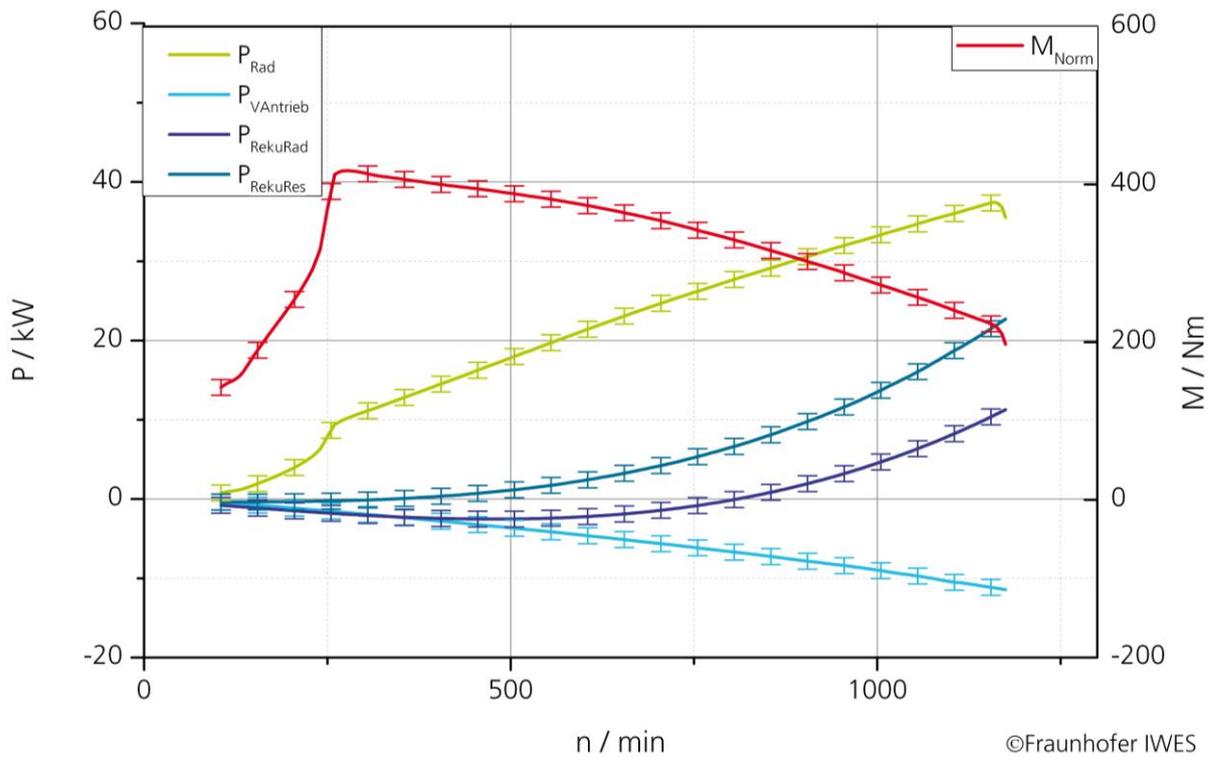


Diagramm 16: Leistungs- und Momentenkennlinien, Stromos

## 2.11 Tazzari Zero

Abbildung 116:  
Tazzari Zero



<b>Hersteller</b>	<b>Tazzari</b>	
Listenpreis	k.A.	€
<b>Technische Daten</b>		
Fahrzeugart	L7e	
Karosserie	k.A.	
Höchstgeschwindigkeit	k.A.	km/h
Beschleunigung	k.A.	s
Steigfähigkeit	k.A.	%
Reichweite	k.A.	km
Verbrauch	135	Wh/km
Netzverbrauch	k.A.	kWh/100km
Sitzplätze	2	Person(/en)
Zuladung	150	kg
Gepäckraum	30 + 150	Liter
zGM	692	kg
Leergewicht	542	kg
<b>Abmessungen</b>		
Länge	2880	mm
Breite	1560	mm
Höhe	1425	mm
Radstand	k.A.	mm
Spur vorn/hinten	k.A.	mm
Bodenfreiheit	180	mm
Länge/Breite/Höhe		
Innenraum	k.A.	mm
<b>Antrieb</b>	Heckantrieb	
Getriebe	k.A.	
Lenkung	k.A.	
Reifen (v / h)	175 / 55 R 15	
Wendekreis	k.A.	m

<b>Bremsanlage</b>	hydraulische Zweikreisbremse	
vorn	Scheibe	
hinten	Scheibe	
<b>Batterie</b>		LiFe
<b>Ladegerät</b>		
Normalladung	230V / k.A.	
Zeitdauer Normalladung	9h	
Schnellladung	Multifast 380	
Zeitdauer Schnellladung	50min (80%)	
Lage des Anschlusses	k.A.	
<b>Motor Art</b>	Drehstrom Asynchron	
Leistung	k.A.	kW / PS
Max. Drehmoment	150	Nm
Kühlung	k.A.	
Hersteller	k.A.	
Maße d / l	k.A.	mm / mm
<b>Antriebselektronik Art</b>		k.A.
Rekuperation		ja
Hersteller		k.A.
<b>Bordnetzversorgung</b>		k.A.
<b>Interner Laststrom</b>		k.A.
<b>Komfort</b>		
Heizung	elektrisch	
Klimaanlage	nein	
Elektrische Fensterheber	ja	
Elektrische Außenspiegel	ja	
Zentralverriegelung mit FB	ja	
ASR / ESP	nein	
Airbags	nein	
Anhängekupplung	nein	
<b>Cockpitanzeige</b>		
Ladeanzeige / SOC	10 Segmente	
Reichweite	nein	
Strom	nein	
<b>Geräusentwicklung</b>		k.A.
<b>Sicherheit</b>		k.A.

## 2.12 Twike

Abbildung 117:  
Twike



### Hersteller

Listenpreis

### Fine Mobile GmbH

ab 16590,- (ohne Batterien) €

### Technische Daten

Fahrzeugart

L5e

Karosserie

Aluminium

Space Frame mit Überrollbügel

Höchstgeschwindigkeit

85 km/h

Beschleunigung

9 (0 auf 60km/h) s

Steigfähigkeit

22 %

Reichweite

>200 km

Verbrauch

40 – 70 Wh/km

Netzverbrauch

k.A. kWh/100km

Sitzplätze

2 Person(/en)

Zuladung

266 kg

Gepäckraum

250 – 400 Liter

zGM

450 kg

Leergewicht

184 kg

### Abmessungen

Länge

2650 mm

Breite

1200 mm

Höhe

1250 mm

Radstand

1870 mm

Spur vorn/hinten

/1090 mm

Bodenfreiheit

k.A. mm

Länge/Breite/Höhe

k.A. mm

Innenraum

k.A. mm

### Antrieb

Getriebe

Heckantrieb

Lenkung

mechanisch

Reifen (v / h)

20 x 2,25 – 16 / 20 x 2,5 – 16

Wendekreis

k.A. m

<b>Bremsanlage</b>	hydraulische Zweikreisbremse	
vorn	Scheibe	
hinten	Trommel	
<b>Batterie</b>	Li-Ion	
Typ	LiMn	
Zellenzahl	392	
Block	-	
Betriebsspannung	353	V
Arbeitsbereich	k.A.	V
Nennkapazität	4,8 / 5,6	Ah
davon verfügbar	1,7	kWh
Hersteller	k.A.	
<b>Ladegerät</b>		
Normalladung	230V / k.A.	
Zeitdauer Normalladung	k.A.	
Schnellladung	-	
Lage des Anschlusses	intern	
<b>Motor Art</b>	Drehstrom Asynchron	
Leistung	3/2930 min <sup>-1</sup> (max 5kW)	kW
Max. Drehmoment	k.A.	Nm
Kühlung	k.A.	
Hersteller	k.A.	
Maße d / l	k.A.	mm / mm
<b>Antriebselektronik Art</b>	IGBT Wechselrichter	
Rekuperation	ja	
Hersteller	k.A.	
<b>Bordnetzversorgung</b>		
Spannung	12	V
DC/DC	k.A.	W
Batterie	nein	
Verbraucher	k.A.	W
<b>Interner Laststrom</b>	k.A.	
<b>Komfort</b>		
Heizung	nein	
Klimaanlage	nein	
Elektrische Fensterheber	nein	
Elektrische Außenspiegel	nein	
Zentralverriegelung mit FB	nein	
ASR / ESP	nein	
Airbags	nein	
Anhängekupplung	nein	

### Cockpitanzeige

Ladeanzeige / SOC

ja

Reichweite

ja

Strom

ja

### Geräusentwicklung

k.A.

### Sicherheit

Rettungsdatenblatt

nein

Kabelmarkierung

nein

Galvanische Trennung

ja

Schutzschaltung

nein

Isolationswächter

nein

Verkabelung

nein

Losfahrerschutz

nein

Garagenschutz

nein

Betriebsanleitung auf

Fahrzeug zugeschnitten

ja

Crashtest

k.A.

Abbildung 118:  
Lenkung mit  
Cockpit,  
Twike



Abbildung 120:  
Wählhebel,  
Twike



Abbildung 119:  
Ladegerät mit  
Steck-  
verbindung,  
Twike



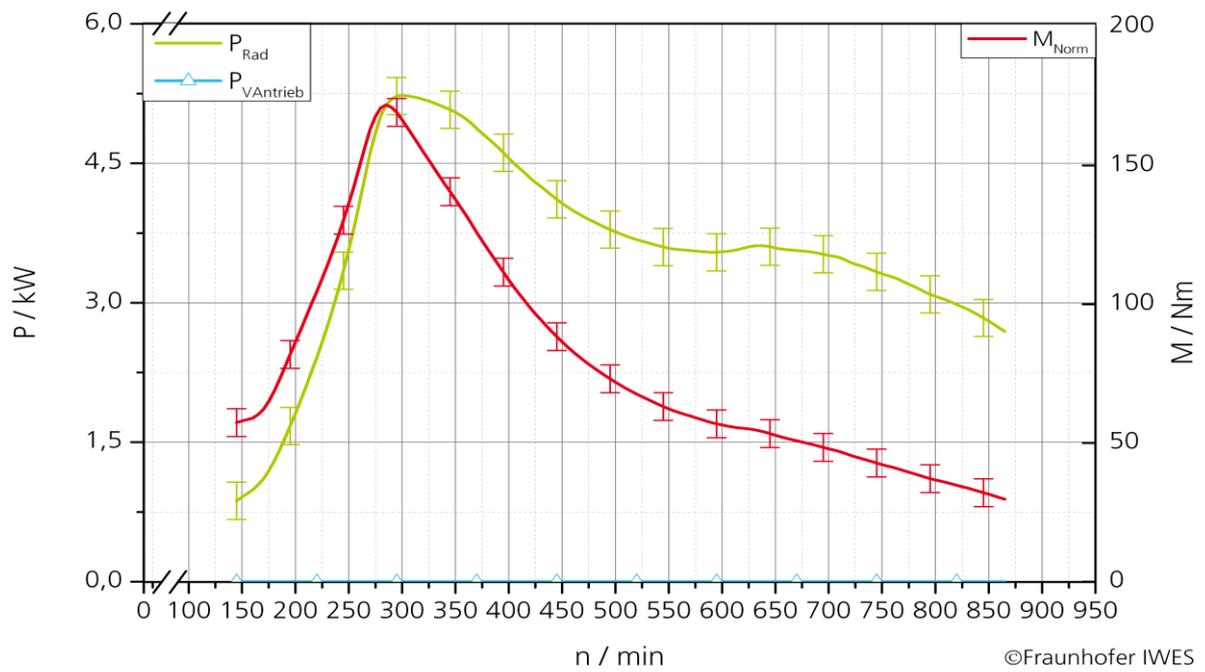


Diagramm 17: Leistungs- und Momentenkennlinie, Twike

## **Bericht Technische Begleitforschung**

Einsatz eines Müllfahrzeugs mit Hybridantrieb im Vergleich mit einem baugleichen Müllfahrzeug mit Standard Dieselantrieb

### **Bearbeiter:**

Roland Gaber  
Falk Gerner  
Markus Landau  
Hendrik Buff

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Verkehr, Bau  
und Stadtentwicklung

Koordiniert durch:



Offenbacher  
Dienstleistungs-  
gesellschaft mbH

# Inhalt

<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>0 Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2 Fahrzeugaufbauten</b>	<b>7</b>
2.1 Hybrid	7
2.2 Standard	9
<b>3 Kraftstoffverbrauch</b>	<b>10</b>
3.1 Aufgabenstellung	10
3.2 Versuchsaufbau	10
3.2.1 Datenerhebung	11
3.2.2 Verwendete Messtechnik	11
3.3 Versuchsdurchführung	11
3.4 Datenauswertung	12
3.5 Ergebnisse	13
3.6 Fazit	20
<b>4 Geräuschemissionen</b>	<b>21</b>
4.1 Aufgabenstellung	21
4.2 Einzelheiten zur Untersuchung	22
4.2.1 Versuchsaufbauten	23
4.2.2 Versuchsdurchführung	24
4.3 Ergebnisse	24
4.4 Diskussion und Beurteilung der Ergebnisse	31
4.5 Fazit	31
<b>5 Anhänge</b>	<b>32</b>
5.1 Betrachtungszeitraum Tageweise	32
5.2 Tabellenauswertung Tageweise	37

## Abbildungen

Abbildung 1: Systemarchitektur und Aufbau Hybrid	7
Abbildung 2: Mechanische Struktur von Antrieb und Nebenaggregaten	8
Abbildung 3: Elektrisches Stromversorgungsnetz	8
Abbildung 4: Systemarchitektur Standard	9
Abbildung 5: Messinfrastruktur Hybridfahrzeug	10
Abbildung 6: Verwendete Messtechnik	11
Abbildung 7: Wochentour der Fahrzeuge	13
Abbildung 8: Wochentour Standard	14
Abbildung 9: Wochentour Hybrid	15
Abbildung 10: Gesamtsteckenlänge	17
Abbildung 11: Gesamtfahrzeit	17
Abbildung 12: Gesamtverbrauch	18
Abbildung 13: Durchschnittsgeschwindigkeiten in den Betriebsarten	18
Abbildung 14: Verbrauch streckenbezogen	19
Abbildung 15: Verbrauch fahrzeitbezogen	19
Abbildung 16 : Verbrauch gewichtsbezogen	20
Abbildung 17: Faun Rotopress Dual Power auf dem Gelände des stillgelegten Griesheimer Flugplatzes	21
Abbildung 18: Faun Rotopress mit Standard Dieselmotor	22
Abbildung 19: Vorbeifahrt und Messungen im Stand Messaufbau Vorbeifahrt: rot markiert: Mikrofone, blau markiert: Lichtschranken.	23
Abbildung 20: Kunstkopf in der Fahrerkabine	24
Abbildung 21: Gesamtschalldruckpegel bei Vorbeifahrt 10 km/h, Außenmessung	25
Abbildung 22: Gesamtschalldruckpegel bei Vorbeifahrt 10 km/h, Innenraummessung	25
Abbildung 23: Gesamtschalldruckpegel bei Vorbeifahrt mit 30 km/h, Außenmessung	26
Abbildung 24: Gesamtschalldruckpegel bei Vorbeifahrt mit 30 km/h; Innenmessung	26
Abbildung 25: Gesamtschalldruckpegel beim Anfahren; Außenmessung	27
Abbildung 26: Gesamtschalldruckpegel beim Anfahren, Innenmessung	27
Abbildung 27: Gesamtschalldruckpegel beim Stop and Go-Betrieb, Außenmessung	28
Abbildung 28: Gesamtschalldruckpegel beim Stop and Go-Betrieb, Innenmessung	28
Abbildung 29: Gesamtschalldruckpegel bei der Trommeldrehung im Stand, Außenmessung	29
Abbildung 30: Gesamtschalldruckpegel bei der Trommeldrehung im Stand, Innenmessung	29
Abbildung 31: Gesamtschalldruckpegel bei der Schüttung der Mülltonnen, Außenmessung	30
Abbildung 32: Gesamtschalldruckpegel bei der Schüttung der Mülltonnen, Innenmessung	30
Abbildung 33: Tagestour Montag	32
Abbildung 34: Tagestour Dienstag	33
Abbildung 35: Tagestour Mittwoch	34
Abbildung 36: Tagestour Donnerstag	35
Abbildung 37: Tagestour Freitag	36

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kurzübersicht Kraftstoffverbrauch im Wochenbetrieb	4
Tabelle 2: Wochenübersicht	16
Tabelle 3: Übersicht der durchgeführten Außen- und Innenmessungen für beide Fahrzeugtypen	24
Tabelle 4: Tagesübersicht Montag	37
Tabelle 5: Tagesübersicht Dienstag	37
Tabelle 6: Tagesübersicht Mittwoch	37
Tabelle 7: Tagesübersicht Donnerstag	38
Tabelle 8: Tagesübersicht Freitag	38

## 0 Zusammenfassung

Der Einsatz von Fahrzeugen mit hybrider Antriebstechnik verspricht Vorteile beim Verbrauch von Kraftstoff und der Minderung von Geräuschemissionen. In diesem Projekt wurden diese Vorteile mit 2 Müllfahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebssystemen, einem konventionellem Dieselantrieb und einem Hybridantrieb, im Alltagsbetrieb verglichen.

### **Kraftstoffverbrauch**

Für den vorliegenden Bericht wurden die in den Datenloggern aufgezeichneten Verbrauchsdaten eines Müllhybrid- und eines konventionellen Fahrzeugs ausgewertet. Händische Aufzeichnungen und abgelesene Messwerte wurden in den Berechnungen mit einbezogen.

Der Betrachtungszeitraum wurde so gewählt, dass beide Müllfahrzeuge jeweils für eine Woche auf derselben Strecke im Sammelrevier unterwegs waren. Ermittelt wurden insbesondere der streckenbezogene Energieverbrauch im Fahr- und Sammelbetrieb, bezogen auf die Abladegewichte und die Geräuschemissionen. Diese wurden durch das Fraunhofer LBF auf dem ehemaligen Flugplatz in Griesheim gemessen.

Der Kraftstoffverbrauch wurde bei den beiden Fahrzeugen während der gesamten Sammeltour, vom Start bis Ende, im Fahr- und der reinen Sammeltour im Sammelrevier (von Tonne zu Tonne) ermittelt. Die gesamte Tages-Sammeltour setzt sich, je nach Müllaufkommen, aus zwei bis drei Einzeltouren zusammen. Dem Fahrzeugführer wird dabei durch eine optische Anzeige die aktuelle Gewichtsverteilung auf die Einzelachsen und Gesamtgewicht angezeigt und muss durch die maximale Zuladung die Sammeltour unterbrechen und die Abfall-Sammelstelle anfahren. Bauartbedingt hat das Hybridfahrzeug ca. 23 % weniger Nutzlast. In der entsprechenden Vergleichswoche keine dies keine Auswirkungen auf die Anzahl der Einzeltouren.

Tabelle 1 verdeutlicht, dass der Hybridantrieb im Sammelbetrieb deutliche Vorteile hat, hingegen im Fahrbetrieb dem Referenzmodell mit Standard-Dieselantrieb noch unterlegen ist.

Tabelle 1: Kurzübersicht Kraftstoffverbrauch im Wochenbetrieb

		Hybrid	Standard	Diff. in %
Fahrstrecke gesamt	[km]	379,92	373,89	+ 1,6
Verbrauch Sammelbetrieb	[Liter]	138,46	177,17	- 21,8
Verbrauch Fahrbetrieb	[Liter]	112,12	84,64	+ 32,5
Durchschnittsverbrauch	[Liter/km]	0,66	0,70	- 5,8

## Geräuschemissionen

Alle Untersuchungen zeigen, dass der Hybridbetrieb deutlich leiser ist als das Standardfahrzeug. Vor allen bei typischen Situationen, wie dem Betrieb der Schüttung und langsamen Vorbeifahren (Innenstadt), zeigen sich akustische Vorteile des hybriden Betriebs.

Das Müll-Hybridfahrzeug ROTOPRESS bietet die technische Voraussetzung für eine Abfallentsorgung in urbanen Zentren rund um die Uhr in den verkehrsarmen Nachtstunden und damit außerhalb starker Verkehrszeiten. Die Belästigung der Anwohner, aber auch der übrigen Verkehrsteilnehmer wird so wesentlich minimiert.

Die Geräuschemissionen gegenüber dem konventionellen Fahrzeug lagen in unterschiedlichen Betriebszuständen bis zu 48 % niedriger.

Besonders aussagekräftige Ergebnisse erzielen die Vorbeifahrtmessungen. Der akustische Vorteil des hybridgetriebenen Müllfahrzeuges lässt sich hier klar erkennen. Bei einer Vorbeifahrt mit 10 km/h liegt der vom Hybridantrieb erzeugte Schalldruck mit 76 dB (A) auf Niveau des Umgebungslärms. Das Standardfahrzeug liegt mit 81 dB (A) deutlich darüber. Bei einer Geschwindigkeit um 30 km/h beträgt der Unterschied bereits 8 dB (A), (Hybrid: 75 dB (A), Standard 83 dB (A)).

Die Innenraummessungen bei konstanten Geschwindigkeiten zeigen nur bei Geschwindigkeiten unter 10 km/h Vorteile auf Seiten des Hybridantriebs. Mit 14 dB (A) liegen hier deutliche Unterschiede zwischen den herrschenden Schalldrücken vor. Bei Geschwindigkeiten ab 30 km/h ist der Unterschied im Innenraum kaum messbar. Dieselbe Beobachtung lässt sich im Vergleich der Schüttungsmessungen machen.

# 1 Einleitung

Im Rahmen des Förderprogramms Modellregion Elektromobilität hat die Offenbacher Dienstleistungsgesellschaft mbH, ESO genannt, ein Abfallsammelfahrzeug mit dieselektrischem Hybridantrieb erworben und setzt dieses Fahrzeug alternativ zum Standard Verbrennungskraftfahrzeug ein.

## **Motivation:**

Mit der Anschaffung des Hybridfahrzeuges soll eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs sowie Abgas- und Geräuschemissionen im Fahr- u. Sammelbetrieb erzielt werden. Aufgrund von Anforderungen des Fahrprofils im Kurzstreckenverkehr sind elektrische Antriebe für Kommunalfahrzeuge besonders gut geeignet.

Diese Konversionslösung, von der Firma Faun entwickelt und umgerüstet, verfügt über ein neuartiges Antriebskonzept namens ROTOPRESS Dualpower. Dieses wird bei den Transportfahrten zur Entsorgungsanlage / Deponie von einem konventionellen schadstoffarmen Dieselmotor angetrieben. Während der Müll-Sammeltour, die durch viele Stopps geprägt ist, wird der Dieselmotor abgeschaltet und ein effizienter dieselektrischer Antrieb übernimmt die Versorgung der Verbraucher und den Fahrzeugantrieb. Dies schließt die "Stop-and-Go" Fahrten, die Rotation der Trommel und andere Hochvolternergieverbraucher ein. Weiterhin führt der Ersatz von verschleißbehafteten mechanischen Komponenten durch wartungsfreie elektrische Aggregate zu einer Senkung des Verbrauches sowie einer Reduzierung von Instandsetzungsarbeiten.

Ein wesentlicher Vorteil dieses Antriebskonzeptes ist die Rekuperationsfunktion, welche beim Verzögern des Fahrzeugs und Abbremsen der Trommel die dabei entstehende Bremsenergie in einem zusätzlichen Energiespeicher zwischenspeichert. Dieser ist bei diesem Modelle in Form eines SuperCap-Moduls realisiert. Die darin gespeicherte Energie wird beim Anfahren und für andere Verbraucher wieder zur Verfügung gestellt.

## 2 Fahrzeugaufbauten

### 2.1 Hybrid

Das Hybrid-Abfallsammelfahrzeug benutzt als Fahrzeugbasis ein konventionelles Fahrgestell, bei dem die Vorteile der kostengünstigen Herstellung, die Fertigungsqualität, die Bedienungs- und Verkehrssicherheit des Serienfahrzeugs mit konventionellem Dieselantrieb übernommen wurden. Das Fahrzeug wurde vom Hersteller entsprechend der zukünftigen Nutzung neu konzipiert und mit zusätzlichen Serien-Elektroantrieben für die Sammeltour, Trommelbetrieb und Schüttung ausgestattet.

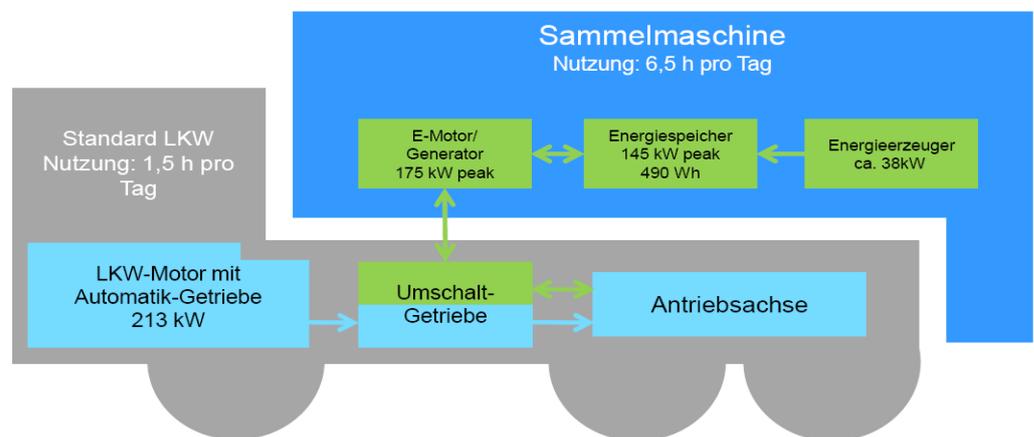
Bei dem Fahrzeug mit Hybrid-Fahrgestell ist der Hauptantrieb ein konventioneller Dieselmotor mit einer Leistung von 210 kW bei 2200 Upm und mit vollautomatischem Getriebe. Der rein elektrische Antrieb (E-Motor/Generator, 175 kW) besteht aus einem optimierten Antriebsstrang zum Beschleunigen und Bremsen, d. h., dass durch die Bremsenergieerückgewinnung zum einen die gespeicherte Energie wieder für die Anfahrbeschleunigung zur Verfügung steht und zum anderen die mechanische Bremse während des Sammelbetriebs größtenteils entlastet wird. Letzteres wirkt sich auch positiv auf die gesamte Energiebilanz aus. Im Sammelbetrieb ist die Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h begrenzt.

Abbildung 1:  
Systemarchitektur  
und Aufbau Hybrid

Quelle: Faun

Grau:  
Konventionelles  
Fahrgestell, Betrieb  
nur während der  
Entleerungsfahrten

Blau: Hybrid-  
Aufbau, Betrieb nur  
während der  
Sammeltour

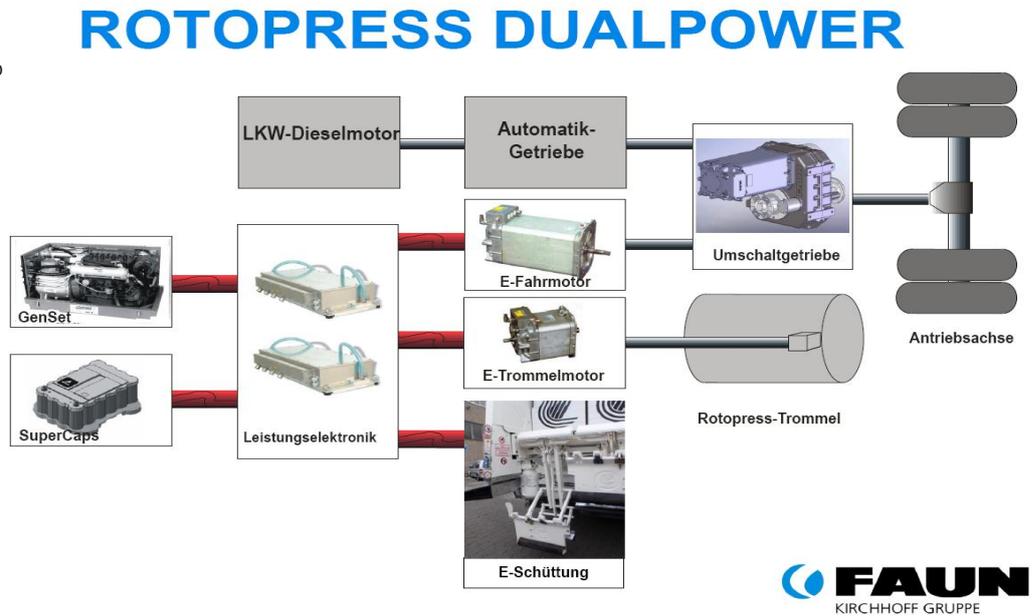


Das zulässige Gesamtgewicht beträgt 26 t. Davon entfallen auf die Zuladung 10,5 t. Im Vergleich dazu liegt die Zuladung beim Standardfahrzeug bei 13 t.

## Hybridkomponenten

Die im Müllhybridfahrzeug verbauten Komponenten sind Geräte und Motoren, die z. T. bereits seit einigen Jahren im Bereich der elektrischen Antriebstechnik für Kraftfahrzeuge eingesetzt werden. Der technische Entwicklungsstand ermöglicht es, diese Systeme im rauen Alltagsbetrieb einzusetzen. Der klassische Standardantrieb mittels Dieselmotor und Automatikgetriebe ist ausschließlich für den Fahrbetrieb vorgesehen.

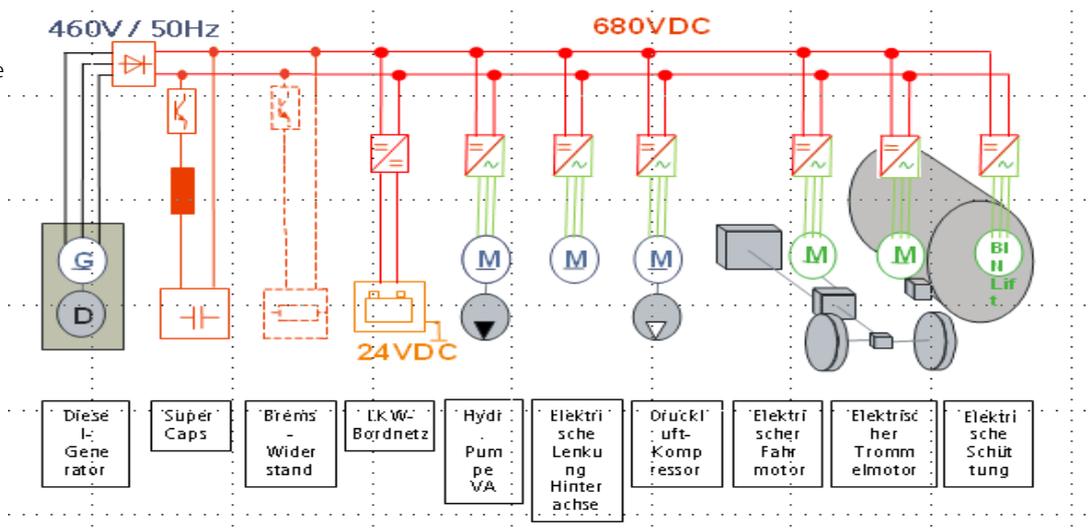
Abbildung 2:  
Mechanische  
Struktur von Antrieb  
und  
Nebenaggregaten



In Abbildung 2 ist die mechanische Struktur des Antriebsstranges und der Nebenaggregate dargestellt. Über das Umschaltgetriebe kann der Fahrer von Fahr- in den Sammelbetrieb wechseln. In dieser Betriebsart übernimmt der Dieselgenerator „GenSet“ die elektrische Versorgung der Haupt- und Nebenaggregate. Im Moment eines erhöhten Leistungsbedarfs, wie z. B. beim elektrischen Anfahren, liefert der "SuperCap - Speicher" die benötigte Reserve.

Abbildung 3:  
Elektrisches  
Stromversorgungsne-  
tz

Quelle: Faun



## 2.2 Standard

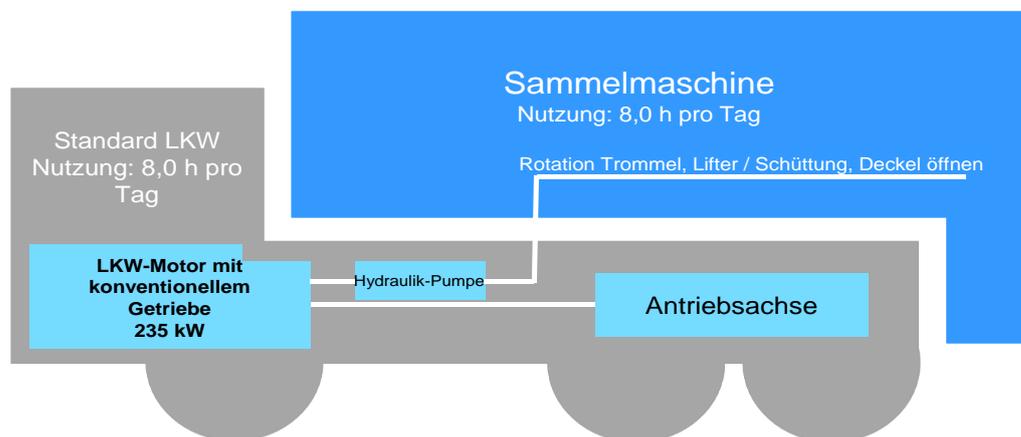
Das Standardfahrzeug hat eine Motorleistung von 235 kW bei 1800 Upm. Die Kraftübertragung erfolgt über ein konventionelles halbautomatisches Getriebe auf die Hinterachse. Sämtliche Aufbauten, wie z. B. Trommel und Schüttung, entsprechen dem Serien-Müllfahrzeug. Im Sammelbetrieb ist die Höchstgeschwindigkeit ebenso wie beim Hybridfahrzeug auf 30 km/h begrenzt.

Abbildung 4:  
Systemarchitektur  
Standard

Quelle: Faun

Grau:  
konventionelles  
Fahrgestell, Betrieb  
während der  
gesamten  
Sammeltour

Blau:  
Standardaufbau  
Konventionelles  
Fahrzeug, Betrieb  
nur während der  
Sammeltour



Das zulässige Gesamtgewicht beträgt 26 t. Davon entfallen auf die Zuladung 13 t. Im Vergleich liegt die Zuladung beim Hybridfahrzeug bei 10,5 t.

## 3 Kraftstoffverbrauch

### 3.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen der technischen Begleitforschung werden vergleichende Kraftstoffverbrauchsmessungen an einem Faun ROTOPRESS Dual Power Hybridmüllfahrzeug und einem Standard Müllfahrzeug durchgeführt.

Die gemessenen Verbräuche sind in die einzelnen Fahrbetriebszustände, wie den reinen Fahrbetrieb und den Sammelbetrieb im Sammelrevier, zu unterscheiden. Des Weiteren ist der Gesamtkraftstoffverbrauch zu betrachten.

### 3.2 Versuchsaufbau

#### Hybridfahrzeug

Zur Datenaufzeichnung der drei fahrzeugspezifischen CAN Kanäle, dem GPS-Signal, der Messturbine und der Außentemperatur werden jeweils zwei Datenlogger eingesetzt, die hinter dem Fahrersitz fest installiert wurden. Durch eine zusätzliche Adapterbox als Signalschnittstelle, sind die externen Signale mit den Datenloggern verbunden. Da beim Hybridfahrzeug zum Zeitpunkt der Messdatenerfassung die Auswerteeinheit DFM-8D nicht zur Verfügung stand, wurden die beiden digitalen Messturbinensignale Vor -und Rücklauf im Datenlogger erfasst und separat ausgewertet. Die verbaute Messinfrastruktur ist in Abbildung 5 dargestellt.

Abbildung 5:  
Messinfrastruktur  
Hybridfahrzeug  
2 x Datenlogger  
GL1000 mit  
Adapterbox zur  
Signalkopplung und  
CAN-GPS.

Einbauort hinter dem  
Beifahrersitz



#### Standardfahrzeug

Der Messaufwand im Standardfahrzeug ist geringer, da lediglich die Impulse der Messturbine, das GPS-Signal und die Außentemperatur erfasst werden. Der Kraftstoffverbrauch wird hier über die DFM-Auswerteeinheit als Digitalsignal dem Datenlogger zur Verfügung gestellt. Die DFM-Auswerteeinheit wurde in der Fahrerkabine im Bereich der Mittelkonsole installiert.

### 3.2.1 Datenerhebung

Zur Datenerhebung wurde ein kompakter Datenlogger ausgewählt. Das Gerät zeichnet sowohl CAN, LIN und Analog-Kanäle auf und ist für Automotive-Anwendungen geeignet. Die aufgezeichneten CAN-Botschaften werden als Rohdaten gespeichert und können über ein entsprechendes Auswerteprogramm in das gewünschte Datenformat zur weiteren Verarbeitung konvertiert werden. Die konvertierten XLS, -bzw. CSV-Dateien werden ausgewertet und dann mit Hilfe der Software OriginPro 8.5 als Graphik entsprechend dargestellt.

### 3.2.2 Verwendete Messtechnik

In den beiden Fahrzeugen wurden Datenlogger des Typs GL1000 der Firma Vector eingebaut. Die in CAN-Botschaften übertragenen Informationen werden im Datenlogger auf einer 2 GB-SD-Karte gespeichert. Die eingesetzte Messtechnik in den beiden Fahrzeugen ist in Abbildung 6 dargestellt.

Abbildung 6:  
Verwendete  
Messtechnik

Vector Daten-  
logger GL1000



DFM-8D-System:  
Auswerteeinheit  
mit Messturbine  
(On Board)



Vector CAN-GPS



Außentemperatursensor



### 3.3 Versuchsdurchführung

In Abstimmung mit dem Fahrzeugbetreiber wurde der Messzeitraum für die Verbrauchsmessungen des Hybridfahrzeugs auf die KW 34 (22.-26.08.2011), und für das Standardfahrzeugs auf die KW 36 (05.-09.09.2011) festgelegt. Unter Berücksichtigung des Tourenplans, des erfahrungsgemäßen Müllaufkommens und der Verfügbarkeit der beiden Fahrzeuge wurde dieser Zeitraum bestimmt.

Durch Aufzeichnungsausfälle am Freitag den 26.08.2011 wurde alternativ die Daten des Freitag den 23.09.2011 in die Auswertung übernommen. Für die unvollständigen Daten am Mittwoch den 07.09.2011 wurde eine Ersatzfahrt am 19.10.2011 aufgezeichnet und ausgewertet.

Bei den täglichen Sammeltouren wird unterschieden in den reinen Sammelbetrieb und den Fahrbetrieb, der Abladefahrten zur Deponie und den Hin- und Rückfahrten zum Sammelrevier beinhaltet. Nur während der Sammelfahrten ist die maximale Geschwindigkeit auf 30 km/h begrenzt.

### 3.4 Datenauswertung

Die Daten wurden rechnergestützt mit Hilfe der Software OriginPro in der Version 8.5.1 SR2 der OriginLab Corporation ausgewertet.

Für die Auswertung wurden Messdaten des Müllhybridfahrzeuges aus dem Betrachtungszeitraum vom 22.08. bis 26.08.2011 (mit der Ersatzfahrt am 23.09.2011) sowie des Müll-Standardfahrzeuges zwischen dem 05.09. und 09.09.2011 (mit der Ersatzfahrt am 19.10.2011) verwendet.

Den Messdaten wurde zunächst ein Zeitstempel zugeordnet, damit eine eindeutige Zuordnung der einzelnen Messzeitpunkte gewährleistet werden kann. Anschließend wurden die Daten tageweise ausgewertet. Dabei wurde zunächst eine Datenprüfung durchgeführt, bei der fehlerhafte Werte herausgefiltert wurden. Dabei lag die Datenqualität der für die Auswertung genutzten Datensätze bei über 99,9 %. Anschließend wurde aus den gemessenen Impulsen der Spritverbrauchs-Messturbinen der Momentanverbrauch sowie der Tagesverbrauch ermittelt.

Für den Vergleich der beiden Müllfahrzeugtypen wurde der Verbrauch im Sammelbetrieb zusätzlich ermittelt.

Da keine Informationen über die Betriebsweise, Fahr- und Sammelbetrieb, vorlagen, musste eine teilautomatisierte Prüfung der Betriebsweise durchgeführt werden. Dabei wurde zunächst geprüft, mit welcher Momentangeschwindigkeit die Fahrzeuge unterwegs gewesen waren. Laut Angaben des Herstellers des Hybridfahrzeuges kann dieses im Sammelbetrieb eine Maximalgeschwindigkeit von 30 km/h erreichen. Aufgrund von auftretenden Messfehlern und unterschiedlichen Einflussfaktoren, die sich auf die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges auswirken können, wurde in der Prüfung der Betriebsweise eine maximale Geschwindigkeit von 32 km/h angenommen. Nach diesen ersten Prüfkriterien wurde geprüft, wie oft in einer Minute diese Grenzgeschwindigkeit überschritten wurde. Wenn pro Minute mehr als drei Werte über 32 km/h lagen, so wurde von der Betriebsweise „Fahrbetrieb“ ausgegangen. Als abschließende Prüfung wurde manuell kontrolliert, ob bei der Prüfung Fehler aufgetreten sind und diese gegebenenfalls zu ändern sind.

Nachdem die Ermittlung der Betriebsweise abgeschlossen wurde, konnten für die beiden Betriebsweisen der Verbrauch, gefahrene Strecke sowie die Dauer der Fahrten ermittelt werden.

Abschließend wurden die Einzeltage zu einer Woche zusammengefasst, um den Einfluss von Differenzen an einzelnen Tagen auszugleichen.

### 3.5 Ergebnisse

In der Abbildung 7 ist das Sammelgebiet mit Müllabladestelle und Beginn/Ende der Touren sichtbar. Das Sammelgebiet ist so zerteilt, dass fünf einzelne Sammelreviere entstanden sind, die von dem Hybrid-Müllfahrzeug bedient werden.

Durch eine optimale Planung wurde versucht, die Sammelreviere soweit wie möglich in der Nähe der Müllabladestelle zu erstellen. Die Distanz zum Betriebshof und zur Müllabladestelle hat einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf das Gesamtergebnis der Auswertung.

Wichtige Kriterien, wie z. B. Müllaufkommen und Fahrzeugzuladung, strecken-, fahrzeug- und gewichtsbezogener Verbrauch, Kraftstoffverbrauch und die Entfernung zur Müllabladestelle wurden von vorn herein in die Streckenplanung mit einbezogen.

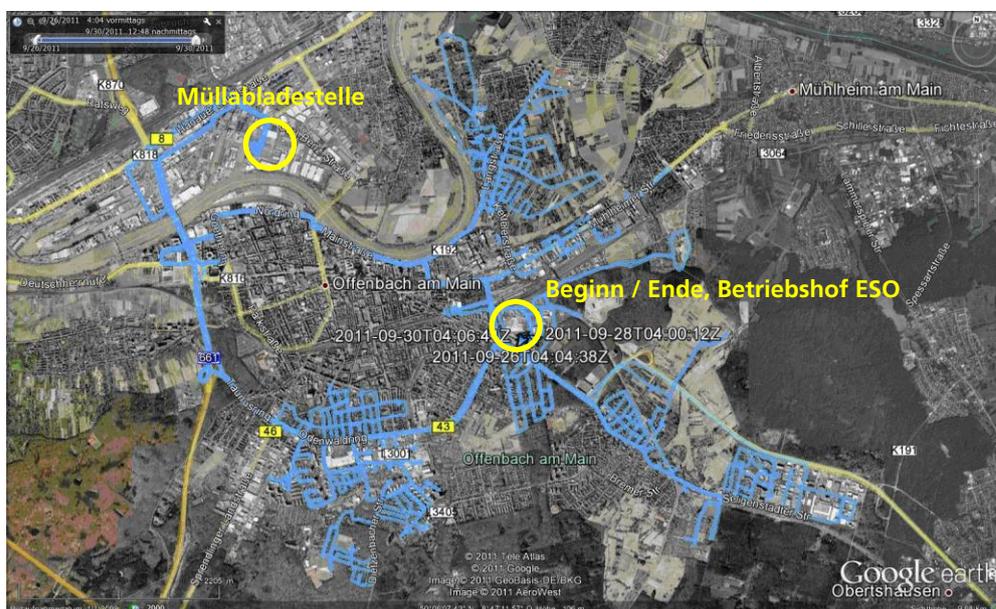
Abbildung 7:  
Wochentour  
der Fahrzeuge

Hybrid:  
Montag -  
Freitag

Fahrstrecke:  
380 km

Standard:  
Montag -  
Freitag

Fahrstrecke:  
374 km



Auf die Tageseinzeltouren wird hier nicht explizit eingegangen. Diese sind ergänzend im Anhang 6 aufgeführt.

#### Ergebnisübersicht der Wochenverläufe

In der Abbildung 8 und Abbildung 9 sind die Wochenverläufe von Montag bis Freitag der beiden Vergleichsfahrzeuge dargestellt. In der Darstellung sind die gemessenen Parameter Kraftstoffgesamtverbrauch, Geschwindigkeit und gefahrene Strecke sowie der rechnerisch ermittelte Wert für den Verbrauch im Sammelbetrieb aufgetragen. Anhand der Graphen für Geschwindigkeit und Gesamtverbrauch ist ein erhöhter Kraftstoffverbrauch im Fahrbetrieb bei beiden Fahrzeugen zu erkennen.

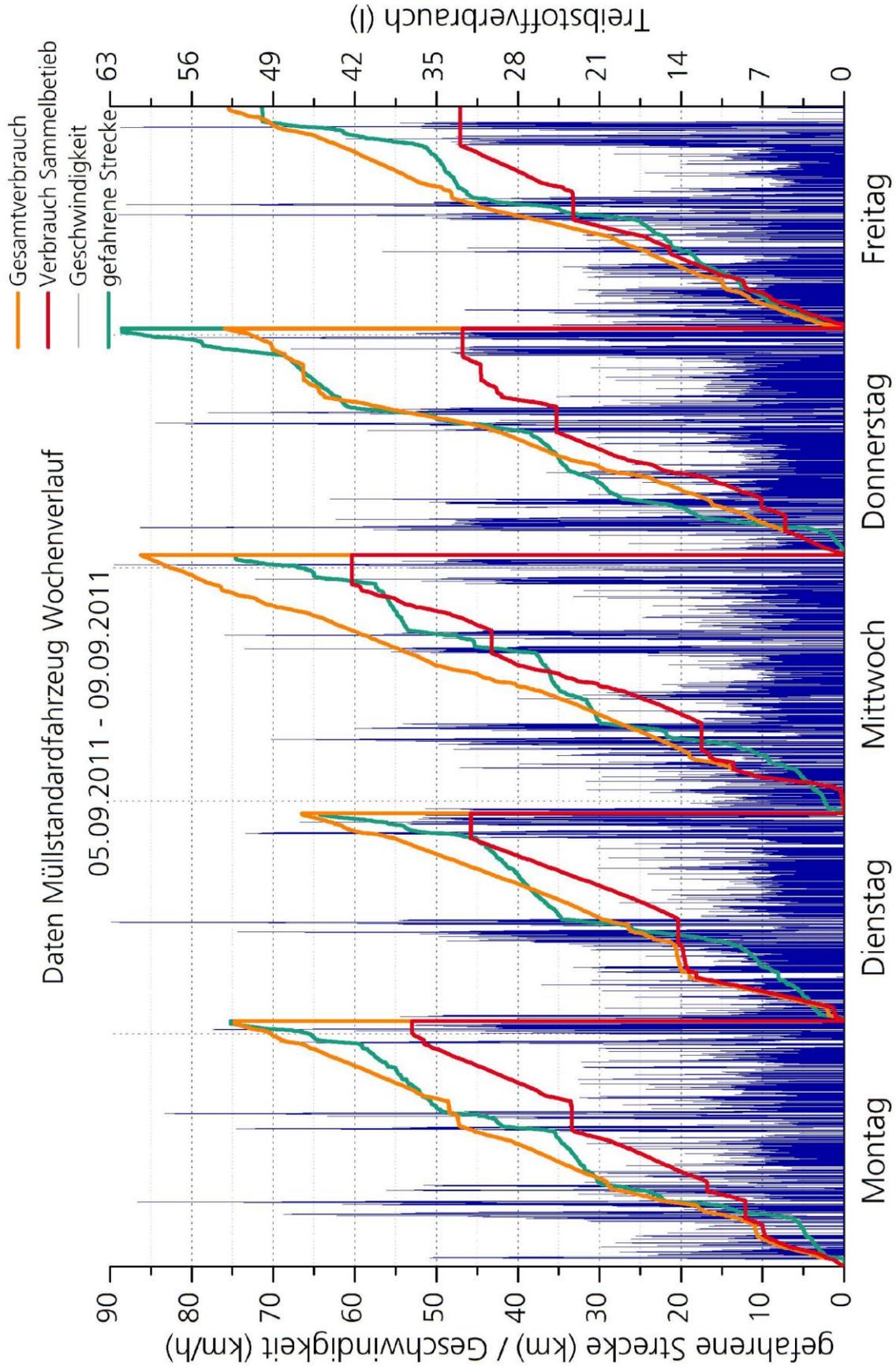
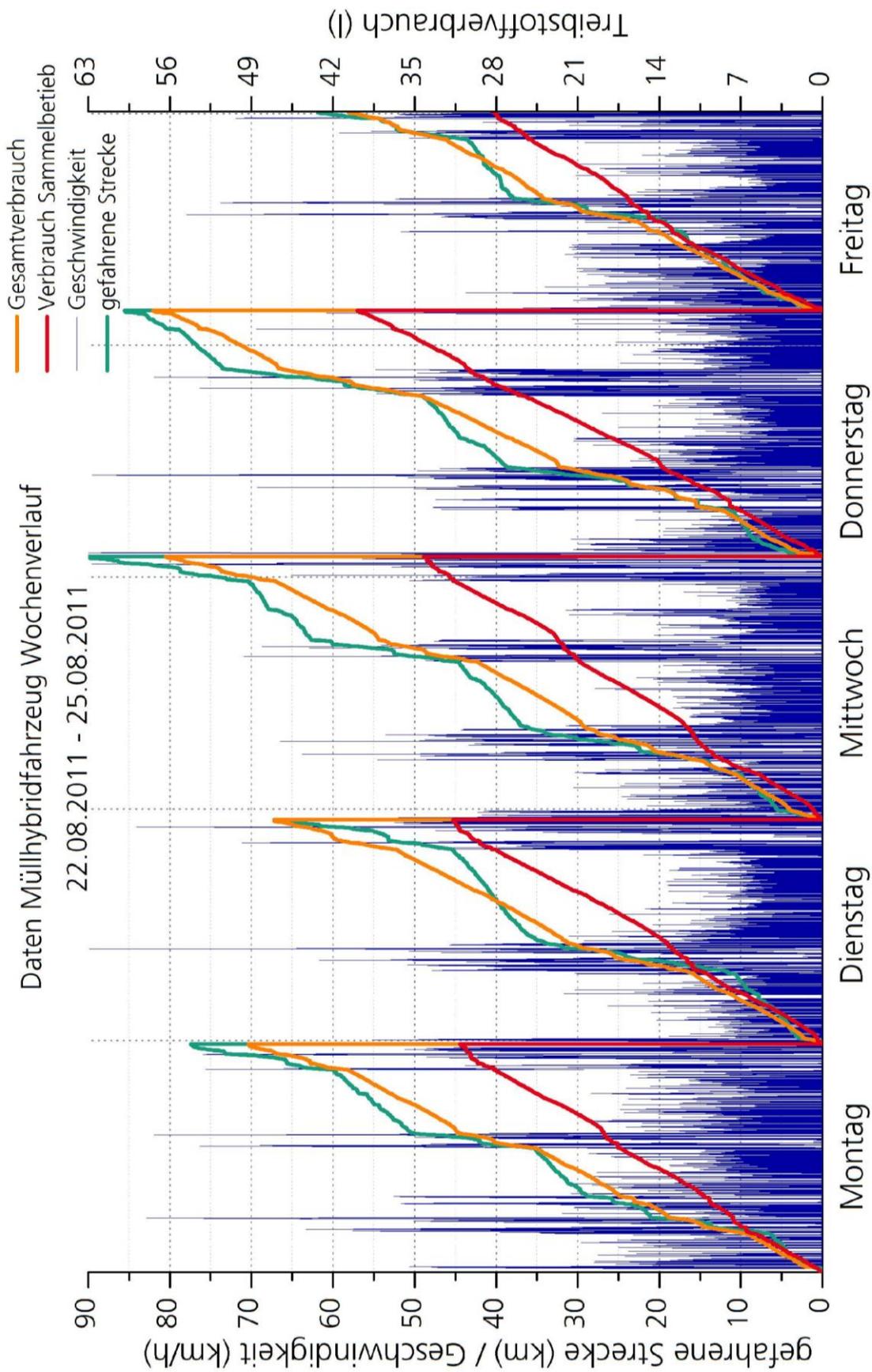


Abbildung 8: Wochentour Standard



© Fraunhofer IWES

Abbildung 9: Wochentour Hybrid

In der folgenden Tabelle 2 sind die ausgewerteten Daten der beiden betrachteten Fahrzeuge einzeln und als Differenz dargestellt. Die Spalten für Fahr- und Sammelbetrieb spiegeln die beiden Betriebsarten während der Sammeltour wieder. Ein negatives Vorzeichen in der Differenz-Spalte bedeutet, dass das Müllhybridfahrzeug einen geringeren Wert bzw. einen geringeren Energieverbrauch aufweist.

Auffallend ist, dass im reinen Sammelbetrieb die Kraftstoffeinsparung beim Müllhybridfahrzeug bis zu 21,8 % reduziert ist. Die Einsparung beim Gesamtkraftstoffverbrauch beträgt 4,3 %. Dies ist auf den hohen Verbrauch im Fahrbetrieb zurückzuführen. Gründe für den erhöhten Verbrauch können z. B. eine Untermotorisierung des Hybridfahrzeugs, unterschiedliche persönliche Fahrweisen sowie äußere Einflüsse wie Wetterbedingungen und Verkehrsbehinderungen sein.

Die gefahrenen Strecken sind nahezu identisch, da die beiden Fahrzeug auf den gleichen Routen unterwegs waren, Abweichungen ergeben sich aufgrund von Umleitung und Müllaufkommen.

Tabelle 2: Wochenübersicht

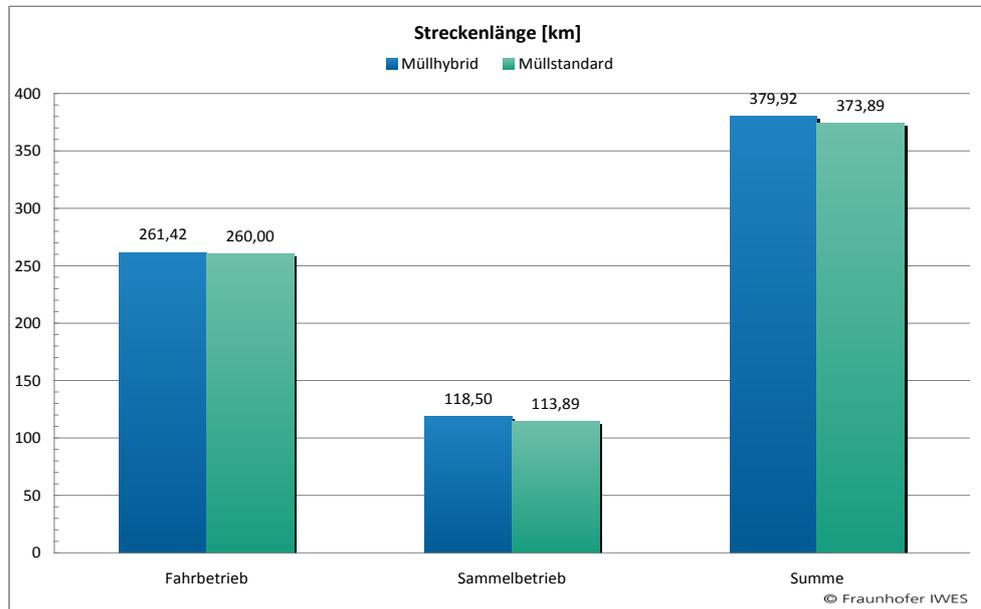
Merkmal		Müll-Hybridfahrzeug			Müll-Standardfahrzeug			Differenz in %			
		Fahrb.	Sammel b.	Summe	Fahrb.	Sammel b.	Summe	Fahrb.	Sammel b.	Summe	
Streckenlänge	km	261,42	118,50	379,92	260,00	113,89	373,89	0,5	4,0	1,6	
Fahrzeit	h	12,07	30,91	42,98	10,69	28,45	39,14	12,9	8,6	9,8	
Verbrauch	l	112,12	138,46	250,58	84,62	177,17	261,79	32,5	-21,8	-4,3	
Müllaufkommen	t	127,78			123,42			3,5			
Geschwindigkeit	max	km/h	90,00	32,00 <sup>(1)</sup>	90,00	89,90	32,00 <sup>(1)</sup>	89,90	0,1	0	0,1
	Ø	km/h	19,06	3,08	7,56	21,79	3,08	8,20	-12,5	-0,1	-7,7
Verbrauch streckenbez.	l/km	0,43	1,17	0,66	0,33	1,56	0,70	31,8	-24,9	-5,8	
Verbrauch fahrzeitbez.	l/h	9,29	4,48	5,83	7,92	6,23	6,69	17,3	-28,1	-12,8	
Verbrauch gewichtsbez.	l/t	0,88	1,08	1,96	0,69	1,44	2,12	28,0	-24,5	-7,5	

<sup>(1)</sup> Einzelne Werte können geringfügig darüber liegen

## Graphische Auswertung

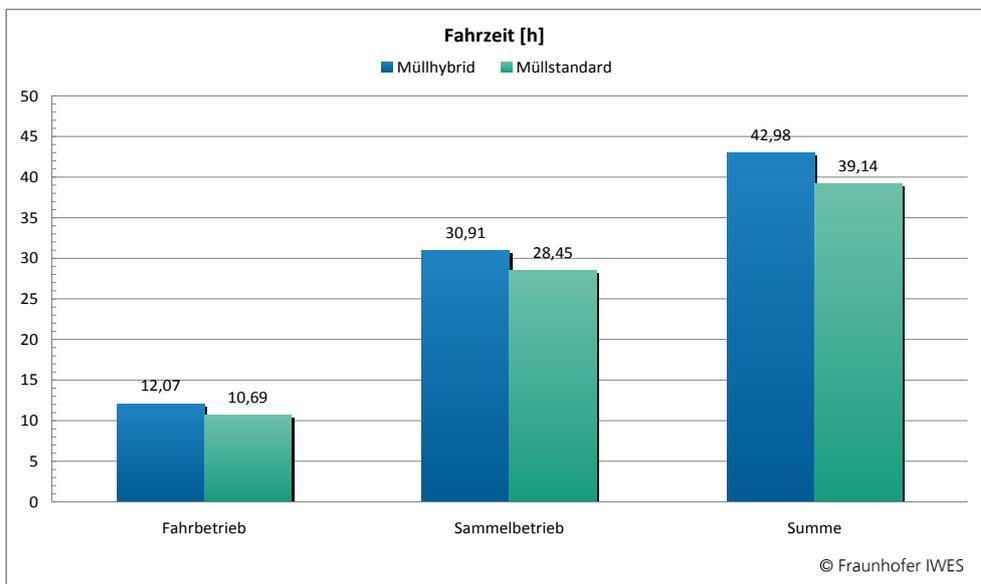
In den folgenden Abbildungen wurden die ermittelten Ergebnisse für jedes Merkmal der Gesamtauswertung graphisch als Balkendiagramme dargestellt.

Abbildung 10:  
Gesamtstreckenlänge



Die zurückgelegten Kilometer im Fahr- und Sammelbetrieb unterscheiden sich nicht wesentlich, somit ist ein optimaler Vergleich der Merkmale bei den beiden Fahrzeugen möglich. Ursachen der geringen Abweichungen können z. B. Umleitungen und geänderte Zufahrtswege sein. Die Einflüsse auf die Unterschiede in der Streckenlänge werden im Rahmen dieser Studie nicht weiter untersucht.

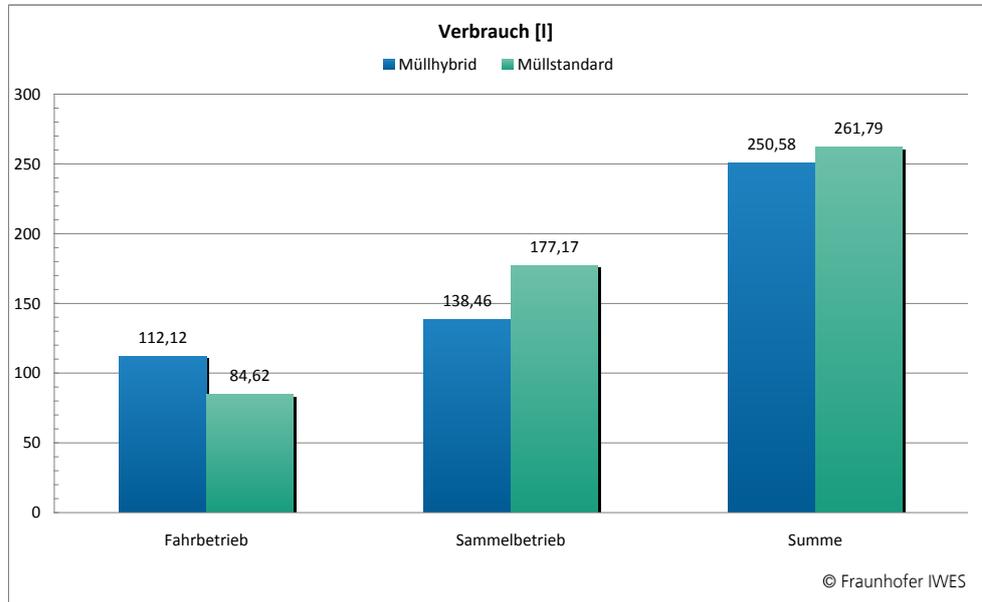
Abbildung 11:  
Gesamtfahrzeit



Anhand der Graphik ist zu erkennen, dass der Hybrid durchweg mehr Fahrzeit für beide Betriebsarten benötigt. Dies erklärt sich z. T. daraus, dass durch die Elektrifizierung des Lifters zum Anheben, Entleeren und Rütteln der Mülltonne

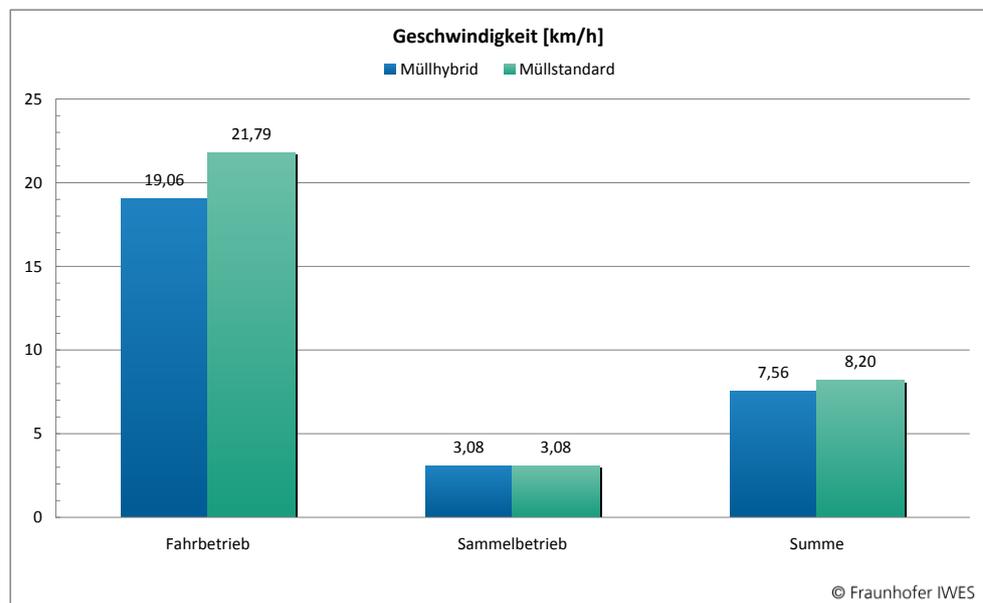
der Entleerungsvorgang durchaus bis zu 3 s mehr an Zeit benötigt. Der hydraulische Lifter hat im Standardfahrzeug durch seine größere Dynamik seinen Vorteil. Ein weiteres Merkmal kann die Untermotorisierung des Hybrid, Unterschiede in der Streckenführung und das Verkehrsaufkommen sein. Die Differenz an zeitlichem Mehraufwand liegt im Bereich von 9 %.

Abbildung 12:  
Gesamtverbrauch



Bedingt durch die Untermotorisierung bei höherem Leergewicht und entsprechender Fahrweise hat der Hybrid im Fahrbetrieb rund 32,5 % mehr an Kraftstoff verbraucht. Einen klaren Vorteil mit 28 % Einsparung hat der Hybrid im Sammelbetrieb. Die Einsparung im Gesamtverbrauch während des Betrachtungszeitraumes liegt beim Hybrid jedoch nur bei 4,3 %.

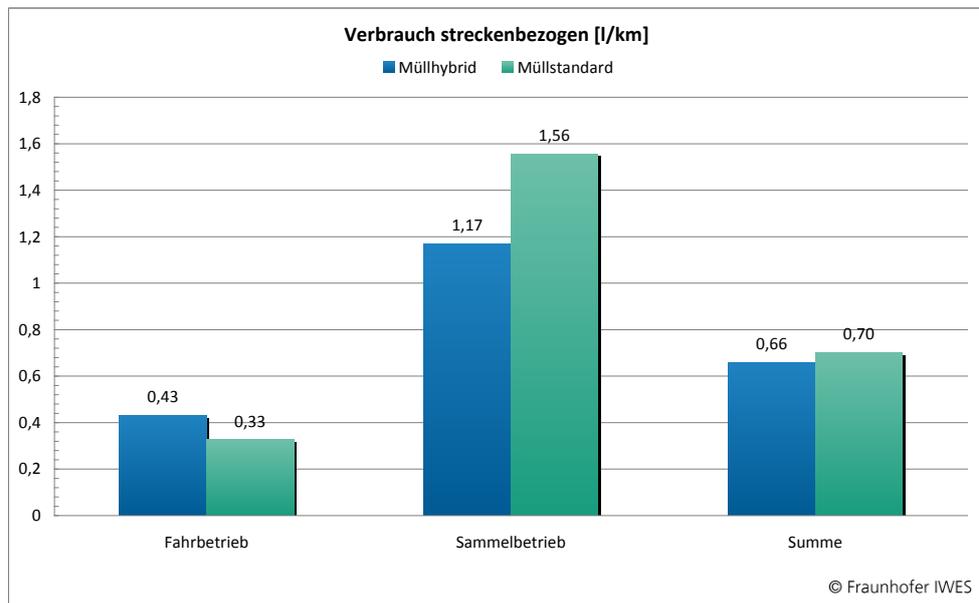
Abbildung 13:  
Durchschnittsgeschwindigkeiten in den Betriebsarten



Bedingt durch die geringfügige Untermotorisierung bei höherem Leergewicht und entsprechender Fahrweise hat der Hybrid im Fahrbetrieb eine um rund 14 % niedrigere Durchschnittsgeschwindigkeit. Im Sammelbetrieb zeigt sich

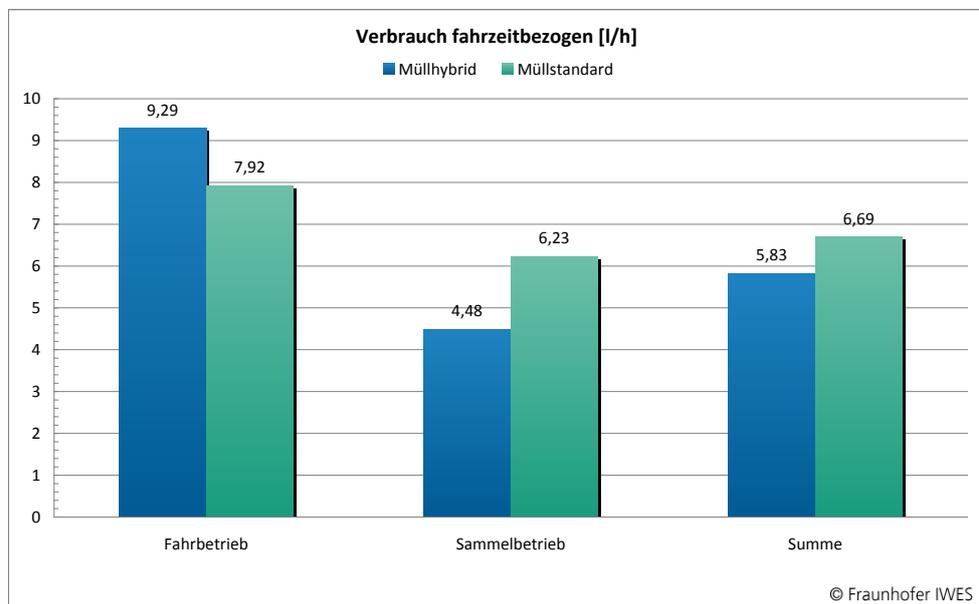
deutlich, dass beide Fahrzeuge trotz ihrer doch sehr unterschiedlichen Antriebssysteme, sich nicht mehr unterscheiden. In der Summe hat der Hybrid eine um 8,4 % niedrigere Durchschnittsgeschwindigkeit.

Abbildung 14:  
Verbrauch  
streckenbezogen



Der streckenbezogene Mehrverbrauch im Fahrbetrieb von bis zu 30 % ergibt sich durch die Untermotorisierung des Hybrids bei höherem Leergewicht und entsprechender Fahrweise. Im Sammelbetrieb zeigt sich deutlich, dass der Hybrid bis 33 % an Kraftstoff einsparen kann. In der Summe hat der Hybrid einen um 6 % niedrigeren streckenbezogenen Kraftstoffverbrauch.

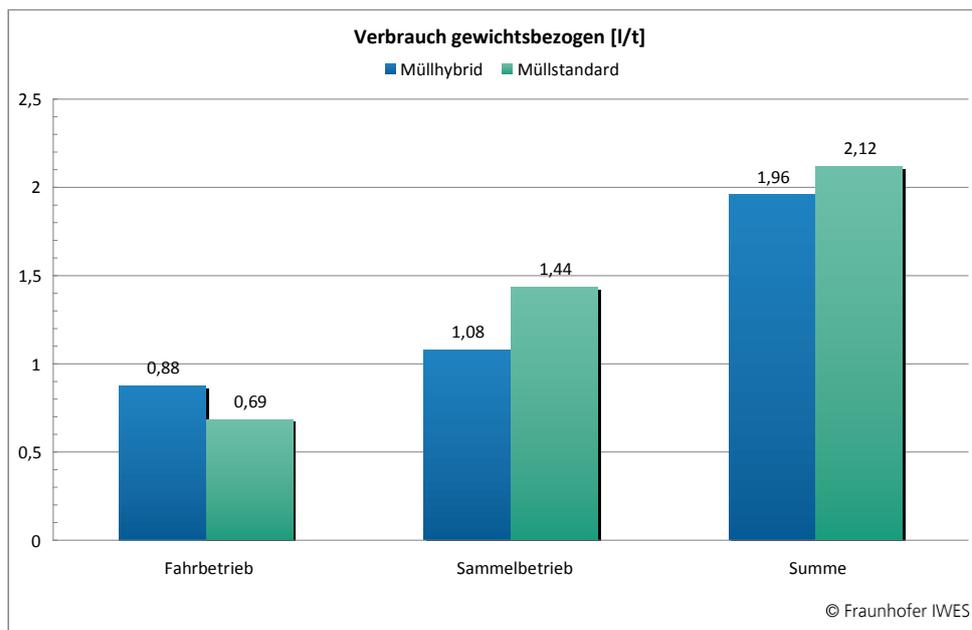
Abbildung 15:  
Verbrauch  
fahrzeitbezogen



Der Kraftstoffverbrauch, bezogen auf die Fahrzeit, in der Vergleichswoche liegt beim Hybrid im Fahrbetrieb um 17,3 % höher. Im Sammelbetrieb dagegen gibt es eine Einsparung von 39 %. Im Gesamtbetrieb ist der Hybrid um 14,7 % besser.

Abbildung 16 :  
Verbrauch  
gewichtsbezogen

Verbrauch bezogen  
auf das  
Tonnagegewicht



Für die um 3,5 % höhere Gesamttonnage im Hybrid benötigt das Fahrzeug 27,5% mehr Kraftstoff. Im Sammelbetrieb zeigt sich hier wieder eine Einsparung beim Hybrid von 33,3% und in Summe von 8,2%.

Die Tagesangaben der analysierten Werte sind im Anhang zu finden.

### 3.6 Fazit

In dem betrachteten einwöchigen Zeitraum wurden die beiden Fahrzeuge auf unterschiedliche Merkmale, wie z. B. der Kraftstoffverbrauch im Fahr-, Sammel- und Gesamtbetrieb untersucht und anschließend bewertet.

Der Betrachtungszeitraum wurde so gewählt, dass beide Müllfahrzeuge jeweils für eine Woche auf derselben Strecke im Sammelrevier unterwegs waren. Ermittelt wurde insbesondere der streckenbezogene Energieverbrauch im Fahr-, Sammel- und Gesamtbetrieb, bezogen auf die Abladegewichte. Bauartbedingt ist das Hybridfahrzeug um ca. 2 t schwerer als das Vergleichs-Standardfahrzeug und hat somit bei gleichem zulässigem Gesamtgewicht eine um 23 % geringere Nutzlast.

Der Kraftstoffverbrauch wurde bei den beiden Fahrzeugen während der gesamten Sammeltour, vom Start bis Ende, im Fahrbetrieb und der reinen Sammeltour im Sammelrevier (von Tonne zu Tonne) ermittelt. Im Fahrbetrieb konnte ein Mehrverbrauch an Kraftstoff bei dem Hybrid bis zu 24,5 % ermittelt werden. Hingegen ist für den Sammelbetrieb eine Kraftstoffeinsparung von 28 % bei dem Hybrid zu erkennen. Im Gesamtbetrieb ergibt sich ein Einsparungspotential von 4,5 % für das Hybridfahrzeug für die gewählte Sammeltour.

## 4 Geräuschemissionen

Im Rahmen des ZEBRA Projektes wurden vergleichende akustische Messungen an einem Faun ROTOPRESS Dual Power Hybrid-Müllfahrzeug und einem Standard-Müllfahrzeug durchgeführt.

### 4.1 Aufgabenstellung

Die Messungen sollen die entstehenden Schallemissionen in unterschiedlichen Betriebsarten belegen.

Abbildung 17: Faun Rotopress Dual Power auf dem Gelände des stillgelegten Griesheimer Flugplatzes



Die Geräuschemissionsquellen beim Hybrid im Sammelbetrieb sind im Bereich der Power-Box (Energieerzeugung durch den Dieselmotor und Verteilung im Hybridbetrieb), des Antriebsstranges (E-Motor, Getriebe, Reifen), des Trommelbetriebes und der Schüttung auszumachen.

Abbildung 18: Faun Rotopress mit Standard Dieselmotor



Die Geräuschemissionsquellen beim Standardfahrzeug im Sammelbetrieb sind im Bereich des konventionellen Antriebsstranges, bestehend aus Verbrennungsmotor, Getriebe und Reifen, der Trommeldrehung und der Schüttung auszumachen.

### **Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse**

Alle Untersuchungen zeigen, dass der Hybridbetrieb deutlich leiser ist als der Dieselbetrieb. Vor allen bei typischen Situationen wie dem Betrieb der Schüttung und langsamen Vorbeifahren (Innenstadt) zeigen sich akustische Vorteile des hybriden Betriebs.

## **4.2 Einzelheiten zur Untersuchung**

### **Allgemeine Angaben**

Gemessen werden akustische Größen bei verschiedenen vorher definierten Betriebszuständen. Die Versuche fanden am 13.08.2011 auf dem Gelände des stillgelegten August-Euler-Flugplatzes in Griebenheim bei Darmstadt statt.

### 4.2.1 Versuchsaufbauten

Die Versuche wurden mit zwei verschiedenen Versuchsaufbauten durchgeführt.

Folgende Parameter sind bei allen Messungen identisch:

Messgröße:	Schalldruck [Pa]
Abtastfrequenz:	40960 Hz
Gemessener Frequenzbereich:	20480 Hz
Zeitliche Auflösung:	14,4 $\mu$ s
Gewichtung der Rohdaten:	keine

Die Datenaufzeichnung erfolgt mit einem Scadas mobile Frontend und einem Messlaptop.

#### Versuchsaufbau I: Vorbeifahrt und Messungen im Stand

Bei diesem Versuch wurden zwei Mikrofone im Abstand von 5 m sich gegenüberstehend aufeinander ausgerichtet. Die Höhe über dem Boden betrug 1,2 m. Lichtschranken 30 m vor und hinter den Mikrofonen dienten zum Triggern der Messungen (siehe Abbildung 19).

Die verwendeten Mikrofone waren polarisierte Freifeld Mikrofone, 1/2 " des Typs 4189 von der Firma Brüel & Kjaer.

Abbildung 19:  
Vorbeifahrt und  
Messungen im Stand  
Messaufbau  
Vorbeifahrt: rot  
markiert: Mikrofone,  
blau markiert:  
Lichtschranken.



## Versuchsaufbau II: Messungen im Innenraum während der Fahrt und im Stillstand

Für diesen Versuchsaufbau wurde das Kunstkopfsystem HMS IV auf mittlerem Kabinensitz befestigt. Die Speicherung der Daten erfolgte über eine USB-Schnittstelle mit einem Laptop.

Abbildung 20:  
Kunstkopf in der  
Fahrerkabine



### 4.2.2 Versuchsdurchführung

Die durchgeführten Messungen mit den oben beschriebenen Versuchsaufbauten sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Übersicht der durchgeführten Außen- und Innenmessungen für beide Fahrzeugtypen

	Außen (Versuch I)		Innen (Versuch II)	
	Hybrid	Stand.	Hybrid	Stand.
Vorbeifahrt mit 10 km/h	X	X	X	X
Vorbeifahrt mit 30 km/h	X	X	X	X
Anfahren	X	X	X	X
Stop and Go	X	X	X	X
Drehen der Trommel	X	X	X	X
Betätigung der Schüttung	X	X	X	X
Anfahren mit Verbrenner	X			

### 4.3 Ergebnisse

Die Messerergebnisse aus den beiden Versuchsaufbauten werden im Folgenden dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die in den Graphiken verwendete Bezeichnung „Verbrenner“ mit der Bezeichnung „Standard“ gleichzusetzen ist.

## Vorbeifahrt 10 km/h

Abbildung 21:  
Gesamtschalldruck-  
pegel bei  
Vorbeifahrt  
10 km/h,  
Außenmessung

Maximaler  
gemittelter  
Summenschall-  
druckpegel:

Hybrid: 76 dB (A)

Standard: 81 dB (A)

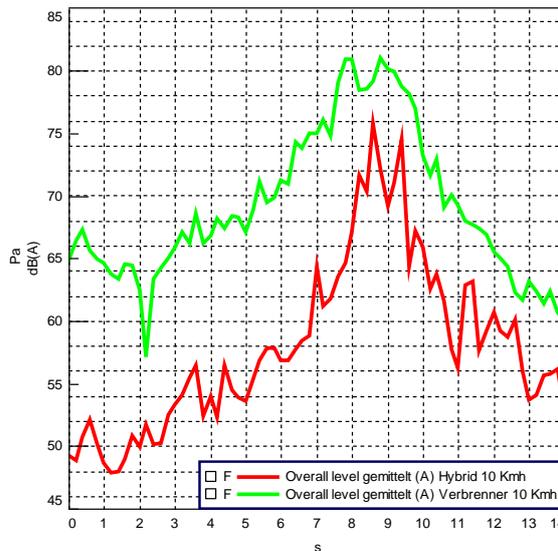
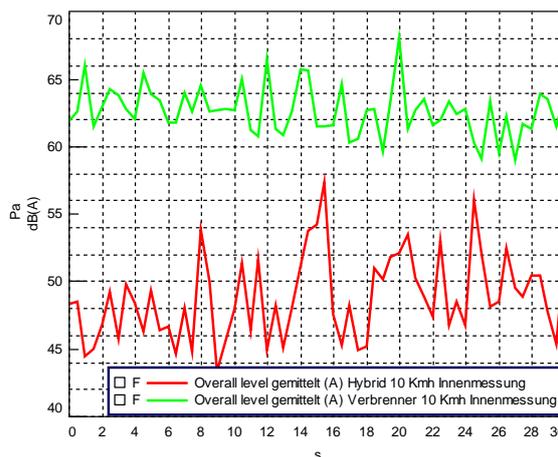


Abbildung 22:  
Gesamtschalldruck-  
pegel bei  
Vorbeifahrt  
10 km/h,  
Innenraummessung

Mittlerer  
Summenschall-  
druckpegel:

Hybrid: 49 dB (A)

Standard: 63 dB (A)



Bei der vergleichenden Betrachtung der Außenmessung fällt auf, dass das Hybridfahrzeug im Vergleich zum Standardfahrzeug einen um 5 dB (A) geminderten Schalldruckpegel aufweist.

Die Innenmessung lieferte eine Differenz von 14 dB (A), was einer starken Verringerung der Schallemissionen in der Fahrerkabine bei dem Hybridfahrzeug entspricht. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass bei geringen Geschwindigkeiten vor allem die Fahrzeuginsassen von den verringerten Geräuschemissionen profitieren.

## Vorbeifahrt 30 km/h

Abbildung 23:  
Gesamtschalldruck-  
pegel bei  
Vorbeifahrt mit  
30 km/h,  
Außenmessung

Maximaler  
gemittelter  
Summenschall-  
druckpegel:

Hybrid: 75 dB (A)

Standard: 83 dB (A)

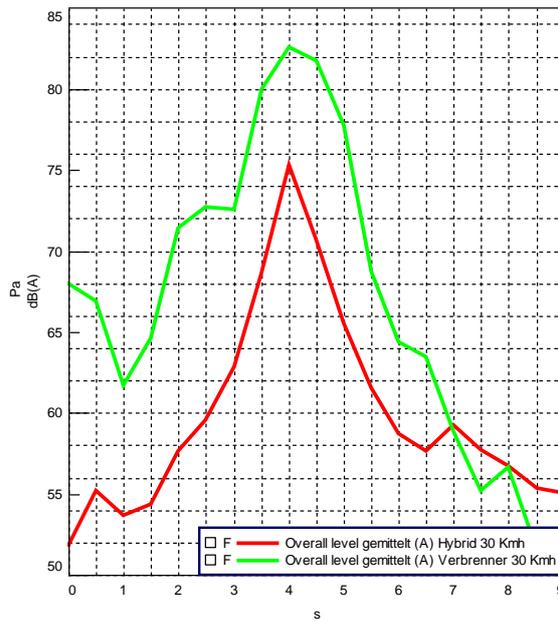
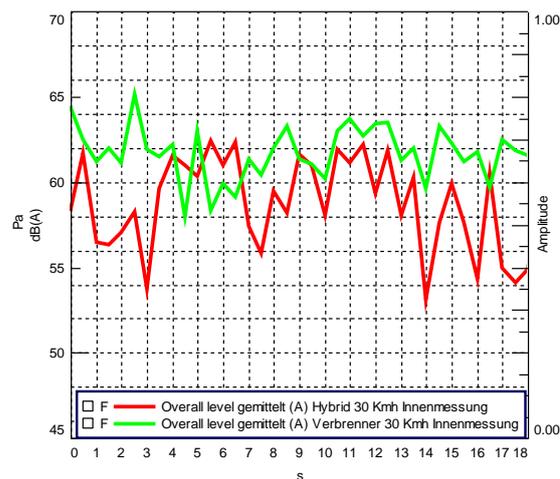


Abbildung 24:  
Gesamtschalldruck-  
pegel bei  
Vorbeifahrt mit 30  
km/h;  
Innenmessung

Mittlerer  
Summenschall-  
druckpegel:

Hybrid: 59 dB (A)

Standard: 62 dB (A)



Mit einer erhöhten Geschwindigkeit von 30 km/h ist eine Verbesserung bei der Differenz der Außenmessung der Schalldruckpegel zwischen Hybrid- und Standardfahrzeug von 8 dB (A) zu erkennen. Die Innenmessung zeigt jedoch, dass die Geräuschemissionen im Vergleich von Hybrid- und Standardfahrzeug lediglich eine Abweichung von 3 dB (A) aufweisen.

## Anfahren

Abbildung 25:  
Gesamtschalldruck-  
pegel beim  
Anfahren;  
Außenmessung

Maximaler  
gemittelter  
Summenschall-  
druckpegel:

Hybrid, Sammelb.:  
75 dB (A)

Hybrid, Fahrbetrieb:  
78 dB (A)

Standard: 88 dB (A)

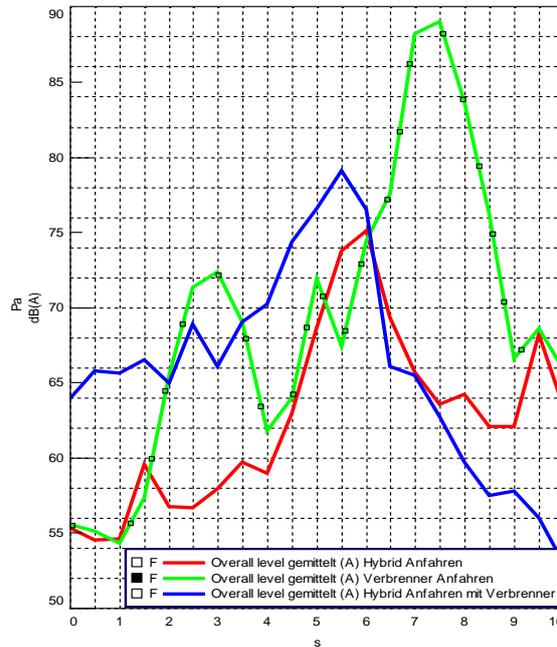
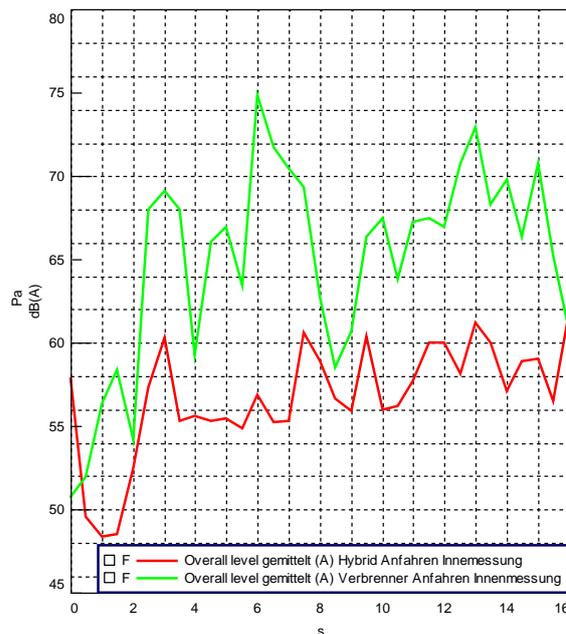


Abbildung 26:  
Gesamtschalldruck-  
pegel beim  
Anfahren,  
Innenmessung

Maximaler  
gemittelter  
Summenschall-  
druckpegel:

Hybrid: 61 dB (A)

Standard: 75 dB (A)



Die Außenmessung des Schalldruckpegels beim Anfahren zeigt die Vorteile des Hybridfahrzeuges. Im Sammelbetriebsmodus liegt der Schalldruckpegel 12 dB (A) unter dem Standardfahrzeug. Im Fahrbetriebsmodus beträgt die Differenz noch 10 dB (A).

Die Innenmessung zeigt ebenfalls, dass das Hybridfahrzeug bei Anfahrvorgängen um 14 dB (A) geringere Geräuschemissionen freisetzt als das Standardfahrzeug.

## Stop and Go

Abbildung 27:  
Gesamtschalldruck-  
pegel beim Stop and  
Go-Betrieb,  
Außenmessung

Maximaler gemittelter  
Summenschall-  
druckpegel:

Hybrid: 81 dB (A)

Standard: 78 dB (A)

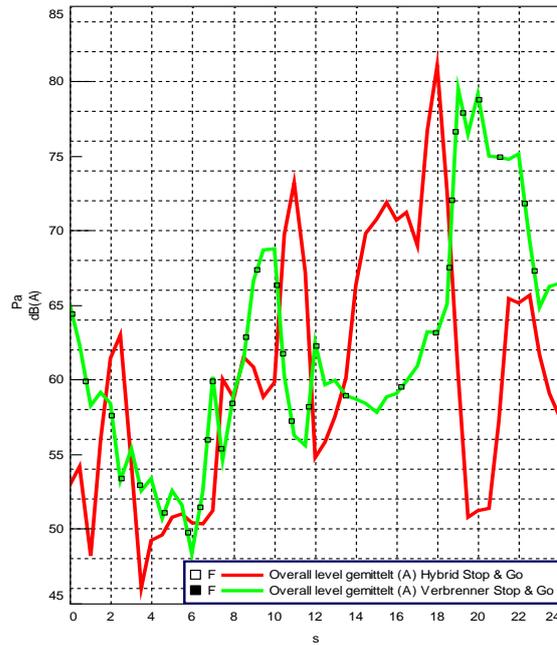
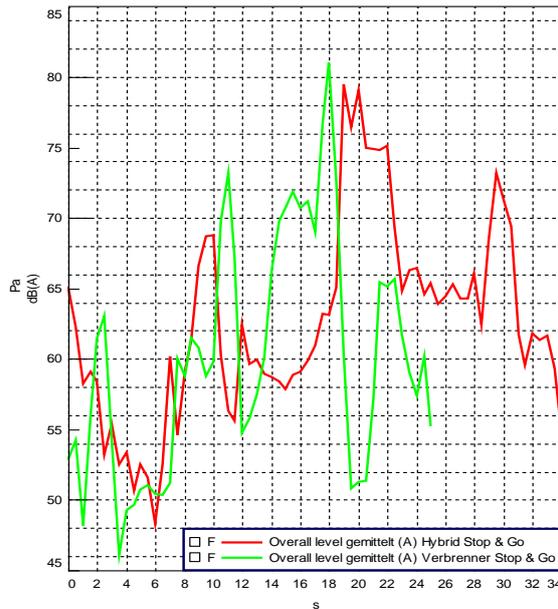


Abbildung 28:  
Gesamtschalldruck-  
pegel beim Stop and  
Go-Betrieb,  
Innenmessung

Maximaler  
gemittelter  
Summenschall-  
druckpegel:

Hybrid: 79 dB (A)

Standard: 81 dB (A)



Im „stop and go“-Betrieb wurden bei beiden Messungen annähernd gleiche Schalldruckpegel außerhalb und innerhalb des Fahrzeuges gemessen.

## Trommeldrehung

Abbildung 29:  
Gesamtschalldruck-  
pegel bei der  
Trommeldrehung im  
Stand,  
Außenmessung

Maximaler  
gemittelter  
Summenschall-  
druckpegel:

Hybrid: 70 dB (A)

Standard: 70 dB (A)

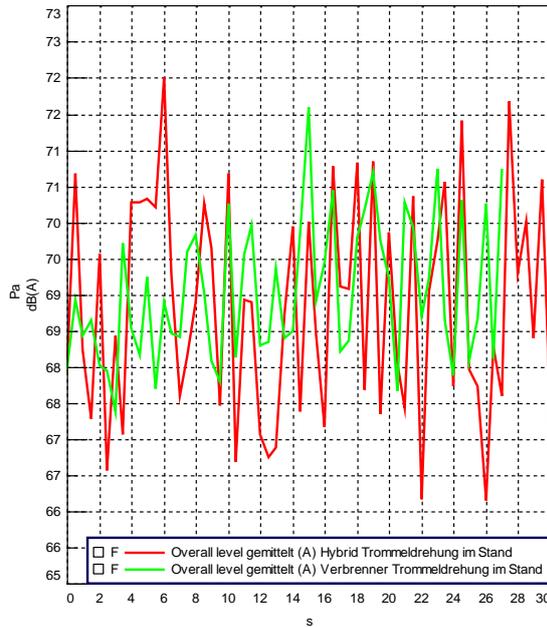
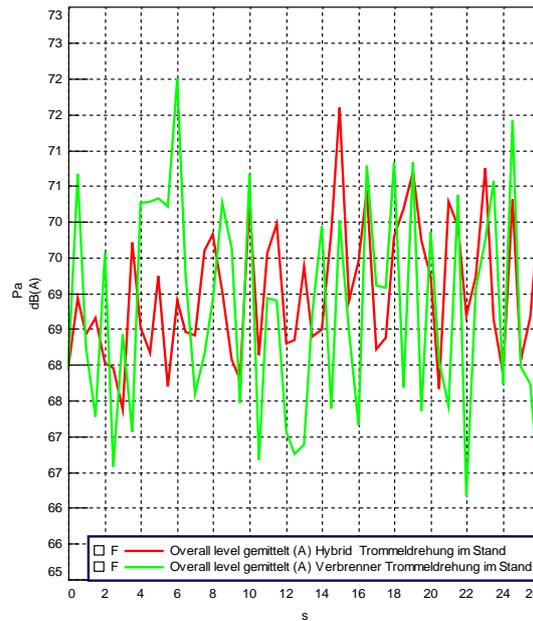


Abbildung 30:  
Gesamtschalldruck-  
pegel bei der  
Trommeldrehung im  
Stand,  
Innenmessung

Mittlerer  
Summenschall-  
druckpegel:

Hybrid: 70 dB (A)

Standard: 70 dB (A)



Die Messung der Schalldruckpegel bei der Trommeldrehung ergab, dass bei allen Messkriterien gleiche Werte, von gemittelt 70 dB (A), gemessen wurden.

## Schüttung

Abbildung 31:  
Gesamtschalldruck-  
pegel bei der  
Schüttung der  
Mülltonnen,  
Außenmessung

Maximaler gemittelter  
Summenschall-  
druckpegel:

Hybrid: 69 dB (A)

Standard: 77 dB (A)

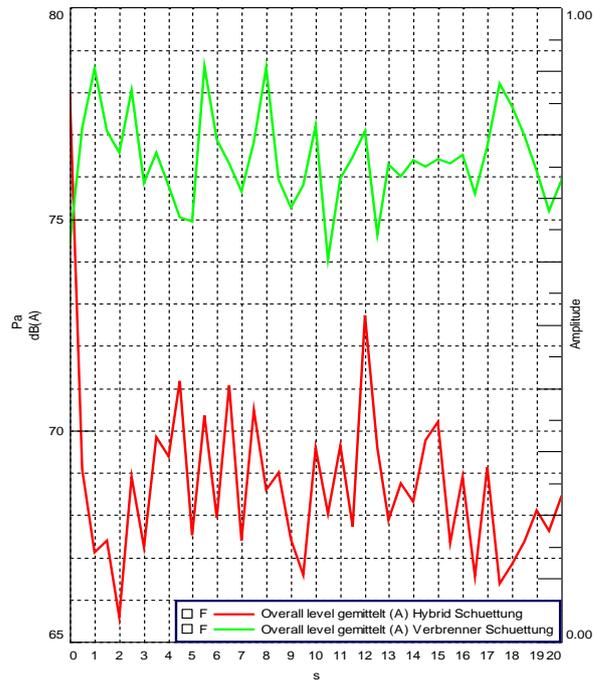
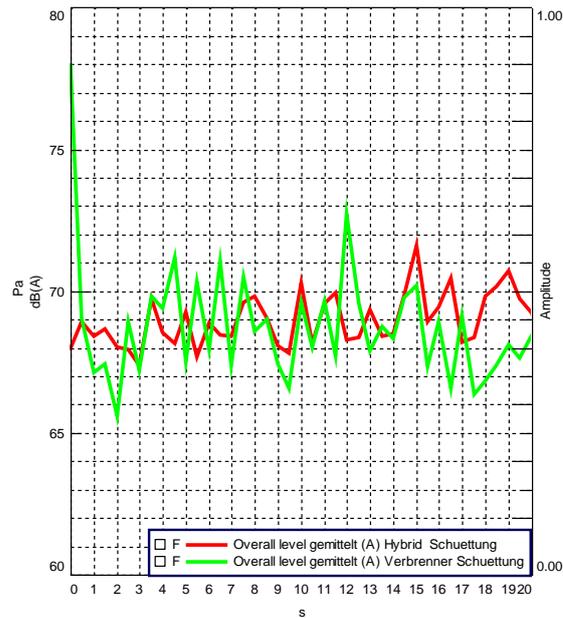


Abbildung 32:  
Gesamtschalldruck-  
pegel bei der  
Schüttung der  
Mülltonnen,  
Innenmessung

Mittlerer  
Summenschall-  
druckpegel:

Hybrid: 69 dB (A)

Standard: 69 dB (A)



Durch den Einsatz von elektrischen Komponenten bei der Schüttung ist der Gesamtschalldruckpegel bei der Außenmessung des Hybridfahrzeuges um 8 dB (A) geringer als bei dem Standardfahrzeug. Jedoch lässt sich bei der Innenmessung kein Unterschied feststellen.

#### 4.4 Diskussion und Beurteilung der Ergebnisse

Besonders aussagekräftige Ergebnisse erzielen die Vorbeifahrtmessungen. Der akustische Vorteil des hybridgetriebenen Müllautos lässt sich hier klar erkennen. Bei einer Vorbeifahrt mit 10 km/h liegt der vom Hybridantrieb erzeugte Schalldruck mit 76 dB (A) auf Niveau der Umgebungsgeräusche. Der Standardantrieb liegt mit 81 dB (A) deutlich darüber. Bei der Vorbeifahrt mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h erhöht sich die Differenz der Geräuschpegel auf 8 dB (A) [Hybrid: 75 dB (A), Standard 83 dB (A)].

Die Innenraummessungen bei konstanten Geschwindigkeiten zeigen bei 10 km/h Vorteile auf Seiten des Hybridantriebs. Mit 14 dB liegen deutliche Unterschiede zwischen den herrschenden Schalldrücken. Bei den Messungen mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h ist der Unterschied im Innenraum kaum messbar. Dieselbe Beobachtung lässt sich im Vergleich der Schüttungsmessungen machen. Im Vergleich der Außenmikrofone liegt der Schalldruckpegel beim Standard 8 dB über dem Hybridantrieb.

Die unterschiedlichen Ergebnisse der Messungen im Innenraum mit den Außenmikrofonen könnten auf folgende Einflüsse zurückzuführen sein:

- unterschiedliche Geschwindigkeiten bei den Messungen
- unterschiedliche Drehzahlen bei den Messungen
- Wind oder andere Störgeräusche
- gute Schalldämmung der Kabine

#### 4.5 Fazit

Die akustischen Größen wurden bei verschiedenen definierten Betriebszuständen gemessen. Ort der Untersuchung war der August-Euler-Flugplatzes in Griebenheim bei Darmstadt.

Alle Untersuchungen zeigen, dass der Hybridbetrieb deutlich leiser ist als der des Standardbetriebs. Vor allem bei typischen Situationen wie dem Betrieb der Schüttung und langsamen Vorbeifahren (Innenstadt) zeigen sich akustische Vorteile des hybriden Betriebs von bis zu 48 %.

Besonders aussagekräftige Ergebnisse erzielen die Vorbeifahrtmessungen. Der akustische Vorteil des hybridgetriebenen Müllautos lässt sich hier klar erkennen. Bei einer Vorbeifahrt mit 10 km/h liegt der vom Hybridantrieb erzeugte Schalldruck mit 76 dB (A) auf Niveau des Umgebungslärms. Der Standardantrieb liegt mit 81 dB (A) deutlich darüber. Bei 30 km/h beträgt der Unterschied bereits 8 dB (A) (Hybrid: 75 dB (A), Standard 83 dB (A)).

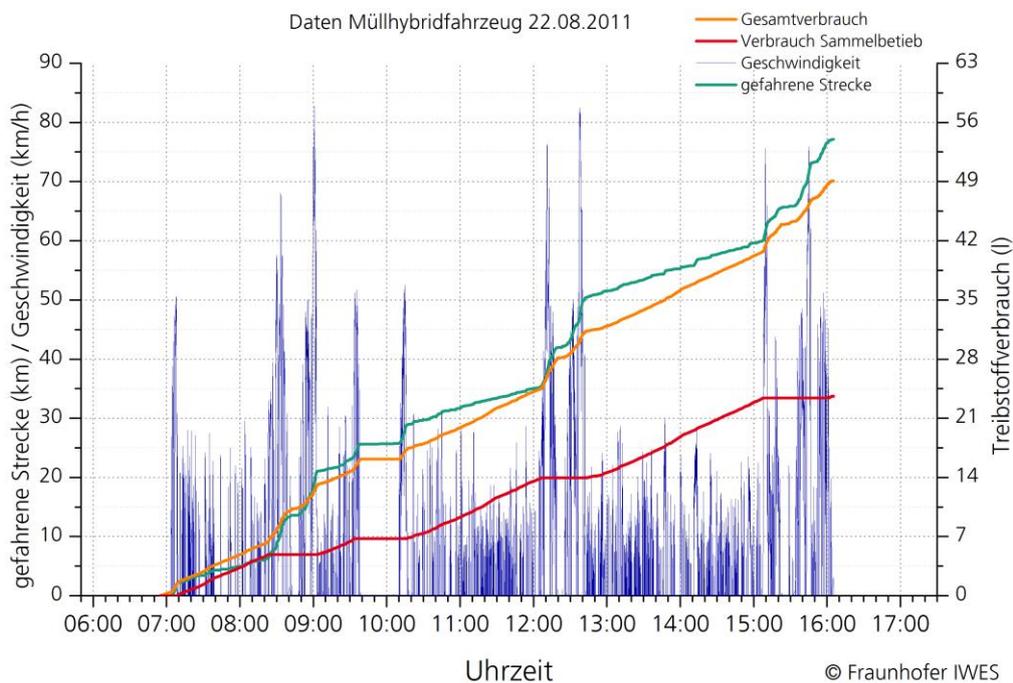
Die Innenraummessungen bei konstanten Geschwindigkeiten zeigen nur bei 10 km/h Vorteile auf Seiten des Hybridantriebs. Mit 14 dB liegen deutliche Unterschiede zwischen den herrschenden Schalldrücken vor. Bei 30 km/h ist der Unterschied im Innenraum kaum messbar. Dieselbe Beobachtung lässt sich im Vergleich der Schüttungsmessungen machen. Im Vergleich der Außenmikrofonmessung liegt der Schalldruckpegel beim Standard 8 dB über dem Hybridantrieb.

# 5 Anhänge

## 5.1 Betrachtungszeitraum Tageweise

Abbildung 33:  
Tagestour  
Montag

Hybrid



Standard

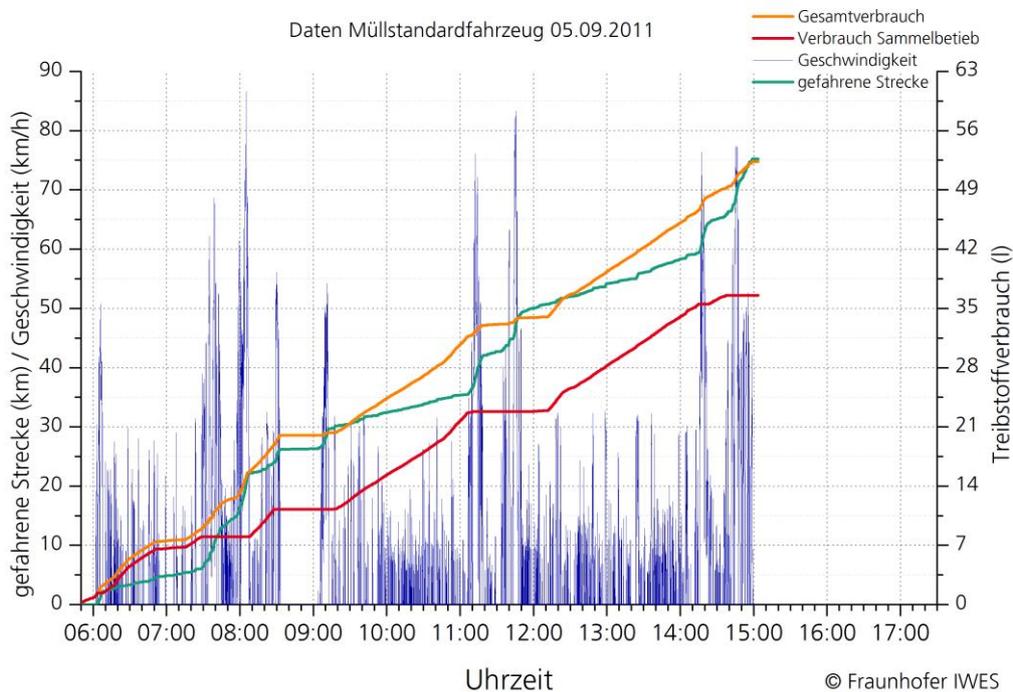
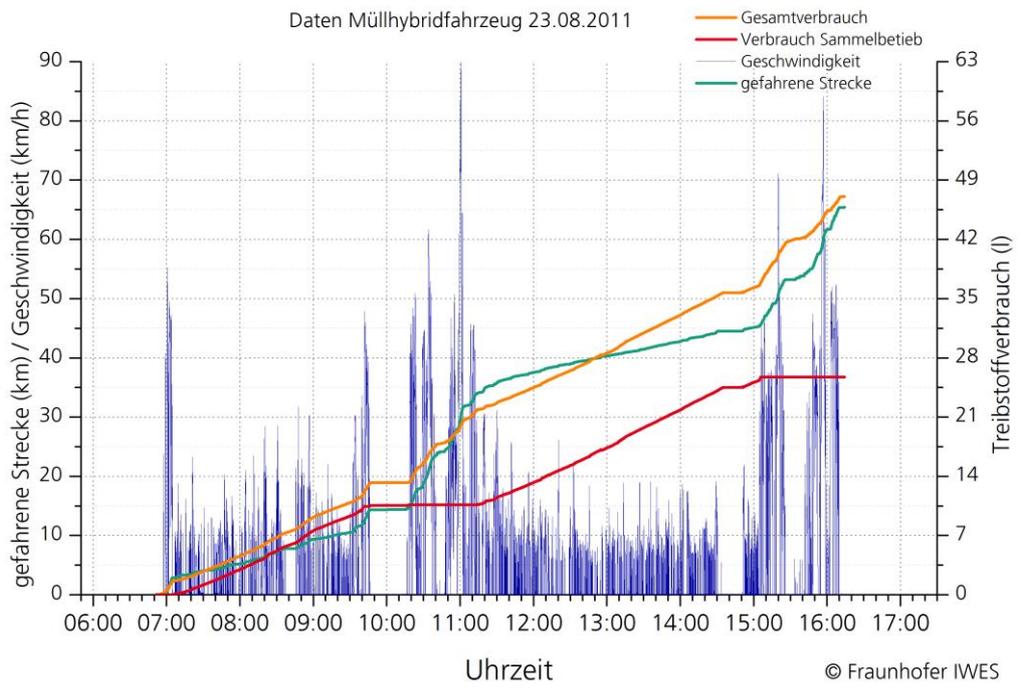


Abbildung 34:  
Tagestour  
Dienstag

Hybrid



Standard

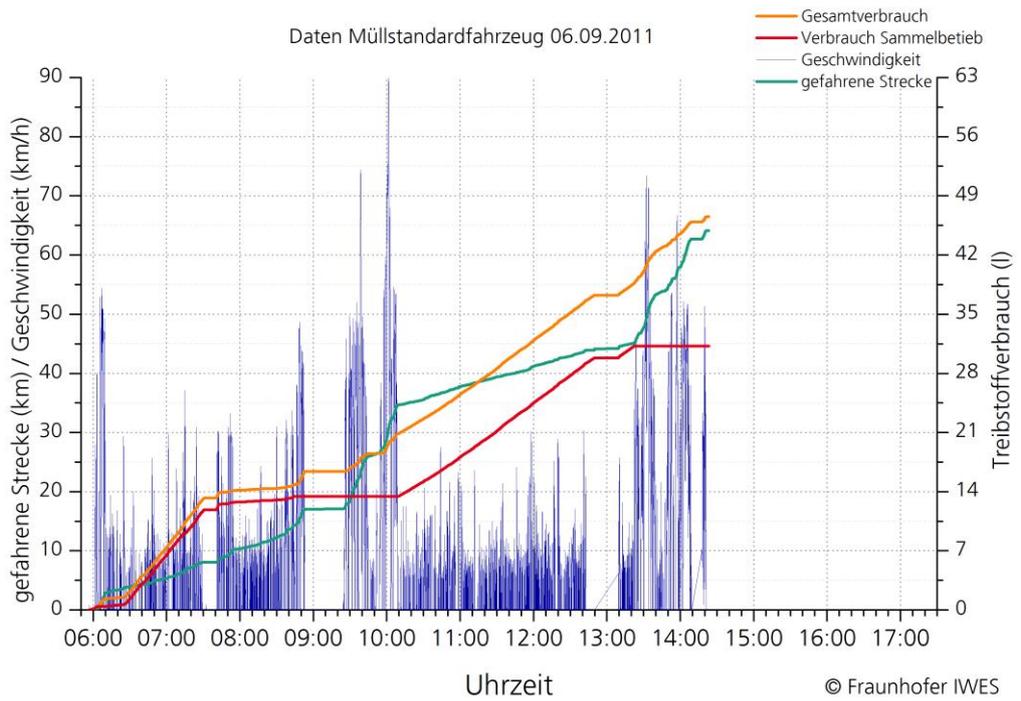
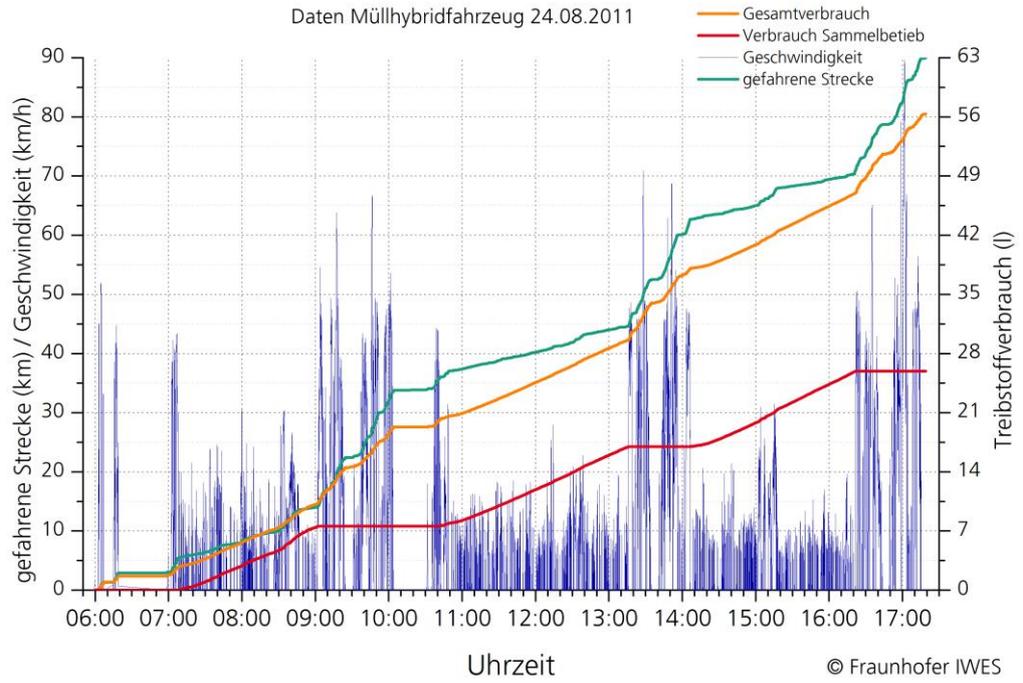


Abbildung 35:  
Tagestour  
Mittwoch

Hybrid



Standard

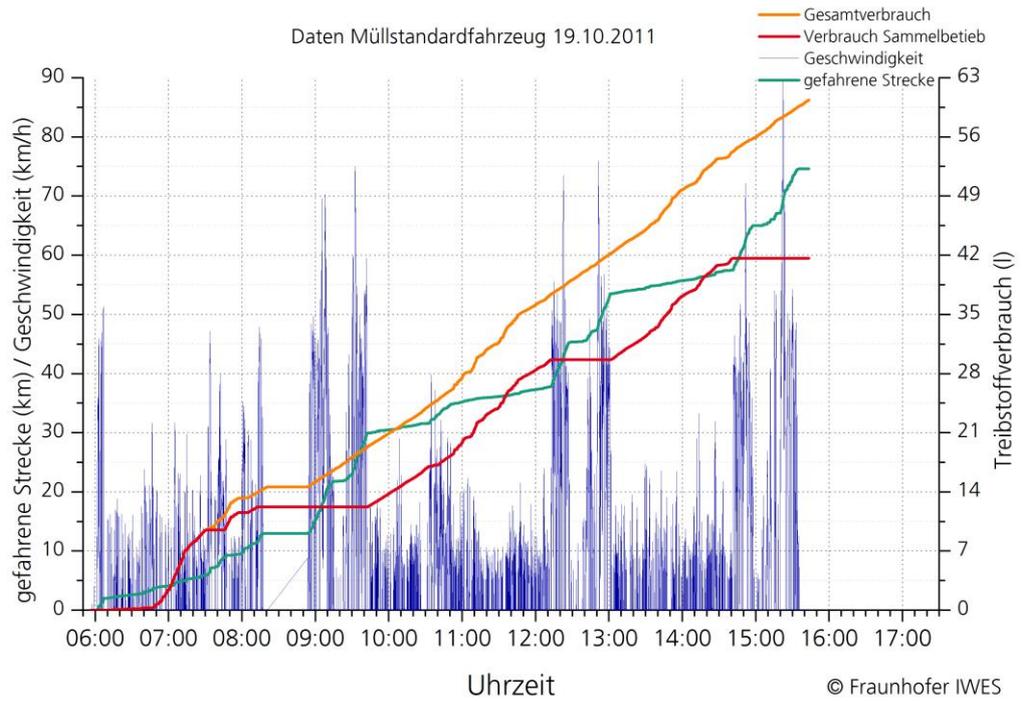
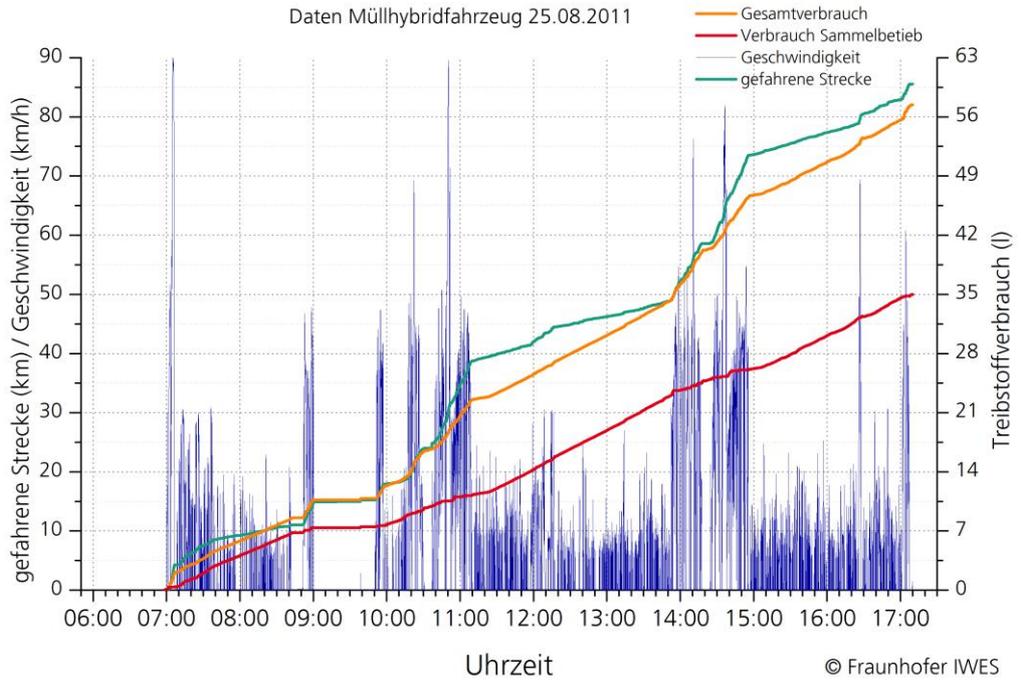


Abbildung 36:  
Tagestour  
Donnerstag

Hybrid



Standard

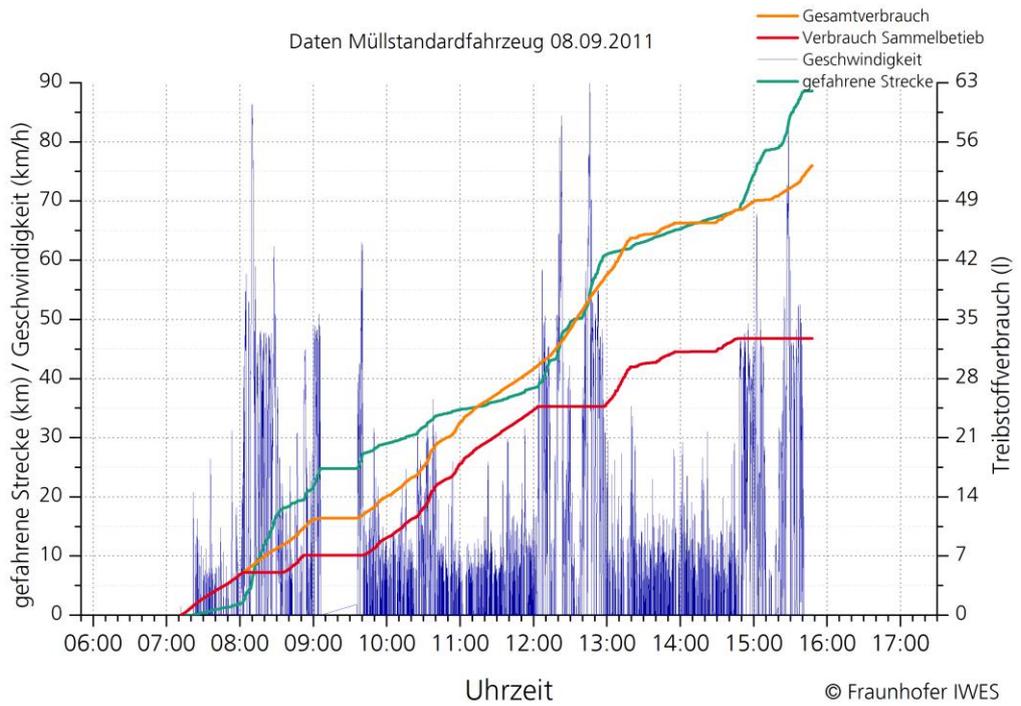
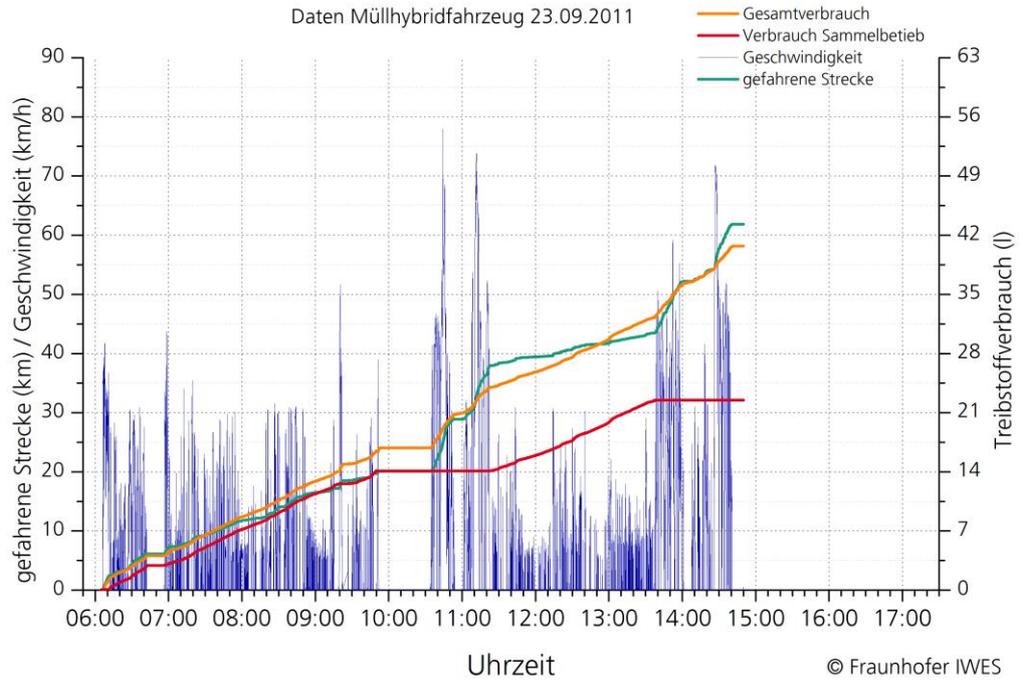
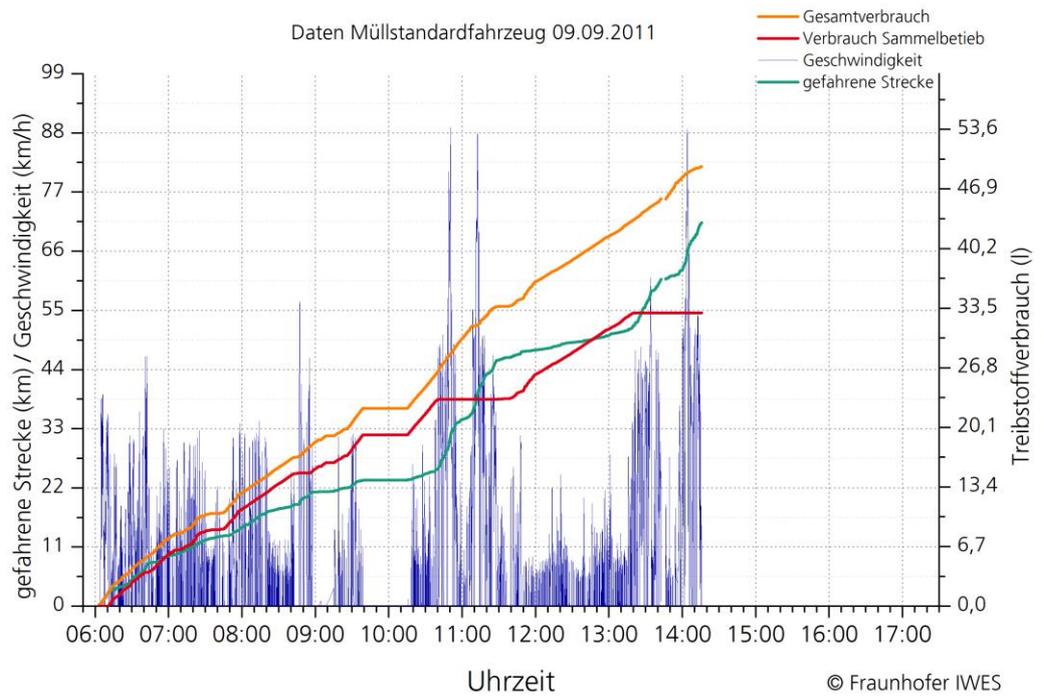


Abbildung 37:  
Tagestour  
Freitag

Hybrid



Standard



## 5.2 Tabellenauswertung Tageweise

Tabelle 4: Tagesübersicht Montag

### Montag

Merkmal		Müll-Hybridfahrzeug			Müll-Standardfahrzeug			Differenz in %			
		Fahrb.	Sammelb.	Summe	Fahrb.	Sammelb.	Summe	Fahrb.	Sammelb.	Summe	
Streckenlänge	km	54,57	22,54	77,11	50,44	24,82	75,26	8,2	-9,2	2,5	
Fahrzeit	h	2,68	5,99	8,67	2,21	6,57	8,78	21,4	-8,8	-1,2	
Verbrauch	l	25,48	23,58	49,06	15,20	37,11	52,31	67,6	-36,5	-6,2	
Müllaufkommen	t	30,04			30,44			-1,3			
Geschwindigkeit	max	km/h	82,80	32,10	82,80	86,60	34,90	86,60	-4,4	-8,0	-4,4
	Ø	km/h	19,40	3,08	8,12	21,81	2,73	7,53	-11,0	12,8	7,8
Verbrauch streckenbez.	l/km	0,47	1,05	0,64	0,30	1,50	0,70	54,9	-30,0	-8,5	
Verbrauch fahrzeitbez.	l/h	9,50	3,94	5,66	6,88	5,65	5,96	38,1	-30,3	-5,1	
Verbrauch gewichtsbez.	l/t	0,85	0,78	1,63	0,50	1,22	1,72	69,9	-35,6	-5,0	

Tabelle 5: Tagesübersicht Dienstag

### Dienstag

Merkmal		Müll-Hybridfahrzeug			Müll-Standardfahrzeug			Differenz in %			
		Fahrb.	Sammelb.	Summe	Fahrb.	Sammelb.	Summe	Fahrb.	Sammelb.	Summe	
Streckenlänge	km	44,37	21,06	65,43	41,55	22,59	64,14	6,8	-6,8	2,0	
Fahrzeit	h	2,35	6,25	8,60	1,86	5,57	7,43	26,3	12,2	15,7	
Verbrauch	l	21,35	25,70	47,05	14,48	32,06	46,54	47,4	-19,8	1,1	
Müllaufkommen	t	22,48			22,12			1,6			
Geschwindigkeit	max	km/h	89,90	33,70	89,90	89,90	33,70	89,90	0,0	0,0	0,0
	Ø	km/h	17,37	2,71	6,72	21,39	2,82	7,46	-18,8	-3,9	-9,9
Verbrauch streckenbez.	l/km	0,48	1,22	0,72	0,35	1,42	0,73	38,1	-14,0	-0,9	
Verbrauch fahrzeitbez.	l/h	9,09	4,11	5,47	7,78	5,76	6,26	16,7	-28,6	-12,7	
Verbrauch gewichtsbez.	l/t	0,95	1,14	2,09	0,65	1,45	2,10	45,1	-21,1	-0,5	

Tabelle 6: Tagesübersicht Mittwoch

### Mittwoch

Merkmal		Müll-Hybridfahrzeug			Müll-Standardfahrzeug			Differenz in %			
		Fahrb.	Sammelb.	Summe	Fahrb.	Sammelb.	Summe	Fahrb.	Sammelb.	Summe	
Streckenlänge	km	44,37	21,06	65,43	41,55	22,59	64,14	6,8	-6,8	2,0	
Fahrzeit	h	2,35	6,25	8,60	1,86	5,57	7,43	26,3	12,2	15,7	
Verbrauch	l	21,35	25,70	47,05	14,48	32,06	46,54	47,4	-19,8	1,1	
Müllaufkommen	t	22,48			22,12			1,6			
Geschwindigkeit	max	km/h	89,90	33,70	89,90	89,90	33,70	89,90	0,0	0,0	0,0
	Ø	km/h	17,37	2,71	6,72	21,39	2,82	7,46	-18,8	-3,9	-9,9
Verbrauch streckenbez.	l/km	0,48	1,22	0,72	0,35	1,42	0,73	38,1	-14,0	-0,9	
Verbrauch fahrzeitbez.	l/h	9,09	4,11	5,47	7,78	5,76	6,26	16,7	-28,6	-12,7	
Verbrauch gewichtsbez.	l/t	0,95	1,14	2,09	0,65	1,45	2,10	45,1	-21,1	-0,5	

Tabelle 7: Tagesübersicht Donnerstag

**Donnerstag**

Merkmal		Müll-Hybridfahrzeug			Müll-Standardfahrzeug			Differenz in %			
		Fahrb.	Sammelb.	Summe	Fahrb.	Sammelb.	Summe	Fahrb.	Sammelb.	Summe	
Streckenlänge	km	58,12	27,46	85,58	66,04	22,58	88,62	-12,0	21,6	-3,4	
Fahrzeit	h	2,58	6,86	9,44	2,75	5,35	8,10	-6,2	28,2	16,5	
Verbrauch	l	22,44	35,00	57,44	20,44	32,74	53,18	9,8	6,9	8,0	
Müllaufkommen	t	20,54			26,36			-22,1			
Geschwindigkeit	max	km/h	90,00	30,80	90,00	89,90	36,50	89,90	0,1	-15,6	0,1
	Ø	km/h	21,60	3,09	8,15	22,98	3,18	9,91	-6,0	-2,8	-17,8
Verbrauch streckenbez.	l/km	0,39	1,27	0,67	0,31	1,45	0,60	24,7	-12,1	11,8	
Verbrauch fahrzeitbez.	l/h	8,70	5,10	6,08	7,43	6,12	6,57	17,0	-16,6	-7,3	
Verbrauch gewichtsbez.	l/t	1,09	1,70	2,80	0,78	1,24	2,02	40,9	37,2	38,6	

Tabelle 8: Tagesübersicht Freitag

**Freitag**

Merkmal		Müll-Hybridfahrzeug			Müll-Standardfahrzeug			Differenz in %			
		Fahrb.	Sammelb.	Summe	Fahrb.	Sammelb.	Summe	Fahrb.	Sammelb.	Summe	
Streckenlänge	km	39,97	21,87	61,84	45,60	25,68	71,28	-12,3	-14,8	-13,2	
Fahrzeit	h	2,11	5,56	7,67	2,01	5,39	7,40	5,0	3,2	3,6	
Verbrauch	l	12,41	28,29	40,70	16,42	32,98	49,40	-24,4	-14,2	-17,6	
Müllaufkommen	t	25,18			16,32			54,3			
Geschwindigkeit	max	km/h	77,90	35,50	77,90	89,00	36,20	89,00	-12,5	-1,9	-12,5
	Ø	km/h	19,57	3,80	8,11	21,39	3,86	8,63	-8,5	-1,6	-6,0
Verbrauch streckenbez.	l/km	0,31	1,29	0,66	0,36	1,28	0,69	-13,8	0,7	-5,0	
Verbrauch fahrzeitbez.	l/h	5,88	5,09	5,31	8,17	6,12	6,68	-28,0	-16,8	-20,5	
Verbrauch gewichtsbez.	l/t	0,49	1,12	1,62	1,01	2,02	3,03	-51,0	-44,4	-46,6	