



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology



Begleitforschung der TU Wien in VLOTTE

Endbericht

19. April 2010

Dipl.-Ing. Andreas SCHUSTER
Projektassistent
+43 1 58801 37334
schuster@ea.tuwien.ac.at

Dipl.-Ing. Christoph LEITINGER
Projektassistent
+43 1 58801 37335
leiting@ea.tuwien.ac.at

o. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Günther BRAUNER
Arbeitsgruppenleiter
+43 1 58801 37310
g.brauner@tuwien.ac.at



Gußhausstraße 25/373-1,
1040 Wien, Österreich

<http://www.ea.tuwien.ac.at>

Kurzfassung

Die Begleitforschung in der ersten Stufe der Elektromobilitätsregion VLOTTE dient dazu, Erkenntnisse zu den eingesetzten Fahrzeugen und dem Ladeverhalten – fahrzeugbezogen bzw. an Ladestellen - zu sammeln. Von diversen Herstellerunterlagen und Forschungsprojekten sind Kenndaten bekannt. Diese gilt es für den Realfall zu bestätigen und in der praktischen Anwendung der Fahrzeuge zu evaluieren. Erkenntnisse daraus können helfen, weitere Verbesserungen verwendeter Komponenten oder im Umgang mit Elektrofahrzeugen zu erzielen.

Dieses Fahrzeug- und Lademonitoring wurde einerseits durch Einzelmessungen für eine konkrete Kennwertbestimmung und andererseits durch mehrwöchige Messreihen von insgesamt 19 Elektrofahrzeugen bewerkstelligt.

Aufbauend auf ein entwickeltes Messkonzept wurde das Verhalten der Leistungsverbräuche beim Fahren und Stehen und im Ladeprozess bei unterschiedlichen Fahrzeugtypen (TH!NK city und Fiat 500) bestimmt. Die Darstellungen in den folgenden Abschnitten zeigen die Fahrverbräuche und beachtlichen Aufladeverluste, die beide entfernungsbezogen („pro 100km“) bestimmt werden. Weiters wird auf die Stand-by-Verluste (Heizenergie und Verluste durch Leistungselektronik) eingegangen, die zeitbezogen („pro Stunde“) ihre Darstellung finden und aufgrund der ZEBRA-Batterietechnologie als sehr hoch eingestuft und bestätigt wurden.

Das Ladeverhalten der Fahrzeugbatterien konnte durch das dreiwöchige Beobachtungsintervall in Bezug auf Entladetiefen ausgewertet werden. Aufgrund von zeitexakter Messwertermittlung wurde die Bestimmung von Leistungsverläufen im 24h-Zeitraum möglich. Als Ergebnis stehen somit synthetische Lastprofile für das kleine Fahrzeugsample für Arbeits- und Wochenendtage zur Verfügung. Die Auswertung der stationären Stromimpulszähler an zwei Ladestellen mit jeweils mehreren Elektrofahrzeugen liefern darüber hinaus reale Lastprofile und Erkenntnisse, trotz der Einschränkung der geringen Fahrzeugzahl.

Durch den Einsatz von GPS-Datenspeichern konnten erste wichtige Aussagen zu Standorten, Standzeiten und Ansteckverhältnissen erstellt werden, die wiederum zukünftig auf die Verteilung von Ladestellen Auswirkung haben sollten. Die GPS-Erhebung war jedoch mit nicht erwarteten Datenfehlern behaftet, sodass die direkt nutzbare Datenmenge zu gering wurde, um derartige Aussagen für den allgemeinen Fall in der Testregion tätigen zu können. Die Auswertungen sind dennoch für die lokale Situation und den vorhandenen Gegebenheiten aussagekräftig.

Wirtschaftliche Betrachtungen runden die Begleitforschung im Bericht ab und zeigen abschließend Überlegungen zur Gesamtkostenanalyse von Fahrzeugen und zu Ladeinfrastrukturkosten.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
2	Messaufbau und deren Durchführung.....	5
2.1	Einzelmessungen	7
2.1.1	Ladeleistungsverlauf und Aufladeverluste – Messung.....	7
2.1.2	Fahrverbrauch und Rekuperation – Messung	7
2.1.3	Selbstentladung – Messung 1.....	7
2.1.4	Selbstentladung – Messung 2.....	7
2.1.5	Ladeleistungsverlauf, Fahrverbrauch und Rekuperation – Messung.....	8
2.2	Messreihenmessungen.....	8
2.3	Dauermessungen.....	8
3	Messergebnisse bzw. Datenauswertung.....	9
3.1	Zustände der Leistungsaufnahme	9
3.2	Batterieaufladung und deren Verluste.....	12
3.3	Fahrverbräuche	14
3.3.1	Fahrverbräuche aus Einzelmessungen	14
3.3.2	Fahrverbräuche aus den Messreihen	16
3.4	Stand-by-Verluste.....	18
3.4.1	Stand-by-Verluste aus Einzelmessungen.....	18
3.4.2	Stand-by-Verluste aus den Messreihen	20
3.5	Analyse der gesamten Ladeprozesse	21
3.5.1	Entladetiefenverteilung der Fahrzeugbatterien.....	21
3.5.2	Ladeleistungsverlauf aller Fahrzeuge	23
3.5.3	Ladeleistungsverlauf der betrachteten Ladestellen.....	25
3.6	Analyse der verkehrsrelevanten Daten	30
3.6.1	GPS-Datengrundlage	30
3.6.2	Verteilung der Stehdauern	31
3.6.3	Standortverteilung	33
4	Wirtschaftliche Betrachtungen	36
4.1	Fahrzeuggesamtkosten	36
4.2	Kosten der Ladeinfrastruktur	38
5	Zusammenfassung der Endergebnisse.....	39
5.1	Fahrzeugverbräuche.....	39
5.2	Ergebnisse der gesamten Ladeprozesse.....	40
5.3	Ergebnisse der benutzerrelevanten Analysen.....	41
6	Weiterführende Fragestellungen	42
7	Abkürzungsverzeichnis	43
8	Anhang	44

1 Einleitung

Durch das Umsetzungsprojekt „VLOTTE“ sind mehr Elektrofahrzeuge denn je auf Österreichs Straßen unterwegs. Der baldige Erfolg dieser wird einerseits durch die FahrerInnen bzw. KäuferInnen bestimmt und andererseits wird dies Einfluss auf die technische Realisierung der Elektroautos, Ladestellen und Energiebereitstellung haben. Deshalb und um zukünftige Systeme zu optimieren, ist es schon in der frühen Phase wichtig, die Erkenntnisse aus den ersten Modellregionen präzise zu bestimmen und die Daten der Fahrzeug-, Ladestellen- und Energieverteilungskomponenten wissenschaftlich zu erheben. Die Aufgaben der TU Wien bei dieser Begleitforschung in VLOTTE sind das Fahrzeug- sowie Ladestellenmonitoring.

Folgende Analysen sind in der Begleitforschung bearbeitet worden:

- Bestimmung von Fahrzeugkenndaten der Fahrverbräuche und unterschiedlichen Verluste.
- Ermittlung von Eigenschaften des Ladeprozesses, bezogen auf die Fahrzeuge bzw. auf die Ladestellen.
- Analysen des Benutzerverhaltens in Hinblick auf Standdauer und Standorte.
- Wirtschaftliche Betrachtungen der Elektromobilität.

2 Messaufbau und deren Durchführung

Da bis jetzt hauptsächlich Unternehmungen den Kundenkreis der VLOTTE bilden und somit deren MitarbeiterInnen das Elektroauto überwiegend dienstlich nutzen, ist der Aufenthalt des Fahrzeugs (FZ) meist mit der Firma bzw. Stampoarkplatz verknüpft. Weitere wichtige Lokalitäten sind die öffentlichen und sonstigen Ladestellen, wie die Park&Charge-Plätze, das Privathaus sowie Supermärkte und dergleichen. Stellplätze letztgenannter Kategorie haben zurzeit nur sehr vereinzelt Lademöglichkeiten, obwohl dort manchmal lange Stehzeiten absolviert werden.

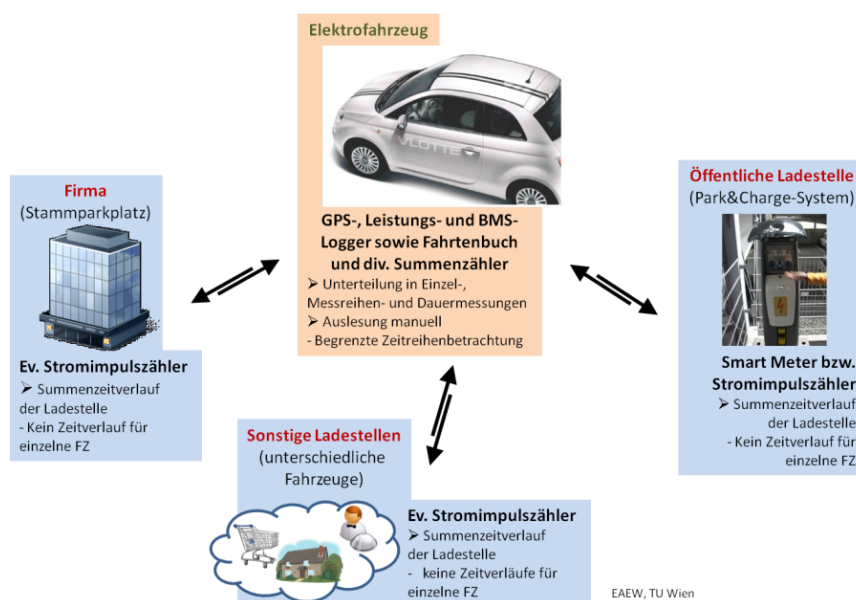


Abbildung 1: Akteurfeld und installierte Messgeräte

Die Ladestellen der VKW und der Landesregierung Vorarlberg sind mit sogenannten Stromimpulszählern ausgestattet. Diese speichern alle 10 Minuten die verbrauchte Energiemenge aller dort angesteckten Elektroautos. Daraus ergibt sich ein Summenzeitverlauf des Ladeorts.

In allen Autos wurden Energie-, Ladezeit- und Ansteckanzahl-Summenzähler (SZ) permanent installiert und alle FahrerInnen sind verpflichtet ein Fahrtenbuch zu führen. Die weiteren Messgeräte wie GPS- und Ladeleistungs-Logger (CLM) hingegen wurden nur für einen begrenzten Zeitrahmen eingerichtet. Batteriedaten aus dem Batteriemanagementsystem (BMS) konnten nur bei den Einzelmessungen gewonnen werden. Abbildung 1 zeigt alle betroffenen Akteure und die installierten Messgeräte zusammenfassend.

Betrachtet man die Ladekette aus der Sicht eines einzelnen FZs, so zeigt Abbildung 2 den Messaufbau schematisch. Direkt nach der Netzsteckdose ist der Ladeleistungs-Logger (CLM) installiert. Dieser erfasst Wirk-, Blind- und Scheinleistung sowie deren Energien, Strom und Spannung. Somit wird der Gesamtenergieverbrauch (inkl. der Verluste der Kontrolleinheit) der einzelnen Elektroautos zeitlich protokolliert. Das anschließende Ladekabel verbindet das FZ mit dem Stromnetz. Gleich nach der FZ-Steckdose befinden sich die Summenzähler für Wirkenergie, Ansteckzeit und -anzahl. Die vom Auto aufgenommene Energie wird, wie später noch ersichtlich wird, einerseits für das Heizsystem, welches die ZEBRA-Batterie auf über 260°C^1 hält, und andererseits zur Ladung der Batterie verwendet. Die Energieflüsse (Strom und Spannung) in die und aus der Batterie, „State-of-Charge“ (SOC), Temperatur und Zustand werden ständig vom Batteriemanagementsystem (BMS) überwacht. Mittels CAN-Bus können diese Daten aus dem FZ gelesen und via Software am Notebook in Drei-Sekunden-Abständen gespeichert werden.

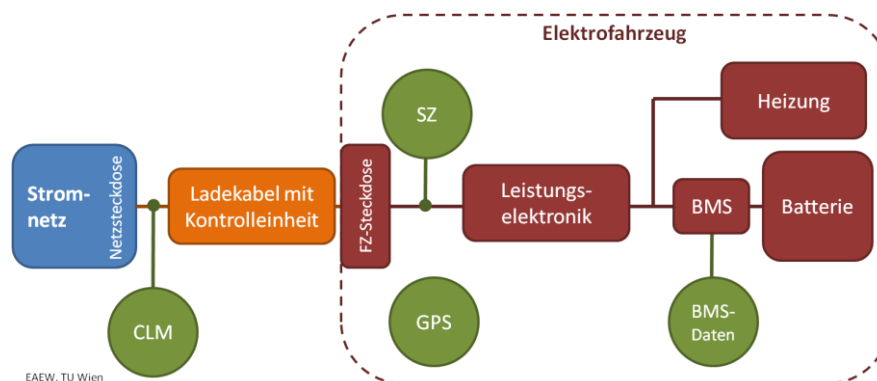


Abbildung 2: Messaufbau aus der Sicht eines FZs

Desweiteren sind die beobachteten FZ mit GPS-Loggern ausgestattet, welche geschwindigkeitsabhängig Längen- und Breitengrade sowie Höhe in bis zu Ein-Sekunden-Intervallen mitnotieren. Beim Stillstand der Elektroautos werden keine Daten geloggt, um den begrenzten Speicherplatz nicht zu überschreiten. Zusätzlich wird in allen Wagen ständig ein Fahrtenbuch geführt.

Die obig beschriebenen Messgeräte wurden in abwechselnden Kombinationen sowie unterschiedlichen Zeitintervallen im und am FZ installiert. Die Konfigurationen können in Einzel-, Messreihen- und Dauermessungen unterteilt werden. Diese werden folgend genauer beschrieben.

¹ Quelle: J. O. BESENHARD (Herausgeber): *Handbook of battery materials*. Seite 566, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 1999.

2.1 Einzelmessungen

In der Modellregion VLOTTE werden hauptsächlich die zwei Fahrzeugtypen „TH!NK city“ sowie umgebaute „Fiat 500“ verwendet. Daher wurden beide Autos durch Einzelmessungen näher beleuchtet. Als „TH!NK city“ wurde immer das gleiche FZ von der VW (B485EP) untersucht. Beim „Fiat 500“ wurden zwei unterschiedliche Autos (Derbie Herby und Vorstandswagen) betrachtet. Die daraus gewonnen detaillierten Daten sollen Rückschluss auf alle zukünftig beobachteten „TH!NK city“ sowie den Vergleich zum „Fiat 500“ in punkto Ladeleistungsverlauf, Aufladeverluste, Fahrverbrauch, Rekuperation² und Selbstentladung geben.

2.1.1 Ladeleistungsverlauf und Aufladeverluste – Messung

Durchführung: Messung der Ladekurve von niedrigstem Ladestand (30% SOC) auf Vollladung (100% SOC).

- CLM nimmt Leistung, Strom und Spannung des Gesamtsystems im Zeitverlauf (5-Sekunden-Intervall) auf.
- BMS registriert SOC, Strom und Spannung der Batterie im Ladeprozess (3-Sekunden-Intervall).

Messdauer: Vollständiger Ladezyklus (12 Stunden)

2.1.2 Fahrverbrauch und Rekuperation – Messung

Durchführung: Vollständig geladenes FZ fährt Testfahrt mit unterschiedlichen Streckenteile (Stadtverkehr mit Ampeln, Überland-Bundesstraße in der Ebene, Berg- und Talfahrt sowie Autobahn) in Vorarlberg.

- BMS registriert SOC, Strom und Spannung der Batterie während der gesamten Fahrt (3-Sekunden-Intervall).³
- GPS speichert Längen- und Breitengrade sowie Höhe (im 1- bis 6-Sekunden-Intervall).

Messdauer: 2 Stundenfahrt

2.1.3 Selbstentladung – Messung 1

Durchführung: Vollständig geladenes und abgestelltes FZ bleibt angesteckt.

- CLM nimmt Leistung, Strom und Spannung des Gesamtsystems im Zeitverlauf (5-Sekunden-Intervall) auf.
- BMS registriert SOC, Strom und Spannung der Batterie im Ruhezustand (3-Sekunden-Intervall).

Messdauer: 24 Stunden

2.1.4 Selbstentladung – Messung 2

Durchführung: Vollständig geladenes und abgestelltes FZ wird 12 Stunden abgesteckt und danach wieder angesteckt.

- CLM nimmt Leistung, Strom und Spannung des Gesamtsystems im Zeitverlauf (5-Sekunden-Intervall) auf.
- BMS registriert SOC, Strom und Spannung der Batterie (3-Sekunden-Intervall).

Messdauer: Insgesamt 24 Stunden (12 Stunden abgesteckt und 12 Stunden angesteckt)

² Die Rekuperationsfähigkeit kann nur beim „TH!NK city“ angegeben werden, da beim „Fiat 500“ aus bis jetzt unerklärlichen Gründen keine BMS-Daten während der Fahrt gespeichert werden konnten.

³ Die darauffolgende Datenauswertung zeigte, dass die im 3-Sekunden-Intervall erfassten Momentanwerte der Spannung und des Stroms des BMS sehr ungenaue Ergebnisse während der Fahrt liefern. Erklärbar ist dies, da die Belastungen der Batterie (Gaspedaländerung) sich innerhalb der drei Sekunden öfters ändern.

2.1.5 Ladeleistungsverlauf, Fahrverbrauch und Rekuperation – Messung

Durchführung: Vollständig geladenes FZ fährt Testfahrt mit unterschiedlichen Streckenteile (Stadtverkehr mit Ampeln, Überland-Bundesstraße in der Ebene, Berg- und Talfahrt sowie Autobahn) in Vorarlberg. Anschließend wird die Batterie wieder bis zur Vollladung angesteckt.

- CLM nimmt Leistung, Strom und Spannung des Gesamtsystems im Ladeprozess (5-Sekunden-Intervall) auf.
- BMS registriert SOC, Strom und Spannung der Batterie während der Fahrt und im Ladeprozess (3-Sekunden-Intervall).
- GPS speichert Längen- und Breitengrade sowie Höhe während der Fahrt (1- bis 6-Sekunden-Intervall).

Messdauer: Insgesamt 14 Stunden (2 Stunden Fahrt und 12 Stunden vollständiger Ladezyklus)

2.2 Messreihenmessungen

Durchführung: Jeweils 9 FZ (ausschließlich „TH!NK city“) werden gleichzeitig mit folgenden Messgeräten ausgestattet. Die Installation der Logger sollte mit dem Augenmerk auf die Benutzerfreundlichkeit und vor allem Manipulationssicherheit durchgeführt werden. Nach Ende der dreiwöchigen Messdauer müssen die Geräte wieder ausgebaut und anschließend die Daten ausgelesen werden.

- CLM nimmt Leistung, Strom und Spannung des Gesamtsystems (30-Sekunden-Intervall) auf.
- GPS speichert Längen- und Breitengrade sowie Höhe während den Fahrten (1- bis 6-Sekunden-Intervall bzw. keine Protokollierung im Stillstand).

Messdauer: 3 Wochen

Dieser Messvorgang wurde nach anschließender Überprüfung der Datenqualität einmal mit anderen Elektrofahrzeugen (auch „TH!NK city“) wiederholt. Dadurch vervielfachte sich die Datengrundlage und die Gesamtmessung liefert bessere Ergebnisse.

2.3 Dauermessungen

Die installierten Stromimpulszähler im VKW-Parkhaus sowie am Abstellplatz der Landesregierung Vorarlbergs liefern Energieverbrauchswerte im 10-Minuten-Intervall. Diese Daten werden ständig mit protokolliert und finden daher ergänzend Eingang in dieser Begleitforschung. Der Betrachtungszeitraum erstreckt sich dabei beim Landhaus von Mitte Juni 2009 bis Ende März 2010 sowie beim VKW-Parkhaus von Anfang Oktober 2009 bis Ende März 2010.

3 Messergebnisse bzw. Datenauswertung

Die Fülle der gesammelten Daten ermöglicht eine Vielzahl unterschiedlicher Auswertungen und Ergebnisse. Im Rahmen dieser Begleitforschung haben wir uns auf in Tabelle 1 ersichtlichen Fragestellungen beschränkt.

Tabelle 1: Mess- und Ergebnismatrix

Ergebnisse/Fragen			Messgeräte und -größen						
			Im Auto			Am Auto			Ladestelle
			GPS-Logger	Leistungslogger	CAN-Logger (BMS)	PC-Logger (BMS)	Lastprofilzähler	Power Quality	Lastprofilzähler
Einzelmessungen	Ladeleistungsverlauf BEV	kW über s & SOC%		X		X	X		
	Aufladeverluste	% d. aufg. Energie				X Ladeleistungsverlauf BEV X			
	Rekuperation (Einzelwert)	% d. Gesamtverbrauchs	X			X			
	Selbstentladung	%/Tag d. Batt.-nennenergie		X		X	X		
	Power Quality	versch. Messgrößen						X	
Messreihenmittlungen	BEV-Energieverbrauch (Hochrechnung)	kWh/km	X	X					
	BEV-Energieverbrauch (gemittelt)	kWh/km	X	X	X				
	Entladetiefenverteilung (Hochrechnung)	SOC% Reststand	x BEV-Energieverbrauch (Hochrech.) x						
	Entladetiefenverteilung (gemittelt)	SOC% Reststand	X BEV-Energieverbrauch (gemittelt) X						
	Rekuperation (gem.)	% d. Gesamtverbrauchs			X				
Messreihen	Lastprofil BEV	kW über s		X					
	synth. Lastprofil BEV	kW über s	X			X Ladeleistungsverlauf BEV X			
	Ladesteuerung	kW über s	X	X					
	Lastprofil Ladestelle	kW über s							X
	synth. Lastprofil Ladestellen	kW über s	X	X					X
	Ladestellenausbau	Wo & wie viel kW	X	X					

In diesem Endbericht wird auf das Fahrzeugmonitoring im ersten Schritt und dann anschließend auf das Benutzer- sowie Ladestellenverhalten näher eingegangen. Diese Arbeit wird mit einem Ausblick weiterer interessanter Fragestellungen, welche die Fülle an vorhandenen Daten noch liefern, abschließen.

3.1 Zustände der Leistungsaufnahme

Das besondere an FZ mit ZEBRA-Batterien ist, dass sie nicht nur während des Fahrens Energie verbrauchen, sondern auch bei längeren Stehphasen Heizenergie benötigen. Diese Tatsache und dass zukünftige Elektroautos mittels Li-Ionen-Technologie, bei welchen dieser Effekt nicht auftritt, ausgestattet sind, macht es sehr schwierig energetische Vergleiche mit Li-Ionen-Technologie anzustellen.

Beide Fahrzeugtypen („TH!NK city“ und „Fiat 500“) besitzen in dieser Ausführung ZEBRA-Batterien. Daher ist ihr Verhalten prinzipiell sehr ähnlich, obwohl ihre Kennwerte verschieden sind. Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die unterschiedlichen Wirkleistungsverläufe.

Aus diesen Abbildungen können sich folgende Zustände, welche für die darauffolgenden Untersuchungen von entscheidender Bedeutung sind, von ZEBRA betriebenen FZ deklarieren lassen:

- **FZ ist nicht angesteckt (Unplugged-Phase):** In dieser Phase ist das FZ entweder in Bewegung oder steht ohne geladen zu werden. Die Leistungsaufnahme bzw. -abgabe ist daher nur im Auto zwischen Batterie, Elektromotor und Heizsystem. Unabhängig davon, ob sich das Auto bewegt, ist auch ein Energieverlust beim Stehen möglich, da die Heizregelung bei den ZEBRA-Batteriesystemen immer aktiv ist.

- FZ lädt (Ladephase):** In Abbildung 3 ist diese beispielhaft in den ersten 12 Std. und zusätzlich die kurze Nachladung nach 14 Std. dargestellt. Muss die Batterie während des Ladens geheizt werden, so verringert sich die Ladeleistung des BMS währenddessen. Diese Regelung tritt dann in Kraft, wenn der Netzstrom den an der Kontrolleinheit festgesetzten Maximalstrom übersteigt. Vor der 10. Stunde deaktiviert die ZEBRA-Batterie die Ladungsaufnahme für eine kurze Zeit. Dieses Phänomen tritt jedes Mal auf, wenn der Ladestand der Batterie 80% SOC beträgt und ermöglicht, nach persönlicher Einschätzung, gewisse Ausgleichsladungen zwischen den Zellen. Die Ladephase beinhaltet demnach etwaige Heizphasen und kurze Unterbrechungen.

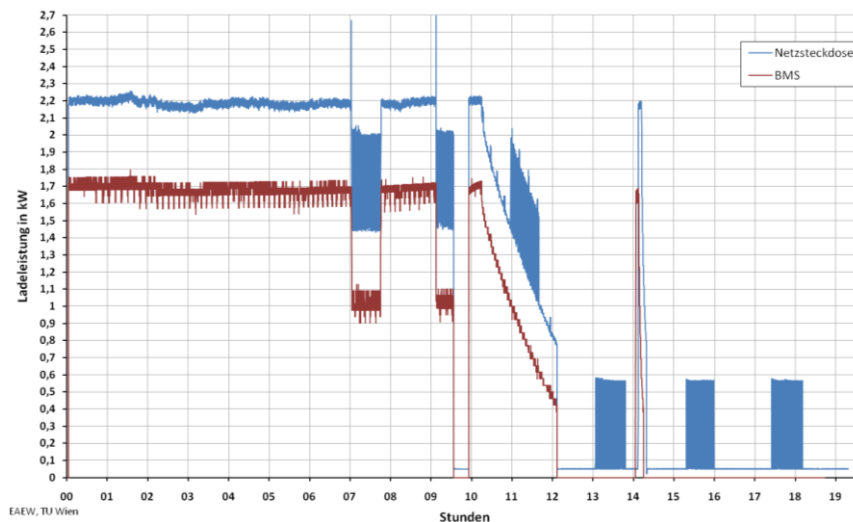


Abbildung 3: Wirkleistungsverlauf eines "TH!NK city" von 30% SOC bis Vollladung und anschließenden Heizphasen

Im Vergleich unterscheiden sich die Ladeleistungsverläufe der zwei Fahrzeugtypen in der unterschiedlichen Maximalleistung und der daraus folgenden kürzeren Ladezeit sowie den beim „Fiat 500“ viel größeren Leistungssprüngen⁴ währenddessen. Auch das Verhalten in der abklingenden Phase unterscheidet sich. Hierbei sinkt die Ladeleistung beim „Fiat 500“ fast linear während beim „TH!NK city“ annähernd eine exponentielle Minderung eintritt.

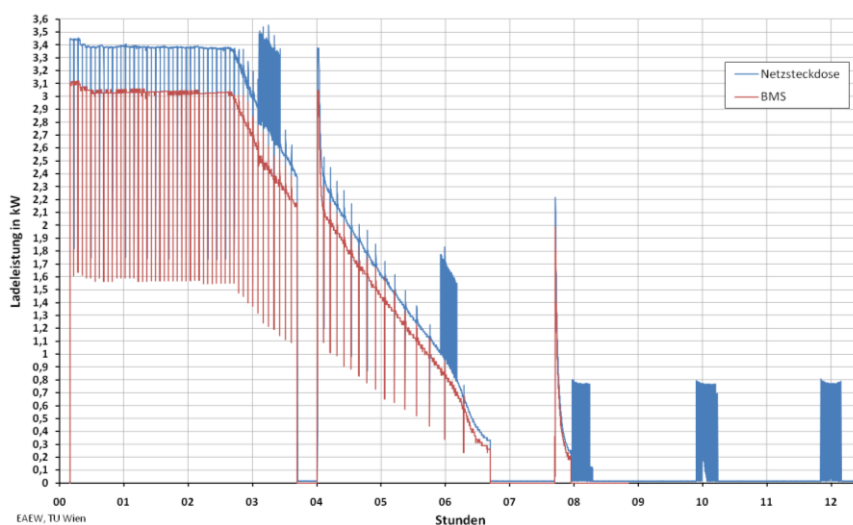


Abbildung 4: Wirkleistungsverlauf eines "Fiat 500" von 30% SOC bis Vollladung und anschließenden Heizphasen

⁴ Durch welchen Effekt diese Sprünge hervorgerufen werden ist in dieser Studie nicht behandelt worden.

- **FZ ist im Stand-by (Stand-by-Phase):** In der restlichen Zeit ist das Elektroauto zwar angesteckt, aber die Batterie nimmt keine Speicherleistung auf. Temperaturgesteuert wird in periodischen Zeitabständen das Heizsystem mit Energie aus dem Netz gespeist. Wie ersichtlich ist die Maximalleistung in der Heizphase wiederum beim „Fiat 500“ höher und daher ist die Heizzeit geringer. In den obigen Abbildungen erkennt man, dass das Gesamtsystem auch abseits der Heizung eine ständige Leistung aufnimmt, welche auf Verluste sonstiger Geräte schließen lässt. Diese Verluste sind beim „TH!NK city“ mit rund 45W bedeutend größer als beim „Fiat 500“ mit rund 15W. Die gesamte Phase ist für ZEBRA-Technologien typisch und sollte mit zukünftigen Li-Ionen-Batterien deutlich besser sein, da diese keine so hohen Betriebstemperaturen besitzen.

Aus diesen Gründen ist es nur beschränkt sinnvoll die gesamt verbrauchte Energie aus dem Netz auf die gesamt gefahrenen Kilometer zu beziehen. In den folgenden Analysen wird jeweils die in den Stand-by-Phasen verbrauchte Energie auf die Stehzeitdauer sowie die in den Ladephasen konsumierte Energie auf die vorher gefahrenen Kilometer bezogen. Längere Stillstandszeiten während der Unplugged-Phase bewirken einen Energieverlust der Batterie durch das Heizen, welcher in dieser Messanordnung nur der anschließenden Ladephase dazugerechnet werden kann. Ein ständiges Mitloggen der BMS-Daten, vor allem die Batterietemperatur, auch während der Messreihen (Realisierung mittels CAN-Logger) könnte Klarheit über die tatsächlichen Fahrverbräuche bringen, wurde aber nicht durchgeführt.

Durch genaue Analyse der GPS-Daten ist es möglich die Stillstandszeiten während der Unplugged-Phase und dadurch mittels Hochrechnung die tatsächlichen reduzierten Fahrverbräuche zu ermitteln. Diese Berechnung ist nicht sehr exakt, da hierzu kein detailliertes Temperaturmodell der Batterie zur Verfügung steht. Dennoch wurde dies, wie in Abschnitt 3.3.2 ersichtlich, an einem Fahrzeug beispielhaft durchgeführt.

Zur Verdeutlichung sind in Abbildung 5 nochmals die unterschiedlichen Phasen gesammelt dargestellt:

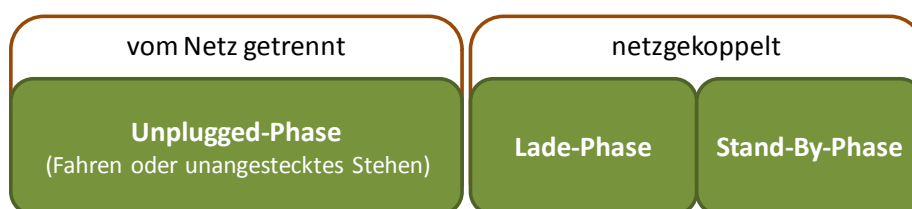


Abbildung 5: Einteilung der unterschiedlichen Phasen eines ZEBRA-Elektrofahrzeugs

3.2 Batterieaufladung und deren Verluste

Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die Ladewirkleistungsverläufe an den Netzsteckdosen und des BMS bei einer Aufladung von rund 30% bis 100% SOC inkl. mehrerer Heizperioden über die Zeit jeweils für die unterschiedlichen Fahrzeugtypen. Abgesehen von den heizbedingten Ladeleistungsrückschaltungen und der kurzen Pause bei 80% SOC werden diese Ladungen mit dem klassischen IUa-Verfahren⁵, welches auch bei Li-Ionen-Systemen verwendet wird, durchgeführt. Die Differenz zwischen der gelieferten Netz- und der eingespeisten Batterieenergie bilden die Aufladeverluste.

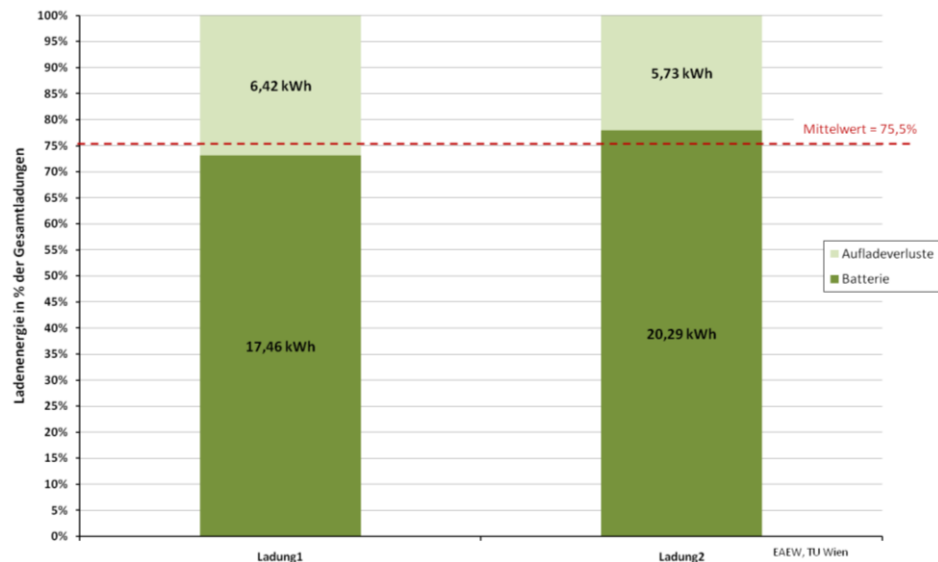


Abbildung 6: Ladungsenergieaufteilung nach Testfahrten bei gleichem „TH!NK city“

Abbildung 6 zeigt die Aufteilung der Ladeenergien nach jeweils zwei Testfahrten für den „TH!NK city“ und Abbildung 7 für den „Fiat 500“. Beim ersteren sind im Mittel die Aufladeverluste mit rund 25% sehr groß. Beim „Fiat 500“ hingegen sind die Verluste rund 14% im Mittel.

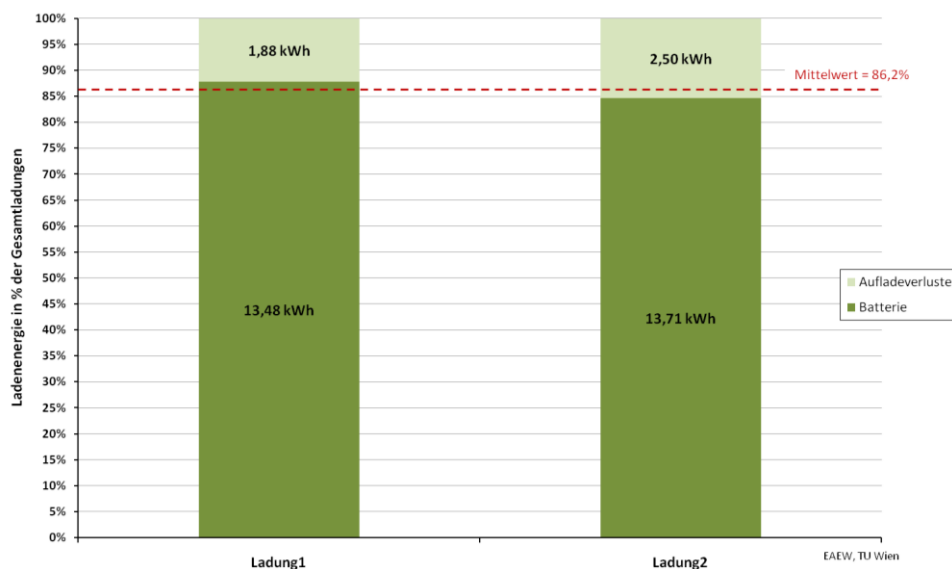


Abbildung 7: Ladungsenergieaufteilung nach Testfahrten bei gleichem „Fiat 500“

⁵ Siehe dazu: A. JOSSEN und W. WEYDANZ: *Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen*. Ubooks Verlag, Neusäß, 2006.

Um Aussagen bezüglich Power Quality während den Ladephasen zu treffen, sind die Leistungsfaktoren in Abbildung 8 für den „TH!NK city“ und in Abbildung 9 für den „Fiat 500“ dargestellt. Grau hinterlegt ist zur Orientierung die Wirkleistungsaufnahme abgebildet. In Blau ist der Leistungsfaktor mit dem Zahlenbereich zwischen 0 und 1 dargestellt. Die rote Verlauf zeigt an, ob ohmsches, induktives oder kapazitives Verhalten vorliegt. Dies wird durch die Werte 0 (ohmsches Verhalten), 0,2 (ohmsch induktives Verhalten) und 0,4 (ohmsch kapazitives Verhalten) repräsentiert.

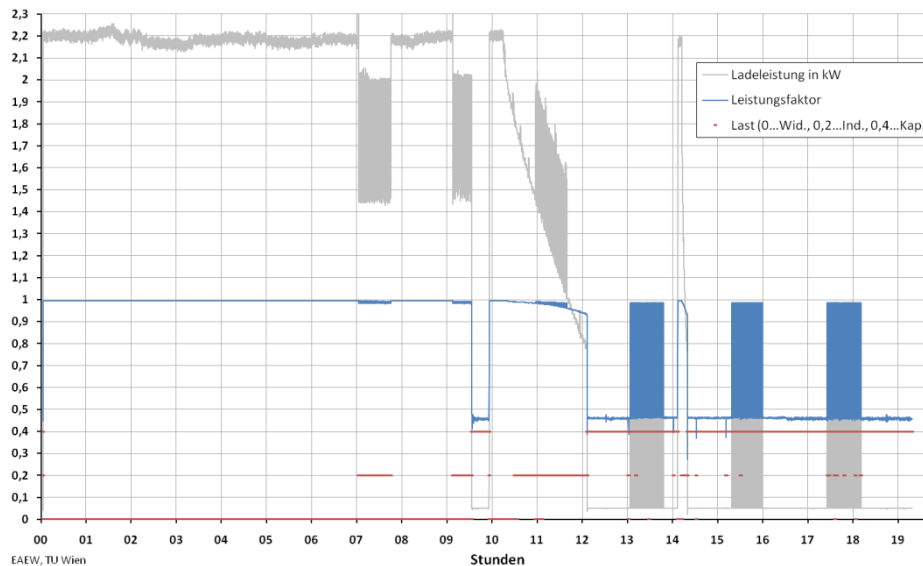


Abbildung 8: Ladeleistungsverlauf inkl. Leistungsfaktor beim "TH!NK city"

Beim „TH!NK city“ ist während der Ladephase der Leistungsfaktor größtenteils 1. Nur während der zeitgleichen Heizung ist er geringfügig induktiv. In der Stand-by-Phase mit Wirkleistungen um rund 50W ist der Leistungsfaktor meist 0,45 ohmsch kapazitiv. Nur die Heizphasen bilden eine Ausnahme.

Beim „Fiat 500“ ist während der Ladephase der Leistungsfaktor größtenteils geringfügig kapazitiv. In den Stand-by-Phasen mit Wirkleistungen um rund 15W ist der Leistungsfaktor meist 0,25 kapazitiv.

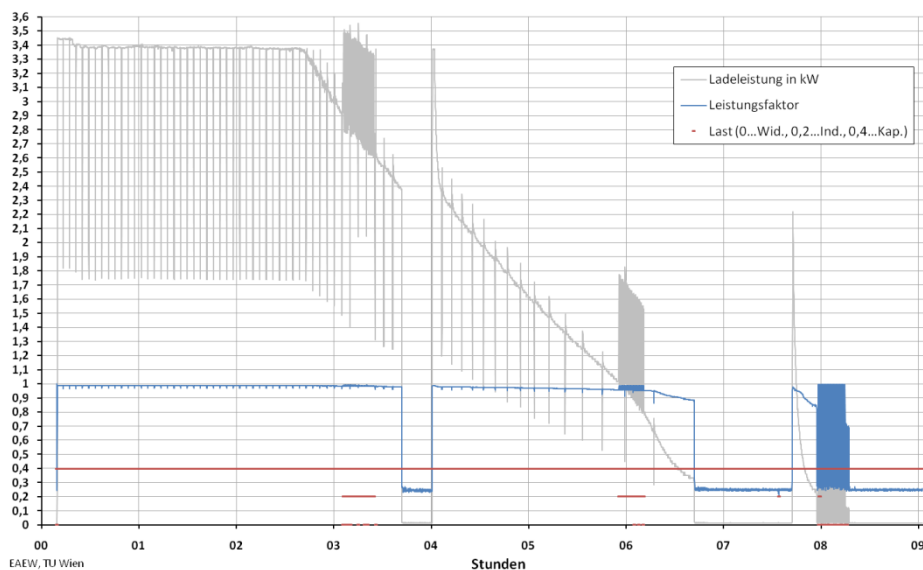


Abbildung 9: Ladeleistungsverlauf inkl. Leistungsfaktor beim "Fiat 500"

3.3 Fahrverbräuche

Für die Berechnung der Fahrverbräuche werden zumindest bei den Einzelmessungen alle Messgeräte verwendet. Die Messreihenmessungen hingegen wurden ohne BMS-Logger durchgeführt.

3.3.1 Fahrverbräuche aus Einzelmessungen

Die aus den Einzelmessungen resultierenden Verbräuche können in einen durch Rekuperation wiedergewonnen und tatsächlich verbrauchten Energieanteil geteilt werden. Dafür notwendig sind die während der Fahrt mitgeloggten BMS-Daten, welche durch das verhältnismäßig große Abtastintervall von 3 Sekunden sehr ungenau sind. Wie schon oben beschrieben, ist die Erfassung der BMS-Daten beim „Fiat 500“ während der Fahrt aus technischen Gründen nicht möglich gewesen und deshalb kann auch keine Rekuperation ermittelt werden. Folgende Diagramme und Aussagen beziehen sich daher nur auf den „TH!NK city“.

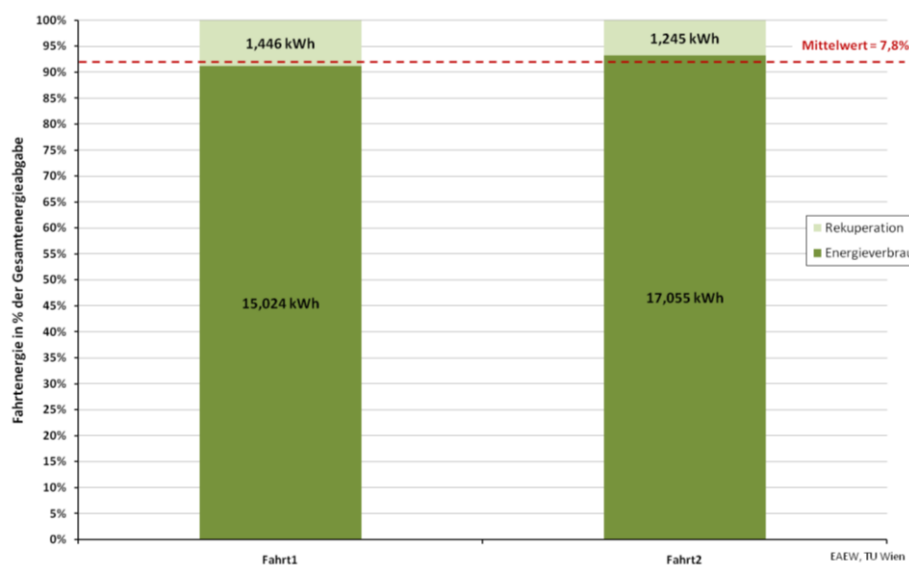


Abbildung 10: Fahrtenenergierückgewinnung aus Batteriedaten mit einem „TH!NK city“

Die Ergebnisse der BMS-Datenmittelung sind in Abbildung 10 dargestellt. Im Mittel werden demnach beim „TH!NK city“ rund 8% der gesamten Energieabgabe während der Fahrt wiederzurückgewonnen. Wie schon oben beschrieben ist dieser Wert durch die Zeitmittelung mit Vorsicht zu genießen.

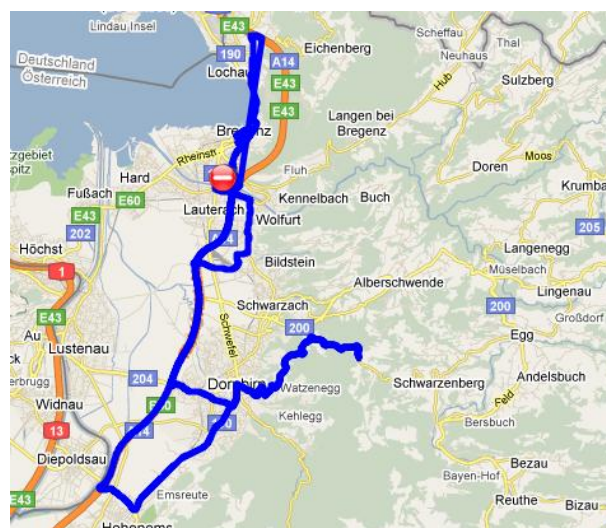


Abbildung 11: Fahrstrecke der ersten Testfahrt mit dem „TH!NK city“

Betrachtet man die erste Testfahrt, welche in Abbildung 11 dargestellt ist, etwas genauer, so zeigt Abbildung 12 die Verbräuche sowie Rekuperationen der Gesamtfahrt und Teilabschnitte ohne Aufladeverluste (direkt aus den BMS-Daten). Die knapp zweistündige Fahrt beinhaltet sehr abwechslungsreiche Abschnitte und zeigt einen Querschnitt Vorarlbergs. Sehr hoch sind die Rekuperationen bei der Berg- und Talfahrt sowie in der Stadt. Dennoch sind die Fahrverbräuche in diesen Abschnitten noch immer die höchsten. Als Schlussfolgerung dieser Messung, welche bedingt durch die Zeitmitteilung noch Fehler beinhaltet, gilt, dass vergleichbar mit den herkömmlichen FZ gleichbleibende und mäßige Geschwindigkeiten auch bei den „TH!NK city“ den niedrigsten Verbrauch erzielen. Die Rekuperation kann hier die Energieverluste des „Stop&Go“-Verkehrs nicht kompensieren, aber sehr stark mindern.

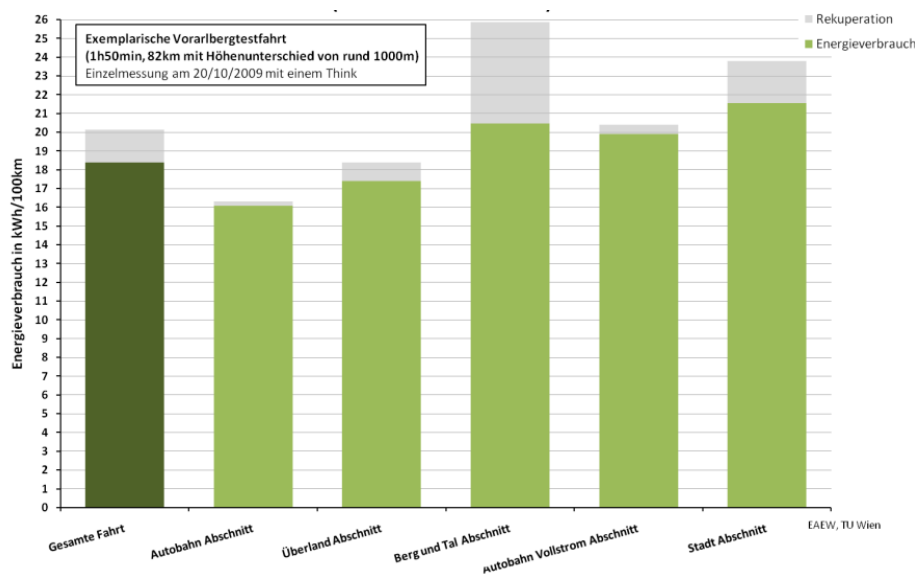


Abbildung 12: Fahrverbrauch (ohne Aufladeverluste) aus Batteriedaten vom „TH!NK city“

Mit beiden Fahrzeugtypen wurde noch jeweils eine einheitliche Teststrecke absolviert und die anschließend durchgeführten Ladungen sind in Abbildung 13 energetisch dargestellt. Hierbei wurden auf die BMS- sowie CLM-Daten der Ladephasen zurückgegriffen und daher ist der Fehler durch die Zeitmittelung der Batteriedaten drastisch minimiert worden.

Der Energieverbrauch der Batterie ist mit rund 20,3 kWh/100km beim „TH!NK city“ auch etwas höher als der durch die Berechnung mittels BMS-Daten während der Fahrt ermittelte Wert. Rechnet man die Aufladeverluste von 22% der Gesamtenergie dazu, so liegt der Fahrverbrauch für den „TH!NK city“ bei dieser Testfahrt bei 26,0 kWh/100km.

Der Energieverbrauch der Batterie beim „Fiat 500“ ist mit rund 19,6 kWh/100km vergleichbar groß. Doch die Aufladeverluste sind mit 15% der Gesamtenergie sehr viel niedriger. Daher erreicht der „Fiat 500“ einen Fahrverbrauch von rund 23 kWh/100km bei dieser Testfahrt.

All diese Werte beinhalten kaum Heizverluste, da die Testfahrten an einem Stück absolviert und die Fahrzeuge dann gleich anschließend zum Laden angesteckt wurden⁶.

⁶ Beim Fahren erhitzt sich die Batterie hinlänglich, sodass in dieser Phase kein Heizen auftritt.

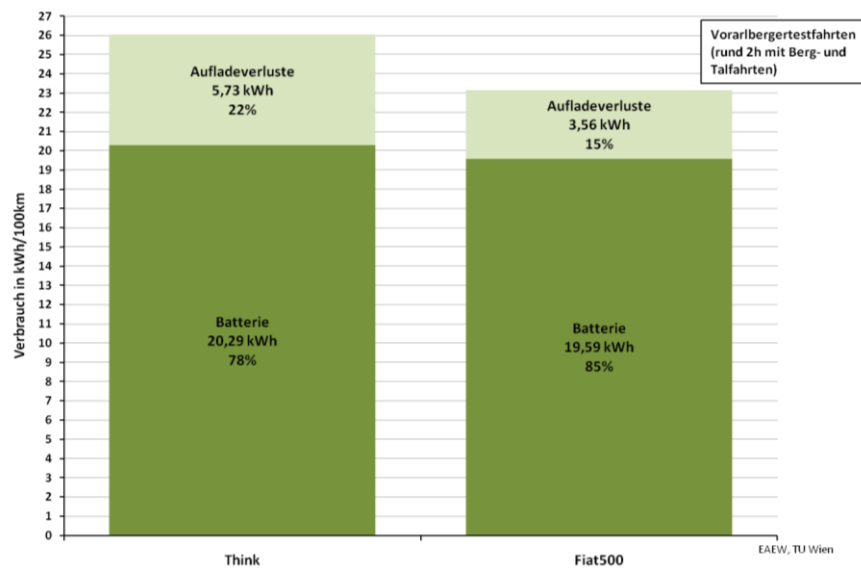


Abbildung 13: Vergleich der Fahrverbräuche bei einer einheitlichen Teststrecke mit dem „TH!NK city“ und dem „Fiat 500“

3.3.2 Fahrverbräuche aus den Messreihen

Bei diesen Messreihen wurden einmal 10 FZ in dem Zeitraum vom 17.11.2009 bis 10.12.2009 und dann 9 FZ vom 13.01.2010 bis 08.02.2010 betrachtet. In der jeweils dreiwöchigen Beobachtung waren ausschließlich „TH!NK city“. Die Gesamtfahrleistungen laut Fahrtenbuch sowie die Energieverbräuche laut CLM im angestecktem Zustand sind je nach FZ sehr unterschiedlich und sind in Tabelle 2 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht der Gesamtfahrleistung und Energieverbräuche während den zwei Messserien

FZ	1	2	3	4 = 4+6	5	6	7	8	9
km	430	397	273	1372	889	621	285	411	400
kWh	190,5	184,8	154,0	491,3	294,4	236,7	119,0	196,6	217,3
FZ	10	11	12	13	14	15	16	17	
km	276	426	626	651	390	474	562	848	
kWh	166,3	210,8	260,8	275,2	191,6	226,0	218,5	262,6	

Bei der Betrachtung der Messreihen ist es wichtig nur die für die Wiederaufladung benötigte Energie von den übrigen Stand-by-Verlusten aus den CLM-Daten zu extrahieren. Etwaige Heizverluste beim Stillstand während der Unplugged-Phase werden den Fahrverbräuchen, aus messtechnischen Motiven⁷, dazugerechnet. Aus diesem Grund und da ein FZ in der ersten Messreihe eine sehr geringe km-Leistung absolviert hat, wurde dieses Fahrzeug aus dieser Betrachtung genommen und scheint in der Übersicht nicht mehr auf.

Die Fahrzeuge 4 und 6 müssen in Folge als FZ 4 zusammen betrachtet werden, da während der Messdauer augenscheinlich die zwei Ladekabel, auf denen der CLM-Logger montiert war, vertauscht wurden.

Abbildung 14 zeigt die Fahrverbräuche aller Autos zusammenfassend. Der Mittelwert der Fahrverbräuche inkl. Auflade- und etwaiger Heizverluste während der Unplugged-Phase ist 33,2 kWh/100km. Wobei die Streuung mit dem Bereich von 26 bis 52 kWh/100km sehr groß ist.

⁷ Eine exakte Berechnung der Fahr- und der Heizenergie ist in der Unplugged-Phase nur mittels CAN-Logger möglich. Vereinfachte Auftrennung ist mittels ausgewerteten GPS-Daten (durch gemittelte Stand-by-Verluste) machbar.

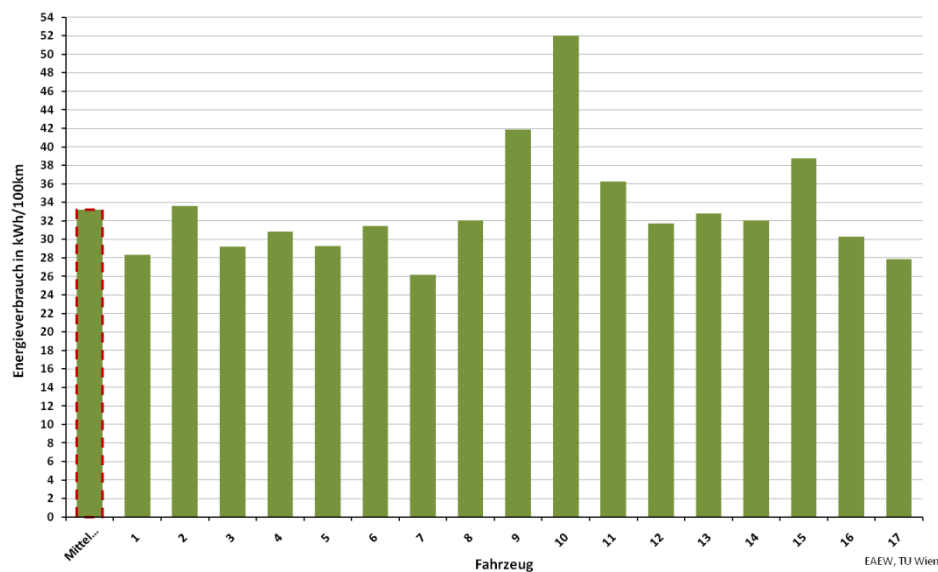


Abbildung 14: Fahrverbräuche (inkl. Aufladeverluste) aus den zwei Messreihen

Die teilweise hohen Verbrauchswerte können wie oben schon beschrieben mittels den ausgewerteten GPS-Daten und einer Hochrechnung auf die tatsächlichen Werte minimiert werden. In dem Folgenden konkreten Fall wurde bei einer Stehdauer ab 30 Min. während der Unplugged-Phase mit dem im Abschnitt 3.4 ermittelten Stand-by-Verlust des FZs die Stehverluste abgezogen. Abbildung 15 zeigt die Änderung beim FZ 9, welche rund 9,5% des ursprünglich ermittelten Verbrauchs beträgt.

Je nach Fahr- bzw. Stehverhalten sind die reinen Fahrverbräuche niedriger. Ein guter Anhaltspunkt ist der Verbrauchswert von 26 kWh/100km, welcher mittels der Einzelmessung beobachtet wurde. Die oben beschriebene Hochrechnung wurde nicht bei allen Fahrzeugen durchgeführt, da einerseits keine exakten Werte erreicht werden und andererseits sind, wie in Abschnitt 3.6.1 auf Seite 30 beschrieben, leider nur 4 GPS-Datensätze ohne zeitintensiver Fehlerbereinigung nutzbar.⁸

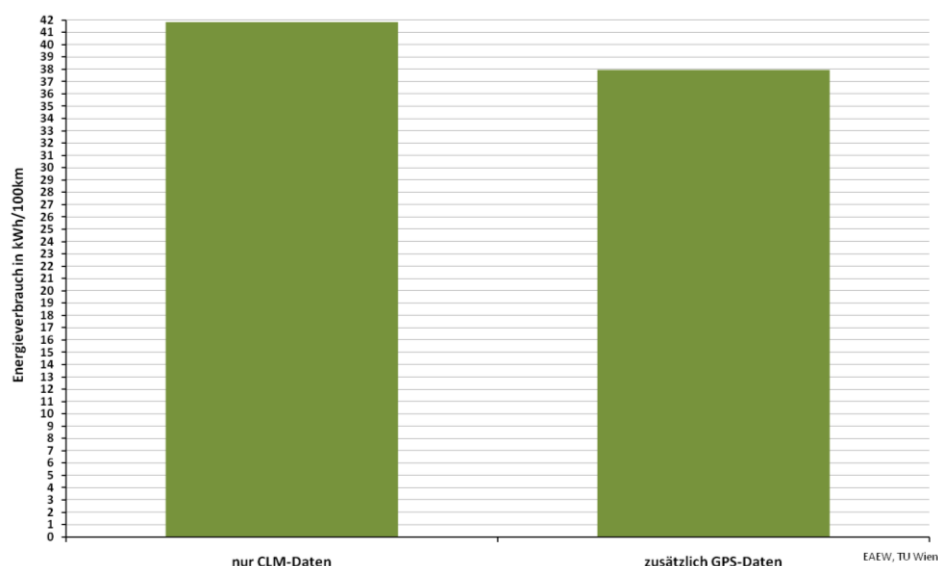


Abbildung 15: Änderung des Fahrverbrauchs des FZ 9 durch Hochrechnung der Stillstandszeiten während der Unplugged-Phase mittels den ausgewerteten GPS-Daten

⁸ Die GPS-Logger waren vor dem Einsatz in den Messreihen über mehrere Wochen und durch verschiedene Testpersonen im Auftrag der TU Wien in Gebrauch. Nie hat es dabei solche Fehler gegeben. Nach Rücksprache mit mehreren Experten sind diese Messfehler dennoch nicht ungewöhnlich und müssen meist händisch ausgebessert werden. Dies kann vielleicht (automatisiert) in zukünftigen Projekten durchgeführt werden.

3.4 Stand-by-Verluste

Steht ein Elektroauto mit ZEBRA-Batterie ausgestattet längere Zeit still, so entstehen Heizverluste. Ist das FZ am Netz angeschlossen, wird diese Energie direkt von dort bezogen. Hingegen beim ausgesteckten Fall muss die Batterie diese Heizenergie liefern. Erst der darauffolgende Ladeprozess am Netz lädt diese Energie wieder in die Batterie. Dies führt zu zusätzlichen Aufladeverlusten.

3.4.1 Stand-by-Verluste aus Einzelmessungen

Um diese zwei unterschiedlichen Varianten des Heizens im Stillstand zu untersuchen, wurden je Fahrzeugtyp („TH!NK city“ und „Fiat 500“) zwei Einzelmessungen durchgeführt.

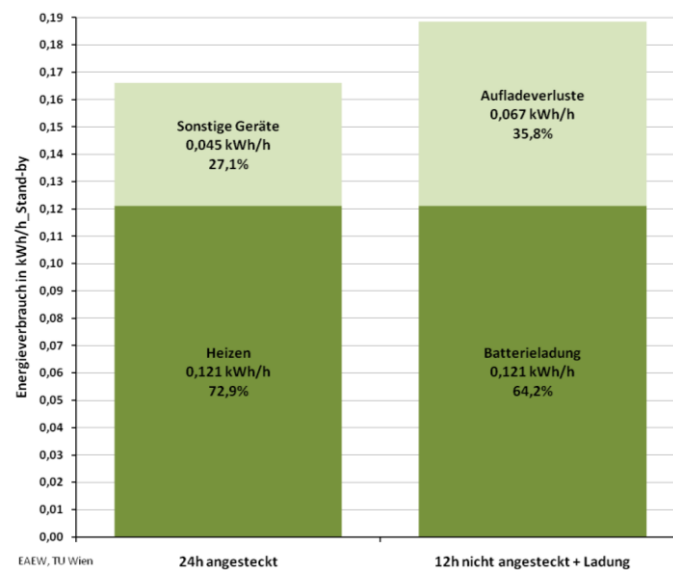


Abbildung 16: Stand-by-Verluste eines „TH!NK city“ bezogen auf die Stand-by-Zeit

Einerseits wurde das vollgeladene Auto 24 Stunden angesteckt und dabei der Energieverbrauch ermittelt. In Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen dies die linken Balken. Unter der Rubrik „Sonstige Geräte“ sind die Dauerleistungen von etwa 45W beim „TH!NK city“ sowie rund 15W beim „Fiat 500“ (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4) gemeint, welche unabhängig vom Heizprozess der Batterie auftreten.

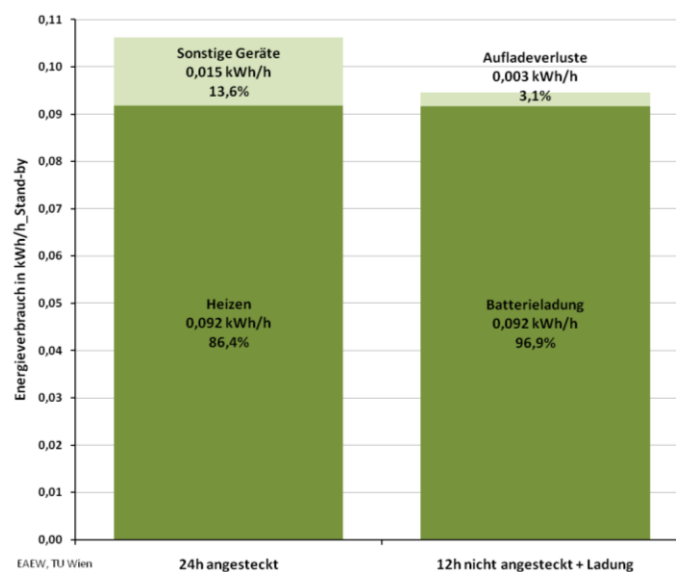


Abbildung 17: Stand-by-Verluste eines „Fiat 500“ bezogen auf die Stand-by-Zeit

Auf der rechten Seite der Abbildung 16 und Abbildung 17 ist das Ergebnis der zweiten Messung dargestellt. Hierbei wurde das Fahrzeug 12 Stunden nicht angesteckt und anschließend musste die Batterie wieder vollgeladen werden. Diese Batteriewiedervollladung ist energetisch vergleichbar mit der Heizenergie aus der ersten Messung, da im nicht angesteckten Zustand die Energie zum Heizen ausschließlich aus der Batterie stammt und der Batteriewirkungsgrad bei ZEBRA beinahe 1 ist. Zusätzlich zur Batterieladung entstehen durch das Wiederaufladen Aufladeverluste.

Hierbei unterscheiden sich die zwei Fahrzeugtypen sehr stark. Während beim „TH!NK city“ die Aufladeverluste höher als die der sonstigen Geräte sind, ist dies beim „Fiat 500“ gegenteilig. Bezogen auf die Stand-by-Zeit sind die Stand-by-Verluste beim „TH!NK city“ niedriger, wenn das FZ immer angesteckt ist. Das gilt obwohl das Auto in diesem Zustand ständig Energie benötigt. Beim „Fiat 500“ hingegen wäre es bezogen auf die Stand-by-Verluste besser, nicht ständig anzustecken. Jedoch kann es dann leicht passieren, dass die Batterie völlig leer ist. Da die Ladeschaltung die Ladung nach Erreichen der 100%-Marke beendet, wird die Batterie auch nicht beschädigt, wenn sie immer am Netz hängt.

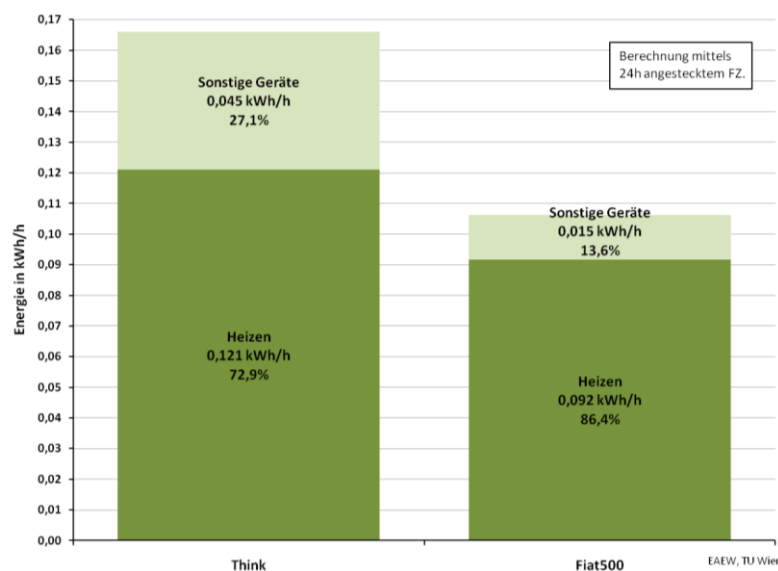


Abbildung 18: Vergleich der Stand-by-Verluste je nach Fahrzeugtyp

Beim Vergleich der Stand-by-Verluste zwischen den zwei Fahrzeugtypen (siehe Abbildung 18) ist sehr leicht erkennbar, dass der „TH!NK city“ sehr viel höhere Verluste (direkte Heizung und auch durch sonstige Geräte) besitzt als der „Fiat 500“.

3.4.2 Stand-by-Verluste aus den Messreihen

Bei diesen Messreihen wurden einmal 10 FZ in dem Zeitraum vom 17.11.2009 bis 10.12.2009 und dann 9 FZ vom 13.01.2010 bis 08.02.2010 betrachtet. In der jeweils dreiwöchigen Beobachtung waren ausschließlich „TH!NK citys“. Die Stand-by-Verluste wurden aus den CLM-Daten extrahiert.

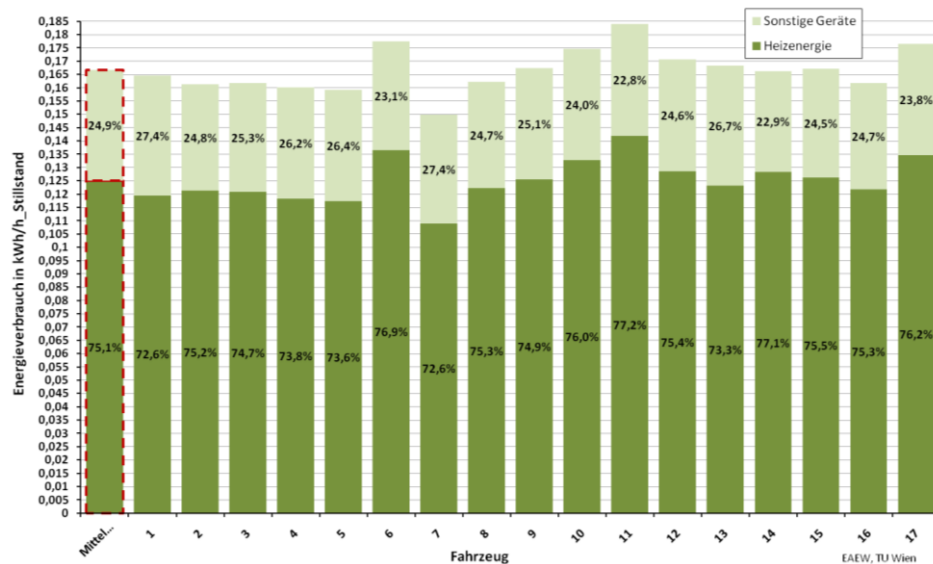


Abbildung 19: Stand-by-Verluste bezogen auf die Stand-by-Zeit aus den zwei Messreihen

Gleiche Werte wie bei der ersten Einzelmessung wurden auch bei den Messreihen erreicht. Abbildung 19 zeigt die Stand-by-Verluste aller 17 FZ bezogen auf die Stand-by-Zeit. Im Mittel werden Stand-by-Verluste von rund 0,165 kWh/h Stand-by erreicht. Der große Anteil der sonstigen Geräte von rund 25% zeugt in Anbetracht des viel niedrigeren Werts beim „Fiat 500“ von Ineffizienzen im „TH!NK city“.

3.5 Analyse der gesamten Ladeprozesse

Während in den obigen Berechnungen fahrzeugspezifische Kenngrößen ermittelt wurden, ist jetzt der Fokus auf kollektive Batterie- und netztechnische Summenwirkungen aller Fahrzeugdaten gerichtet. Folgend werden die Entladetiefenverteilung der Fahrzeugbatterien, der Ladeleistungsverlauf aller Fahrzeuge sowie der betrachteten Ladestellen detaillierter beschrieben. Da für diese Betrachtungen die Daten aus den Messreihen herangezogen wurden, gelten folgende Aussagen ausschließlich für den Betrieb mit „TH!NK city“.

3.5.1 Entladetiefenverteilung der Fahrzeugbatterien

In Abbildung 20 wird eine Kategorisierung der Ladeenergiemengen, die vom Netz je FZ zwischen zwei Fahrten bezogen werden und bereits um die Ladeverluste reduziert sind, dargestellt. Diese Bereiche sind in Prozent der Nennenergie der „TH!NK city“-ZEBRA-Batterie (28,2 kWh) angegeben. Es ergibt sich eine Häufigkeitsverteilung der einzelnen Energiebereiche.

Bei rund 44% aller Ladungen wird nur maximal 10% der Batterienennenergie nachgeladen. Bei größeren Lademengen nimmt die Häufigkeit entsprechend den jeweiligen Intervallen exponentiell ab. Außerdem benötigen etwa 2/3 aller Ladungen nicht länger als 3,5 Stunden. Auf der anderen Seite wurde genau einmal innerhalb der sechs Wochen rund 90% SOC durchgehend nachgeladen. Dies ergibt eine Nachladezeit von rund 14 Stunden. Diese Zeitangaben sind mit den sehr niedrigen Ladeleistungen des „TH!NK city“ berechnet. Beim „Fiat 500“ würden sich diese noch sehr stark reduzieren.

Bei den in Abbildung 20 dargestellten Ergebnissen sind Ladungen beendet auch wenn das FZ ausgesteckt wurde, ohne dass es fertig vollgeladen war. Ist hingegen die Entladetiefenverteilung (DOD⁹) aller FZ nach den Fahrten von Interesse, so müssten diese während den Messreihen mit einem CAN-Logger ausgestattet sein, welcher die Batteriedaten immer mitspeichert.¹⁰

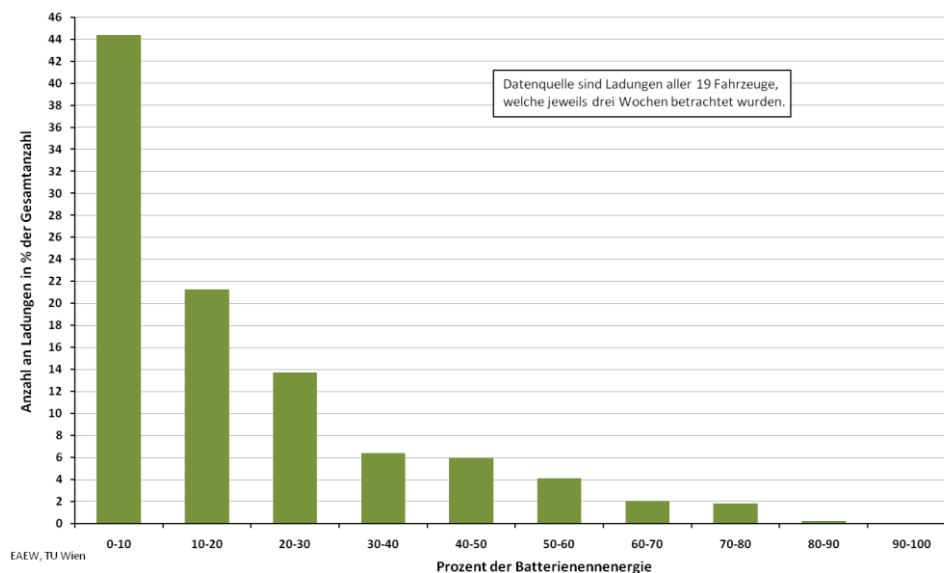


Abbildung 20: Ladeenergieaufnahme zwischen jeweils zwei Fahrten innerhalb der insgesamt sechswöchigen Messreihen über alle Fahrzeuge

⁹ Depth of Discharge

¹⁰ Eine vereinfachte Betrachtung wäre möglich, wenn mit gemitteltem spezifischen Verbrauch und den realen Entfernungen der Ladestand der Batterien bestimmt wird.

Die Entladetiefe der Fahrzeugbatterien kann allerdings angegeben werden, wenn sichergestellt ist, dass die Ladung vor der nächsten Fahrt abgeschlossen wurde. Die nur auf alle Vollladungen bezogene Entladetiefenverteilung ist in Abbildung 21 dargestellt. Hier zeigt sich das Ladeverhalten mit geringer Energiemenge bzw. Zeitdauer noch dramatischer. Die Wahrscheinlichkeiten der niedrigen Entladetiefen (<30% der Batterienennenergie) sind höher als bei der obigen Betrachtung.

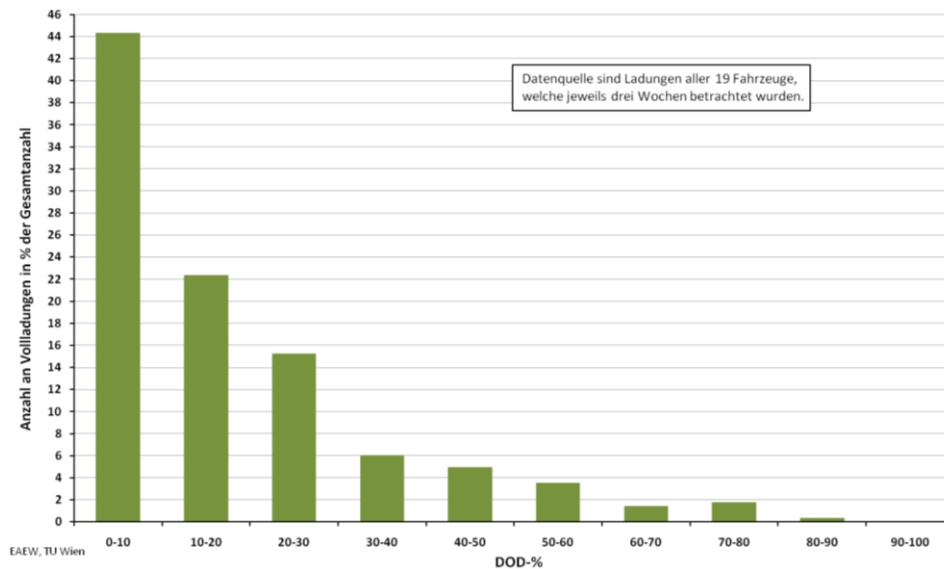


Abbildung 21: Entladetiefenverteilung (DOD) aller Vollladungen innerhalb der insgesamt sechswöchigen Messreihen über alle Fahrzeuge

Abbildung 22 zeigt die Verteilung in kumulierter Form. 80% aller Vollladungen haben weniger als 30% der Batterienennenergie oder 5 Stunden dafür gebraucht. Wird der Ladungsbeginn nur im Zeitraum von 18-6 Uhr also bei Abend- bzw. Nachtladungen betrachtet, so ist dieser Effekt noch stärker. Dennoch ist in Abhängigkeit des Ladungsbeginns kein dramatischer Unterschied erkennbar.

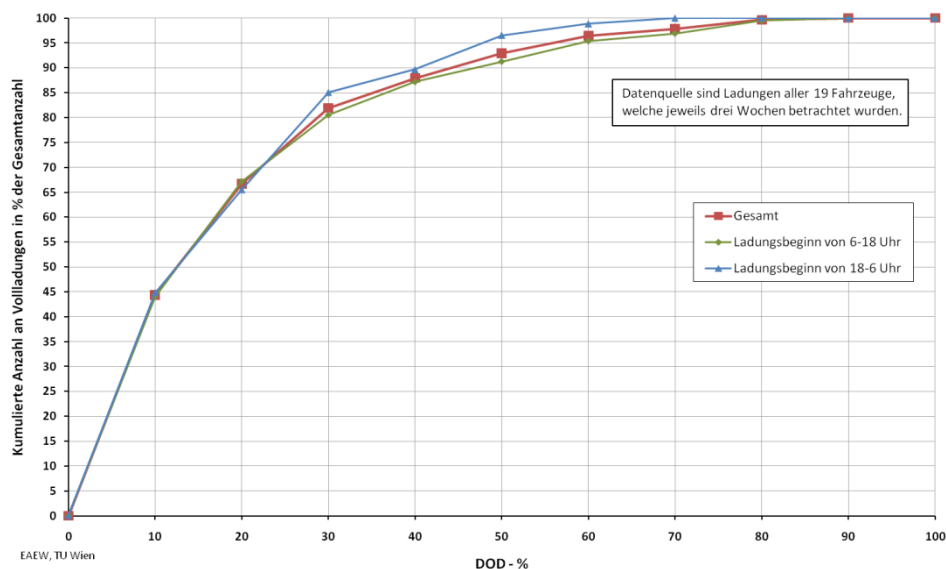


Abbildung 22: Kumulierte Entladetiefenverteilung (DOD) aller Vollladungen innerhalb der insgesamt sechswöchigen Messreihen über alle Fahrzeuge in Abhängigkeit des Ladungsbeginns

3.5.2 Ladeleistungsverlauf aller Fahrzeuge

Die Leistungsverläufe pro Tag wurden mittels den CLM-Loggern von allen FZ aufgenommen. Aufgetrennt in Arbeits- und Wochenendtage wurden diese von 0 bis 24 Uhr zeitsynchronisiert übereinander gelegt. Einerseits wurde in einer Zeiteinheit über alle Werte gemittelt und andererseits jeweils das Minimum sowie Maximum aller Zeitpunkte berechnet. Um auf die in Abbildung 23 gezeigten Diagramme zu gelangen, wurden die Werte der Arbeitstage noch mit der Gesamtfahrzeugzahl dividiert. Die Verläufe zeigen somit das gemittelte Verhalten eines einzelnen Fahrzeugs an einem Arbeitstag.

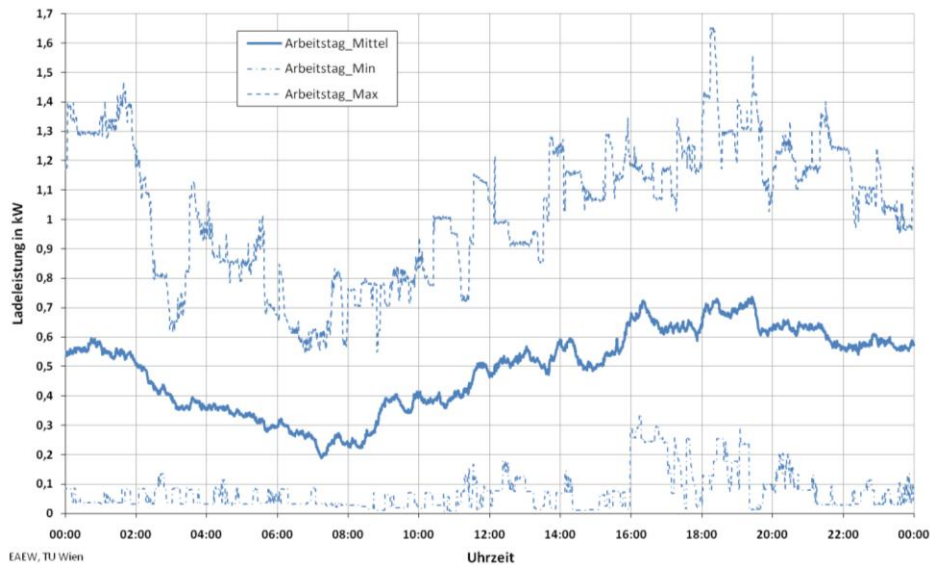


Abbildung 23: Auf ein FZ bezogener mittlerer Leistungsverlauf sowie min. und max. Leistungswerte (Hüllkurve) an einem Arbeitstag (Datenquelle sind die CLM-Daten aller 19 FZ)

In Abbildung 24 ist zusätzlich zum schon bekannten mittleren Leistungsverlauf die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der gerade ladenden sowie angesteckten Fahrzeuge dargestellt. Demnach haben die meisten Elektroautos um 4:00 Uhr die Ladung abgeschlossen, während zwischen 7:00 und 8:00 Uhr sich fast alle im Stand-by-Betrieb befinden. Danach werden die Ladungen wieder häufiger. Zwischen 16:30 und 19:30 Uhr befinden sich an Arbeitstagen die meisten FZ im Ladezustand und es ergibt sich gemittelt eine maximale Ladeleistung von 0,74 kW/FZ.

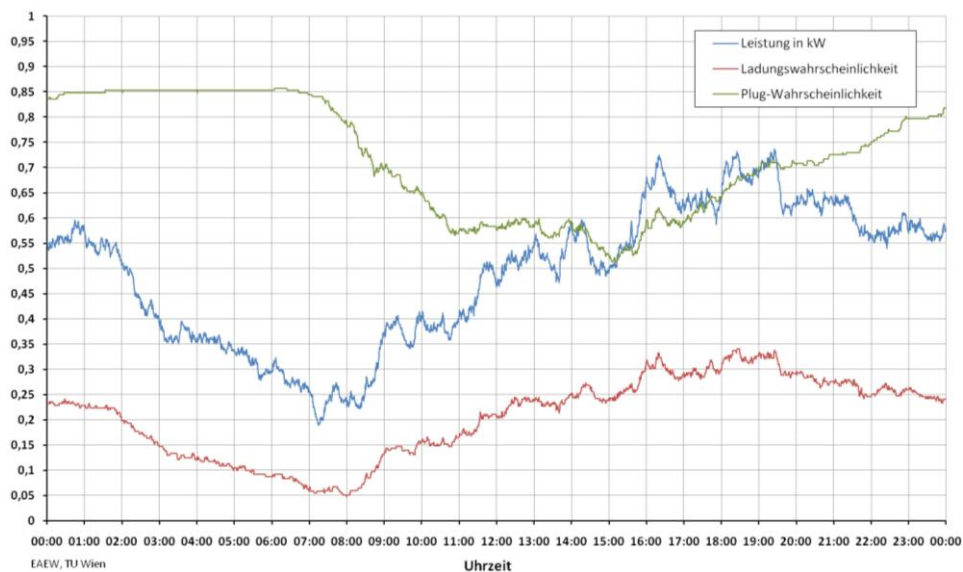


Abbildung 24: Auf ein FZ bezogener mittlerer Leistungs-, Ladungs- und Ansteckverlauf an einem Arbeitstag (Datenquelle sind die CLM-Daten aller 19 FZ)

Der kontinuierliche Anstieg während des Tages und die frühe Lastspitze lassen auf einen Dienstfahrtstypus schließen. Bis rund 21:30 Uhr verringert sich die Ladeleistung wieder, und bleibt dann bis 2:00 Uhr annähernd konstant. Erst ab rund 23:00 bis 07:00 Uhr sind mit 85% Wahrscheinlichkeit fast alle Fahrzeuge an eine Ladestelle angesteckt. Der Tiefpunkt wird mit 50% angesteckten Fahrzeugen um rund 15:00 Uhr erreicht.

Die Differenz aus der Anzahl an angesteckten und gerade ladenden Fahrzeugen ist die Anzahl der im Moment im Standby befindlichen Autos. Bis auf 3 Stunden am Arbeitstag (15:00 bis 18:00 Uhr) laden mehr als die Hälfte aller angesteckten FZ nicht. Die Zahl der Standby-FZ gibt somit die theoretische V2G-Beteiligungsmöglichkeit an.

Abbildung 25 zeigt den mittleren Leistungsverlauf sowie minimale und maximale Leistungswerte (Hüllkurve) bezogen auf ein Fahrzeug für die Wochenendtage. Hier offenbart sich das dienstliche Fahrverhalten schon sehr deutlich, da der Leistungsbedarf auf einem sehr niedrigen und nahezu konstanten Niveau ist. Der Verbrauch ergibt sich nahezu nur aus Heiz- und Stand-by-Verlusten.

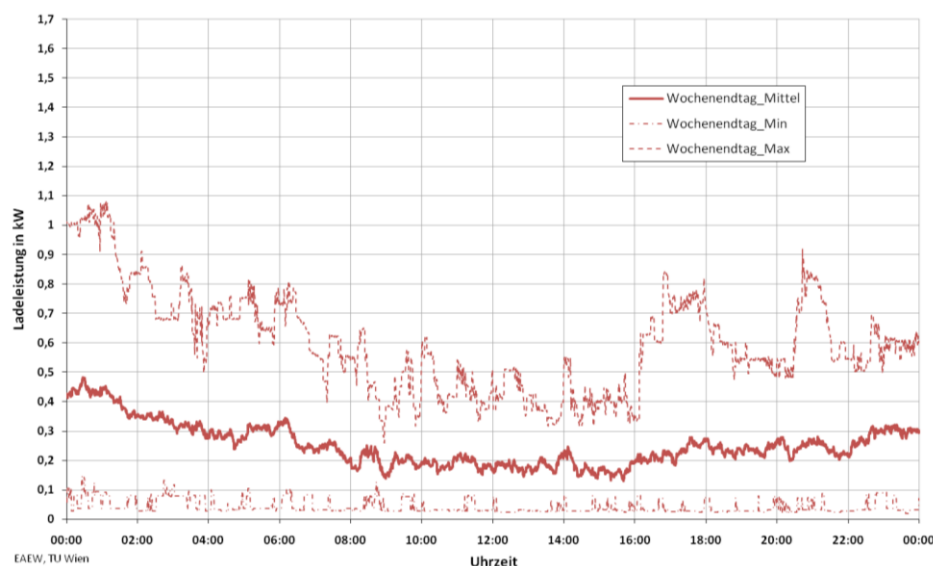


Abbildung 25: Auf ein FZ bezogener mittlerer Leistungsverlauf sowie min. und max. Leistungswerte (Hüllkurve) an einem Wochenendtag (Datenquelle sind die CLM-Daten aller 19 FZ)

In Abbildung 26 ist dann noch deutlicher ersichtlich, dass abgesehen von den ersten zwei Nachtstunden, welche wahrscheinlich Auswirkungen der Freitagsladungen sind, kaum ein Fahrzeug am Wochenendtag geladen wird und fast alle Autos angesteckt sind.

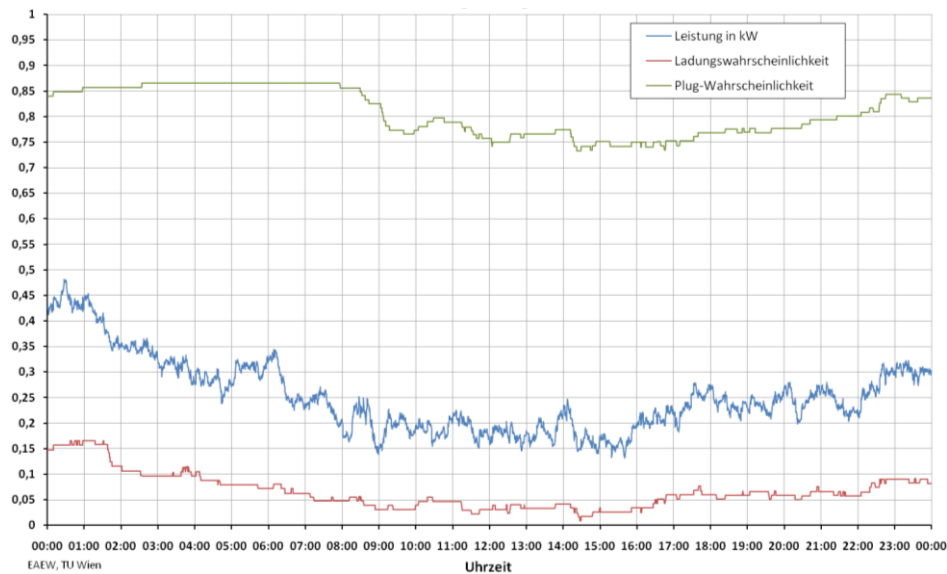


Abbildung 26: Auf ein FZ bezogener mittlerer Leistungs-, Ladungs- und Ansteckverlauf an einem Wochenendtag (Datenquelle sind die CLM-Daten aller 19 FZ)

3.5.3 Ladeleistungsverlauf der betrachteten Ladestellen

Die installierten Stromimpulszähler am Abstellplatz

- der Landesregierung Vorarlbergs sowie in
- der VKW-Hochgarage liefern Energieverbrauchswerte im 10-Minuten-Intervall.

Der Betrachtungszeitraum erstreckt sich dabei beim Landhaus von Mitte Juni 2009 bis Ende März 2010 sowie bei der VKW von Anfang Oktober 2009 bis Ende März 2010. Diese Daten dienen außerdem als Maßstab für die im Abschnitt 3.5.2 berechneten Leistungsverläufe.

Ladestelle Landesregierung Vorarlbergs

Am Abstellplatz der Landesregierung Vorarlbergs waren anfangs 2 Stammelektrofahrzeuge unterwegs. Zurzeit sind es schon 5 Fahrzeuge, welche unterdurchschnittlich oft und intensiv benutzt werden. Abbildung 27 zeigt den kompletten Leistungsverlauf über den beobachteten Zeitraum.

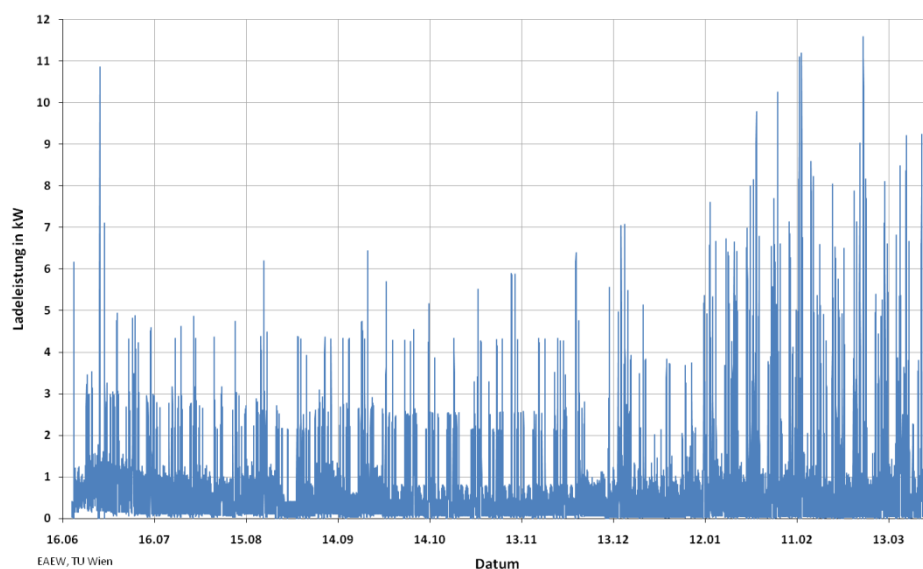


Abbildung 27: Kompletter Leistungsverlauf der Ladestelle am Abstellplatz der Landesregierung Vorarlbergs

Wird der Verlauf wiederum in Arbeits- sowie Wochenendtage getrennt und nach oben bereits beschriebenen Schema zusammengefasst, so können, wie in Abbildung 28 dargestellt, Diagramme von 0 bis 24 Uhr angegeben werden.

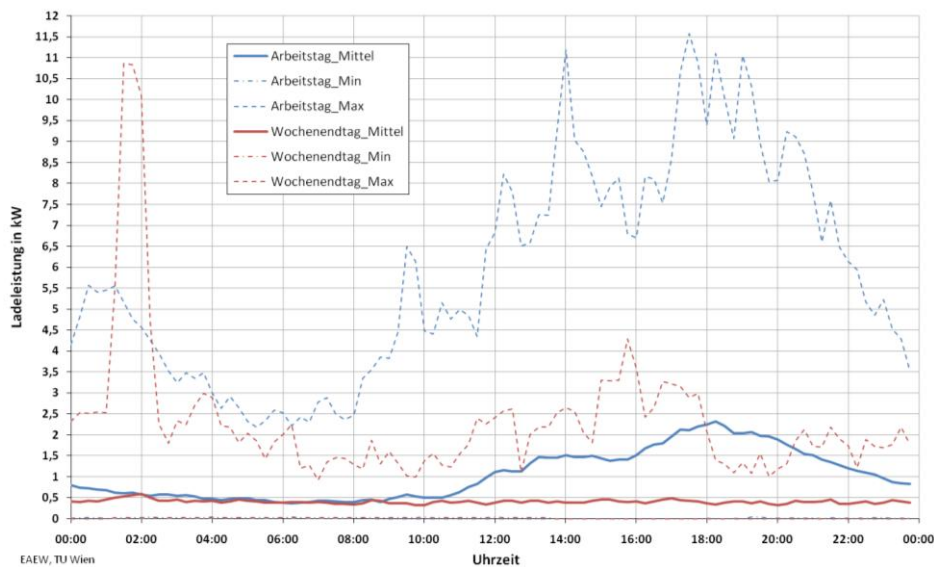


Abbildung 28: Mittlerer Leistungsverlauf sowie min. und max. Leistungswerte (Hüllkurve) aufgeteilt in Arbeits- und Wochenendtag der Ladestelle am Abstellplatz der Landesregierung Vorarlbergs

Der mittlere Ladeleistungsverlauf ist auch am Arbeitstag mit einem Spitzenwert von etwa 2,4 kW um rund 18:00 Uhr sehr niedrig. In der Zeit von Mitternacht bis rund 10:00 sind die mittleren Verläufe jeden Tag der Woche gleich tief und stellen wahrscheinlich nur die Heiz- und Stand-by-Energie zur Verfügung. Ein ganz anderes Bild zeigen die maximalen Leistungswerte zu bestimmten Tageszeiten. Hierbei vor allem am Arbeitstag. Bis zu 11,6 kW Maximalleistung um etwa 17:30 Uhr wurden an der Ladestelle bezogen. Dieser Verlauf ähnelt eher dem im obigen Abschnitt berechneten Leistungsverlauf aller Fahrzeuge. Wie ersichtlich, kann die erforderliche Ladeleistung auch an den Wochenendtagen nahe dem Spitzenwert sein. Allgemein ist sie aber um einiges niedriger, da auch hier das Dienstfahrerverhalten (entspricht keinen Fahrten am Wochenende) Wirkung zeigt.

In folgender Analyse wird versucht, die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der unter Abschnitt 3.5.2 berechneten Ladeleistungsverläufe aller Fahrzeuge „Messreihe“ mit den Verläufen der Ladestelle „Landesregierung Vorarlberg“ gegenüberzustellen. Dies erfolgt unter zahlreichen Annahmen.¹¹ Unter anderem wird die Energieäquivalenz zwischen den beiden Fällen hergestellt, in dem die Messreihenwerte auf die Energiewerte der Ladestelle „Landesregierung“ mit einem Faktor aufskaliert werden. Abbildung 29 zeigt die Zusammenhänge für Arbeitstage und Abbildung 30 für Wochenendtage.

¹¹ Man vernachlässigt, dass die Kennlinien mit einer sehr geringen und unterschiedlichen Anzahl an Fahrzeugen erstellt werden.

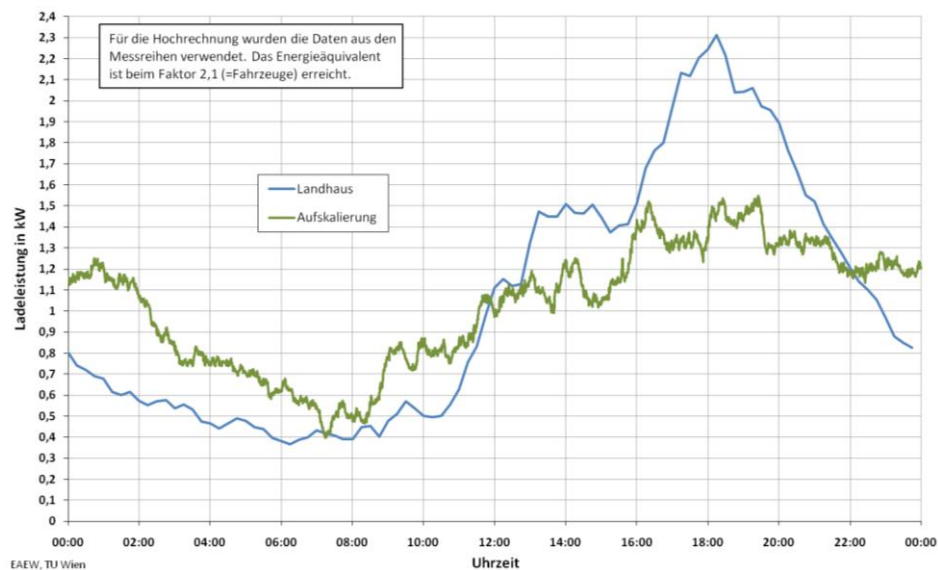


Abbildung 29: Mittlerer Leistungsverlauf am Arbeitstag der Ladestelle am Abstellplatz der Landesregierung Vorarlbergs sowie Aufskalierung aus dem mittleren Ladeleistungsverlauf aller beobachteten Fahrzeuge

Für das Energieäquivalent an Arbeitstagen wird die Messreihen-Kennlinie mit dem Faktor 2,1 multipliziert, was auch der Fahrzeuganzahl entspricht. Die Profile weichen deutlich voneinander ab, speziell bei den Leistungsspitzenwerten in den Nachmittagsstunden. Die Mittelung des Ladeleistungsverlaufs der Messreihe schlägt sich hier zu buche.

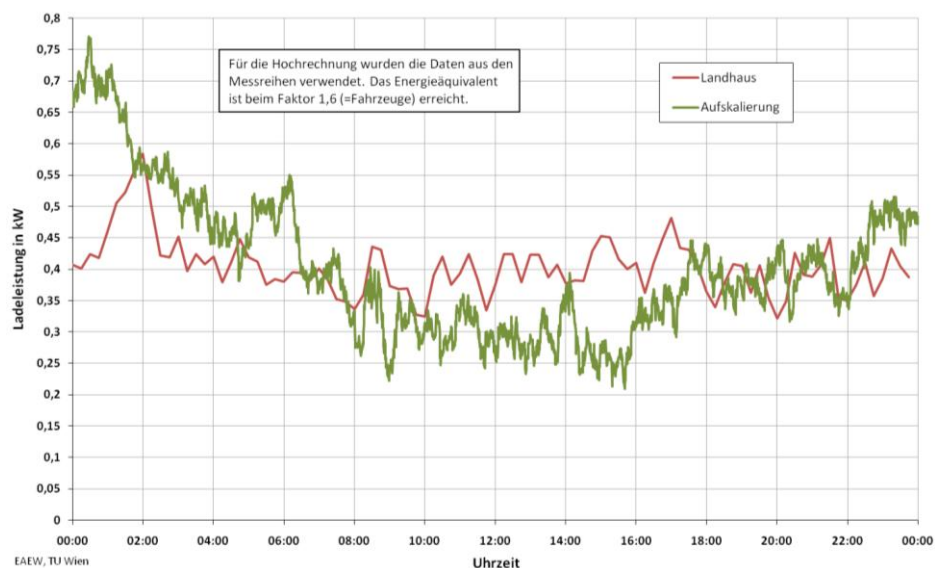


Abbildung 30: Mittlerer Leistungsverlauf am Wochenendtag der Ladestelle am Abstellplatz der Landesregierung Vorarlbergs sowie Aufskalierung aus dem mittleren Ladeleistungsverlauf aller beobachteten Fahrzeuge

Beim Wochenendtag (siehe Abbildung 30) ist das Energieäquivalent schon bei 1,6 Fahrzeugen erreicht. Hier sind die mittleren Ladeleistungsverläufe fast ident.

Ladestelle VKW-Hochgarage

Am Abstellplatz in der VKW-Garage waren 5 Stammelektrofahrzeuge unterwegs. Diese wurden durchschnittlich oft und intensiv benutzt. Außerdem waren immer wieder zusätzliche Fahrzeuge dort angesteckt. Abbildung 31 zeigt den kompletten Leistungsverlauf über den beobachteten Zeitraum.

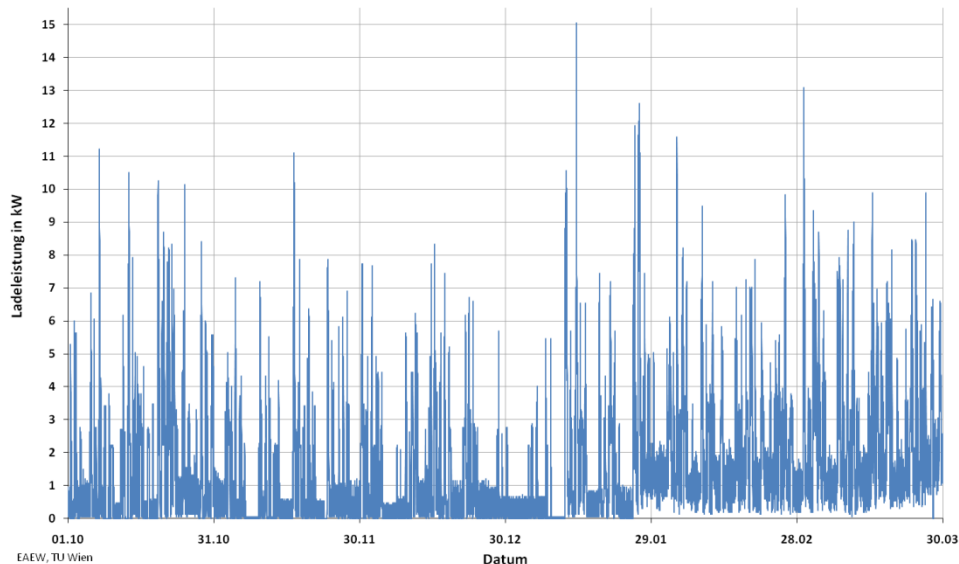


Abbildung 31: Kompletter Leistungsverlauf der Ladestelle in der VKW Hochgarage

Abbildung 32 zeigt wiederum den mittleren Leistungsverlauf sowie die minimalen und maximalen Leistungswerte (Hüllkurve) des Arbeits- und Wochenendtag. Von Mitternacht bis rund 07:00 Uhr sind auch die Verläufe des Arbeitstags sehr niedrig und wahrscheinlich alle FZ nicht im Ladezustand. Danach steigen der mittlere und vor allem der maximale Leistungsverlauf sehr stark an. Am Arbeitstag ist um rund 14:00 Uhr der mittlere Spitzenwert mit etwa 3,4 kW erreicht. Danach geht die Leistung stetig runter. Die maximal aufgetretene Spitzenleistung ist wiederum bedeutend höher und hat sein Maximum um etwa 15:00 Uhr mit rund 15 kW erlangt. Ab 17:00 Uhr fällt der maximale Leistungsverlauf sehr stark und erreicht nach Mitternacht Werte wie an Wochenenden. Interessant ist, dass die maximalen Werte an den Wochenendtagen in den Abend- und Nachtstunden größer als unter Tags sind.

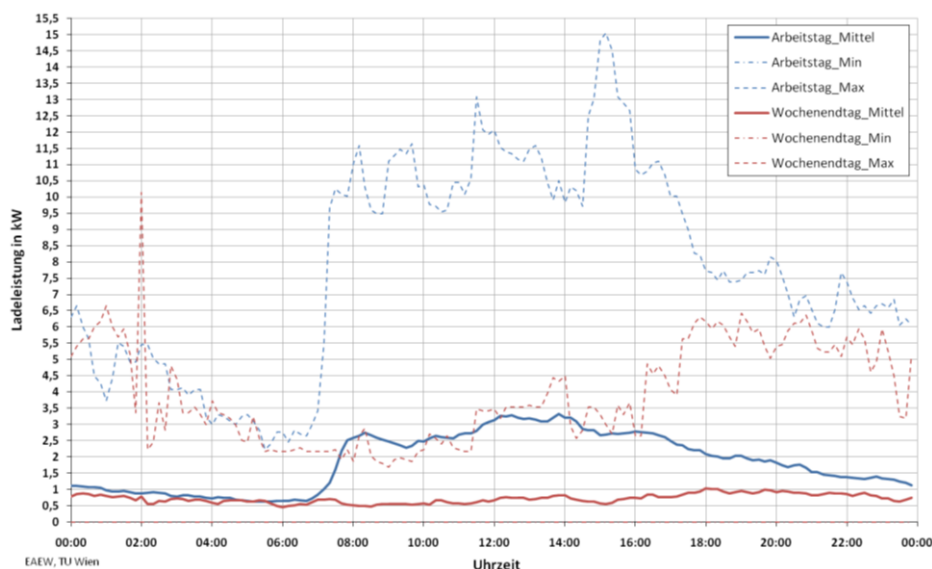


Abbildung 32: Mittlerer Leistungsverlauf sowie min. und max. Leistungswerte (Hüllkurve) aufgeteilt in Arbeits- und Wochenendtag der Ladestelle in der VKW Hochgarage

Abbildung 33 zeigt die Leistungsverläufe der Ladestelle am Arbeitstag verglichen mit der Hochskalierung aller Fahrzeuge der Messreihen. Das Energieäquivalent wird bei einem Faktor 3,8 (entspricht der Fahrzeuganzahl) erreicht. Von 18:00 bis 07:00 Uhr, also wiederum in den Abend- und Nachtstunden, ist der mittlere Ladeleistungsbedarf der Hochrechnung sehr viel höher. Grob gefasst ist eine zeitliche Verschiebung der beiden Kennlinien erkennbar, selbst wenn die Kurven keine deckungsgleiche Form besitzen. Das Leistungsmaximum tritt bei der VKW-Ladestelle viel früher auf.

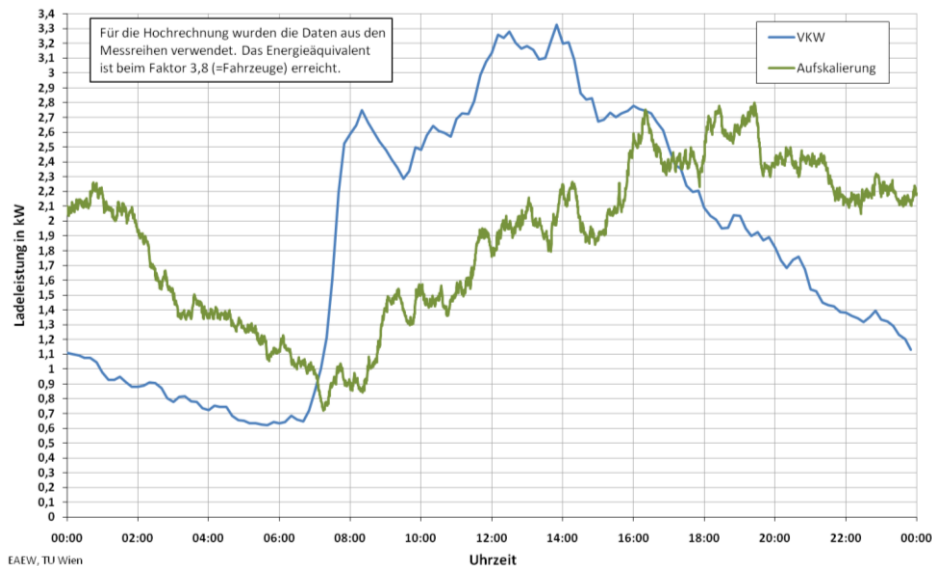


Abbildung 33: Mittlerer Leistungsverlauf am Arbeitstag der Ladestelle in der VKW Hochgarage sowie Aufskalierung aus dem mittleren Ladeleistungsverlauf aller beobachteten Fahrzeuge

Beim Wochenendtag (siehe Abbildung 34) ist das Energieäquivalent schon bei 2,9 Fahrzeugen erreicht. Hier sind die mittleren Ladeleistungsverläufe fast ident und ebenfalls leicht zeitlich leicht verschoben.

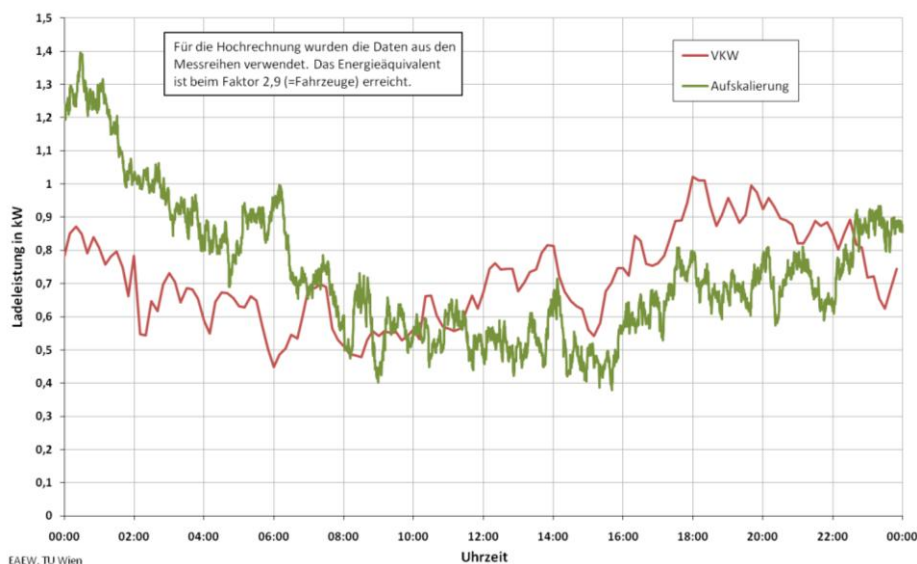


Abbildung 34: Mittlerer Leistungsverlauf am Wochenendtag der Ladestelle in der VKW Hochgarage sowie Aufskalierung aus dem mittleren Ladeleistungsverlauf aller beobachteten Fahrzeuge

Nach internen Analysen konnte keine Systematik der Messfehler entdeckt werden und somit wurde eine softwaregesteuerte Löschung aller unkorrekten Wegpunkte unmöglich. Allein durch menschliches Editieren wäre es machbar die Ausreißer fehlerlos zu erkennen und damit zu beseitigen. Auch in Gesprächen mit Verkehrsexperten wurde uns keine andere Lösung angeboten.

Da der Zeitaufwand zur manuellen Bereinigung für alle 14 fehlerbehafteten Datensätze in diesem Projekt nicht zur Verfügung steht, haben wir in den weiteren Analysen ausschließlich die 4 fehlerfreien Datensätze verwendet. In weiteren Forschungsprojekten ist es wahrscheinlich möglich diesen Aufwand zur Fehlerbehebung einzuplanen, ev. einen Algorithmus zu finden oder eine manuelle Aufbereitung durchzuführen, um die übrigen GPS-Datensätze noch näher zu betrachten.

3.6.2 Verteilung der Stehdauern

Aus den GPS-Daten können nun alle Stehzeiten, also auch jene bei denen das Fahrzeug nicht angesteckt war, ermittelt werden. Abbildung 36 zeigt die Gesamtstehdauer aller 4 betrachteten Fahrzeuge in den betrachteten drei Wochen. Von insgesamt 1816 Stunden waren die Fahrzeuge 1774 Stunden abgestellt. Lediglich 8% der Gesamtstehdauer waren diese Fahrzeuge nicht angesteckt.

Natürlich bedingt durch das dienstfahrerähnliche Verhalten sind zweitägige Stopps, bei denen die FZ meist angesteckt sind, über das Wochenende nicht ungewöhnlich und diese erhöhen die Plug-Stehdauer dramatisch. Daher ist es von größerem Interesse bei welcher Stehdauer die nicht angesteckten Stopps stattfinden.

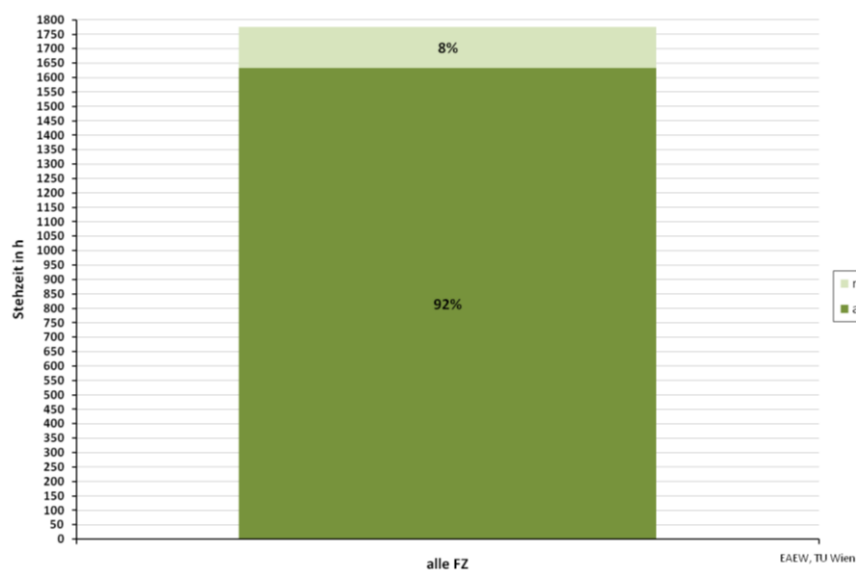


Abbildung 36: Gesamtstehdauer der betrachteten Fahrzeuge aufgeteilt in angesteckter sowie nicht angesteckter Zeit

Abbildung 37 zeigt nun die Halteverteilung je freigewählter Zeitkategorie. Die meisten Stopps sind kürzer als 15 Minuten. Häufig treten auch Aufenthalte bis zu einer $\frac{3}{4}$ Stunde und zwischen 1 und 1,5 Stunden auf. In den kurzen Stehdauern wurde meist nicht angesteckt. Lediglich rund 4% aller Stopps kürzer als 15 Minuten wurden ans Netz gekoppelt. Erst ab drei Stunden Stehdauer wird eine Ansteckrate von 50% in jeder Kategorie erreicht. Ab 12 Stunden Aufenthalt wurde immer angesteckt. Bei drei Stopps im zeitlich sehr hohen Bereich von 8 bis 12 Stunden wurde hingegen das FZ nicht angesteckt.

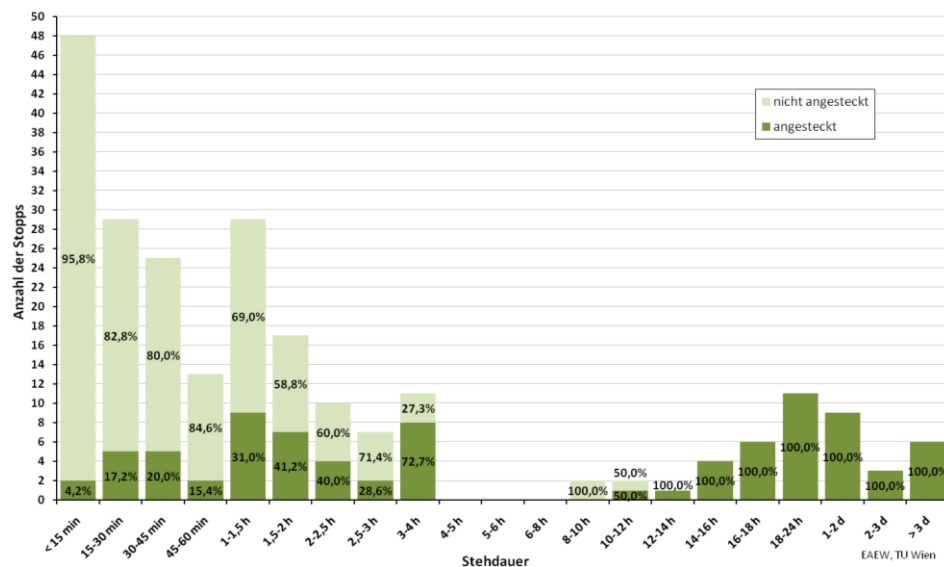


Abbildung 37: Anzahl der Stopps aller betrachteten Fahrzeuge je Stehdauerkategorie

Die kumulierte Anzahl der Stopps aller betrachteten Fahrzeuge je Stehdauer ist in Abbildung 38 abgebildet. Ganz links ist die prozentuelle Aufteilung der angesteckten und nicht angesteckten Fahrzeuge bezogen auf die Anzahl aller Stopps dargestellt. Obwohl nur 8% der Gesamtstehdauer das FZ nicht angesteckt wurde, stellt dieser Anteil (auf die Anzahl bezogen) aber rund 64% aller Stopps dar.

Weiters zeigt Abbildung 38 den interessanten Zusammenhang der Standdauer und dem Anteil der dabei mit dem elektrischen Netz verbundenen Fahrzeuge. Dieser Prozentsatz nimmt mit der Stehdauer zu. So werden bei Aufenthalten, die länger als eine halbe Stunde dauern, die Fahrzeuge zu 50% Wahrscheinlichkeit angesteckt. Dauert die Standphase länger als eine Stunde, beträgt der Prozentsatz bereits 60%. Unklar bleibt in dieser Darstellung noch, ob das Nichtanstecken auf den Mangel einer Ladestelle zurückzuführen ist oder auf das Verhalten des Fahrzeugnutzers, der eine vorhandene Lademöglichkeit nicht nützt.¹³

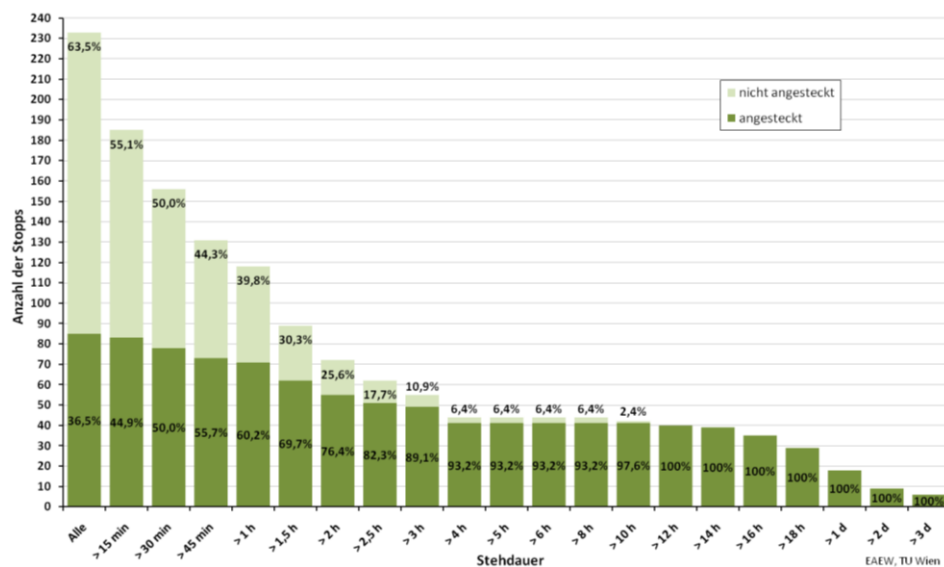


Abbildung 38: Kumulierte Anzahl der Stopps aller betrachteten Fahrzeuge je Stehdauer

¹³ Derzeit ist zu erwarten, dass ersterer Fall eintritt, also keine Lademöglichkeit vorhanden ist. Zumeist sind vorerst Ladestellen nur am Firmenparkplatz des jeweiligen FZ-Besitzers vorhanden.

3.6.3 Standortverteilung

Ähnlich wie im obigen Abschnitt werden aus den GPS-Daten der vier betrachteten Fahrzeuge die Standorte der jeweiligen Stopps extrahiert. Abbildung 39 zeigt nun die Standzeitenverteilung aller betrachteten Fahrzeuge je Standort.

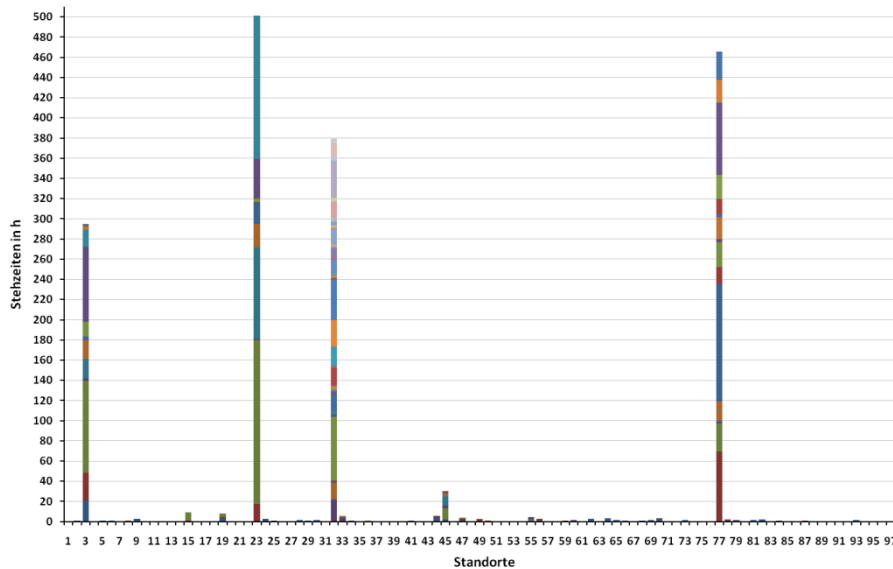


Abbildung 39: Ständzeitenverteilung aller betrachteten Fahrzeuge je Standort

Als ein Standort wurden alle Stopps zusammengezogen, welche weniger als 50m voneinander entfernt waren. Jede Farbe in der Abbildung 39 stellt einen Stopp dar. Deutlich sind die vier Firmenparkplätze der einzelnen Fahrzeuge zu erkennen. Außerdem wurde mit nur einer kleinen Ausnahme immer nur dort geladen. Weit abgeschlagen mit weniger als einem Zehntel Gesamtstehdauer ist ein weiterer Standort vorhanden. Alle anderen Orte wurden meist nur einmal angefahren (siehe Abbildung 40).

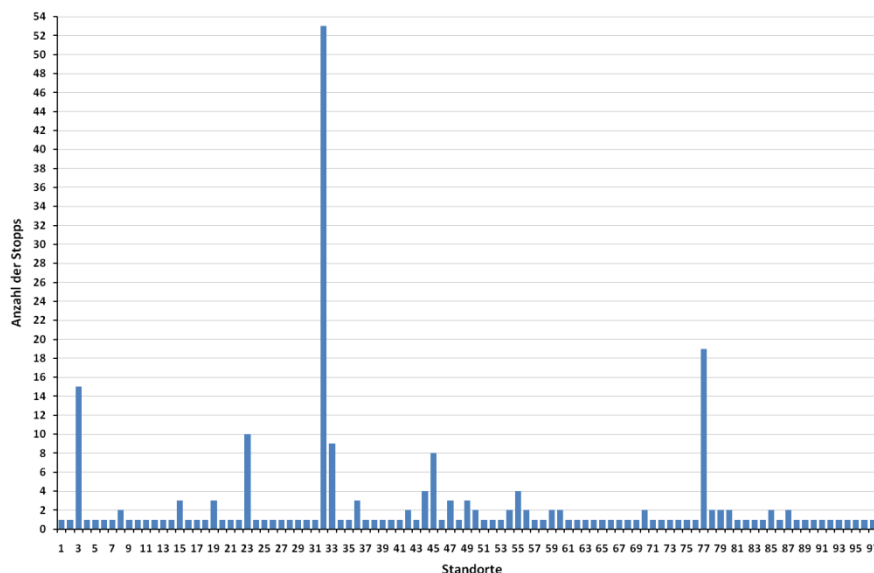


Abbildung 40: Anzahl der Stopps je Standort

Die Auswertung zeigt, dass für die Empfehlung von Standorten für Ladeinfrastruktur eine längere Beobachtungsphase erforderlich wäre bzw. eine größere Fahrzeugzahl, sodass es zu stärkeren Häufungen von Standvorgängen an bestimmten Orten kommt. Derzeit sind nur die fünf signifikant im Diagramm sichtbaren Standorte für Ladeinfrastruktur sinnvoll.

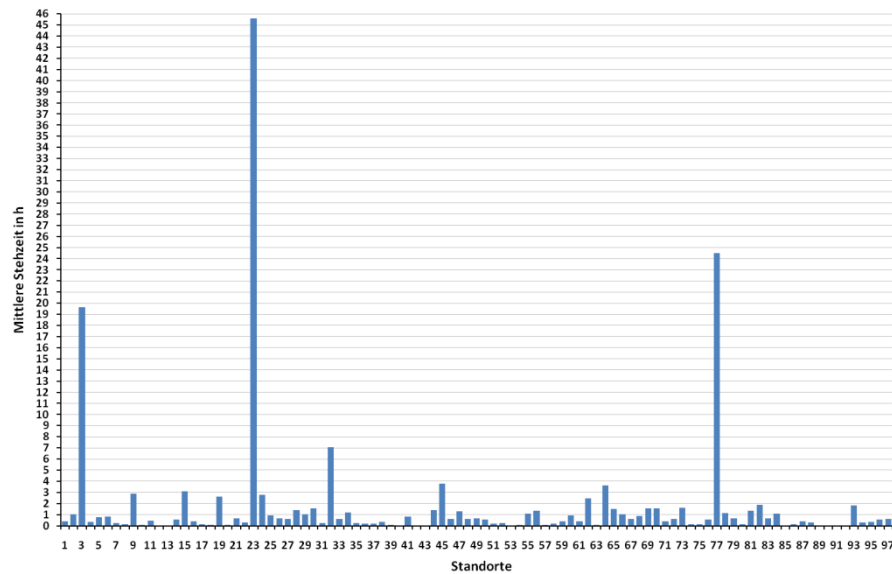


Abbildung 41: Mittlere Standzeitenverteilung aller betrachteten Fahrzeuge je Standort

Um einen besseren Überblick über alle Standorte zu erhalten, sind in Abbildung 41 die mittleren Standzeiten dargestellt. Die vier Hauptstandorte sind mit rund 46, 24, 20 und 7 Stunden mittlerer Stehzeit noch immer dominant, aber die meisten anderen Standorte bewegen sich im Zeitfenster von 1 bis max. 4 Stunden.

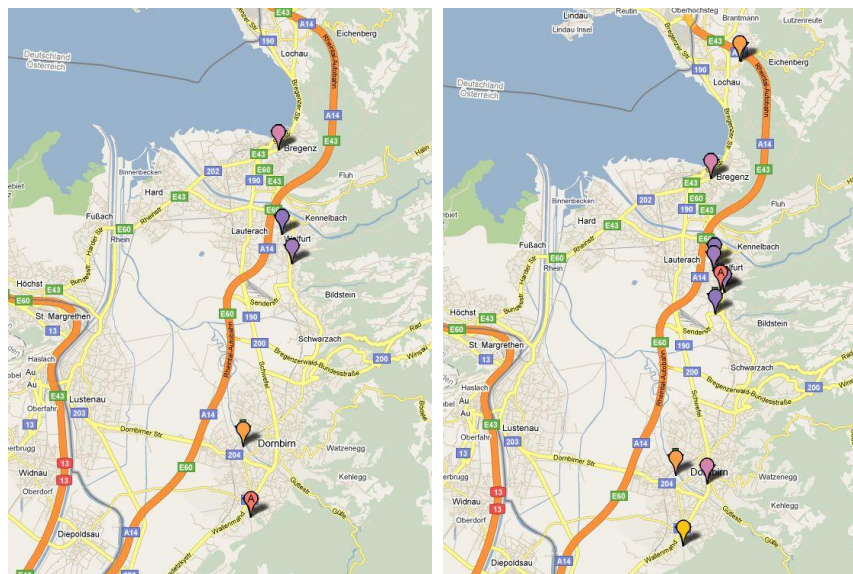


Abbildung 42: Standorte mit der längsten Stehdauer für die betrachteten Fahrzeuge in GOOGLE MAPS (Links...TOP 5, Rechts...TOP 10)

In Abbildung 42 sind auf der linken Seite die fünf Standorte mit den längsten Stehdauern und auf der rechten die TOP 10 Orte eingezeichnet. Diese Karten geben einen guten Überblick, wo für derzeitige Fahrzeugbesitzer günstige Standorte für Ladestellen entstehen sollten, sofern diese Standorte noch keine Lademöglichkeit haben. Das Bild auf der rechten Seite zeigt eine gewisse Verdichtung mehrerer Standorte. Diese werden in Abbildung 43 im Zoom genauer dargestellt.

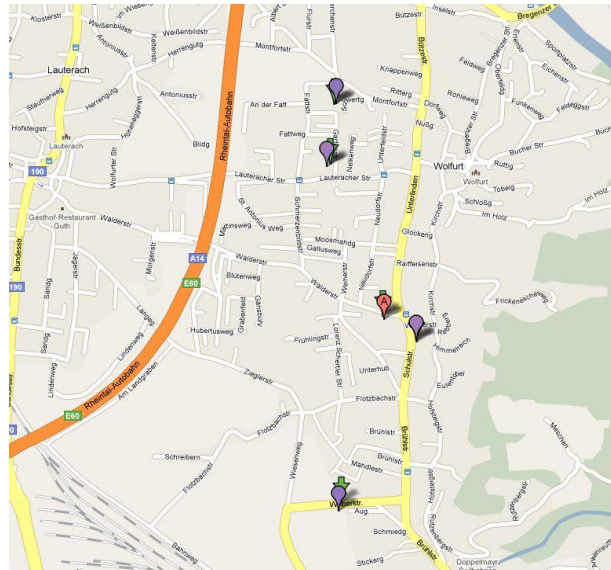


Abbildung 43: Detaillierter Plan einiger TOP 10 Standorte aus der Marktgemeinde Wolfurt in GOOGLE MAPS

Allgemein ist zu erwähnen, dass die derzeit ausgewerteten Fahrzeuge noch keine ausreichende Überschneidung der Standorte erzielen bzw. in ihrer Einsatzart keine Häufung von Standphasen an mehreren Standorten zeigen, sodass keine Aussagen bzgl. günstiger Positionierung von Ladestellen im öffentlichen Raum oder anderen Orten auf Grund des bisherigen Ladeverhaltens getätigt werden können.

4 Wirtschaftliche Betrachtungen

Zurzeit werden die Anschaffungskosten der Elektrofahrzeuge durch das Modellregionsprojekt staatlich gefördert und daher bewegen sich die monatlichen Kosten der einzelnen Kunden momentan im üblichen Kostenbereich der Mobilität¹⁴. Auch aus diesem Grund ist der Ansturm auf die elektrischen Fortbewegungsmittel ungebrochen groß. Wie groß bei handelsüblichen und teureren Elektroauto-preisen die Nachfrage ist und inwiefern die außergewöhnliche Motivation überwiegt, wird sich in Zukunft herausstellen. Im Folgenden werden die Kostenstrukturen der Fahrzeuge sowie der Ladeinfrastrukturen kurz beleuchtet.

4.1 Fahrzeuggesamtkosten

Die Fahrzeuggesamtkosten setzen sich aus Investitions- und Betriebskosten zusammen. Werden die reinen Betriebskosten eines mit Diesel betriebenen Fahrzeugs mit einem Elektroauto miteinander verglichen, so erreichen die Elektrofahrzeuge fast die doppelte Reichweite mit dem gleichen Geldeinsatz. Abbildung 44 zeigt dies mit 10 Euro Treibstoffkosten und den derzeitigen Verbrauchswerten.

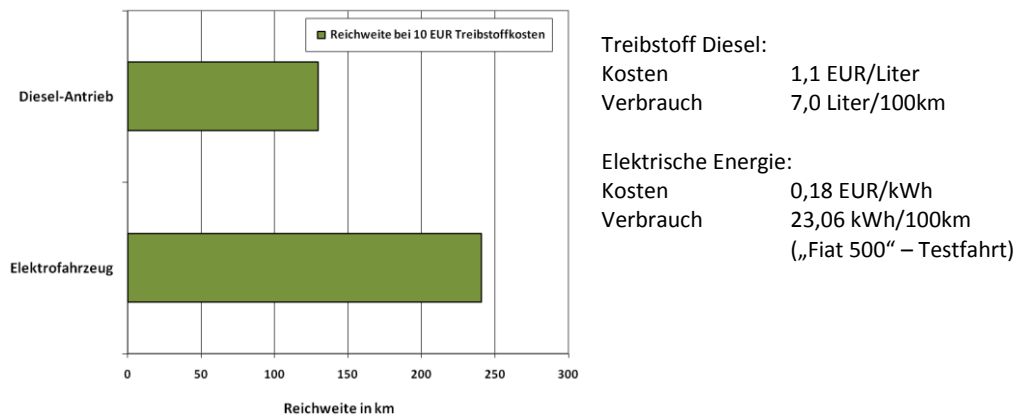


Abbildung 44: Betriebskostenvergleich eines Diesel- mit einem Elektrofahrzeug aus derzeitiger Sicht

In Zukunft wird sich das obige Verhältnis noch stärker ausprägen, da einerseits der Dieselpreis wieder steigen und andererseits der Verbrauch der Elektrofahrzeuge bedingt durch gewisse Lerneffekte stark sinken wird. Erhöht sich der Dieselpreis beispielsweise auf 1,8 EUR/Liter und der Strompreis auf 0,22 EUR/kWh kann das Elektrofahrzeug mit einem zukünftigen Verbrauch von 14 kWh/100km viermal weitere Strecken zu denselben Kosten zurücklegen.

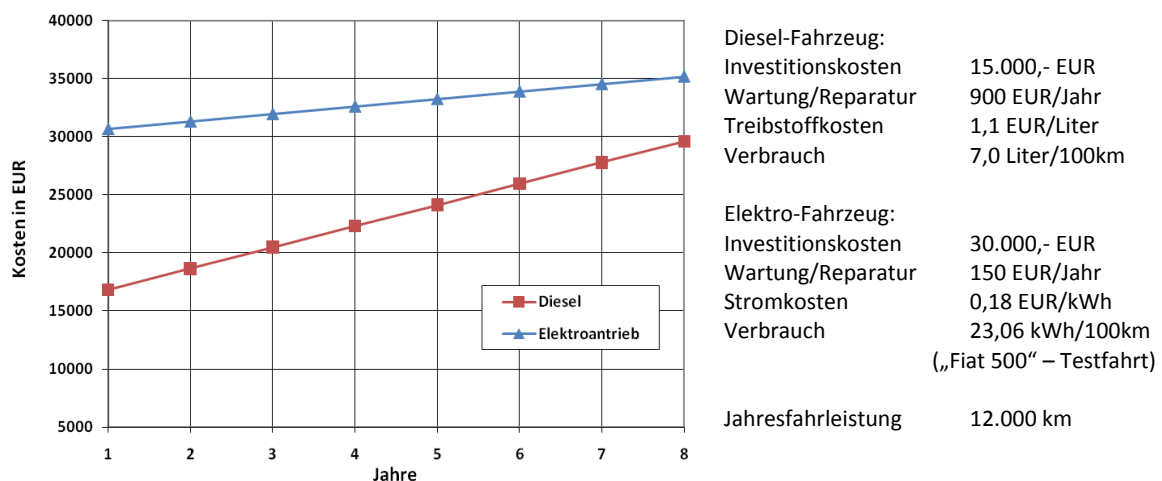


Abbildung 45: Vergleich der kumulierten Gesamtkosten eines Diesel- mit einem Elektrofahrzeug aus derzeitiger Sicht

¹⁴ Vergleich der Mobilitätsrate

Da die Investitionskosten der Elektrofahrzeuge, im Speziellen der Li-Ionen-Batterien, so hoch sind, verliert der Vorteil der niedrigeren Betriebskosten schnell an Bedeutung, wenn die Gesamtkosten betrachtet werden. In Abbildung 45 sind die kumulierten Gesamtkosten eines Diesel- und Elektrofahrzeugs mit derzeitiger Kostenstruktur dargestellt. Innerhalb von 8 Jahren ist der Dieselantrieb immer noch kostengünstiger.

In einem zukünftigen Szenario mit höherem Dieselpreis, niedrigeren Investitionskosten sowie Verbräuchen beim Elektrofahrzeug, wird ein Break-Even-Point bei rund 5 Jahren erreicht. Abbildung 46 zeigt den gesamten Kostenverlauf grafisch.

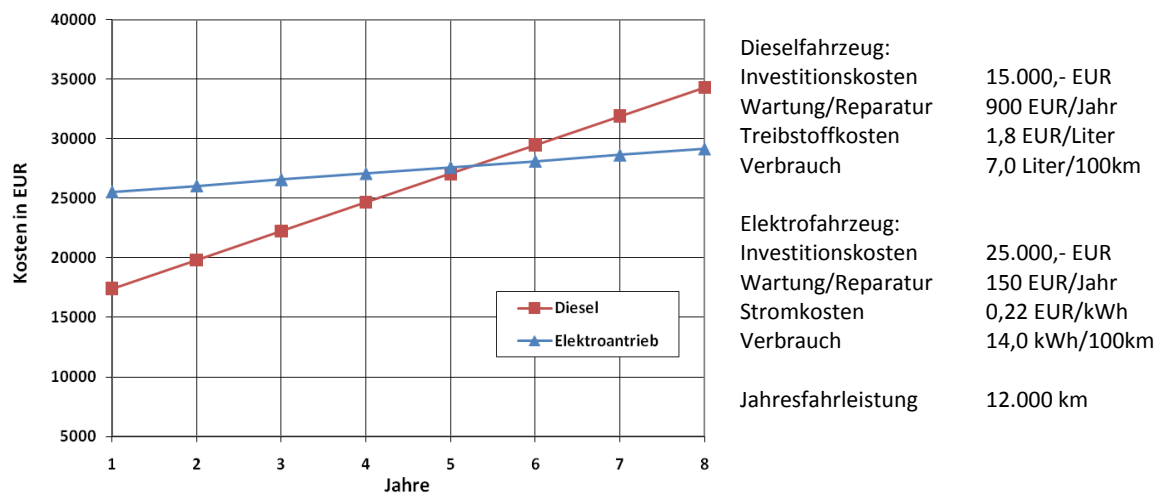


Abbildung 46: Vergleich der kumulierten Gesamtkosten eines Diesel- mit einem Elektrofahrzeug in Zukunft

In den Gesamtberechnungen müssten für die Zukunft außerdem die Kosten der vermiedenen CO₂-Emissionen sowie weitere steuerpolitische Effekte mit eingerechnet werden, welche die Attraktivität der Elektromobilität stark steigern können. Diese Maßnahmen sind sinnvoll, da der Umstieg auf erneuerbare Mobilität einen sehr großen volkswirtschaftlichen Mehrwert hat.¹⁵

¹⁵ Beispielsweise ist die Wertschöpfung von in Österreich nachhaltig erzeugtem Strom bedeutend größer als der Import von Erdöl und fossilen Treibstoffen.

4.2 Kosten der Ladeinfrastruktur

Die Kosten der Ladeinfrastruktur sind sehr verschieden, da der Aufbau und die Intelligenz der Ladestellen sehr unterschiedlich sind. Die Aufgabe der Ladung kann beispielsweise mit einer einfachen Haushaltssteckdose am eigenen Haushalts- bzw. Firmenparkplatz gelöst werden. Wie im Abschnitt 3.6.3 ersichtlich, ist dies in der derzeitigen Situation¹⁶ völlig ausreichend.

Bei Erfüllung weiterer Distanzen muss das Elektrofahrzeug mehrmals aufgeladen werden. Auch wenn keine eigene Garage zur Verfügung steht oder die Autos mittels „Car sharing“ vermietet werden, muss es öffentlich zugängliche Ladestellen geben. Hierbei steigen die Installations- und Wartungskosten sehr schnell an. Diese Kosten sind abhängig von der zur Verfügung stehenden Ladeleistung (Normal- oder Schnellladung), die Anzahl an Steckplätzen, die Entfernung zu Leitungsabzweigen oder bestehenden Transformationsanlagen (betreffend Grabungsarbeiten) sowie die notwendige Kommunikationsschnittstelle für Bezahlung und Identifikation.

Fest steht, dass bei einem durchschnittlichen Ladevorgang, berechnet mit derzeit haushaltsüblichen Strompreisen, ein Umsatz von rund 1,5 EUR anfällt¹⁷. An den öffentlichen Ladestellen wird wahrscheinlich der Strompreis bedingt durch die Zusatzkosten etwas teurer werden, aber die durchschnittlichen Umsätze können kaum einen komplexen Ladestellenaufbau mit wirtschaftlicher Deckung zulassen.

¹⁶ Nur wenige Standorte werden regelmäßig angefahren. Dort haben die Fahrzeuge ihre langen Aufenthalte.

¹⁷ $0,18 \text{ EUR/kWh} * 36,32 \text{ km/Fahrtag} * 23,06 \text{ kWh/100km} = 1,5 \text{ EUR}$

5 Zusammenfassung der Endergebnisse

Die Endergebnisse lassen sich in

- spezifische Fahrzeugverbräuche des „TH!NK city“ sowie „Fiat 500“,
- Aussagen über die gesamten Ladeprozesse und
- Ergebnisse der Analysen benutzerrelevanter Daten gliedern.

5.1 Fahrzeugverbräuche

Fahrzeugverbräuche setzen sich aus

- Fahrverbräuchen,
- Aufladeverlusten und
- Stand-by-Verlusten (d.h. Leistungselektronikverluste und Heizverluste auf Grund der ZEBRA-Batterietechnologie) zusammen.

Die zwei verschiedenen Fahrzeugtypen „TH!NK city“ und „Fiat 500“ besitzen sehr unterschiedliche Kennwerte. Aus den Messungen und Auswertungen lässt sich ableiten:

TH!NK city

- Der reine Fahrverbrauch liegt bei rund 20,3 kWh/100km (Testfahrt). Inkludiert man die Aufladeverluste wird ein Verbrauchswert von 26,0 kWh/100km erzielt.
- Aufladeverluste bewegen sich im Bereich von 22 bis 27 Prozent der Gesamtladeenergie.
- Die Rekuperation beträgt gemittelt über alle Streckenabschnitte etwa 8 Prozent der gesamten Energieabgabe.
- Die Messreihenanalyse ergibt reale Verbrauchswerte von mittleren 33,2 kWh/100km, wobei eine starke Streuung von rund 26 bis 52 kWh/100km auftritt. Diese beinhalten aufgrund von unangesteckten Stillstandszeiten auch Heizverluste sowie die Aufladeverluste.
- Die Stand-by-Verluste (Heizen, Leistungselektronik) ergeben sich zu Werten von 0,165 kWh/h. An einem Tag ohne Fahren sind beim „TH!NK city“ mit Stand-by-Verlusten von 3,96 kWh je Fahrzeug zu erwarten.

Fiat 500

- Der bei diesem Fahrzeugtyp niedrigerer Fahrverbrauch liegt bei rund 19,6 kWh/100km (Testfahrt). Inkludiert man die Aufladeverluste wird ein Verbrauchswert von 23,2 kWh/100km erzielt.
- Die Aufladeverluste bewegen sich beim „Fiat 500“ im Bereich von 13 bis 15 Prozent der Gesamtladeenergie.
- Beim „Fiat 500“ sind die Stand-by-Verluste mit rund 0,107 kWh/h viel niedriger und daher braucht dieses Fahrzeug an einem Tag ohne Fahren rund 2,57 kWh.

Weiters sind die beiden Fahrzeugtypen mit unterschiedlichen Ladesystemen ausgestattet. Die maximale Ladeleistung beim „Fiat 500“ ist eineinhalb mal so groß wie jene des „TH!NK city“, wodurch kürzere Ladezeiten erzielt werden.

Aufgrund der signifikant unterschiedlichen Verluste zwischen den Fahrzeugtypen, wird in der Ladeleistungselektronik ein hohes Potential an Effizienzsteigerung durch Weiterentwicklung der Ladegeräte erwartet (Best Practice). Die Umstellung auf Li-Ionen-Batterietechnologie lässt deutlich geringere Stand-by-Verluste erwarten (keine Heizerfordernisse).

5.2 Ergebnisse der gesamten Ladeprozesse

Diese Analysen unterteilen sich in

- die Entladetiefenverteilungen der Fahrzeugbatterien,
- Ladeleistungsverläufe der Autos sowie
- Ladeleistungsverläufe der Ladestellen.

Allgemein gilt, dass die Ladung der Fahrzeugbatterien bis zu einem Ladestand von etwa 80% der Nennkapazität mit konstanter Leistung stattfindet, danach bis zu einem Abschaltstrom exponentiell abnimmt. Heizprozesse treten regelmäßig für etwa 35 bis 45 Minuten - vorwiegend in der Stand-by-Phase - auf. Ist das Heizen bereits in der Ladephase erforderlich, wird die Ladeleistung für die Zeitdauer des Heizens zurückgestuft.

Entladetiefenverteilung

Das Einsatzverhalten der Fahrzeuge über die zweimal dreiwöchige Beobachtungsphase zeigt, dass die Fahrzeugnutzer zumeist kurze Distanzen bis zu ihrer nächsten Ladung zurücklegen.

- Rund 44% aller Ladungen haben nur maximal 10% der Nennenergie benötigt und etwa zwei Drittel aller Ladeprozesse dauerten nicht länger als 3,5 Stunden.
- Bei 80% aller Vollladungen wurden weniger als 30% der Batterienennenergiemenge geladen, wodurch die Ladedauer unter 5 Stunden lag.

Fahrzeug-Ladeleistungsverlauf

Die Analyse wurde auf 24h-Tagesverläufe fokussiert und in Arbeitstage (Mo-Fr) und Wochenendtage (Sa-So) getrennt.

- An Arbeitstagen erfolgt das Laden gehäuft in der zweiten Tageshälfte und ersten Morgenstunden (12 Uhr Mittags – 2 Uhr morgens). Ladespitzen treten zumeist zwischen 16:30 und 19:30 Uhr auf und würden im gemittelten Ladeprofil einen Wert von 0,74 kW/Fahrzeug zur Spitzenzeit ergeben. Bis auf drei Stunden (15:00 bis 18:00 Uhr) befinden sich am Arbeitstag im Mittel mehr als die Hälfte aller angesteckten FZ im Stand-by-Betrieb und sind damit vollgeladen.
- Am Wochenende treten wenige Fahrten auf, wodurch auch kaum ein Fahrzeug geladen wird. Fast alle Fahrzeuge sind angesteckt.

Ladeleistungsverlauf der Ladestellen

Es wurden zwei Standorte für diese Betrachtung herangezogen und ebenfalls in Arbeitstage und Wochenendtage unterschieden.

- An Arbeitstagen sind zeitlich unterschiedliche Verläufe erkennbar. Während beim Standort 1 hohe Leistungserfordernisse über den ganzen Tag verteilt von 8 bis 17 Uhr auftreten, sind beim Standort 2 die Lastspitzen in der zweiten Tageshälfte (von 13 bis 21 Uhr) erkennbar und lassen auf ein anderes Einsatzverhalten schließen.
- Der mittlere Ladeleistungsverlauf am Arbeitstag hat mit etwa 2,4 bzw. 3,4 kW um rund 18:00 bzw. 14:00 Uhr sein Maximum. Der Maximalleistungsspitzenwert erreicht etwa 11,6 bzw. 15 kW um rund 17:30 bzw. 15:00 Uhr. Aufgrund der geringen Fahrzeugzahlen sind die absoluten Werte nicht besonders hoch, zeigen aber, dass eine Gleichzeitigkeit von 100% nicht auszuschließen ist.
- An Wochenenden wird bei beiden Standorten kaum geladen. Die entstehenden Leistungsverbräuche sind auf Stand-by-Verluste zurückzuführen. Dennoch können in einzelnen Fällen ähnlich hohe Werte wie an Arbeitstagen auftreten.

5.3 Ergebnisse der benutzerrelevanten Analysen

Mittels GPS-Erfassungs- und -Speichersystemen konnten Stehdauern und Standorte analysiert werden. Diese sind für Ladeinfrastrukturerfordernisse von großer Bedeutung. Aufgrund von fehlerbehafteten Datensätzen konnte nur eine kleine Menge dieser Daten, die fehlerarm war, zu aussagekräftigen Ergebnissen weiterverarbeitet werden.

Stehdauer

- Insgesamt wurde ein Zeitraum von 1816 h beobachtet. Davon befanden sich die Fahrzeuge 1774 h in abgestelltem Zustand. Lediglich 8% dieser Gesamtstehdauer waren die vier betrachteten Fahrzeuge nicht angesteckt. Dieser kurze Zeitraum repräsentiert aber anzahlbezogen 64% aller Stopps.
- Bei kurzen Haltevorgängen wird verständlicherweise viel seltener das Fahrzeug mit dem Netz verbunden. Erst ab Stehdauer über 30 min, wird jeder zweite Halt für das Laden genutzt. Ab Stehdauern über 2 Stunden, sind das immerhin schon 75% aller Halte. Ab 12 Stunden Aufenthalt zeigt die Analyse, dass alle Standphasen zum Laden und Anstecken ans elektrische Netz genutzt werden.

Die Inputdaten für diese Analyse ermöglichen leider nicht die Feststellung, ob das Anstecken durch nicht Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur oder aufgrund des Verhaltens des Nutzers nicht durchgeführt wurde.

Standort

- Die Standortanalyse zeigte, dass nur wenige Standorte häufig angefahren wurden. An den vier Hauptstandorten der vier Fahrzeuge (Firmenparkplatz) wurde im Mittel 7 bis 46 Stunden lang das Fahrzeug abgestellt. An allen anderen Standorten wurden die Autos nur selten oder auch nur einmal abgestellt. Die Parkdauer betrug in diesem Fall im Mittel 1 bis maximal 4 Stunden.
- Die geringe Datenbasis und auch die geringe Häufung von Standphasen an mehreren Standorten (Points of Interests) zeigen, sodass derzeit noch keine Aussagen bzgl. günstiger Positionierung von Ladestellen im öffentlichen Raum oder anderen Orten aufgrund des bisherigen Ladeverhaltens getätigt werden können. Dennoch wäre mit ausreichend vielen GPS-Daten und dieser Methodik die Bestimmung möglich.
- Die Erhebungen zeigen, dass für die betrachteten Einsatzarten der Fahrzeuge wenige Ladestandorte (bis hin zu einem einzigen) für problemlosen Betrieb ausreichen.

6 Weiterführende Fragestellungen

Die Fülle an gesammelten Daten erlauben mannigfaltige Analysen sowie kann auf das erworbene Wissen in weiteren Fragestellungen sehr leicht zurückgegriffen werden. Die weiterführende Behandlung folgender Punkte scheint aus Forschungssicht sinnvoll.

- Vollständige Betrachtung aller vorhandener GPS-Daten mit Hilfe eines zu entwickelnden Softwarealgorithmus sowie möglicher zukünftiger Messreihen um weitere Eingangsdaten und somit ein genaueres Abbild für Ladeinfrastrukturkenntnisse zu erlangen.
- Analyse benötigter Ladeinfrastruktur: Wo und wie viel weitere Ladestellen werden vom Kunden benötigt bzw. angenommen? Diese Entscheidungen sind einerseits vom benutzerspezifischen Verkehrsverhalten, das sich auf die Standdauer und Motivation des Nutzers bezieht, und andererseits von der netztechnischen Versorgung abhängig.
- Bei breiterer Verwendung der Elektrofahrzeuge wird es günstiger sein, diese mittels Ladesteuerung in technisch besseren Zeiten zu laden. Diese unterschiedlichen Ladestrategien könnten anhand der realen Messdaten weiter entwickelt und evaluiert werden. Viele Faktoren wie die konkrete Netzstruktur, Benutzerverhalten und Einspeisung erneuerbarer Energiequellen spielen dabei eine Rolle.
- Als weitere Stufe ist die Wiederrückspeisung der Energie aus den Fahrzeugen (Vehicle to Grid) vorstellbar. Dies kann angewendet werden, wenn sonst die Netzstabilität für kurze Zeit nicht mehr gewährleistet wäre und zusätzlich (lokale) Leistungseinspeisung stabilisierend wirken kann. Wird eine große Durchdringung von Elektrofahrzeugen angenommen, so wäre es vorstellbar die Gesamtheit aller Batterien als Speicher für fluktuierende erneuerbare Energiequellen zu verwenden. Ein wichtiger Forschungsbereich hierbei ist, die einzelnen Nutzerbedürfnisse immer einzubeziehen und anhand dieser die Realisierungsmöglichkeiten von Vehicle to Grid festzustellen. Erkenntnisse von bereits laufenden Forschungsprojekten könnten mit realen Daten von Elektrofahrzeugen neue Erkenntnisse liefern.

7 Abkürzungsverzeichnis

BMS	Batterie Management System
CLM	Kurzbezeichnung für das Ladeleistungsmessgerät CLM1000 mit Log-Funktion der Daten
DOD	Depth of Discharge, Entladetiefe der Batterie
FZ	Fahrzeug
SOC	State of Charge, Ladestand der Batterie
SZ	Summenzähler
CAN	Controller Area Network
V2G	Vehicle to Grid

8 Anhang

„TH!NK city“-Kurzanleitung

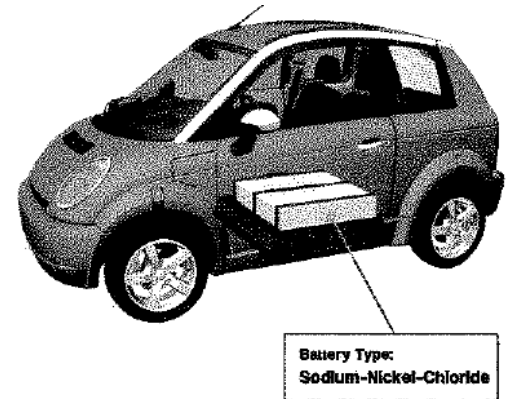
Fiat 500 Elettrica Fahrzeugdaten

ZEBRA-Datenblatt

1. Batterie, Aufladung und Ladekabel

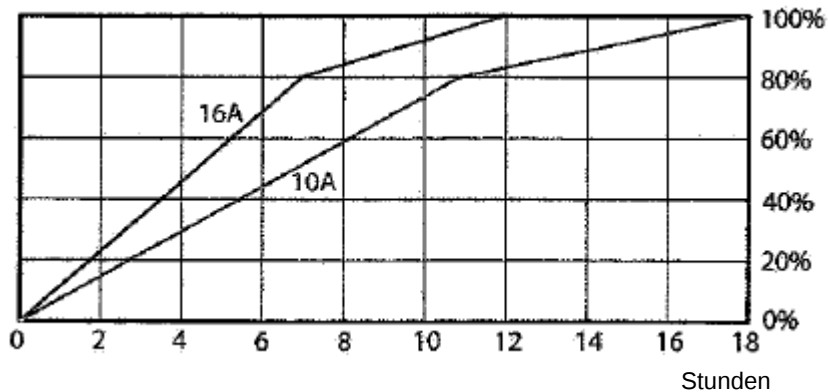
1.1. Grundlagen

Das Fahrzeug ist mit einer Natrium-Nickel-Chlorid-Batterie ausgestattet. Die Batterie hat eine Betriebstemperatur von ca. 270°C. Zur Erzielung der längsten Batterielebensdauer sollte das Fahrzeug bei Nichtgebrauch immer am Stromnetz angeschlossen sein. Damit wird auch gewährleistet, dass die Batterie immer ihre Betriebstemperatur beibehält und sie stets die größtmögliche Energiemenge zur Verwendung bereithält. Sollte die Batterie einmal abkühlen, wird sie automatisch wieder auf ihre Betriebstemperatur gebracht, sobald das Ladekabel eingesteckt wird. Der Aufwärmvorgang von 20°C auf 270°C dauert ca. 30 Stunden. Die Batterie ist im Fahrzeug unterhalb der Sitze installiert (siehe Abbildung).

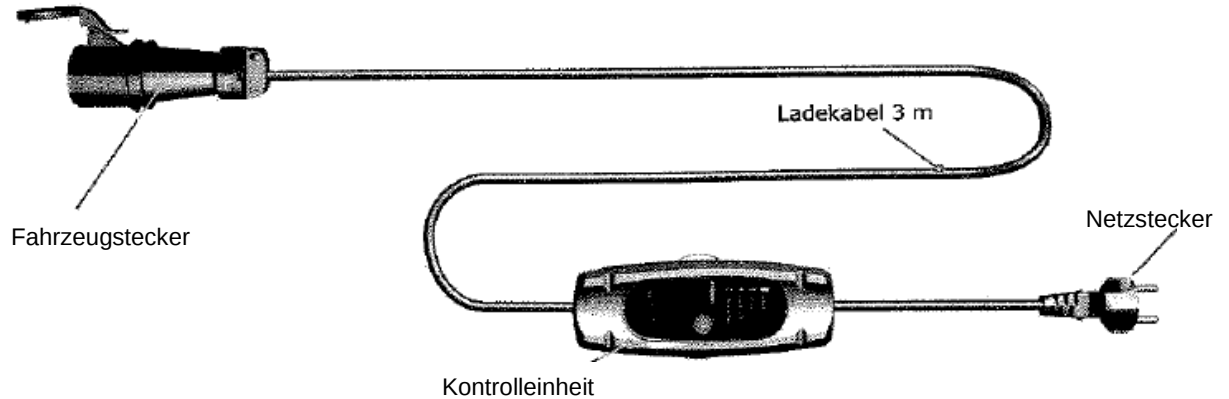


1.2. Ladezeit

Je nach Absicherung des Hausstromanschlusses kann die Batterie mit 10A oder 16A geladen werden. Die etwaige Ladezeit ist nachstehender Tabelle zu entnehmen.

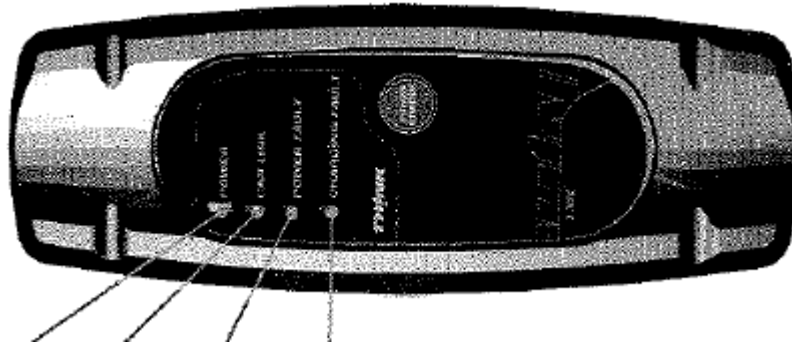


1.3. Das Ladekabel



Das Ladekabel hat zwei Einstellungen, eine für normale Ladegeschwindigkeit mit 10A, eine für schnelles laden mit 16A. Die Kontrolleinheit funktioniert zwischen -30°C und +50°C. Vermeiden Sie deswegen direkte Sonneneinstrahlung und legen Sie die Kontrolleinheit z.B. nicht auf heißen Asphalt.

1.4. Die Kontrolleinheit

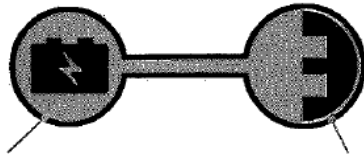


POWER	CAR LINK	POWER FAULT	CHARGING FAULT	BESCHREIBUNG
Aus	aus	aus	aus	Nicht am Stromnetz angeschlossen
AN	aus	aus	aus	Nicht am Fahrzeug angeschlossen
AN	Kurzblinken	aus	aus	Normales Laden (10A)
AN	Langblinken	aus	aus	Schnelles Laden (16A)
AN	aus	AN	aus	Erdungsfehler im Stromnetz
AN	aus	aus	AN	Keine Kommunikation zwischen Ladekabel und Fahrzeug
AN	aus	aus	1x Blinken	Erdungsfehler im Fahrzeug (Service kontaktieren)
AN	aus	Blinken	Blinken	Fehler im Ladekabel (nicht weiterbenutzen)

1.5. Ladevorgang

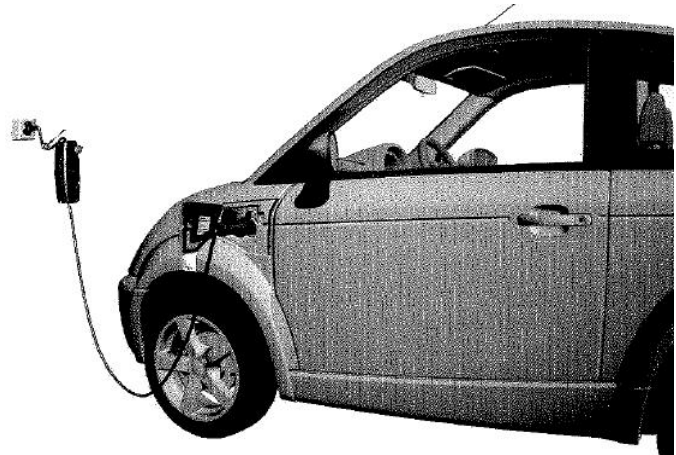
Zum Aufladen ist wie folgt zu vorgehen:

- Stecken Sie den Netzstecker in die gewünschte Steckdose
- Öffnen Sie den „Tankdeckel“ (befindet sich vor der Fahrertür) und stecken Sie den Fahrzeugstecker ein.
- Kontrollieren Sie die Ladelampen auf dem Armaturenbrett im Fahrzeug (siehe Illustration).
- Drücken Sie bei Bedarf den „POWER CHARGE“ Knopf.



Leuchtet
wenn
Ladevorgang
aktiv

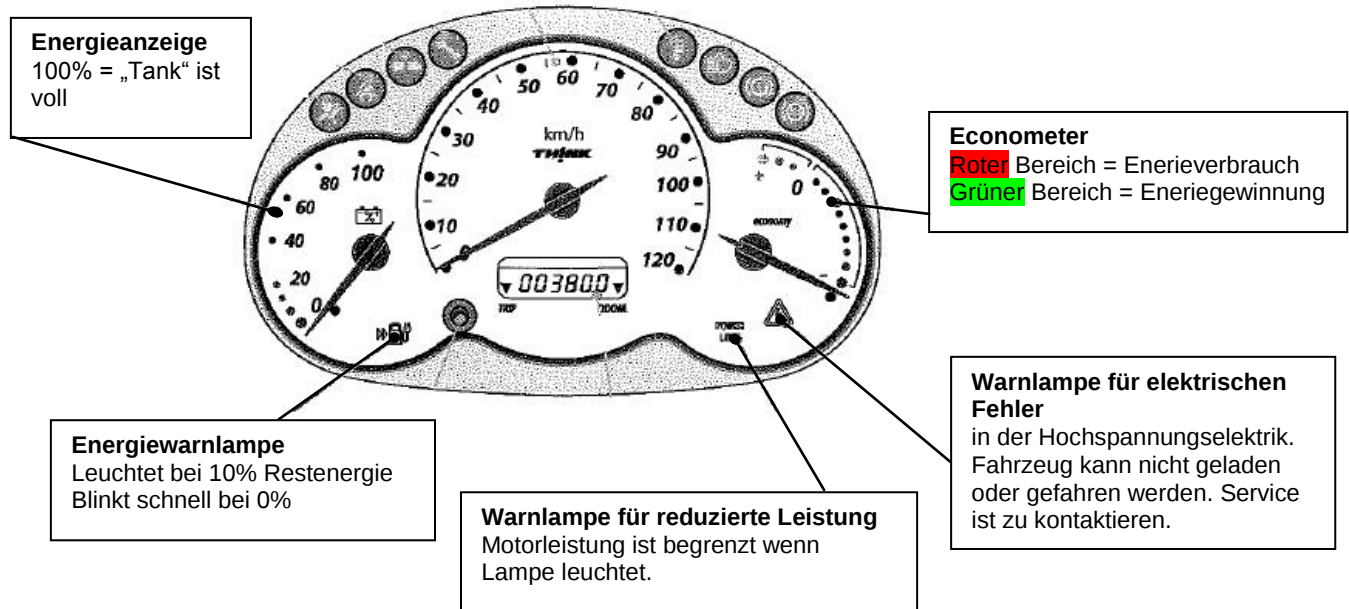
Leuchtet wenn
Fahrzeug
verbunden mit
Ladekabel



2. Besonderheiten im Cockpit

Dieses Kapitel beschreibt die Besonderheiten der Anzeigen und Bedienelemente, die von einem konventionellen Fahrzeug abweichen.

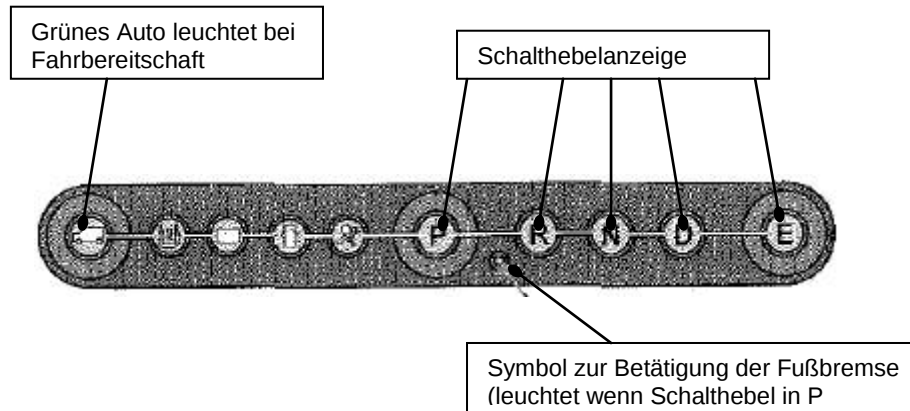
2.1. Das Kombiinstrument



2.2. Schalthebel und Anzeigen

Der Motor gibt seine Leistung über ein einstufiges Zahnradgetriebe sowie ein Differential an die Vorderräder ab. Der Schalthebel wird wie bei einem Fahrzeug mit automatischem Getriebe betätigt:

P = Park	Der Antrieb ist verriegelt. Das Fahrzeug kann nicht fahren/rollen. Um den Hebel aus dieser Stellung zu bewegen muss die Fußbremse betätigt werden.
R = Rückwärts	Das Fahrzeug fährt rückwärts
N = Neutral	Das Fahrzeug kann rollen oder z.B. geschoben oder abgeschleppt werden
D = Drive	Das Fahrzeug fährt vorwärts
E = Economy	Das Fahrzeug fährt vorwärts, aber mit reduzierter Leistungsabgabe (20kW) und erhöhter Energierückgewinnung



2.3. Sonstiges

2.3.1. ASSIST Schalter

In der Mittelkonsole unterhalb der Heizungs-, Lüftungsbedienung befindet sich ein ASSIST Schalter. Dieser ist zurzeit nicht in Betrieb.

2.3.2. Beheizbare Frontscheibe

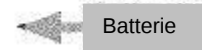
Manche Fahrzeuge sind mit einer beheizbaren Frontscheibe ausgestattet. Auch dieser Schalter befindet sich unterhalb der Heizungs-, Lüftungsbedienung. Die Frontscheibenheizung kann in zwei Stufen geschaltet werden. Auf einfaches Drücken erfolgt eine Heiz- und Enteisungswirkung. Der Schalter leuchtet schwach. Nach zweimaligem Drücken erhöht sich die Wirkung und der Schalter leuchtet hell. Im unbetätigten Zustand leuchtet der Schalter nicht.

3. Fahren mit einem Elektroauto

Ein Vorteil von Elektroautos gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren liegt in der Möglichkeit, die erlangte kinetische Energie des Fahrens beim Abbremsen wieder in elektrische Energie umzuwandeln. Nimmt der Fahrer den Fuß vom Beschleunigungspedal (Gaspedal), dreht sich der Motor weiter und kann so als Generator fungieren. Er produziert nun Strom, der wieder in die Batterie zurückfließt und diese so auflädt. Die Illustrationen sollen dies verdeutlichen.

3.1. Berauffahrt

Die Batterie liefert ihre Energie an den Motor. Es wird Energie verbraucht, der Zeiger des Econometers schlägt in den roten Minus-Bereich aus.



3.2. Bergabfahrt

Der Motor wird durch das rollende Fahrzeug angetrieben. Wie oben beschrieben wird die Batterie nun geladen. Der Zeiger des Econometers schlägt in den grünen Plus-Bereich aus.



4. Reifenpanne

Im Falle einer Reifenpanne ist der TH!NK city mit einem Reifenpannenset ausgestattet. Die Verwendungshinweise für dieses Pannenset befinden sich auf der Flasche.

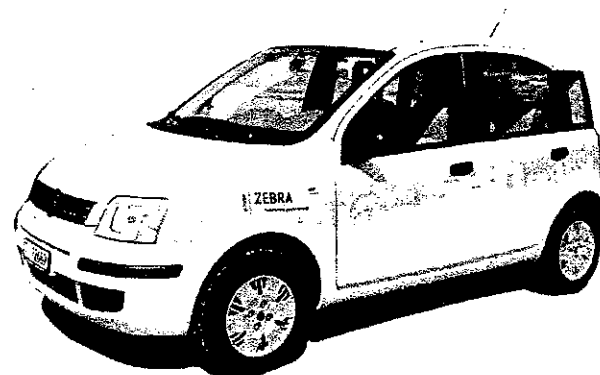
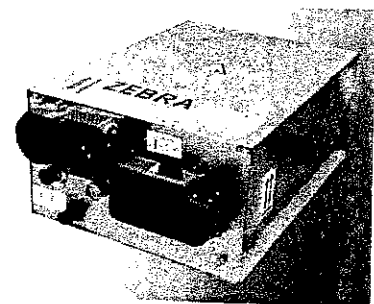
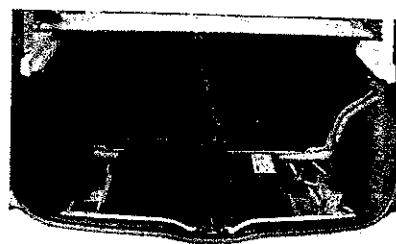
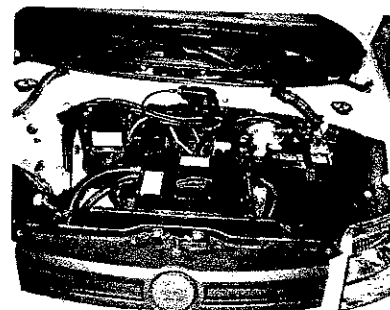
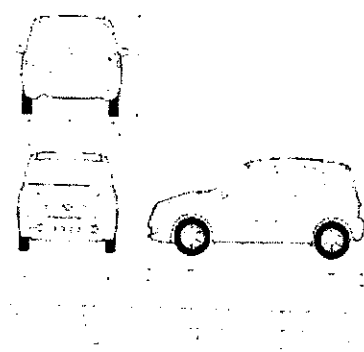


5. Technische Daten

Motor:	3-Phasen Elektroinduktionsmotor
Max. Leistung:	30kW
Max. Drehmoment:	90Nm
Getriebe:	1-stufig übersetzt 1:10,15
Batterie:	ZEBRA Z36-371-ML3X-76
Elektroden:	Salz und Nickel
Nennspannung:	371V
Energie:	28,2kWh
Kapazität:	76Ah
Höchstgeschwindigkeit:	100km/h
Beschleunigung 0-50km/h:	6,5s
Beschleunigung 0-80km/h:	16,0s
Reichweite:	170km

TECHNICAL DATA Panda Elettrica

Available seats	Berlina: 4 seats
Traction	Front-wheel drive
Dimensions	3538 / 1578 / 1540 mm
Slope overcome	25 %
Acceleration 0-50 Km	7 s
Acceleration 0-100 Km	28 s
Max. Speed (with electronic limitation)	110 km/h
Extraurban range	cr. 130 km
Motorway range	cr. 120 km
Consumption	16.4 kWh / 100 km
Weight	999 kg
Weight front axle	498 kg
Weight rear axle	501 kg
Useful weight	306 kg
Weight with driver on board	1305 kg
Motor type	200/125 W Three Phase Asynchronous
Nominal power	15 kW
Max. power	30 kW
Nominal Torque	50 Nm
Max. Torque	124 Nm
Battery	ZEBRA Z57-253-ML3X-76
Nominal Voltage	253 V
Nominal Energy	19.2 kWh
Electric network Consumption	3 kW, 230 V - 50 Hz
Charge time	8 hours



Components for Electric Vehicles

Via Laveggio, 15 CH - 6855 Stabio - Switzerland

TEL: +41 (0)91 6415311 FAX: +41(0)91 6415333

E-mail: info@mes-dea.ch

internet: http://www.mes-dea.ch

Rev 04 del 13/02/08



300 Elettrica

Caratteristiche Tecniche:

Velocità Max.	110 km/h (limitata elettronicamente)
Autonomia	Extraurbano c.a 130 km Autostrada c.a 120 km
Consumo	2.- chf di elettricità x 100 km
Tempo di ricarica	8 ore
Accelerazione	0-50 km/h 7 sec. 0-100 km/h 28 sec.
Abitabilità	City-Berlina 4 posti

Dotazioni di serie

Servo sterzo elettrico
ABS
Sensori di parcheggio
Alzacristalli elettrici
No.4 Airbag
Chiusura centralizzata con telecomando
Specchietti retrovisori esterni elettrici
Radio CD

PREZZI IVA Inclusa

Prezzo Berlina con acquisto batteria	chf 57'330.-	Prezzo Berlina con affitto batteria	chf 48'070.-
Sconto MES-DEA	chf 2'500.-	Sconto MES-DEA	chf 2'500.-
Prezzo di vendita	chf 54'830.-	Prezzo di vendita	chf 45'570.-

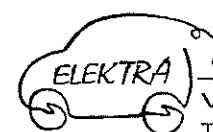
Condizioni d'affitto batteria

RATA	240.- chf/mese
------	----------------

GARANZIA

Componentistica MES-DEA	2 anni
----------------------------	--------

Batteria ZEBRA Tipo Z57
se comprata, 3 anni/300 cicli
altrimenti compresa nell'affitto



Le descrizioni e i dati riportati nella presente pubblicazione sono indicativi e possono essere soggetti a modifiche senza preavviso.
*con una persona a bordo

Components for Electric Vehicles

Via Laveggio, 15 CH - 6855 Stabio - Switzerland

TEL: +41 (0)91 6415311 FAX: +41(0)91 6415333

E-mail: info@mes-dea.ch

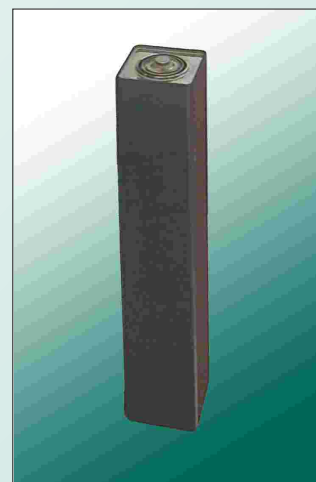
internet: http://www.mes-dea.ch

Rev 07 del 26.04.07

Zebra Batteries are designed for electric and hybrid vehicles.
They use salt and nickel for electrode materials with a ceramic electrolyte.

Technical data ZEBRA® Battery **Type** **Z36**

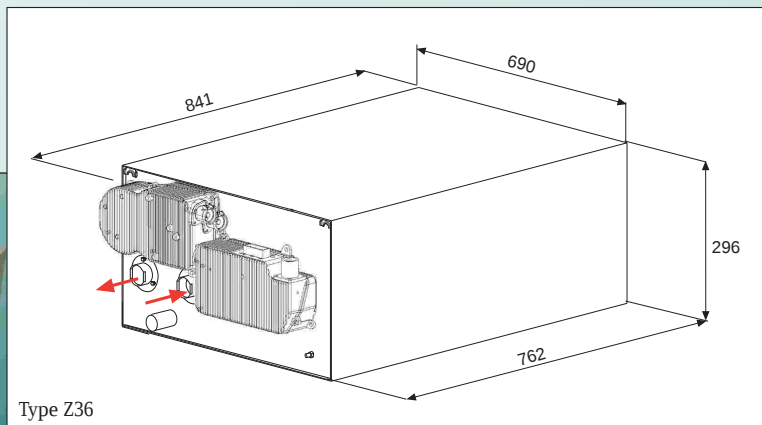
		Z36-371-ML3X-64	Z36-371-ML3X-76
	<i>Id. No.</i>	30x00180	30x00150
	<i>unit</i>		
Capacity	Ah	64	76
Rated Energy	kWh	23.8	28.2
Open circuit voltage			
0 - 15% DOD	V	371	371
Max. regen. voltage	V	417	446
Min. op. voltage	V	248	248
Max. discharge current	A	224	224
Cell Type / N° of cells		ML3X /288	ML3X /288
Weight with BMI	kg	243	243
Specific energy without BMI	Wh/kg	99	118
Energy density without BMI	Wh/l	153	181
Energy 2 h discharge	kWh	21	24
Specific power	W/kg		168
Power density	W/l		258
Peak power	kW	40	40
,2/3 OCV, 30s,335°C		80% DOD	70% DOD
Ambient temperature	°C	-40 to +50	
Thermal loss	W	< 130	
at 270°C internal temperature			
Cooling		air	
Heating time	h	24 h at 230 VAC	
Periphery		BMI, Fan	
		HEV Application	EV Application
On board generator			
MAX voltage, up to 70%SOC	V/Cell	2.7	n.a.



ZEBRA® Cell

System design recommendation:

- MES-DEA Charger
- Min. discharging time: 120 min.
- Max. degree of discharge: 80%



Type Z36

The information contained herewith is subject to change without notice



Components for Electric Vehicles

Via Laveggio, 15 CH - 6855 Stabio - Switzerland

TEL: +41 (0)91 6415311 FAX: +41(0)91 6415333

E-mail: info@mes-dea.ch

Rev 10 del 25/03/08
Zebra Z36

internet: http:// www.mes-dea.ch

