

Begleitforschung der TU Wien in „ElectroDrive Salzburg“

Endbericht

07. Jänner 2013

Dipl.-Ing. Andreas SCHUSTER

Projektassistent

+43 1 58801 370 134

andreas.schuster@tuwien.ac.at

Dipl.-Ing. Markus LITZLBAUER

Projektassistent

+43 1 58801 370 132

markus.litzlbauer@tuwien.ac.at

Kurzfassung

Die Begleitforschung der TU Wien in der zweiten Elektromobilitätsmodellregion „ElectroDrive Salzburg“ dient dazu, Erkenntnisse über die eingesetzten Elektrofahrzeuge der neuesten Generation im Lade-, Verkehrs- und Netzverhalten zu sammeln. Hierbei wurde auf den Erfahrungen aus der ersten Modellregion „VLOTTE“ nahtlos aufgesetzt. Die verwendeten Elektroautotypen basieren bei vorliegender Begleitforschung fast ausschließlich auf Li-Ionen-Batteriesystemen. Von diesen sind Kenndaten aus diversen Herstellerangaben und Forschungsberichten bekannt. Diese gilt es für den Realfall zu bestätigen und in der praktischen Anwendung der Fahrzeuge zu evaluieren. Die daraus abgeleiteten Erkenntnisse können helfen, weitere Verbesserungen verwendeter Komponenten zu erzielen bzw. allgemein den Umgang mit Elektroautos effizienter zu gestalten.

Dieses Lade-, Verkehrs- und Netzmonitoring wurde einerseits durch Einzelmessungen – zur konkreten Kennwertbestimmung – und andererseits durch mehrwöchige Messreihen von insgesamt 20 Elektrofahrzeugen bewerkstelligt. Aufbauend auf das Messkonzept aus der ersten E-Mobilitätsmodellregion wurde dieses erweitert und angepasst. Die Messdaten erlauben Rückschlüsse auf die Ladeprozesse und Fahrverbräuche in kWh/100 km der unterschiedlichen Elektroautotypen („TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie und ZEBRA-Batterie sowie „Mitsubishi i-MiEV“ und „eSmart“ jeweils mit Li-Ionen-Batterie). Ebenfalls wurden die jahreszeitabhängigen spezifischen Energiebedürfnisse im Fahrbetrieb des „Mitsubishi i-MiEVs“ unter realen Bedingungen analysiert. Aus den Ladeverhalten der mehrwöchigen Messreihen konnten Summenladeprofile ähnlich dem H0-Profil des VDEs sowie Verteilungen der Ladebeginnzeitpunkte und Ladeenergieaufnahmen gewonnen werden.

Durch den Einsatz von GPS-Datenspeichern konnten wichtige Aussagen zu Steh- und Ansteckverhalten sowie Standort- und Fahrtlängenverteilungen getroffen werden. Diese Erkenntnisse sind maßgebend um die zukünftige Verteilung von Ladeinfrastruktur kostengünstig und vernünftig planen zu können. Bei dieser zweiten Begleitforschung konnte die GPS-Erhebung der ersten E-Mobilitätsmodellregion weiterentwickelt sowie eine umfangreiche GPS-Datenaufbereitung durchgeführt werden.

Aus netztechnischer Sicht ist, bei verstärktem Einsatz von Elektromobilität, die „Power Quality“ von entscheidender Bedeutung. Aus diesem Grund wurden die Ladevorgänge der verschiedenen Elektroautotypen mit Spezialmessgeräten aufgezeichnet. Diese erlauben umfangreiche netztechnisch relevante Kenngrößen unter realen Bedingungen zu ermitteln. Die Ergebnisse zeigen das Verhalten der Leistungsfaktoren, Oberschwingungen (THDI, Stromoberschwingungen, Strombewertungen, THDU und Spannungsoberschwingungen), Zwischenharmonische (Strom-Zwischenharmonische, IH DU und Spannungs-Zwischen-harmonische) sowie Flicker.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	iii
1 Einleitung.....	1
2 Messkonzept	2
2.1 Einzelmessungen	3
2.1.1 Erste Einzelmessung	3
2.1.2 Wiederholende Einzelmessungen	4
2.2 Messreihenmessungen.....	4
2.2.1 Überblick aller Messungen	5
3 Ergebnisse – Ladeverhalten.....	6
3.1 Einzelladeprofile	6
3.2 Summenladeprofile	8
3.3 Ladebeginnverteilungen.....	10
3.4 Ladeenergieaufnahmen	11
3.5 Fahrverbräuche	12
4 Ergebnisse – Verkehrsverhalten.....	14
4.1 Standortverteilungen	14
4.2 Steh- und Ansteckverhalten	15
4.3 Fahrtlängenverteilungen	17
5 Ergebnisse – Power Quality.....	19
5.1 Leistungsfaktoren	19
5.2 Oberschwingungen.....	21
5.2.1 THDI	21
5.2.2 Stromoberschwingungen	23
5.2.3 Strombewertungen	24
5.2.4 THDU.....	26
5.2.5 Spannungsoberschwingungen.....	27
5.3 Zwischenharmonische	28
5.3.1 Strom-Zwischenharmonische	28
5.3.2 IHDU	30
5.3.3 Spannung-Zwischenharmonische.....	30
5.4 Flicker	31
6 Zusammenfassung.....	33
7 Abkürzungsverzeichnis	36
8 Anhang.....	37

1 Einleitung

Die zweite Elektromobilitätsmodellregion „ElectroDrive Salzburg“ bietet im Rahmen ihres Geschäftsmodells „Mobilität im Abo“ an. Die Fahrzeuge können entweder geleast oder gemietet werden. Mit der mitgelieferten RFID-„Ladekarte“ im Scheckkartenformat kann Ökostrom an den „ElectroDrive Ladestationen“ bezogen werden. Der baldige Erfolg der Elektromobilität wird einerseits durch die FahrerInnen bzw. KäuferInnen bestimmt und andererseits wird dieser Einfluss auf die technische Realisierung der Elektroautos, Ladestellen und Energiebereitstellungen wirken. Deshalb, und um zukünftige Systeme zu optimieren, ist es schon in einer 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 im Rahmen der Begleitforschung der E-Mobilitätsmodellregion „ElectroDrive Salzburg“ sind wie folgt definiert:

- Beschränkte Analysen des Verkehrsverhaltens und der Fahrprofile von Elektrofahrzeugen in der Stadt und Umgebung Salzburg:
 - Grobe Verkehrsdatenanalyse bzgl. Standzeiten, Standortverteilung mittels GPS-Loggern
 - Analysen betreffend Ladeinfrastrukturbedarf
 - Herausarbeiten von regionalen Unterschieden in Vorarlberg („VLOTTE“) und Salzburg¹
- Messung des Ladeverhalten von E-Autos des neuesten Stands der Technik:
 - Verbesserung und Erweiterung des Messkonzepts des Projekts „VLOTTE“
 - Inhaltliche Begleitung der Messreihen (Fahrzeug / Ladestellen)
 - Energie- und Leistungsbedarf unterschiedlicher Fahrzeuge („i-MiEV“, „eSmart“, ...) mit Li-Ionen-Batterietechnologie und Ladeinfrastrukturbedürfnisse (Ladeleistungen, Ladestellenverteilung und -dichte) ermitteln
 - Bestimmung des zusätzlichen Leistungsbedarfs durch Elektromobilität bei zeitlich ungesteuertem Laden bei mehreren Durchdringungsszenarien, vereinfachte Aussagen zu Netzauslastungsgrad und Ausbauerfordernisse bei ungesteuertem Laden (dazu siehe Projektergebnisse „V2G-Strategies²“)
- Ermittlung der Ladegeräteauswirkungen in Hinsicht auf Power Quality auf das lokale Stromnetz:
 - Messung und Analyse von Oberschwingungen und Blindleistung bei Standard-Ladesystemen unterschiedlicher Fahrzeuge
 - Abschätzung von Summeneffekten aus Verbraucherkollektiven

¹ Umfangreiche Gegenüberstellungen siehe: A. Schuster: „Ladeinfrastruktur und Verteilnetzbelastungen durch Elektromobilität“, Dissertation, TU Wien, voraussichtliche Fertigstellung Mai 2013.

² „Development of vehicle to grid related e-mobility deployment strategies for Austrian decision makers“: FFG-Projekt „Neue Energien 2020 – 3. Ausschreibung“, Projektleiter: Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe – TU Wien, FFG-Projektnummer: 825417, Laufzeit: 05/2010 – 10/2012.

2 Messkonzept

In der Modellregion „ElectroDrive Salzburg“ sind neben Elektroautos auch sehr viele einspurige Elektrofahrzeuge (E-FZ) elektrisch unterwegs (Großteils Elektrofahrräder und zu einem geringeren Anteil auch E-Scooter). Diese sind vor allem aufgrund niedriger Ladeleistungen netztechnisch und bedingt durch geringe Kilometerleistungen auch verkehrstechnisch nicht relevant. Daher wurde zu Beginn der Begleitforschung festgelegt, dass in den Betrachtungen ausschließlich Elektroautos berücksichtigt werden. Der folgend verwendete Begriff Elektrofahrzeug bzw. E-FZ bezieht sich daher allein auf Elektroautos.

Bei der Erstellung des Messkonzepts konnte auf die Erfahrungen aus der ersten Begleitforschung³ zurückgegriffen werden. Diese zeigen, dass das E-FZ die wichtigste Komponente in den Messanalysen darstellt und die Profile der einzelnen Ladestationen eher sekundär sind. Aus diesem Grund wurde bei der „ElectroDrive Salzburg“ der Fokus auf das E-FZ gerichtet. Abbildung 1 zeigt den Messaufbau schematisch. In den unterschiedlichen Messungen wurden Leistungs- (P) und GPS-Logger sowie Power Quality-Messgeräte (PQ) verwendet. Die P- und PQ-Messung erfolgte direkt an der Netzsteckdose. Der P-Logger erfasst Wirk-, Blind- und Scheinleistung sowie Energie, Strom und Spannung. Somit wird der Gesamtenergiebedarf (inkl. Verluste der Kontrolleinheit im Ladekabel) der einzelnen Elektroautos zeitlich protokolliert.



Abbildung 1: Messaufbau im und um das Elektrofahrzeug

Die meisten aller betrachteten E-FZ sind mit Li-Ionen-Batterien ausgestattet. Diese besitzen im Gegensatz zu ZEBRA-Batterien (Hochtemperaturbatterie) keine derartigen Heizverluste zum temperieren der Zellen. Daher sind die verlustbehafteten Komponenten auf die Leistungselektronik und das Batteriemanagementsystem (BMS) reduziert. Die durchaus wertvollen Daten des im Fahrzeug integrierten BMS durften trotz mehrfachen Telefonaten mit den zuständigen Personen beim Importeur bei keinem E-Autotyp ausgelesen werden.

Desweiteren wurden die beobachteten FZ mit GPS-Loggern ausgestattet, welche geschwindigkeitsabhängig Längen- und Breitengrade sowie Seehöhe in bis zu Ein-Sekunden-Intervallen erfassen. Beim Stillstand der Elektroautos werden keine Daten geloggt, um den begrenzten Speicherplatz nicht zu überschreiten. Die obig beschriebenen Messgeräte wurden in abwechselnden Kombinationen sowie unterschiedlichen Zeitintervallen im und am FZ installiert. Die Konfigurationen können in wiederholte Einzelmessungen und in Messreihen unterteilt werden. Diese werden folgend noch genauer beschrieben. Alle Messungen wurden in Salzburg durch die „ElectroDrive Salzburg“ bzw. „Salzburg Netz GmbH“ durchgeführt.

³ Für mehr Informationen siehe „Begleitforschung der TU Wien in VLOTTE – Endbericht“, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, 19. April 2010.

2.1.2 Wiederholende Einzelmessungen

Mit einem der vier Fahrzeuge („i-MiEV“) sind wiederholende Fahrten auf der gleichen Teststrecke durchzuführen. Der Testablauf ist ansonsten gleich, jedoch sind die Messungen mit in Tabelle 2 dargestellter Vorschrift zu erledigen. Beim Messablauf kann ein „einfacher“ Leistungslogger (CLM1000 Professional Plus), welcher auch bei den Messreihenmessungen eingesetzt wird, verwendet werden. Das Messintervall bleibt jedoch bei 30 s.

Tabelle 2: Messvorschrift aller Einzelmessungen

Außentemperatur Nebenverbraucher	Heiß (>30°C) Juli, August	Kalt (<0°C) Dezember, Jänner
Ohne Heizung, Klima und Radio	Testfall1⁴	Testfall3
Mit Heizung bzw. Klima und Radio	Testfall2	Testfall4

2.2 Messreihenmessungen

Die Messreihen dienen dazu das Verhalten der E-FZ im praktischen Gebrauch zu analysieren. Maximal 10 Tester werden gleichzeitig mit Leistungs- (CLM1000 Professional Plus) und GPS-Logger (i-Blue 747A+) ausgestattet. Die Installation der Logger ist mit dem Augenmerk auf Benutzerfreundlichkeit und vor allem Manipulationssicherheit durchgeführt. Die Messperiode bei den Tester ist mind. 4 Wochen. Danach müssen die Geräte wieder ausgebaut und die Daten ausgelesen werden. Die Messauflösung der Leistungsloggung ist ebenfalls 30 s. Eine detaillierte Liste der zwei verwendeten Messgeräte ist dem Anhang zu entnehmen.

Zusätzlich wurde eine Infobroschüre mit inkludierten Fragebogen an alle beteiligten Tester (Betreiber der E-Autos) ausgeteilt. Die Informationen sollen allen Tester erklären wozu die Messungen durchgeführt werden und ihnen die Möglichkeit geben ebenfalls ihre Messergebnisse zu erfahren. Der inkludierte Fragebogen sollte mit den Mitarbeitern der „ElectroDrive Salzburg“ ausgefüllt werden. Die Fragen dienen dazu die GPS-Daten besser auswerten zu können, um auch Wegzwecke und dergleichen zu kennen. Leider hat dies nur sehr spärlich funktioniert. Die erstellte Infobroschüre befindet sich ebenfalls im Anhang.

Für die gesamten Messreihenmessungen wurde die oben beschriebene Vorgehensweise mit unterschiedlicher Anzahl an Testern dreimal wiederholt. Insgesamt wurden somit 20 E-FZ genauer betrachtet. 17 dieser E-FZ waren „TH!NK city Li-Ionen-Batterie“ und drei „Mitsubishi i-MiEV“. 18 Tester sind als Firmen- und zwei als Privatkunden angemeldet gewesen. Die folgenden Analysen spiegeln somit hauptsächlich das gewerblich genutzte „TH!NK city“-Auto mit Li-Ionen-Batterie wider.

⁴ Wenn bei der ersten Einzelmessung schon ein heißer Tag (>30°C) ist, dann ist der Testfall1 damit abgehandelt.

2.2.1 Überblick aller Messungen

Zusammenfassend wurden vier Einzelmessungen (jeweils zwei im Sommer und Winter) und drei Messreihen mit insgesamt 20 beobachteten Testern durchgeführt. Alle Messungen wurden im Zeitraum von Juli 2011 bis September 2012 absolviert. Teilweise wurden vier verschiedene E-FZ-Typen betrachtet. Die mit den Messdaten durchgeführten Analysen können in drei Kategorien unterteilt werden:

- Ladeverhalten
- Verkehrsverhalten
- Power Quality

Die Ergebnisse sind in den folgenden Kapitel näher beschrieben. Tabelle 3 zeigt die Übersicht aller durchgeführten Messungen und der daraus erhaltenen Analyseergebnisse. Aufgrund des Informationsgehalts der aufgenommenen Daten sind in manchen Kategorien einzelne Analysen nicht durchführbar. Leider sind vereinzelt Daten lückenhaft, weshalb diese in den entsprechenden Analysen herausgenommen wurden.

Tabelle 3: Übersicht aller durchgeführten Messungen und der daraus erhaltenen Analyseergebnisse

	■ Daten vollständig ■ Daten teilweise lückenhaft ⊠ Analysen nicht durchführbar	Lade- und Verbrauchsverhalten	Verkehrsverhalten	Power Quality
det. Einzelmessung / Sommer I Alle FZ	■		X	■
Einzelmessung / Winter II + III i-MiEV	■		X	X
Einzelmessung / Sommer IV i-MiEV	■		X	X
Messreihe I (Tester01-10) TH!NK city Li-Ion	■	■		X
Messreihe II (Tester11-14) TH!NK city Li-Ion	■	■		X
Messreihe III (Tester15-20) TH!NK city Li-Ion und i-MiEV	■	■		X

3 Ergebnisse – Ladeverhalten

Die Fülle der gesammelten Daten ermöglicht eine Vielzahl unterschiedlicher Auswertungen und Ergebnisse. Im Rahmen dieser Begleitforschung liegt der Fokus auf das Lade- und Verkehrsverhalten sowie die „Power Quality“. In diesem Kapitel wird das Ladeverhalten genauer analysiert. Dazu zählen Einzel- und Summenladeprofile, Verteilung der Ladebeginnzeitpunkte, Ladeenergieaufnahmen und Fahrverbräuche.

3.1 Einzelladeprofile

Die Einzelladeprofile stellen den Wirkleistungsverlauf der Vollladung des jeweiligen Fahrzeugs dar. Dieser Verlauf wurde direkt an der Netzsteckdose aufgenommen und inkludiert daher alle im E-Auto entstehenden Verluste. In diesem Kapitel werden rein die Wirkleistungen betrachtet. Im Kapitel 5 (ab Seite 19) werden die anderen Leistungen sowie auch U- und I-Profile genauer analysiert.

Um die Auswirkungen von Elektromobilität auf das elektrische Netz bestimmen zu können, ist es von großer Wichtigkeit, dass die möglichen Ladeprofile der E-Fahrzeugtypen hinreichend bekannt sind. Die wohl wichtigsten Kenngrößen hierbei sind die maximal auftretende Ladeleistung und die Ladedauer. In diversen Simulationsmodellen ist jedoch auch die Gestalt der Ladeverläufe von Bedeutung. Im Rahmen der Begleitforschung wurden vier Fahrzeuge gemäß Tabelle 1 in Einzelmessungen sowie zusätzlich noch weitere FZ in den Messreihen betrachtet. Folgend die Abbildungen der Wirkleistungsverläufe der verschiedenen E-Autotypen sowie teilweise mit unterschiedlichen Ladeeinstellungen. Die Ladevorgänge wurden (bis auf die in Abbildung 4) zeitgleich nach der ersten Einzelmessung durchgeführt. Die jeweiligen Fahrzeuge hatten somit zuvor die gleiche Strecke zurückgelegt.

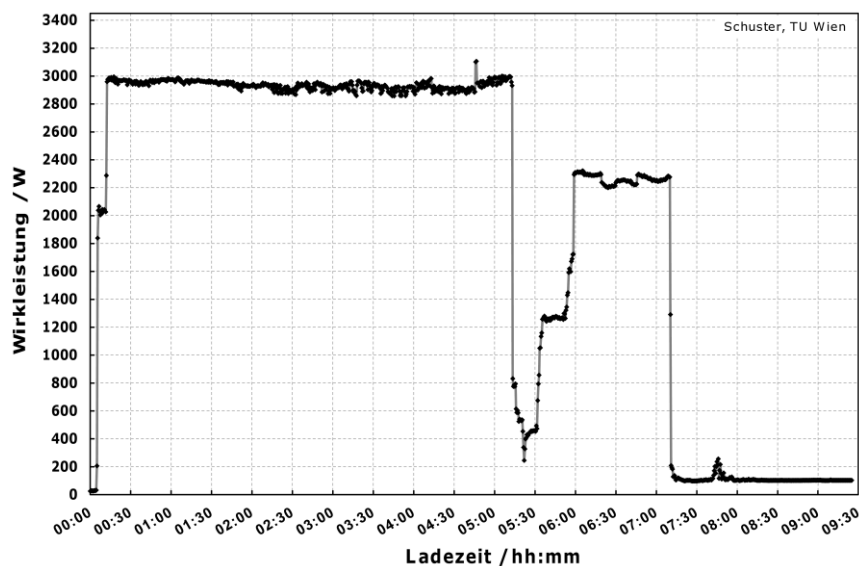


Abbildung 3: Wirkleistungsverlauf einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie und 3 kW Spitzenleistung

Abbildung 3 und Abbildung 4 verdeutlichen die Differenzen der verschiedenen Einstellungen auf der Ladekontrolleinheit, der sogenannten „In-Cable-Box“, des „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie. In dieser kann der maximale Ladestrom auf entweder 10 oder 16 A begrenzt werden. Dies bedingt natürlich eine unterschiedliche Ladedauer von knapp 7 oder 9,5 Stunden. Entsprechend ändert sich ebenfalls der Leistungsverlauf.

In Abbildung 5 ist der bereits in der ersten Modellregion „VLOTTE“ aufgezeichnete Ladeverlauf eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie vergleichend dargestellt. Dieser Verlauf unterscheidet sich prinzipiell nicht sehr stark von denen der Li-Ionen-Batterieautos. **In den weiteren Analysen ist es daher nicht notwendig diesbezüglich Unterscheidungen zwischen den Batterietypen anzustellen.**

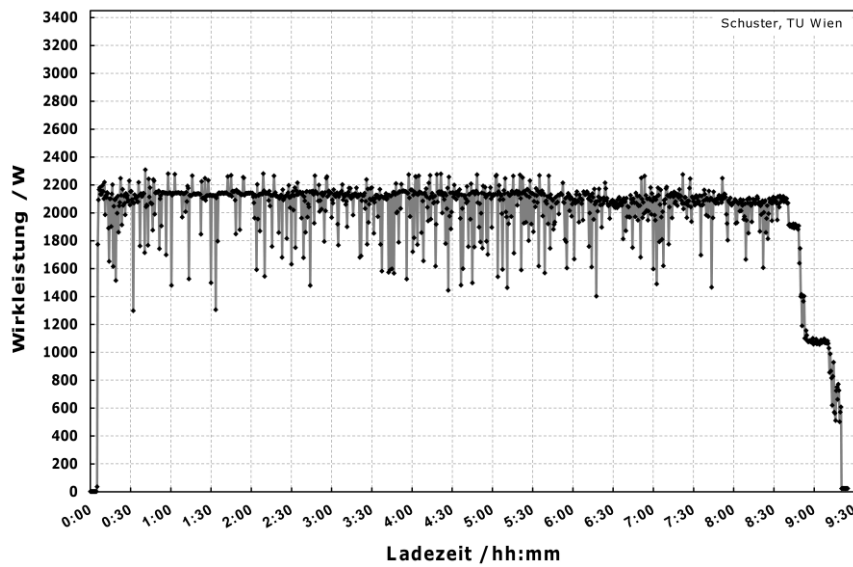


Abbildung 4: Wirkleistungsverlauf einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie und 2,2 kW Spitzenleistung

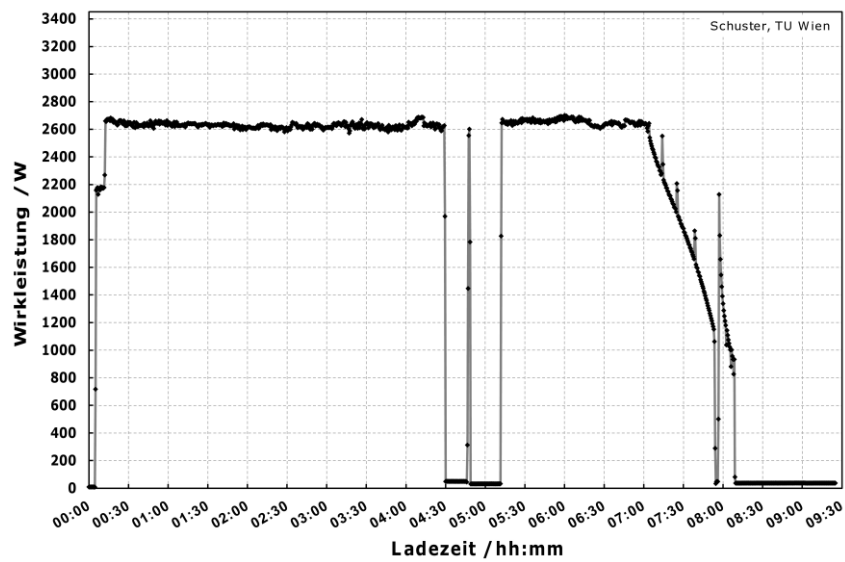


Abbildung 5: Wirkleistungsverlauf einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

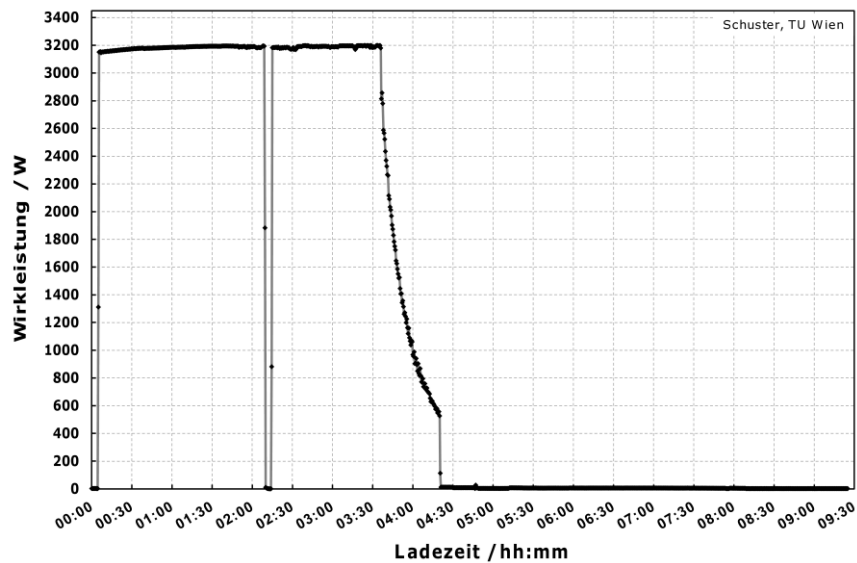


Abbildung 6: Wirkleistungsverlauf einer Vollladung eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

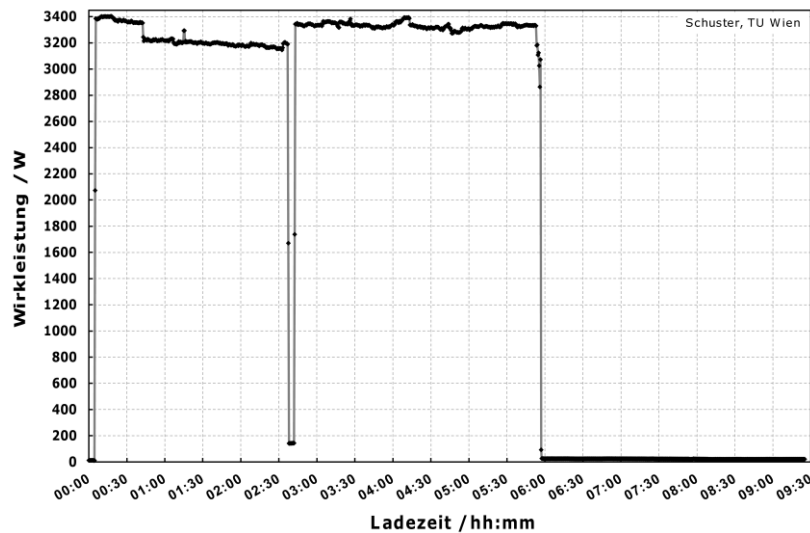


Abbildung 7: Wirkleistungsverlauf einer Vollladung eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie

Der Ladeverlauf des „Mitsubishi i-MiEVs“ ist, wie in Abbildung 6 dargestellt, wiederum sehr typisch für das Li-Ionen-Batterieladeverfahren IUa⁵, welches auch bei Handy- und Laptop-Akkumulatoren beobachtet wurde. Aufgrund des geringen Fahrbedarfs (genaue Aufstellung ist in Abschnitt 3.5 zu finden) und der zweithöchsten Ladeleistung ist der „i-MiEV“ mit rund 4,5 Stunden am schnellsten wieder voll aufgeladen. Die Abbildung 7 zeigt den „eSmart“ bei einem Ladevorgang. Dieser erreicht den höchsten Ladestrom und beendet den Ladevorgang ziemlich abrupt, fast ohne Abklingverhalten. Es ist anzunehmen, dass bei diesem FZ-Typ die Batterie aus Gründen der Schonung (längere Lebensdauer) weniger vollgeladen wird.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Ladeprofile der einzelnen Fahrzeugtypen sehr unterschiedlich sind. Maximale Ladeleistung, Verlauf und Ladedauer variieren. In den weiteren Netzanalysen muss daher ein gewisser Unsicherheitsfaktor berücksichtigt werden.

3.2 Summenladeprofile

Verglichen mit den in der Energiewirtschaft und Einsatzplanung oft verwendeten VDE-Lastprofilen ist das folgende Summenladeprofil zu verstehen. Hierbei wurden die Ladeleistungsverläufe aller betrachteten Wochentage bzw. von Montag bis Freitag und Samstag bis Sonntag getrennt aufsummiert und auf die Gesamtsumme der jeweiligen Tage bezogen. Der mittlere bzw. durchschnittliche Summenladeleistungsverlauf gibt somit die Ladeleistung je Fahrzeug und Tag an. Diese Verläufe haben erst ihre Gültigkeit ab einer bestimmten Anzahl an E-Autos, da erst dann die Gleichzeitigkeit der Ladevorgänge abnimmt.⁶

Abbildung 8 stellt nun den durchschnittlichen Summenladeleistungsverlauf aller Messreihen aufgespaltet in alle Wochentage, Montag bis Freitag und Samstag bis Sonntag dar. **Die Spitzenleistung wird für den Verlauf „Alle Tage“ um rund 16:30 Uhr mit etwa 290 W/FZ erreicht. Im Zeitraum von 14 bis 23 Uhr pendelt die normierte Ladeleistung um einen Wert von ca. 250 W/FZ. Die Minimalwerte mit rund 70 W/FZ stellen sich in der Zeit von 5 bis 10 Uhr ein.** Der Verlauf zeigt somit ähnliches Verhalten wie in der Modellregion „VLOTTE“ beobachtet sowie in den diversen Forschungsprojekten ermittelt. Etwas unterschiedlich sind der doch noch relativ hohe Leistungsverlauf knapp vor Mitternacht und der verhältnismäßig geringe Leistungsspitzenwert. Der Verlauf der Wochenenden ist erwartungsgemäß niedriger als an den Werktagen.

⁵ Für mehr Informationen siehe: A. Schuster: „Batterie- bzw. Wasserstoffspeicher bei elektrischen Fahrzeugen“, Diplomarbeit TU Wien, September 2008.

⁶ Für mehr Informationen siehe: C. Leitinger: „Netzintegration von solarer elektrischer Mobilität – Auswirkungen auf das elektrische Energiesystem“, Dissertation, TU Wien, September 2011.

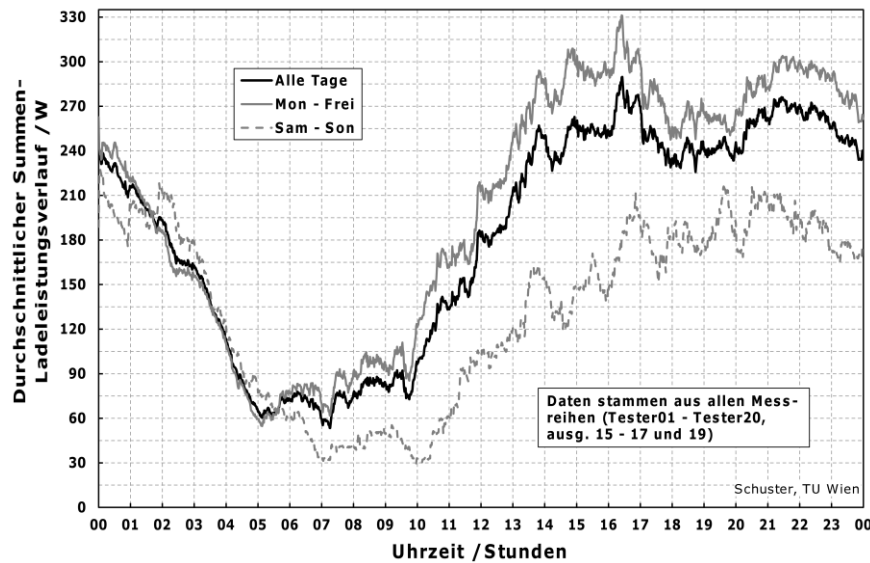


Abbildung 8: Durchschnittlicher Summenladeleistungsverlauf aller Messreihen aufgespalten in alle Tage, Montag bis Freitag und Samstag bis Sonntag

Im „Anhang: Diagramme“ ist in Abbildung A der durchschnittliche Summenladeleistungsverlauf aller Messreihen mit unterschiedlicher Reihenfolge der Mittelung sowie die Plug-Wahrscheinlichkeit, welche die mittlere Aufteilung der am elektrischen Netz angesteckten FZ angibt, dargestellt. Weiters ist in Abbildung B der minimale und maximale Summenladeleistungsverlauf aller Messreihen abgebildet.

Betrachtet man hingegen den durchschnittlichen Summenladeleistungsverlauf jedes Testers einzeln, so ergeben sich die in Abbildung 9 dargestellten Verläufe. Der Betrachtungszeitraum inkludiert hierbei die gesamten Messperioden, also auch jene Tage an denen mit den E-FZ gar nicht gefahren wurde⁷. **Die Leistungsspitzen liegen bei rund 800 kW/FZ. Weiters fällt auf, dass die Verläufe sehr unterschiedlich sind und somit jeder Tester andere Ladegewohnheiten vorweist.** Die meisten Ladevorgänge erfolgen nachmittags. Ein paar Tester führten in der gesamten Beobachtungszeit nur sehr wenige Ladezyklen durch. Dies führt zusammen mit der beschriebenen Gleichzeitigkeit zur starken Reduktion des Gesamtsummenverlauf aus Abbildung 8.

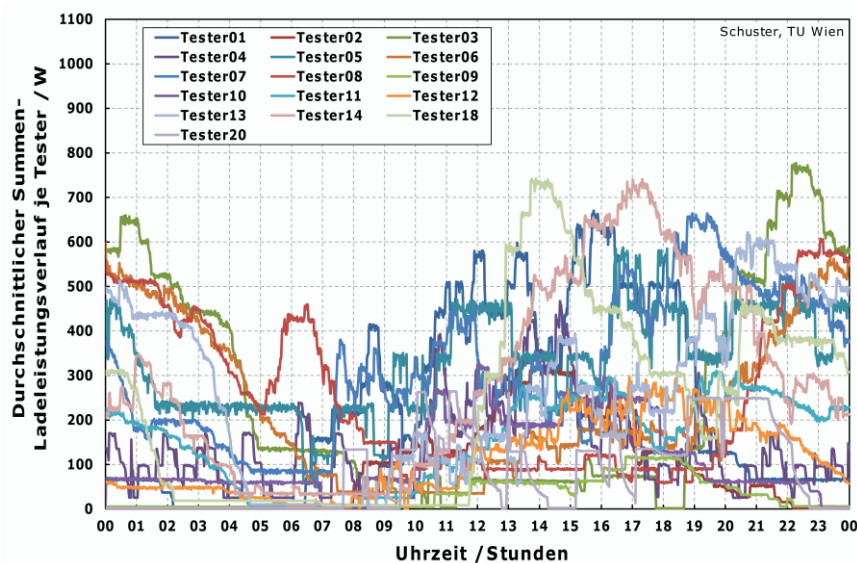


Abbildung 9: Durchschnittlicher Summenladeleistungsverlauf aller Tester

⁷ Im „Anhang: Diagramme“ in Abbildung C sind hingegen die Verläufe bezogen auf alle Fahrtage dargestellt.

3.3 Verteilung der Ladebeginnzeitpunkte

Aus den Summenladeprofilen ist ersichtlich, dass die Zeitpunkte der Ladestarts (Ladebeginn) durchwegs sehr unterschiedlich ausfallen. Daher wurden diesbezüglich weiterführende Analysen angestellt. Abbildung 10 zeigt die durchschnittlichen Anteile aller Ladestartzeitpunkte im Stundenraster. Im Gegensatz zum vielleicht vorherrschenden Eindruck gewonnen aus dem durchschnittlichen Summenladeleistungsverlauf, starten schon ab 6 Uhr einige Ladevorgänge auch vormittags – jedoch erst ab 11 Uhr mit einem höheren Anteil. Der wenig ausgeprägte Maximalwert tritt um 13 Uhr mit rund 8% auf. Aus diesem Grund kann aus dem Gesamtdurchschnitt keine eindeutigen Aussagen getroffen werden.

Betrachtet man die Anteile der Ladestartzeitpunkte jedoch je Tester einzeln, so erkennt man eine große Spreizung zwischen Minimal- und Maximalwert, siehe dazu Abbildung 11. Die Spitze des Maximalverlaufs tritt mit rund 68% wieder um 13 Uhr auf. Aber um Mitternacht gibt es einen Tester mit fast gleich hohem Anteil. **Zusammengefasst ist zu erkennen, dass die meisten Ladevorgänge um die Mittagszeit bzw. früher Nachmittag starten, wobei die Tester hierbei sehr unterschiedlich sind.** Im „Anhang: Diagramme“ stellt die Abbildung D die Ergebnisse aller Tester einzeln dar.

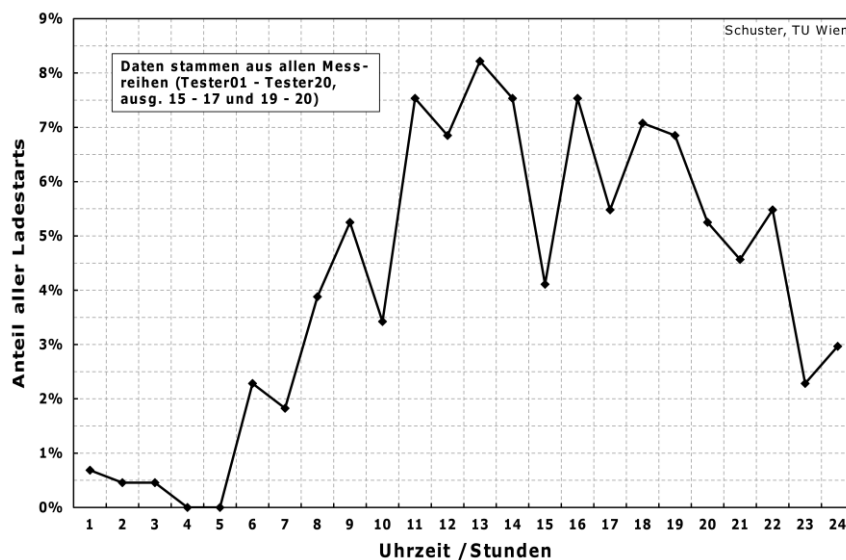


Abbildung 10: Durchschnittlicher Anteil aller Ladestartzeitpunkte im Stundenraster aller Messreihen

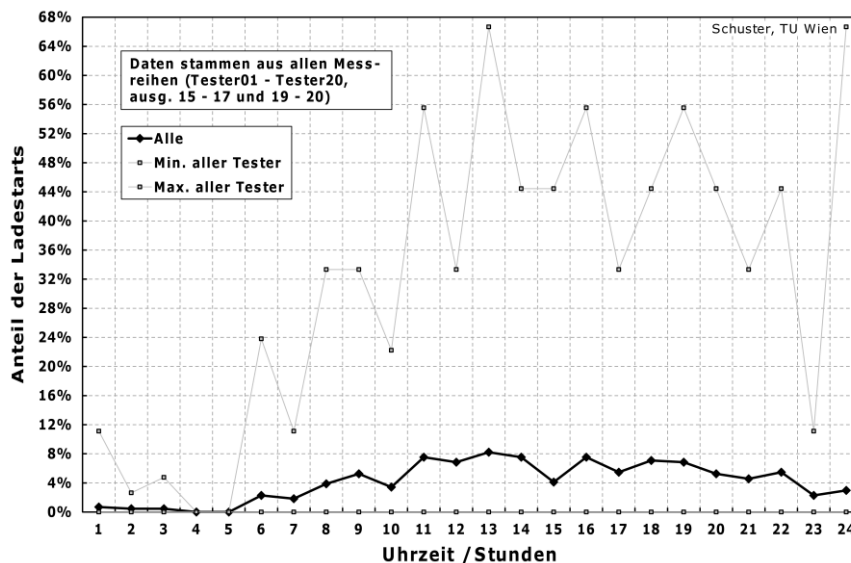


Abbildung 11: Minimaler, durchschnittlicher und maximaler Anteil aller Ladestartzeitpunkte im Stundenraster aller Messreihen

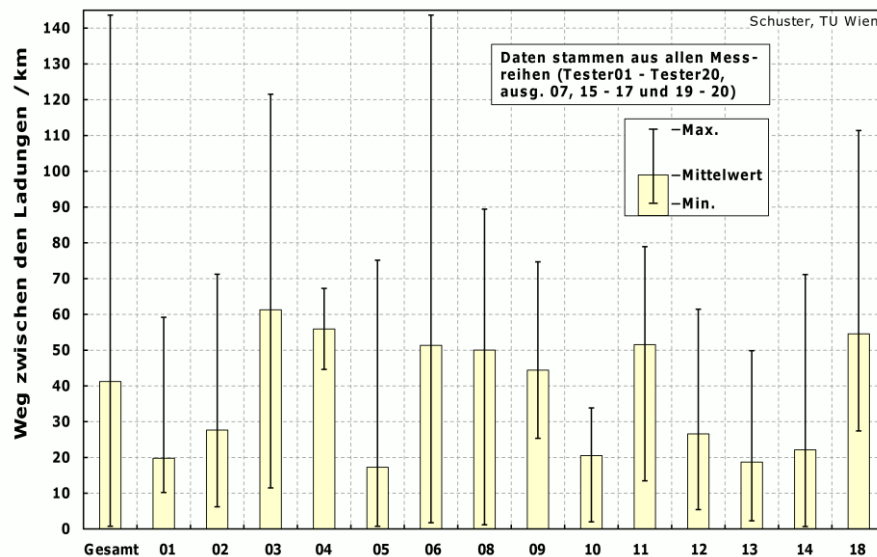


Abbildung 12: Minimaler, mittlerer und maximaler zurückgelegter Weg zwischen den Ladevorgängen aller Tester einzeln sowie Gesamt

Andere Betrachtungsweisen der Ladestarts stellen die Analysen der Zeit⁸ bzw. des Weges zwischen den Ladungen dar. Abbildung 12 zeigt die minimalen, mittleren und maximalen Wege zwischen den Ladevorgängen der jeweiligen Tester. Alle Werte variieren hierbei sehr stark. Der Spitzenwert befindet sich bei rund 140 km, welcher verglichen mit der maximalen Reichweite über dem zu erwartenden möglichen liegt. Eventuell wurde in diesem Fall ohne dem Messgerät nachgeladen, also ohne, dass diese Analysen die Ladeunterbrechung registrieren können. Bis auf zwei weitere Maximalwerte sind aber alle anderen teilweise sogar weit unter 100 km. **Die Mittelwerte der zurückgelegten Wege zwischen den Ladevorgängen sind moderater und liegen zwischen knapp 20 und 60 km.**

Betrachtet man die Zeit zwischen den erhobenen Fahrtstopps und dem anschließenden Ladestarts, so erkennt man, die Zeitdauer zwischen dem Abstellen des E-Fahrzeugs und dem anstecken ans elektrische Netz zum Laden. Zu erwarten wäre hierbei eine relativ kurze Dauer von maximal 10 Minuten, da dies am einfachsten gleich zu erledigen ist anstatt nochmals zum Elektroauto gehen zu müssen. Jedoch traten durchwegs Zeitspannen von über 4 Stunden auf. Die Mittelwerte dieser Zeitdauern sind hingegen meist unter 10 Minuten. Bis auf zwei Tester deren Mittelwert rund 1 bzw. 3 Stunden beträgt. Diese Analyseergebnisse sind jedoch durch die etwas ungenau Messmethode mit Vorsicht zu betrachten. Die Abbildung E im „Anhang: Diagramme“ zeigt jedoch, dass **zumindest einige Ladevorgänge erst viel später nach Beendigung der Fahrt gestartet wurden und lässt darauf schließen, dass bedarfsgerecht geladen wurde.**

3.4 Ladeenergieaufnahmen

Um die Analysen der Ladevorgänge weiter zu verfolgen, werden im folgenden Abschnitt die Ladeenergieaufnahmen genauer betrachtet. Diese Energien in Prozent der Batterienennenergien wurden in den jeweiligen Ladevorgängen wieder aufgeladen. Abbildung 13 zeigt die Häufigkeiten der Ladeenergieaufnahmen aller Vorgänge. **Mit 19% aller Ladungen wurden am häufigsten 10 bis 20% der Nennenergie nachgeladen. Annähernd linear fällt die Häufigkeitsverteilung aus.** 60 bis 70% der Batterienennenergie wurde noch immer in über 10% der Fälle aus dem elektrischen Netz bezogen. Über 2% der Ladevorgänge haben mit annähernd leerer Batterie gestartet.

⁸ Die Zeit zwischen den Ladestarts ist im „Anhang: Diagramme“ in Abbildung F dargestellt.

Betrachtet man hingegen nur die Vollladungen erhält man die entsprechenden Entladetiefen (Depth of Discharge DOD). Der wesentliche Unterschied zu den anderen Ladungen ist hierbei, dass die Batterien nach diesen Ladevorgängen wieder vollgeladen sind. Bis auf einen kleinen Einbruch in der Mitte ergibt sich eine Ähnlichkeit mit der Häufigkeitsverteilung nach Gauß, siehe dazu Abbildung 14. **Die mittleren Entladetiefen traten mit größter Häufigkeit auf.**

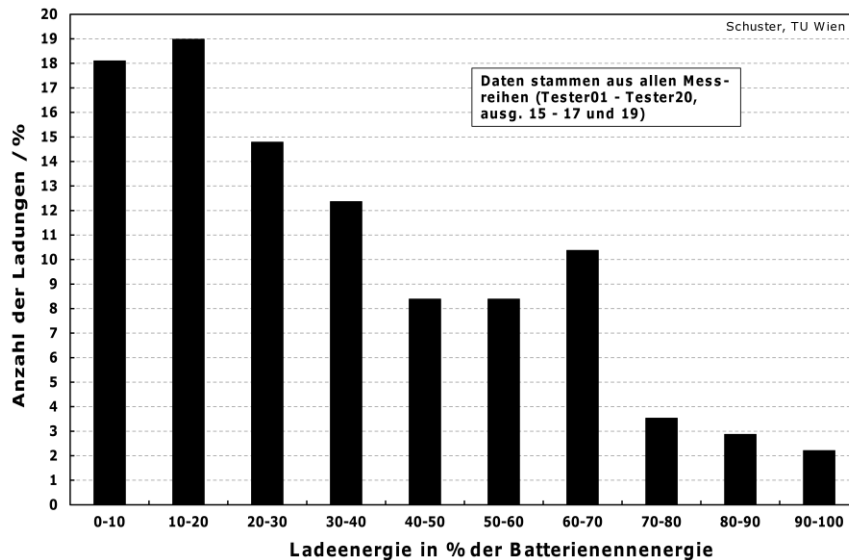


Abbildung 13: Häufigkeiten der Ladeenergieaufnahmen aller Ladevorgängen aller Messreihen

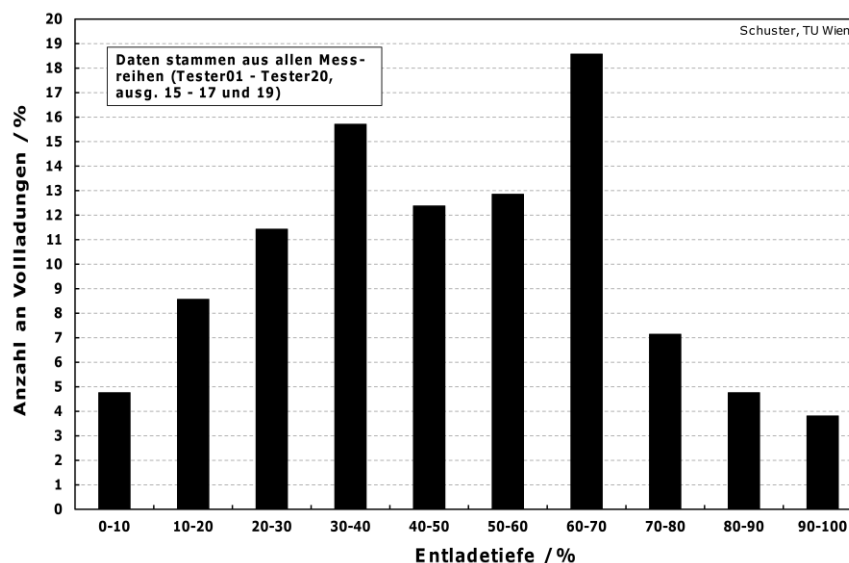


Abbildung 14: Häufigkeiten der Vollladungsenergien (Entladetiefen) aller Messreihen

3.5 Fahrverbräuche

Die Fahrverbräuche (spezifische Energiebedürfnisse beim Fahren) wurden bei den Einzelmessungen exakt sowie bei den Messreihen durch Vereinfachungen ermittelt. Bedingt durch diese Vereinfachungen sind ein paar Fahrverbräuche der Tester nicht valide⁹. Alle Verbräuche sind mit der konsumierten Ladeenergie direkt an der Netzsteckdose gerechnet. Beinhalten also alle im E-Auto entstehenden Verluste. Da der Ladevorgang unmittelbar nach dem Fahren gestartet wurde, sind die Heizverluste des ZEBRA-Batteriefahrzeugs vernachlässigbar. Abbildung 15 zeigt alle Gesamtverbräuche in kWh/100km. **Auffallend ist der im Vergleich sehr niedrige Bedarfswert vom „Mitsubishi i-MiEV“ von gut 14 kWh/100km. Weiters zeigt sich, dass bei der Sommereinzelmessung ohne Nebenverbraucher der**

⁹ Eine vollständige Auflistung aller Fahrverbräuche sind im „Anhang: Diagramme“ in Abbildung G zu finden.

„TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie den gleichen Verbrauch (etwa 22 kWh/100km) als wie mit ZEBRA-Batterie besitzt. Wie schon im Endbericht der Begleitforschung der Modellregion „VLOTTE“ angemerkt, benötigen ZEBRA-Batteriefahrzeuge im Stillstand noch zusätzlich Energie zum Aufheizen der Hochtemperaturzellen. Im reinen Fahrbetrieb fallen jedoch die gleichen Energiebedürfnisse an. Die Tester der Messreihen (alle „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterien) haben durchwegs etwas niedrigere und nur in Einzelfällen höhere Verbrauchswerte. Wie schon zuvor erwähnt, sind die Ergebnisse aus den Einzelmessungen auf Grund ihrer Validität jenen aus den Messreihen vorzuziehen.

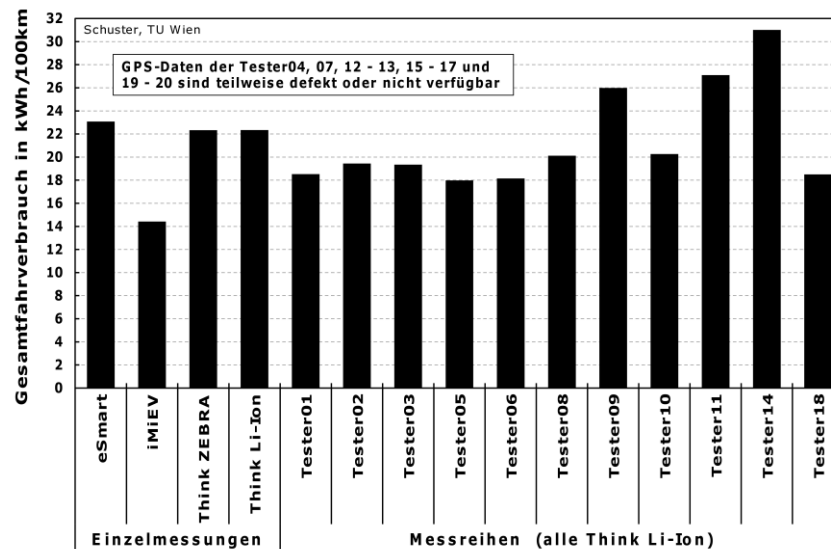


Abbildung 15: Gesamtfahrverbräuche (inkl. aller Verluste) aller Einzelmessungen und Messreihen

Mit dem „Mitsubishi i-MiEV“ wurden wiederholende Einzelmessungen durchgeführt, um die Bedarfsänderungen in Abhängigkeit der Jahreszeit (Außentemperatur) und Verwendung von Nebenverbraucher (Heizung, Klimaanlage, ...) zu analysieren. Im Sommer ohne Nebenverbraucher stellt sich hierbei das erwartete Optimum ein, wie in Abbildung 16 dargestellt. **Der Gesamtbedarf ist im Sommer mit Nebenverbraucher und im Winter ohne Nebenverbraucher mit je rund 19 kWh/100km (+30%) beinahe gleich hoch. Die Bedarfsspitze ergibt sich im Winter mit Nebenverbraucher zu etwa +70% bzw. über 24 kWh/100km.**

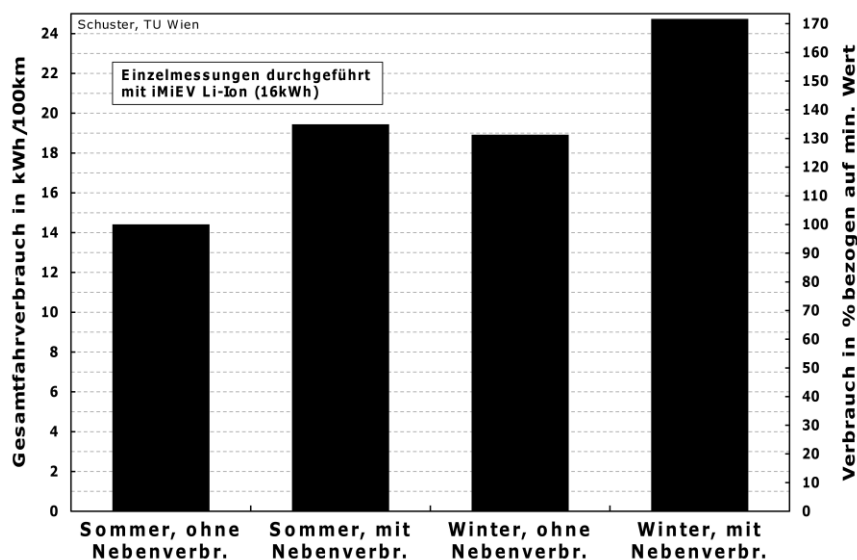


Abbildung 16: Gesamtfahrverbräuche (inkl. aller Verluste) der wiederholten Einzelmessungen

4 Ergebnisse – Verkehrsverhalten

Neben den Ladeeigenschaften ist das Verkehrsverhalten der E-Mobilitätsnutzer von entscheidender Bedeutung. Mit Hilfe der folgenden Ergebnisse und den bekannten Studien des motorisierten Individualverkehrs (MIV) können Vergleiche zum herkömmlichen Verkehr aufgestellt werden. Das Verkehrsverhalten wurde in dieser Studie in die folgenden Kategorien Standortverteilungen, Steh- und Ansteckverhalten sowie Fahrtlängenverteilungen unterteilt.

4.1 Standortverteilungen

In den durchgeführten Analysen wurden nur jene Standorte berücksichtigt, an denen die Stehdauer mehr als 15 Minuten beträgt. Die Standortverteilung gibt an mit welchem Anteil die Elektrofahrzeuge an den verschiedenen Ortscategorien parken bzw. gerade fahren. Diese Verteilung ist wiederum auf einen Tag gemittelt. Abbildung 17 zeigt die durchschnittliche Standortverteilung aufgespalten in nur „Arbeitsplatz“ (Hauptstandort) und „alle Standorte“. **Ähnlich zum bisherigen Individualverkehr sind max. 10% aller Autos gleichzeitig in Bewegung und in den Nachtstunden stehen fast alle Fahrzeuge. Die Standortverteilung am „Arbeitsplatz“ schwankt nur gering und liegt im Tagesverlauf zwischen rund 50 bis 65%.** Dieses Verhalten unterscheidet sich vom MIV, da dort in den Nachtstunden kaum am „Arbeitsplatz“ geparkt wird. Der Bereich zwischen den Kurven „alle Orte“ und „Arbeitsplatz“ stellt alle anderen Orte (z.B. Zuhause, Dienstlich, Einkaufen, usw.) dar. Aufgrund der nicht vollständig ausgefüllten Fragebögen konnten diese nicht zugeordnet werden.

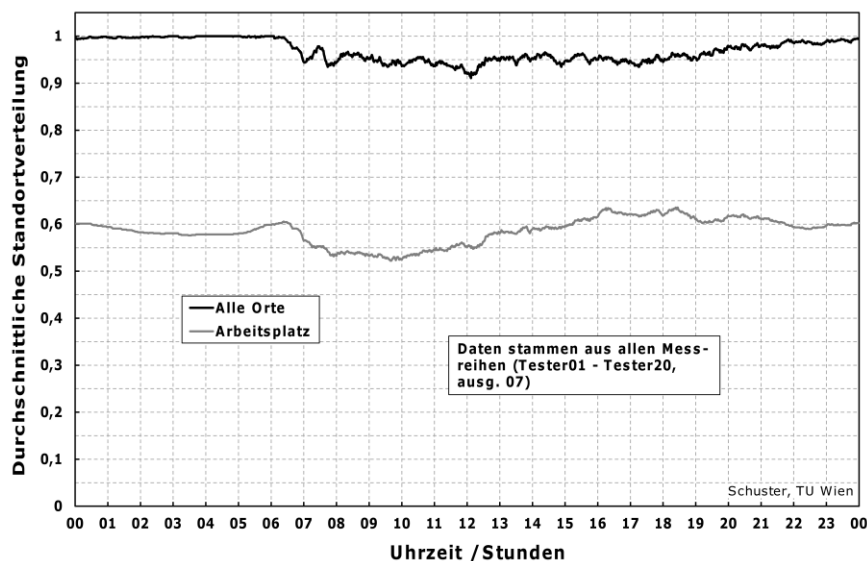


Abbildung 17: Durchschnittliche Standortverteilung aufgespalten in nur „Arbeitsplatz“ (Hauptstandort) und alle Standorte aller Messreihen

Im „Anhang: Diagramme“ (Abbildung H und I) sind die Verteilungen der Standorte „Arbeitsplatz“ und „alle Orte“ jeweils für Montag bis Freitag und Samstag bis Sonntag ergänzend dargestellt. Erwähnenswert ist hierbei, dass an den Wochenenden die E-Autos noch weniger unterwegs sind und daher die Anteile der Standzeiten immer höher sind. Die Verteilungen am „Arbeitsplatz“ unterscheiden sich in diesen Fällen kaum.

4.2 Steh- und Ansteckverhalten

In weiterer Folge werden die Stehdauern noch genauer analysiert, wobei die Unterscheidung zwischen E-Auto angesteckt und ausgesteckt getroffen wurde. Die Ergebnisse dieser Analysen sind, neben der Ermittlung der Ladeprofile, für Netzbetreiber bzw. E-Mobility-Provider von größter Bedeutung.

Rund die Hälfte aller Stopps ist kleiner bzw. größer als 2 Stunden. Länger als die für Normalladung relevante Stehdauer von 5 Stunden sind noch immer 30% aller Stopps. Die Anzahl der Stopps, welches in Abbildung 18 dargestellt ist, nimmt exponentiell ab je höher die Stehdauern werden. Jedoch gibt es zumindest einen Stopp, welcher sogar länger als 8 Tage war.

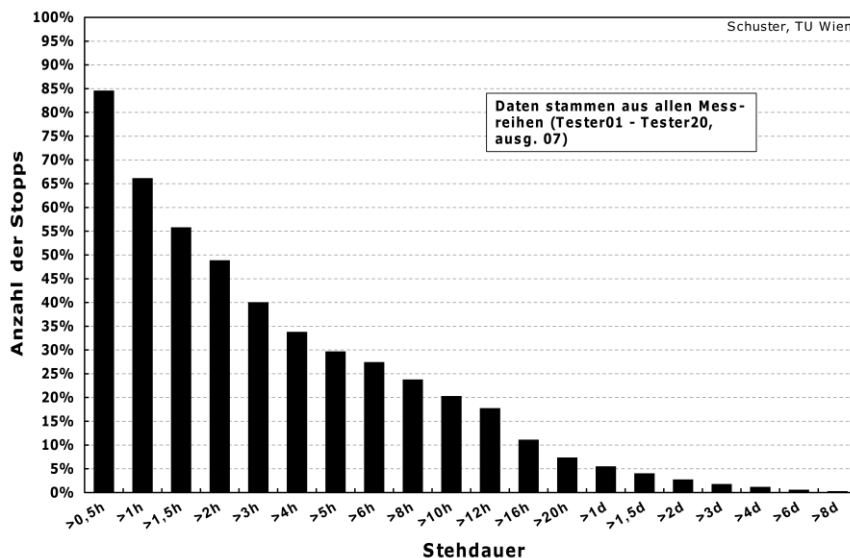


Abbildung 18: Häufigkeiten aller Stehdauern aller Messreihen

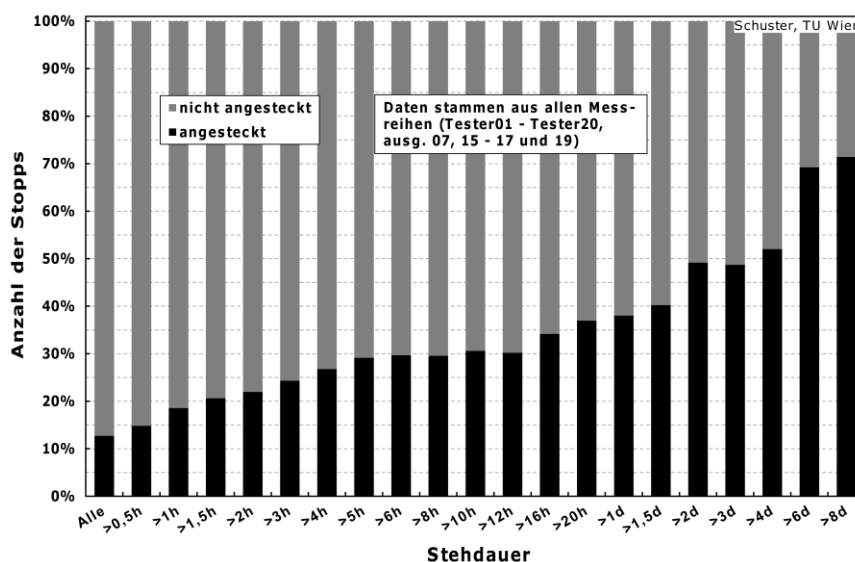


Abbildung 19: Aufteilung der Stopps in angesteckt und nicht angesteckt aufgespaltert je nach Stehdauer sowie alle Stopps

Unterscheidet man „angesteckt“ und „nicht angesteckt“ so zeigt sich das Verhalten aus Abbildung 19. **Bei etwas über 10% aller Stopps waren die E-Autos im Mittel angesteckt und erst bei einer Stehdauer über 2 Tage ist die Hälfte der Fahrzeuge mit dem elektrischen Netz verbunden.** Dies deutet wiederum darauf hin, dass nur nach Bedarf angesteckt und geladen wurde. Die Ansteckhäufigkeit ist ebenfalls von Tester zu Tester unterschiedlich, wie im „Anhang: Diagramme“ in Abbildung J ersichtlich ist.

Die gerade beschriebenen Ansteckhäufigkeiten sind deshalb auch so niedrig, da jeder Stopp egal wie lange dieser dauert gleich gewertet wurde. Betrachtet man hingegen die Aufteilung der Stehdauer in

angesteckt und nicht angesteckt, siehe dazu Abbildung 20, ändert sich dieses Bild etwas. **Dementsprechend sind in rund 33% der gesamten Stehdauern die E-Fahrzeuge angesteckt. Vergleicht man die Mittelwerte aller Stopps (rund 8 Stunden) mit jenen Stopps, bei denen angesteckt wurde (etwa 23 Stunden), so erkennt man, dass tendenziell die längeren Fahrpausen zum Laden genutzt werden.**

Mit rund 73% aller Ansteckvorgänge ist der „Arbeitsplatz“ auch der Hauptstandort für die elektrische Ladeinfrastruktur. Die Tester hatten aufgrund des Schuko-Ladekabels mit „In-Cable-Box“ immer die Möglichkeit wo anders zu laden. Eventuell wurde auch aufgrund der Stromkosten dennoch hauptsächlich am Arbeitsplatz geladen.

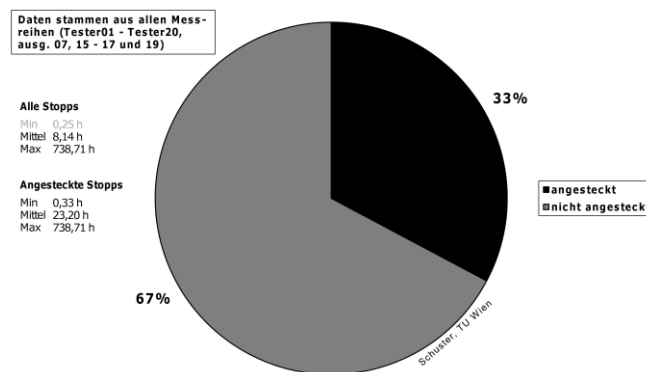


Abbildung 20: Aufteilung der Stehdauer in angesteckt und nicht angesteckt aller Messreihen sowie Minimum, Mittelwert und Maximum der Stehzeiten aller Stopps und aller angesteckten Stopps

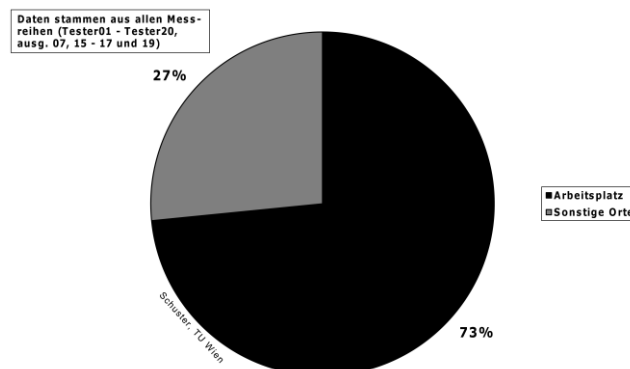


Abbildung 21: Aufteilung der Ansteckvorgänge nach Orte, wo angesteckt wurde, aller Messreihen

Die letzte Abbildung in diesem Abschnitt zeigt die Verteilung der maximalen Anzahl an unterschiedlichen Ladepunkten, welche benutzt wurden (siehe Abbildung 22). **Mit jeweils 40% (6 Tester) wurden max. eine bzw. zwei unterschiedliche Ladestationen benutzt. Ein Tester (6,7%) verwendete sogar sechs verschiedene Ladepunkte. Im Mittel wurden 2,13 Ladepunkte/Fahrzeug benutzt.**

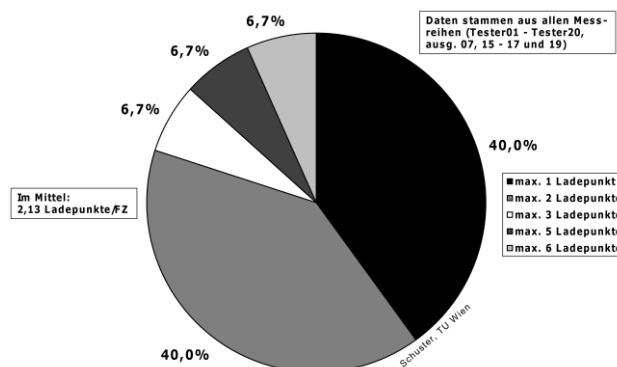


Abbildung 22: Max. Anzahl der verwendeten Ladestellen sowie Mittelwert je FZ aller Messreihen

4.3 Fahrtlängenverteilungen

Bei den folgenden Fahrtlängenverteilungen wird zwischen den Einzelfahrten bzw. Fahrten (Wege zwischen zwei Standorte) und den Tagesfahrten (alle Wege eines Tages) unterschieden. Abbildung 23 zeigt die Summenhäufigkeiten der Fahrten und Tagesfahrten je Fahrtlänge. **Die Fahrtlängenverteilung zeigt, dass die kurzen Wege kleiner als 10 km, mit rund 75% aller Fahrten dominieren. Der Mittelwert der Fahrtlängen aller E-Autotester ist mit etwa 7,7 km sehr viel kleiner als der des österreichischen MIV (17,5 km).** Bei den Tagesfahrten fällt der Unterschied der Mittelwerte nicht so dramatisch aus. **Die E-Fahrzeuge haben in Salzburg durchschnittlich ca. 32,5 km pro Tag zurückgelegt.**

In Abbildung 24 sind die minimalen, mittleren und maximalen Einzelfahrtlängen je Tester einzeln und nochmals gesamt dargestellt. Vergleichend ist der Mittelwert des österreichischen MIV eingezeichnet. **Auch hier zeigt sich, dass das Verhalten der einzelnen Tester durchwegs unterschiedlich ausfällt. Die Maxima variieren zwischen weniger als 20 km und fast 85 km je Einzelfahrt.** Auch die Mittelwerte sind verschieden. Ein Tester besitzt sogar einen höheren Mittelwert als der herkömmliche MIV.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Tagesfahrten, wie in Abbildung 25 dargestellt. Hierbei sind jedoch schon drei Tester über den österreichischen Durchschnitt. **Die Mittelwerte der Tagesfahrtlängen der E-Autos bewegen sich zwischen rund 15 und ca. 65 km.**

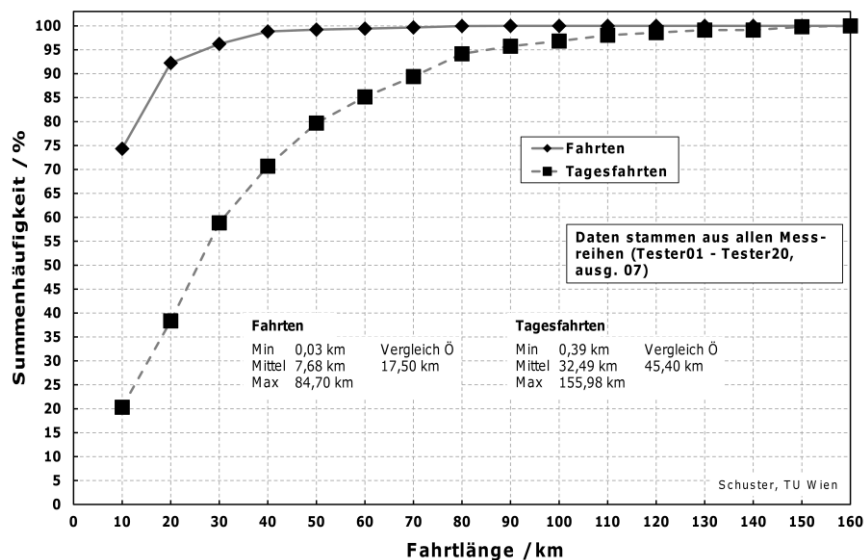


Abbildung 23: Summenhäufigkeiten der Fahrten und Tagesfahrten je Fahrtlänge sowie Minimum, Mittelwert und Maximum der Fahrt- und Tagesfahrtlängen (inkl. mittlerer Vergleichswert des österreichischen MIV) aller Messreihen

Abschließend wurden noch die Anzahl der Fahrten bzw. Wege pro mobilen Tag für jeden Tester einzeln und gesamt erhoben, siehe Abbildung 26. **Der Mittelwert aller Tester ergibt etwas über 4 Fahrten pro mobilen Tag. Die Maximalwerte schwanken jedoch zwischen drei und 14 Wege. Zusammengefasst zeigen die Tester in der Fahrtlängenverteilung ein sehr unterschiedliches Bild.** Auch die Anzahl der Fahrten und Tagesfahrten variiert je Tester¹⁰.

¹⁰ Siehe dazu Abbildung K in „Anhang: Diagramme“

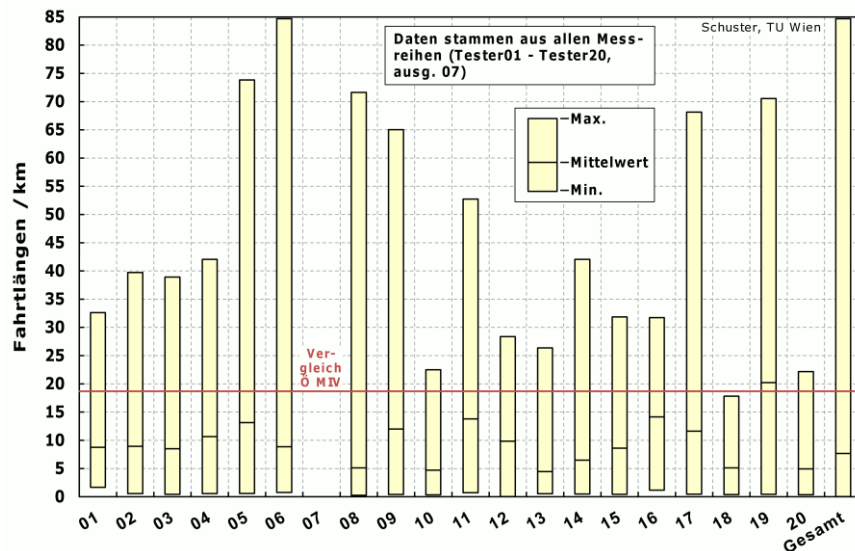


Abbildung 24: Minimum, Mittelwert und Maximum der Fahrtlängen aufgespaltert je Tester und Gesamtheitlich sowie mittlerer Vergleichswert des österreichischen MIV

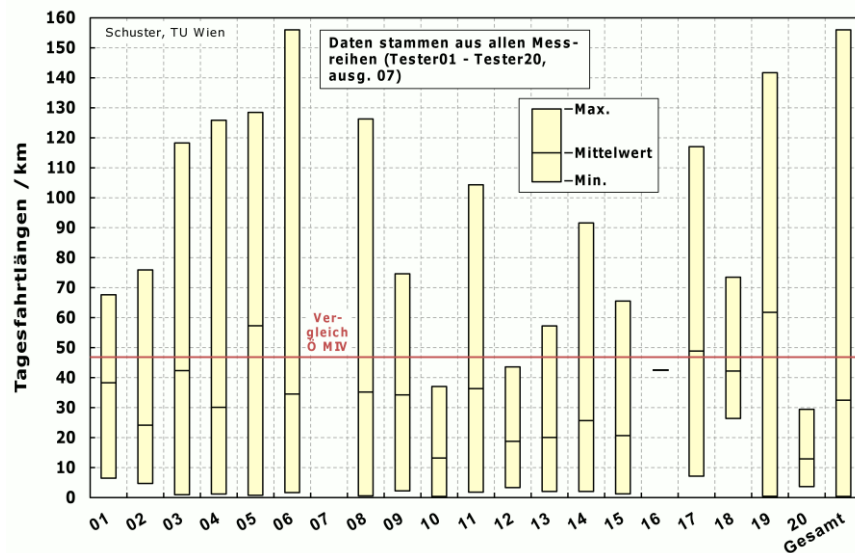


Abbildung 25: Minimum, Mittelwert und Maximum der Tagesfahrtlängen aufgespaltert je Tester und Gesamtheitlich sowie mittlerer Vergleichswert des österreichischen MIV

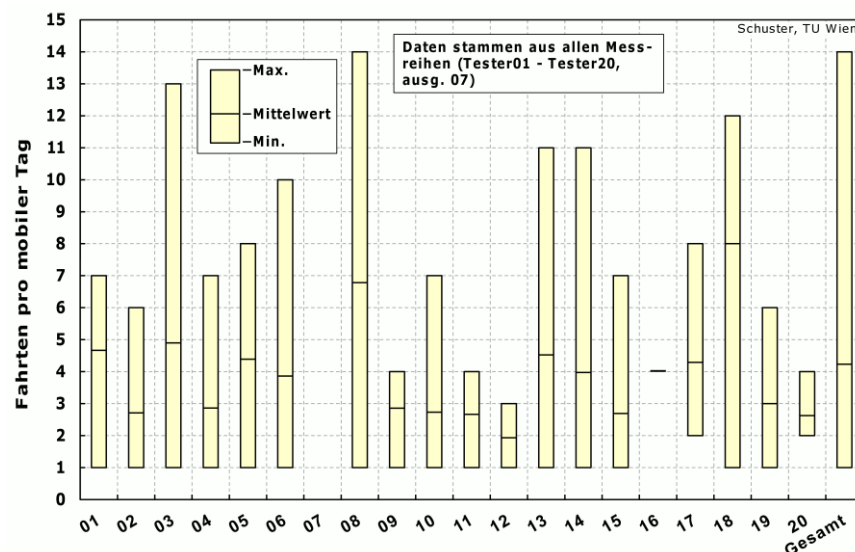


Abbildung 26: Minimum, Mittelwert und Maximum der Fahrten pro mobilen Tag aufgespaltert je Tester und Gesamtheitlich

5 Ergebnisse – Power Quality

Von allen in Tabelle 1 dargestellten Elektroautotypen wurde durch das **Messgerät EURO-QUANT von HAAG eine Vollladung** aufgezeichnet. Dieses hochwertige Messgerät ermöglicht verschiedenste Aussagen bzgl. der Power Quality zu treffen. Die Messungen wurden dankenderweise von der Salzburg Netz GmbH durchgeführt. Der Messaufbau wurde an herkömmlichen Netzsteckdosen installiert. Dadurch können nicht alle „Power Quality“-Effekte allein den Elektrofahrzeugen zugeschrieben werden. Jedoch spiegelt sich die Netzqualität im praktischen Umfeld wider.

Ergänzend zu den in Abschnitt 3.1 bereits dargestellten Wirkleistungsverläufen wurden ebenfalls die U-I-Profile aufgezeichnet. Diese Profile befinden sich im „Anhang: Diagramme“ Abbildung L bis O. In diesem Kapitel werden ebenfalls die Leistungsfaktoren, Oberschwingungen (THDI, Stromoberschwingungen, Strombewertungen, THDU und Spannungsoberschwingungen), Zwischenharmonischen (Strom-Zwischenharmonische, IHDI und Spannung-Zwischenharmonische) sowie Flicker noch genauer betrachtet.

5.1 Leistungsfaktoren

Per Definition ergibt der Quotient aus den Wirkleistungs- und Scheinleistungsbeträgen den Leistungsfaktor. Für eine gute Netzverträglichkeit ist entscheidend, dass die Verbraucher einen Leistungsfaktor nahe Eins besitzen. Dies bedeutet, dass fast reine Wirkleistung verbraucht wird.

Im Folgenden (Abbildung 27 bis Abbildung 30) sind die Verläufe des Leistungsfaktors und der Wirkleistung der Vollladungen der unterschiedlichen E-Autotypen dargestellt. **Bei allen ist der Leistungsfaktor während der Maximalleistung gleich oder fast nahezu Eins. Wird die aufgenommene Wirkleistung reduziert, so verschlechtert sich der Leistungsfaktor.** Jedoch ist die Wirkleistung bei Faktoren kleiner 0,95 meist deutlich unter 0,9 kW. **Speziell beim exponentiellen Abklingen der Ladeleistung (Konstant-Spannungsladephase) wird negative bzw. kapazitive Blindleistung abgefragt und erreicht in diesen Zeiten ihren Spitzenwert.**

Die Leistungsfaktoren in den Stand-by-Phasen also nach Beendigung des Ladevorgangs sind aufgrund der nur mehr sehr niedrigen Ströme vernachlässigbar und daher nicht weiter kritisch für die Netzqualität.

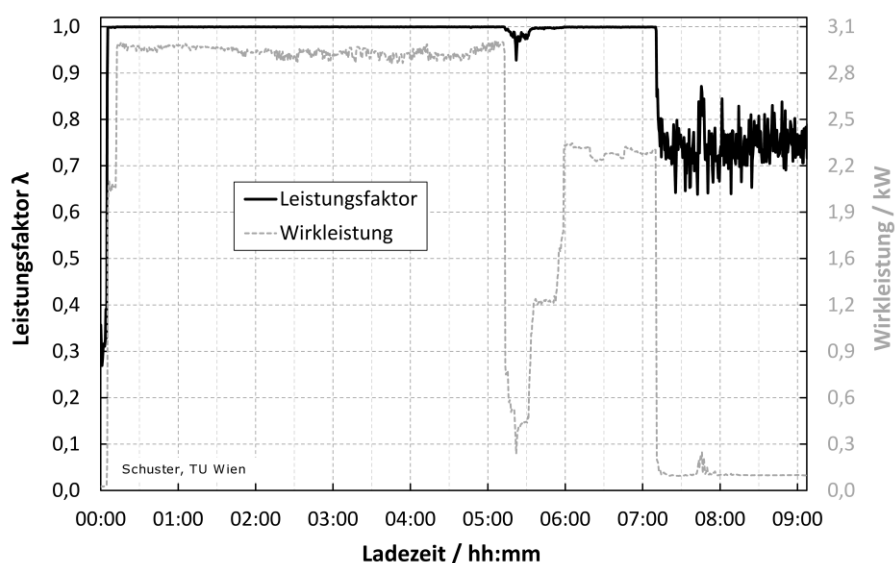


Abbildung 27: Verlauf des Leistungsfaktors sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie

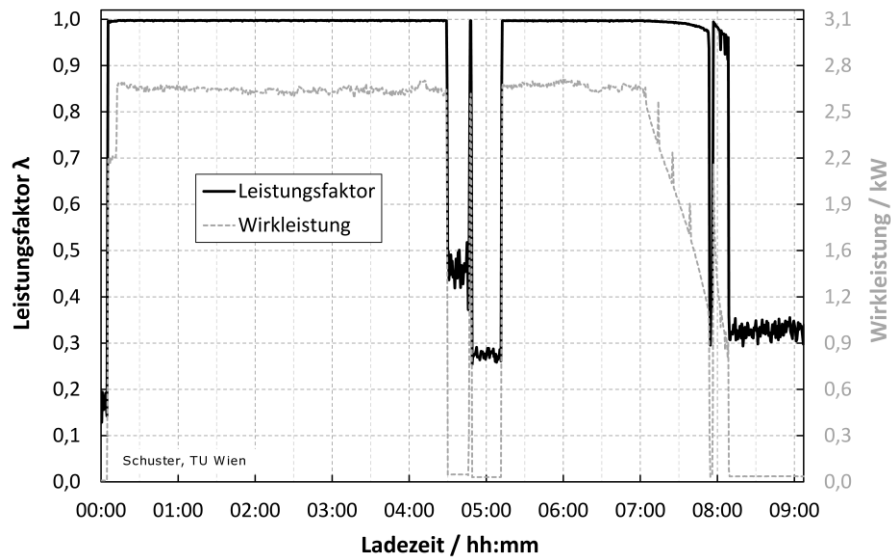


Abbildung 28: Verlauf des Leistungsfaktors sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

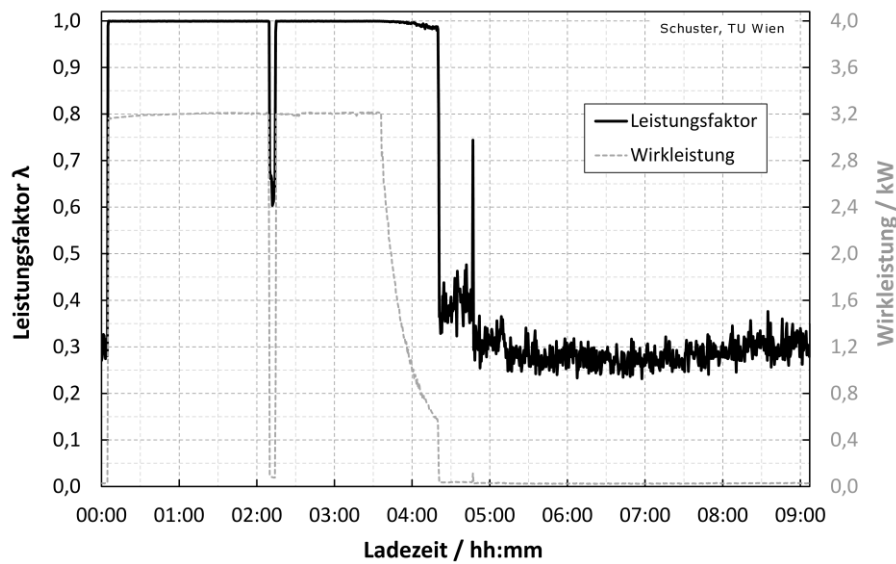


Abbildung 29: Verlauf des Leistungsfaktors sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

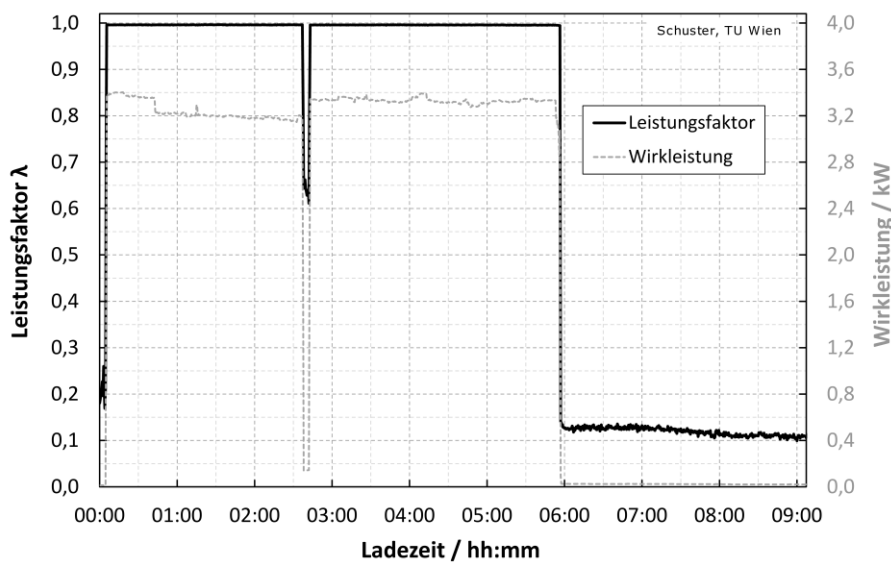


Abbildung 30: Verlauf des Leistungsfaktors sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie

5.2 Oberschwingungen

Die Oberschwingungen sind als sinusförmige Schwingung, deren Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz ist definiert. Sie geben somit an wie stark der Sinusverlauf des Stroms bzw. der Spannung verzerrt ist. Oberschwingungen entstehen durch Betriebsmittel mit nicht linearer Kennlinie, wie z.B. Transformatoren, Leuchtstofflampen und leistungselektronische Betriebsmittel, wie z.B. Gleichrichter (hier vor allem mit kapazitiver Glättung), Triacs und Thyristoren. Die Eingangsgrößen für die in der Modellregion gemessenen Ladevorgänge waren die Netzspannungen und daher sind nicht alle Verzerrungen durch E-Autoladungen entstanden.

In symmetrisch aufgebauten Drehstromsystemen fließen Oberschwingungsströme, deren Ordnung Vielfache von drei sind, als Ströme der Nullkomponente mit dem dreifachen Wert des entsprechenden Oberschwingungsstroms im Außenleiter über den Neutralleiter und Erde. Im Fall fehlender Sternpunktterdung bildet sich für die entsprechende Frequenz eine Oberschwingungskomponente der Spannung zwischen Sternpunkt und Erde aus.¹¹

5.2.1 THDI

Der Gesamtoberschwingungsgehalt oder Verzerrungsfaktor THDI (Total Harmonic Distorsion) ist als Verhältnis des Effektivwerts der Summe aller Oberschwingungsanteile bis zu einer festgelegten Ordnung zum Effektivwert des Grundschwingungsanteils definiert. In Abschnitt 5.2.4 wird dieser für die Spannung angegeben und folgend wird der Stromwert näher betrachtet.

Laut Norm oder den technischen Regeln sind keine derartigen maximalen Grenz- bzw. Pegelwerte für THDI festgesetzt, da diese Werte immer auf die Anlagengröße zu beziehen sind. Auch wie schon eingangs erläutert sind die Oberschwingungsordnungen unterschiedlich zu gewichten. Jedoch kann gesagt werden, dass Stromrichterschaltungen mit Werten von $\text{THDI} < 10\%$ als nahezu sinusförmige Stromaufnehmer und daher nicht als Oberschwingungserzeuger gelten.¹⁰

Abbildung 31 bis Abbildung 34 zeigen die THDI-Verläufe sowie die aufgenommene Wirkleistung aller Vollladungen der einzelnen E-Autotypen. **Bei den maximalen Ladeleistungen sind die THDI-Werte zwischen 5 und 10% und damit sehr verzerrungsarm. Wiederrum bei geringeren Leistungen sowie der exponentiellen Leistungsabnahme erhöhen sich diese Werte.**

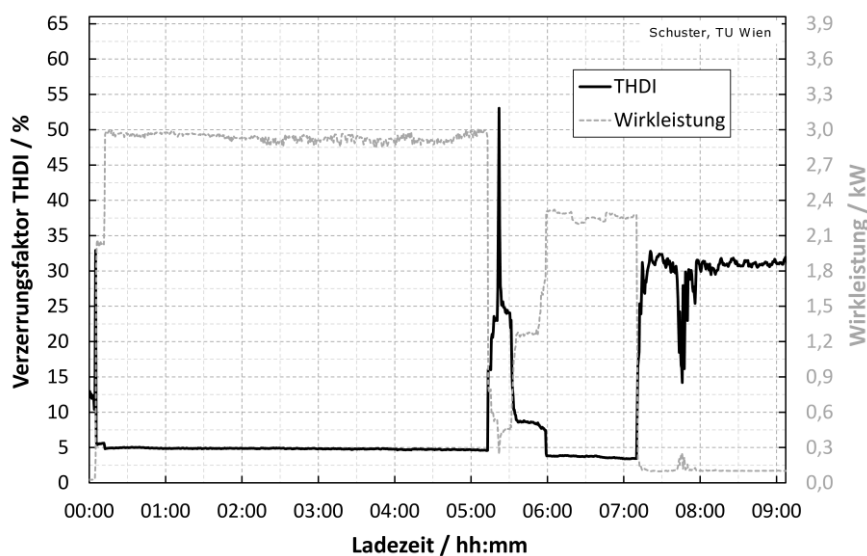


Abbildung 31: Verlauf des Strom-Verzerrungsfaktors (THDI) sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie

¹¹ Für mehr Informationen siehe: J. Schlabbach, W. Mombauer: *Power Quality: Entstehung und Bewertung von Netzrückwirkungen; Netzanschluss erneuerbarer Energiequellen*, Berlin: VDE-VERLAG, 2008.

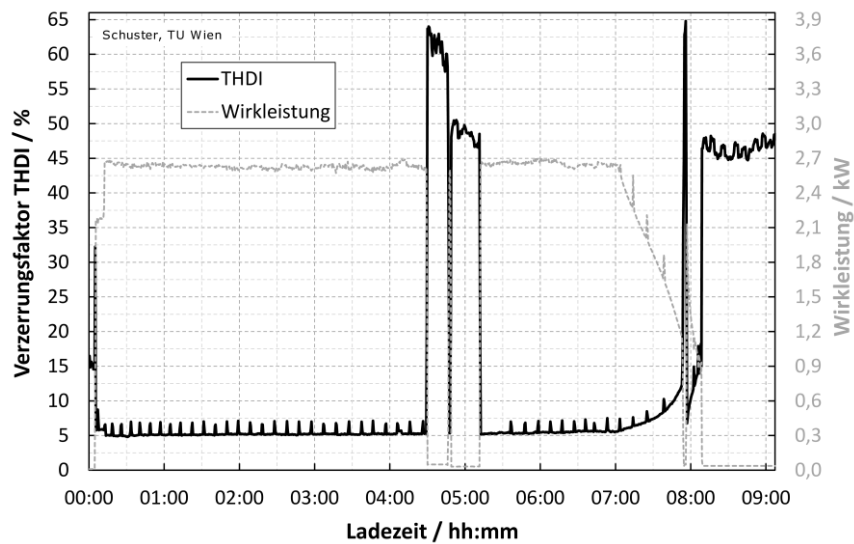


Abbildung 32: Verlauf des Strom-Verzerrungsfaktors (THDI) sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

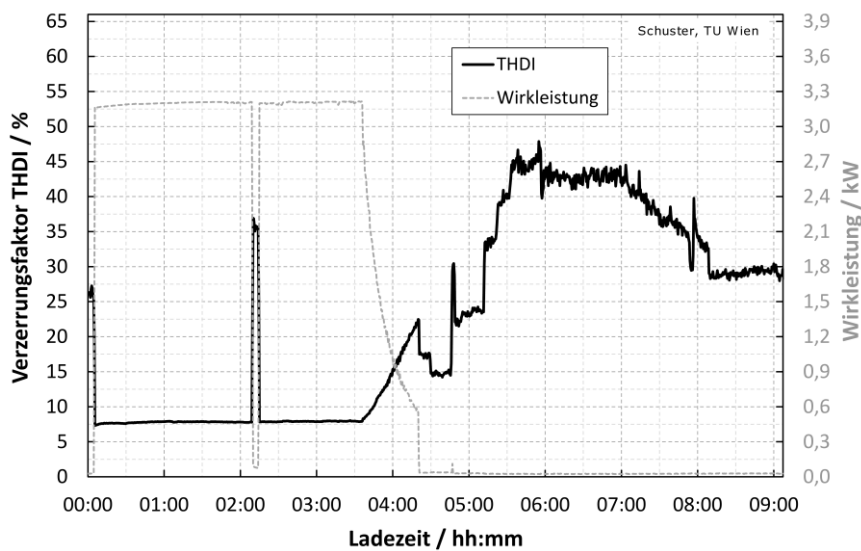


Abbildung 33: Verlauf des Strom-Verzerrungsfaktors (THDI) sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

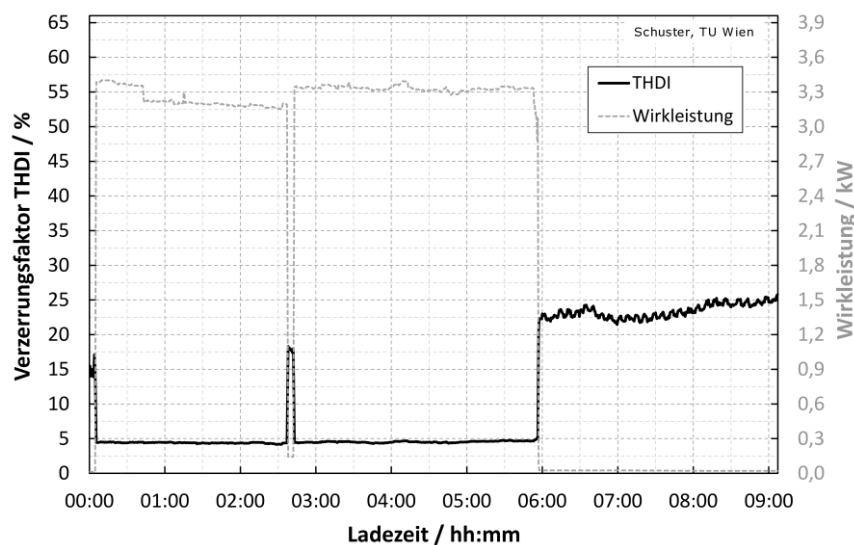


Abbildung 34: Verlauf des Strom-Verzerrungsfaktors (THDI) sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie

5.2.2 Stromüberschwingungen

Wie im vorigen Abschnitt schon erwähnt sind Grenzwerte der Stromüberschwingungen für jede Ordnung einzeln in der EN 61000-3-2 definiert. Die in diesen Fällen betrachteten Ladegeräte fallen in die Klasse A (Nennströme kleiner gleich 16 A).

Da diese Grenzwerte in Ampere angegeben sind, ist zu erwarten, dass Verletzungen dieser höchstens in den Maximalladeleistungsphasen auftreten werden. Jene Stromüberschwingungen aller einzelnen Elektrofahrzeugtypen sind in Abbildung 35 bis Abbildung 38 dargestellt. Die nicht so stark belasteten Ladephasen sowie Übersichten der Einteilungen sind im „Anhang: Diagramme“ in Abbildung P bis Abbildung Z zu sehen.

In den folgenden Abbildungen sind jeweils die Maxima und 95%-Quantilen der harmonischen Stromschwingsungsanteile sowie deren Grenzwerte gezeigt. **Bis auf den „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie, welcher gar keinen Grenzwert verletzt, haben alle anderen Ladegeräte eine zu hohe 23. Stromüberschwingung. Der Autotyp („TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie) mit dem schlechtesten Werten hat außerdem die Grenzwerte bei der 17. und 19. Oberwelle überschritten.**

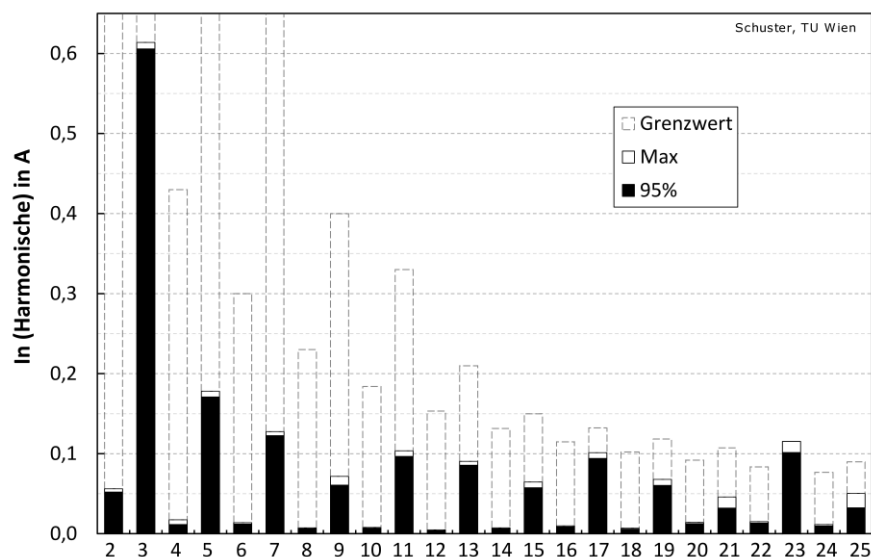


Abbildung 35: Harmonische Stromüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-3-2 Klasse A einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie

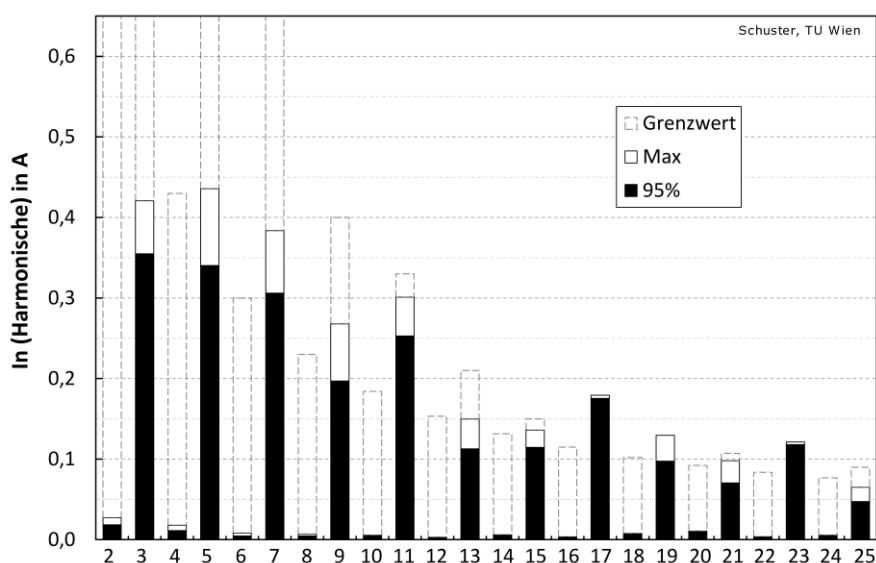


Abbildung 36: Harmonische Stromüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-3-2 Klasse A einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

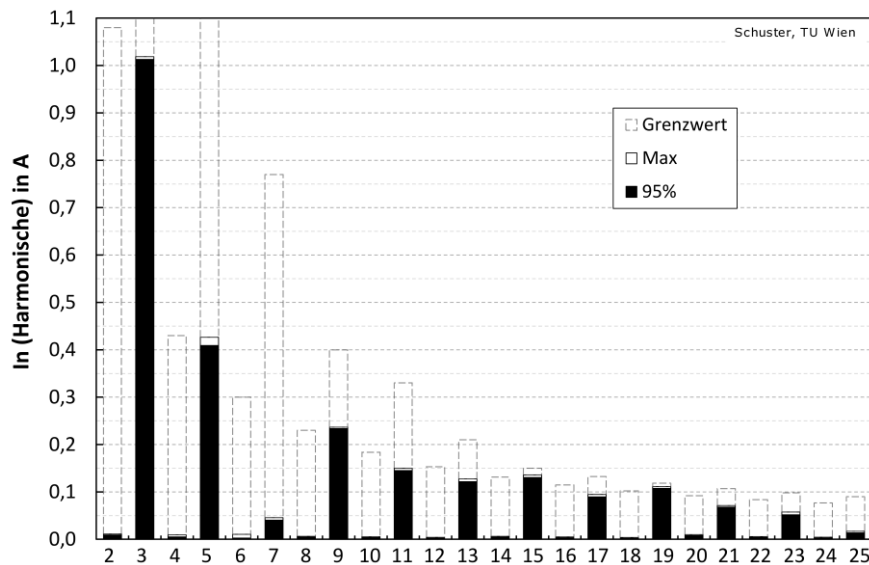


Abbildung 37: Harmonische Stromüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-3-2 Klasse A einer Vollladung eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

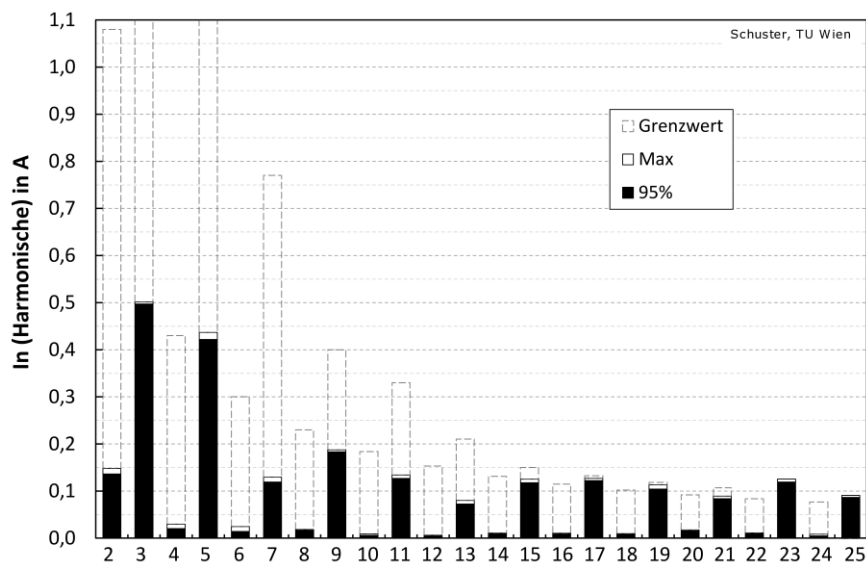


Abbildung 38: Harmonische Stromüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-3-2 Klasse A einer Vollladung eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie

5.2.3 Strombewertungen

Um die Stromüberschwingungen tiefergehend zu analysieren, wird im Folgenden die Bewertung der Zulässigkeit zukünftig verstärkter Elektromobilität mit Normalladung durchgeführt. Ausgangspunkt hierbei sind die gemessenen Stromüberschwingungen, welche in Spannungsüberschwingungen hervorgerufen. Die durch die Elektrofahrzeuge erzeugten Überschwingungen werden in Relation zu den anderen Verbrauchern gesetzt und dementsprechend bewertet. **Die Ergebnisse zeigen Tendenzen wie bei verstärkter Elektromobilität die Spannungsüberschwingungen sich verhalten.**

Zur Berechnung wurde gemäß Abbildung 39 ein typisches Niederspannungsnetz mit Standardwerten sowie spezifischer Netzebenen-, Gleichphasigkeitsfaktoren und Spannungs-Verträglichkeitspegel gemäß EN 61000-2-2 verwendet. Im ersten Schritt wurden die Netzanschlussfaktoren sowie die resultie-

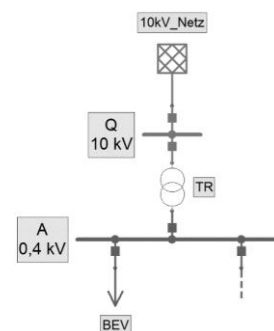


Abbildung 39: Ersatzschaltbild der Bewertung des Überschwingungserzeugers BEV

renden maximal zulässigen Oberschwingungsströme je Elektrofahrzeug berechnet. **Als Endergebnis stellen sich die Verhältnisse der gemessenen harmonischen Stromkomponenten (95%-Quantile der 10 Minutenmittelwerte) zu den jeweilig zulässigen Stromwerten gemäß Spannungsverträglichkeitspegeln ein.**¹²

Abbildung 40 bis Abbildung 43 zeigen nun die Ergebnisse aller E-Autotypen. **Sehr stark über der Verträglichkeit liegen hierbei bei allen Ladegeräten die 15. und 21. Oberwelle.** An dritter Stelle kann noch die 9. Stromoberwelle genannt werden, welche eventuell bei verstärkter Elektromobilität in den Netzen zu Problemen führen kann. Alle anderen Stromoberwellen führen nur zu einer geringen Verschlechterung der „Power Quality“. Wie oben schon erwähnt zeigen diese Ergebnisse lediglich Tendenzen.

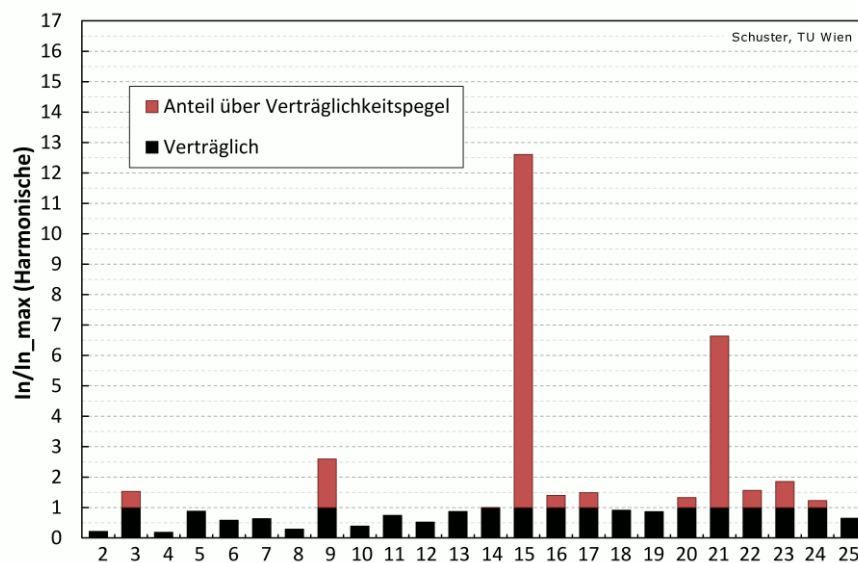


Abbildung 40: Verhältnis der harmonischen Stromkomponenten (10min-Mittelwerte) zum jeweiligen Verträglichkeitspegel gemäß EN 61000-2-2 bei der Strombewertungsanalyse eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie

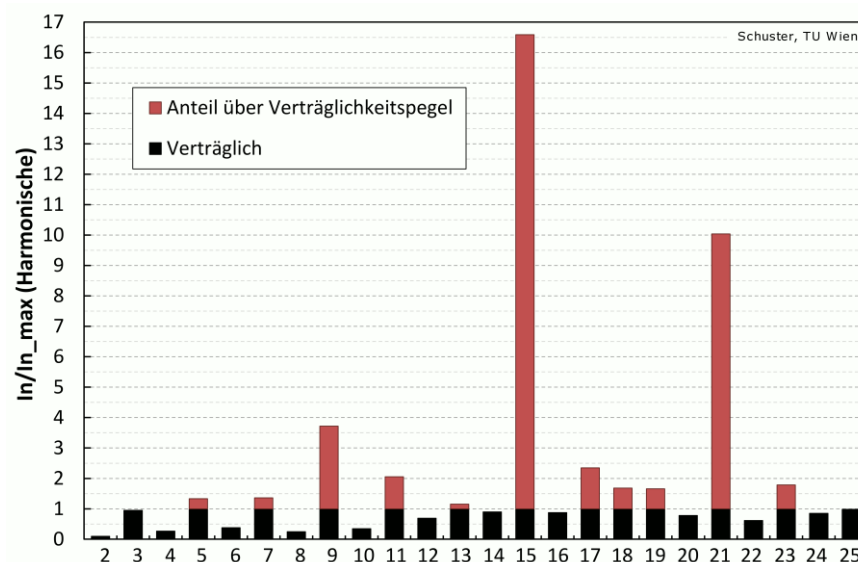


Abbildung 41: Verhältnis der harmonischen Stromkomponenten (10min-Mittelwerte) zum jeweiligen Verträglichkeitspegel gemäß EN 61000-2-2 bei der Strombewertungsanalyse eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

¹² Siehe vergleichend: D. Blume, J. Schlabbach, T. Stephanblome: *Spannungsqualität in elektrischen Netzen: Ursachen, Messung, Bewertung von Netzrückwirkungen und Verbesserung der Spannungsqualität*, S108ff, Berlin: VDE-VERLAG, 1999.

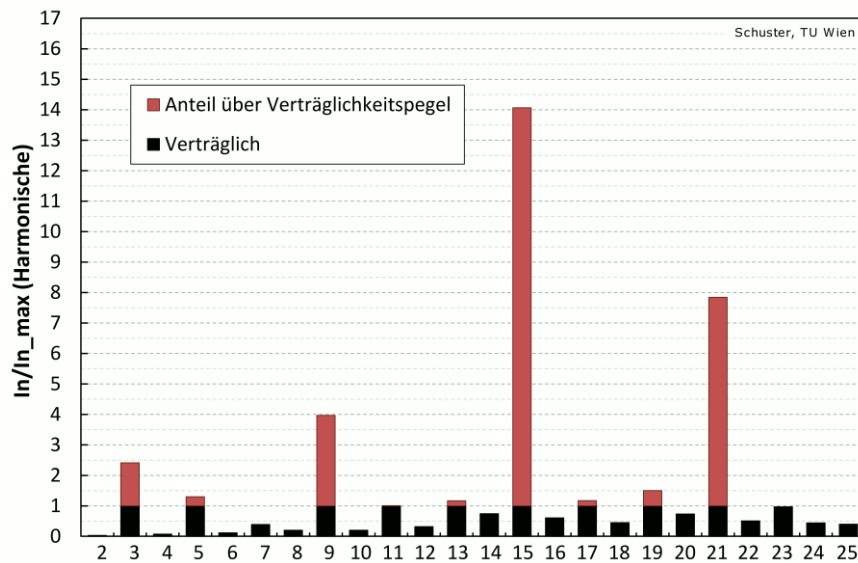


Abbildung 42: Verhältnis der harmonischen Stromkomponenten (10min-Mittelwerte) zum jeweiligen Verträglichkeitspegel gemäß EN 61000-2-2 bei der Strombewertungsanalyse eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

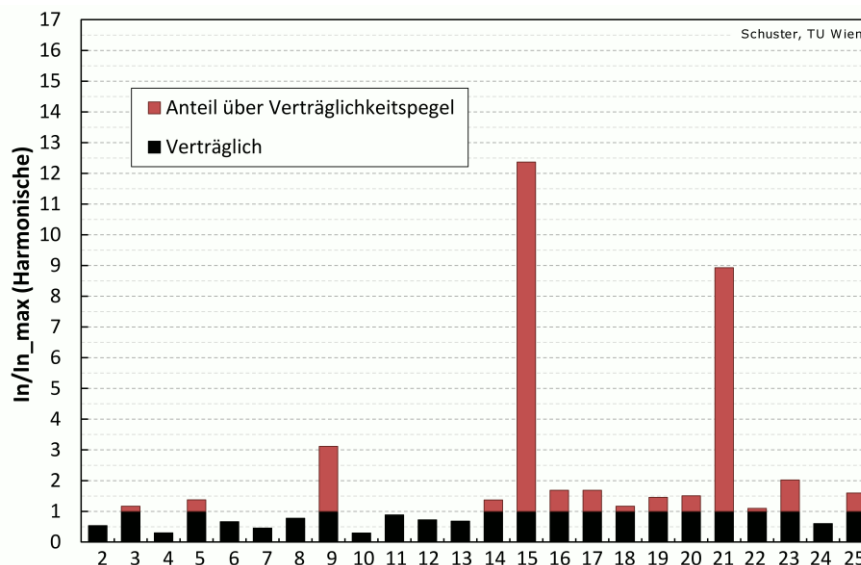


Abbildung 43: Verhältnis der harmonischen Stromkomponenten (10min-Mittelwerte) zum jeweiligen Verträglichkeitspegel gemäß EN 61000-2-2 bei der Strombewertungsanalyse eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie

5.2.4 THDU

Der Gesamtoberschwingungsgehalt der Spannung THDU ist analog zum THDI definiert. Hingegen ist in der DIN EN 50160 der maximale Pegelwert von $THDU \leq 8\%$ (bis 40. Ordnung) definiert. Diese Spannungsgüte muss der Netzbetreiber jederzeit gewährleisten können.

Bedingt durch den Messaufbau wurden bei allen Fahrzeugtypen die THDUs gemessen, diese unterscheiden sich naturgemäß jedoch nicht sehr stark voneinander. Abbildung 44 zeigt den Verlauf des Spannungs-Verzerrungsfaktors sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie. **Der Spitzenwert der THDU ist mit rund 2,7% unter dem Pegelwert und zeigt nur sehr geringe Korrelationen mit den Batterieladungen.**

Die anderen THDU-Verläufe sind im „Anhang: Diagramme“ (Abbildung AA bis CC) ebenfalls vergleichend dargestellt.

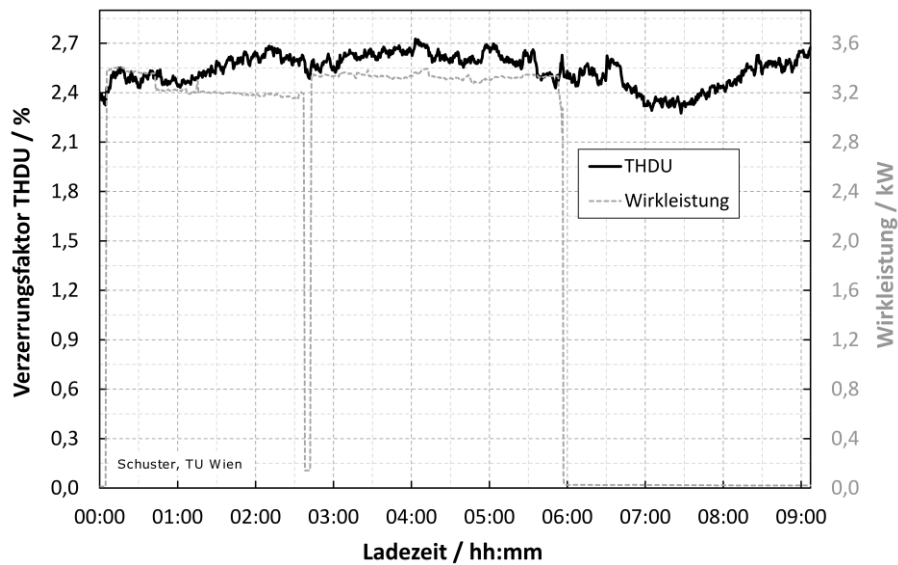


Abbildung 44: Verlauf des Spannungs-Verzerrungsfaktors (THDU) sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie

5.2.5 Spannungsüberschwingungen

Wiederrum in der DIN EN 50160 sind Pegelwerte für die 95%-Quantilen der 10 Minutenmittelwerte der Spannungsüberschwingungsanteile angegeben. Beispielhaft sind in Abbildung 45 diese mit den gemessenen Werten dargestellt. **Die bei der Strombewertung in Abschnitt 5.2.3 schon bemerkten Oberwellen, mit den Ordnungen 15 und 21, sind bei derzeitiger Ausprägung an Verbrauchern geringfügig über den Verträglichkeitspegeln. Alle anderen Ordnungen sind meist weit unter den jeweiligen Grenzwerten.**

Die Spannungsüberschwingungsanteile der anderen Messungen sind im „Anhang: Diagramme“ (Abbildung DD bis FF) zu finden und unterscheiden sich nicht sehr wesentlich von nachfolgender Darstellung.

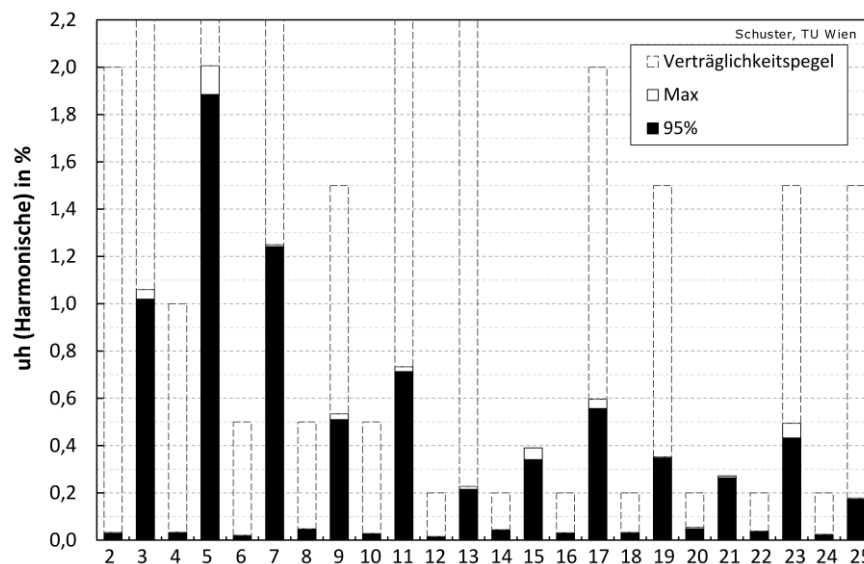


Abbildung 45: Harmonische Spannungsüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile jeweils 10min-Mittelwerte) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-2-2 einer Vollladung eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

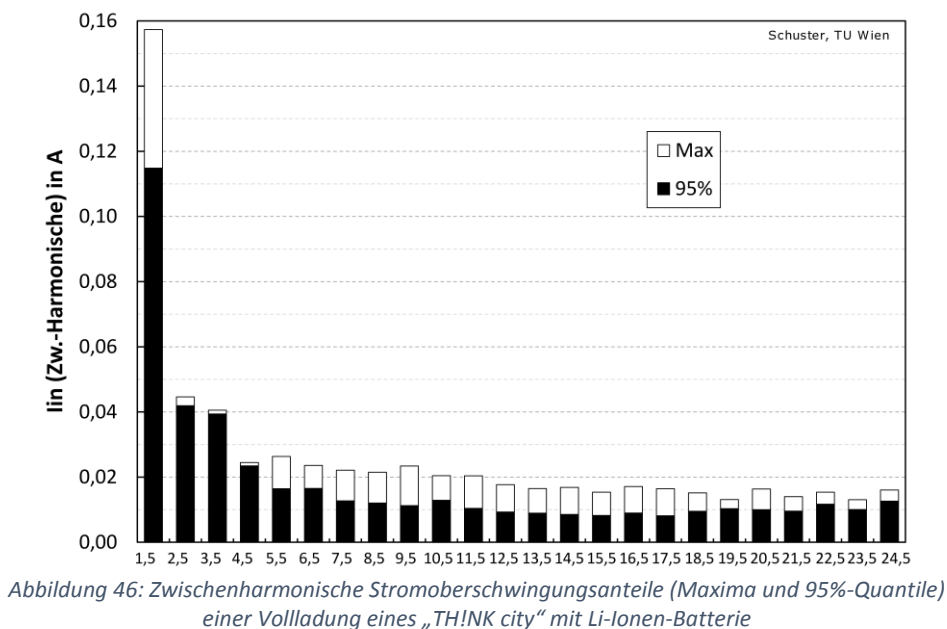
5.3 Zwischenharmonische

Die Zwischenharmonischen sind als sinusförmige Schwingung, deren Frequenz kein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz ist, definiert. Bei sehr vielen Grenz- und Pegelwerten, wie z.B. in der DIN EN 50160, sind die maximal zulässigen Anteile meist ausgespart. Hingegen erfolgt die Bewertung von Zwischenharmonischen im Hinblick auf die zu erwartenden Auswirkungen bei Flickern und Störungen von Rundsteuereinrichtungen. Flickerrelevanz z.B. ist dann gegeben, wenn zwischenharmonische Spannungen im Frequenzbereich bis zu 100 Hz (2. Ordnung) auftreten.¹³

Im Folgenden wird auf die Anteile der Strom- und Spannungs-Zwischenharmonischen sowie dem IHDU näher eingegangen. In Anbetracht der verminderten Wichtigkeit in den allgemein gültigen Regelwerken wird auch in diesem Kapitel diese Thematik reduziert behandelt.

5.3.1 Strom-Zwischenharmonische

Die Analyse der Strom-Zwischenharmonischen beschränkt sich auf die in Abbildung 46 bis Abbildung 49 dargestellten wertfreien Oberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantilen) aller einzelnen Elektroautoladevorgängen. **Die Ladegeräte zeigen durchwegs unterschiedliche Anteile, besitzen jedoch ihren Maximalwert stets bei der 1,5. Ordnung.**



¹³ Für mehr Informationen siehe: J. Schlabbach, W. Mombauer: *Power Quality: Entstehung und Bewertung von Netzrückwirkungen; Netzanschluss erneuerbarer Energiequellen*, S244ff, Berlin: VDE-VERLAG, 2008.

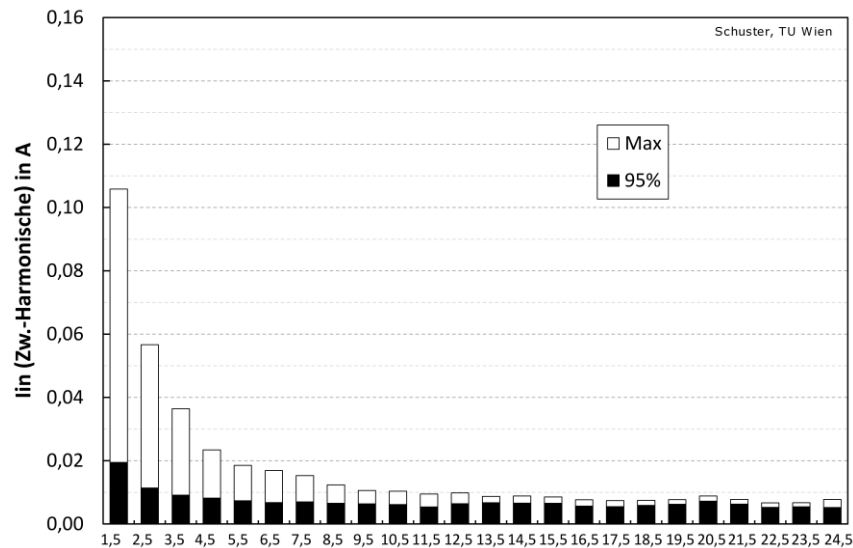


Abbildung 47: Zwischenharmonische Stromüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

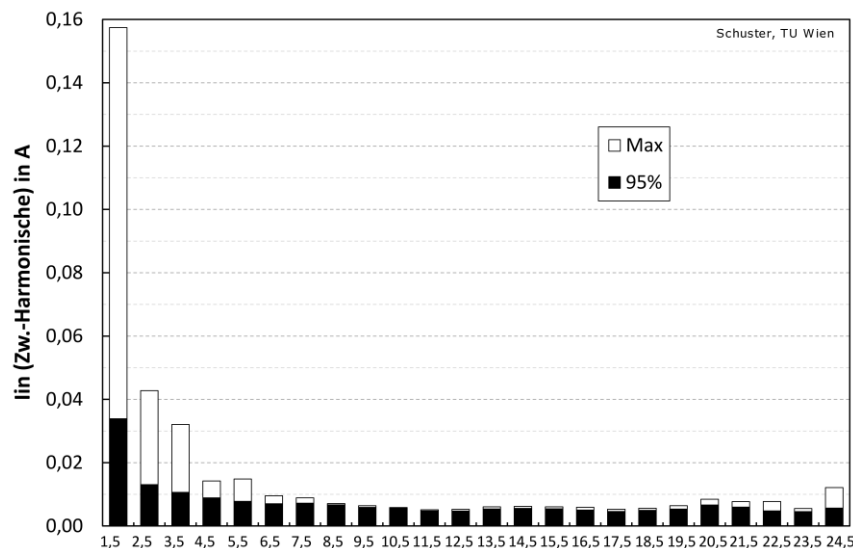


Abbildung 48: Zwischenharmonische Stromüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) einer Vollladung eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

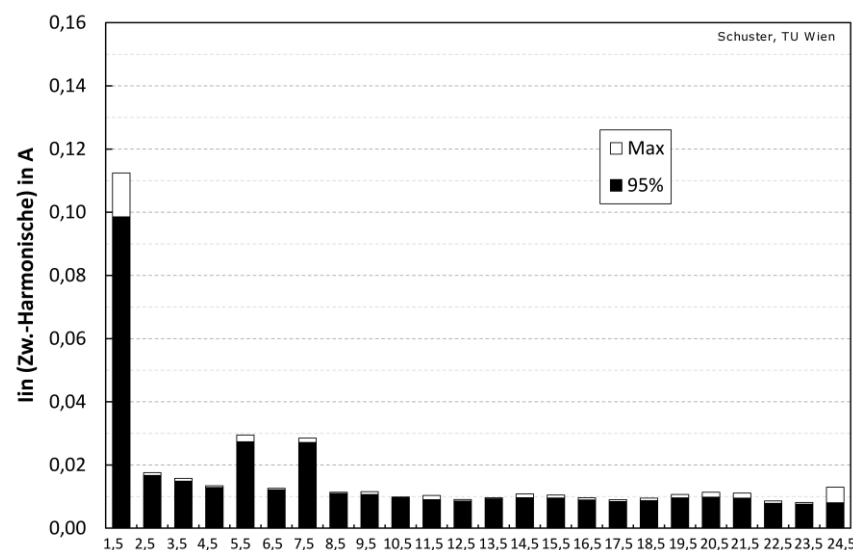


Abbildung 49: Zwischenharmonische Stromüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) einer Vollladung eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie

5.3.2 IHDU

Der Spannungs-Verzerrungsfaktor der Zwischenharmonischen IHDU zeigt Abbildung 50 beispielhaft an der Vollladung eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie. Die anderen IHDU-Verläufe sind wiederum im „Anhang: Diagramme“ in Abbildung GG bis II dargestellt und weisen sehr ähnliches Verhalten auf. **Der IHDU-Verlauf korreliert dabei kaum mit den Ladeverhalten.**

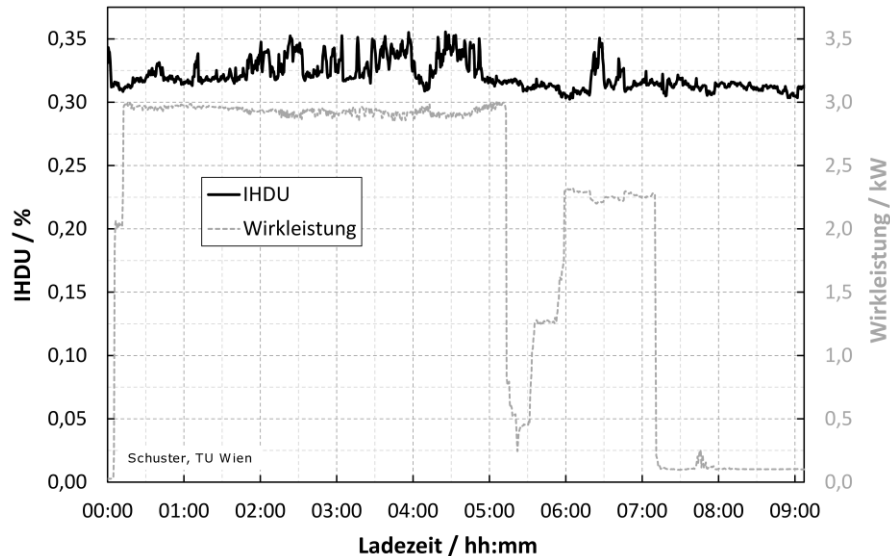


Abbildung 50: Verlauf des Spannungs-Verzerrungsfaktors (IHDU) sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie

5.3.3 Spannung-Zwischenharmonische

Ähnliches Verhalten wie beim IHDU ist auch bei den zwischenharmonischen Spannungsüberschwingungsanteilen zu erkennen. Abbildung 51 zeigt deren Maxima und 95%-Quantilen der Vollladung des „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie. Im „Anhang: Diagramme“ Abbildung JJ bis LL sind die Spannungsüberschwingungsanteile der anderen Elektroautoladevorgänge dargestellt.

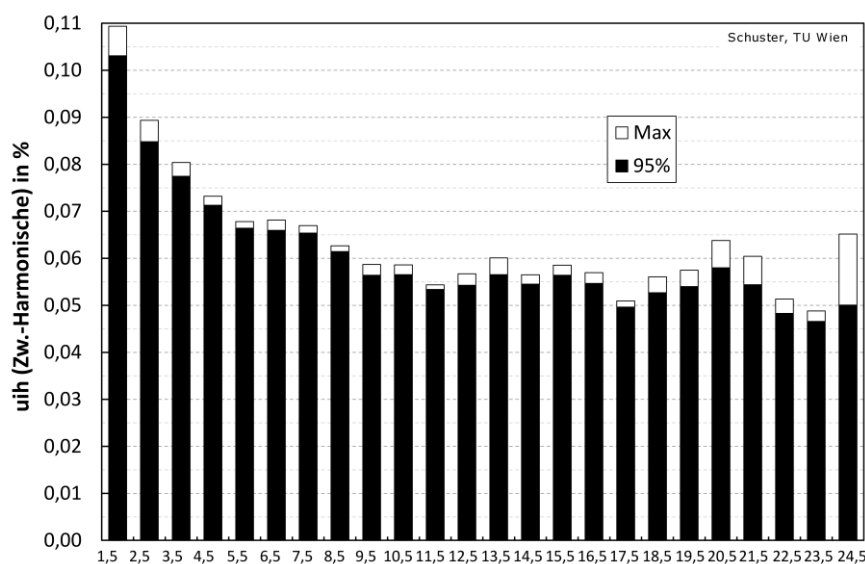


Abbildung 51: Zwischenharmonische Spannungsüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

5.4 Flicker

Als Flicker sind subjektive Eindrücke von Leuchtdichteschwankungen von Glüh- oder Leuchtstofflampen gemeint. Diese Flicker haben immer eine Spannungsänderung als Ursache. Hierbei hängt die Störwirkung von Spannungsschwankungen von der Höhe, der Wiederholungsrate und der Kurvenform der Spannungsänderung ab. Ein Maß für die Störwirkung von Helligkeitsschwankungen ist die Flickerstärke P_{st} und P_{lt} .¹⁴

Hierbei werden die P_{st} -Werte (st ... short time) alle 10 Minuten und die P_{lt} -Werte (lt ... long time) alle 2 Stunden berechnet. Laut DIN EN 50160 müssen 95% der Woche $P_{lt} \leq 1$ sein. Da die Messungen der Vollladungen lediglich 9 Stunden dauerten, kann die Einhaltung dieser Norm nicht kontrolliert werden.

Innerhalb dieser Messperiode waren jedoch alle P_{lt} -Werte unter Eins.

Bei den P_{st} -Flickerwerten gibt es nur entsprechende Grenzwerte, welche für bestimmte Geräte gilt und unter Laborbedingungen gemessen und beurteilt werden (siehe dazu die DIN EN 61000-3-3). Diese Pegelgrenze liegt ebenfalls bei $P_{st} \leq 1$. Aus Abbildung 52 bis Abbildung 55 ist ersichtlich, dass nur bei den Ladevorgängen des „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie diese Grenze teilweise und nur geringfügig überschritten wurde. Hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Messungen in der Modellregion an herkömmlichen Netzsteckdosen erfolgte und daher nicht alle „Power Quality“-Effekte den Elektroautos zu zuschreiben sind.

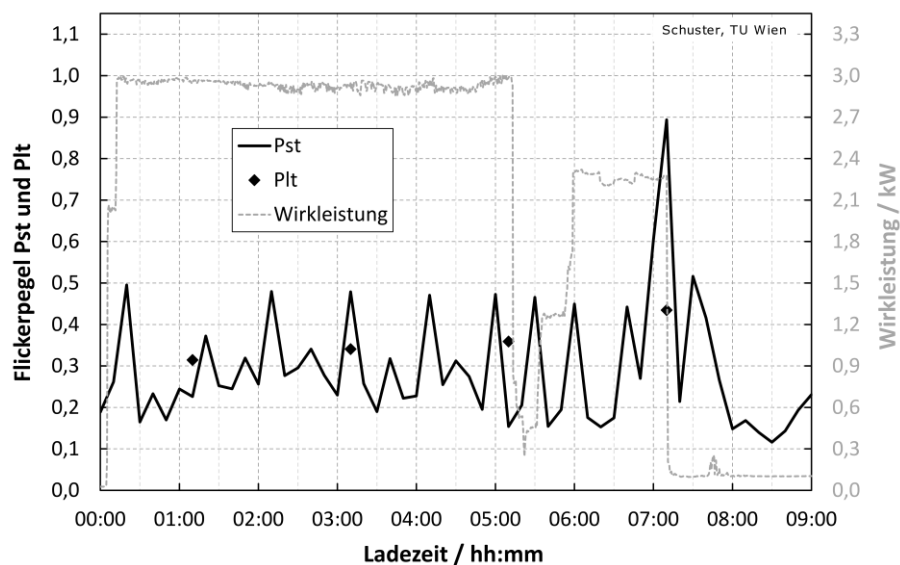


Abbildung 52: Verlauf der Flickerpegel P_{st} und P_{lt} sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie

¹⁴ Für mehr Informationen siehe: J. Schlabbach, W. Mombauer: *Power Quality: Entstehung und Bewertung von Netzrückwirkungen; Netzanschluss erneuerbarer Energiequellen*, S261ff, Berlin: VDE-VERLAG, 2008.

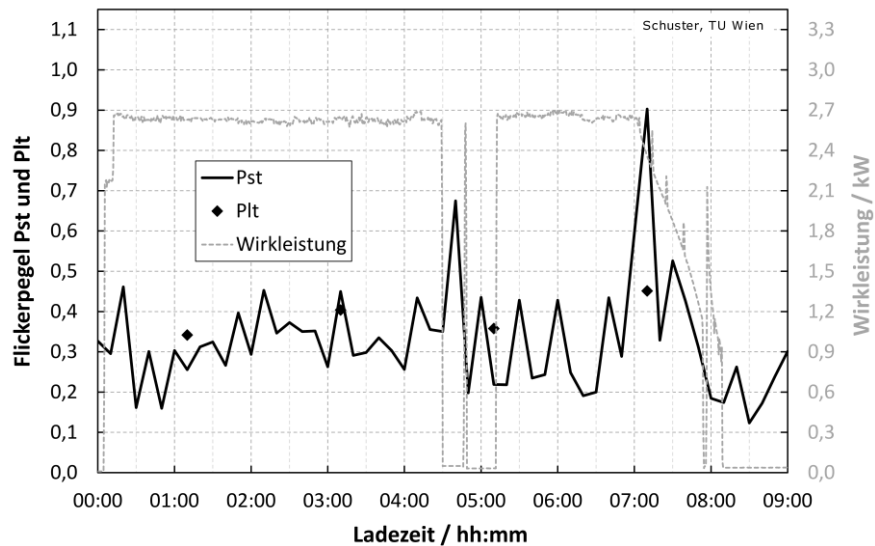


Abbildung 53: Verlauf der Flickerpegel P_{st} und P_{lt} sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

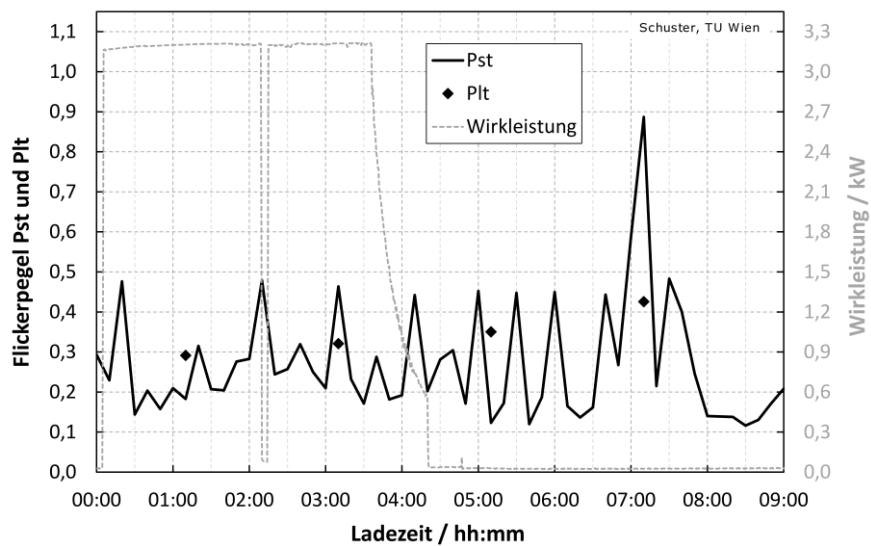


Abbildung 54: Verlauf der Flickerpegel P_{st} und P_{lt} sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

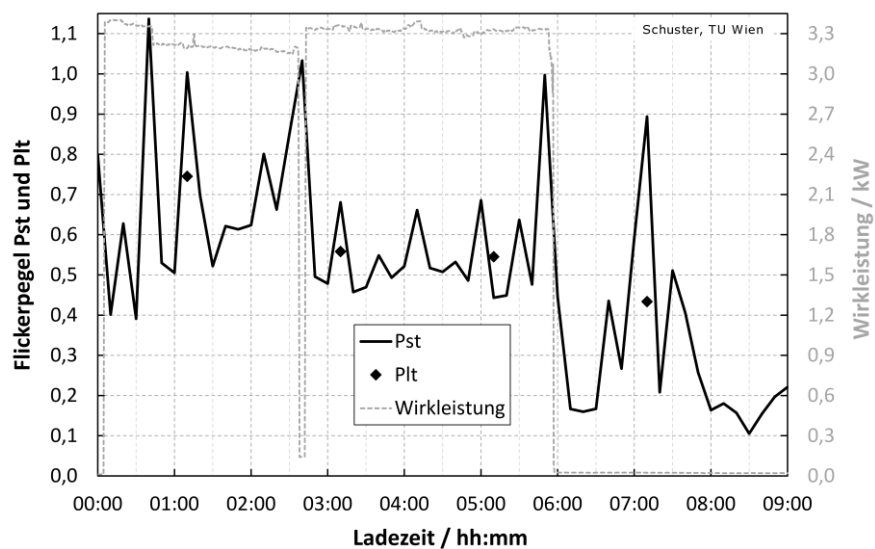


Abbildung 55: Verlauf der Flickerpegel P_{st} und P_{lt} sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie

6 Zusammenfassung

Die Endergebnisse lassen sich in folgende drei Kategorien unterteilen:

- Lade- und
- Verkehrsverhalten sowie
- Power Quality.

6.1 Zusammenfassung des Ladeverhaltens

Das Ladeverhalten setzt sich aus

- Einzelladeprofile,
- Summenladeprofile,
- Verteilungen der Ladebeginnzeitpunkte,
- Ladeenergieaufnahmen und
- Fahrverbräuche zusammen.

Die Einzelladeprofile zeigen, dass diese bei den verschiedenen Fahrzeugtypen sehr unterschiedlich ausfallen können. Maximale Ladeleistung, Verlauf und Ladedauer variieren auch je Ladeeinstellung und Batteriezustand. Der aus netztechnischer Sicht härteste Fall ist dabei der Ladevorgang mit konstanter und fast der Anschlussleistung (hier meist 3,7 kW) entsprechender Ladeleistung bis zum Ende des Ladevorgangs. Außerdem zeigen die ZEBRA-Batteriesysteme, in Bezug auf die Ladecharakteristik, keine signifikanten Unterschiede zu jener der Li-Ionen-Batterien und können daher gemeinsam simuliert werden.

Das durchschnittliche Summenladeprofil aller Tage im Beobachtungszeitraum hat ihren Spitzenwert um rund 16:30 Uhr mit etwa 290 W/FZ. Im Zeitraum von 14 bis 23 Uhr pendelt die normierte Ladeleistung um einen Wert von ca. 250 W/FZ. Die Minimalwerte mit rund 70 W/FZ stellen sich in der Zeit von 5 bis 10 Uhr ein. Die Leistungsspitzen der Summenladeprofile aller einzelnen Testfahrzeuge sind jedoch bei rund 800 kW/FZ. Weiters fällt auf, dass die Verläufe sehr unterschiedlich sind und somit jeder Tester andere Ladegewohnheiten vorweist.

In der Verteilung der Ladebeginnzeitpunkte ist zu erkennen, dass die meisten Ladevorgänge um die Mittagszeit bzw. früher Nachmittag starten, wobei die Tester hierbei sehr unterschiedlich sind. Die Mittelwerte der zurückgelegten Gesamtwege zwischen den einzelnen Ladevorgängen sind moderat und liegen zwischen knapp 20 und 60 km. Weiters zeigt sich, dass zumindest einige Ladevorgänge erst viel später nach Beendigung der Fahrt gestartet wurden und lässt darauf schließen, dass bedarfsgerecht geladen wurde. Also erst nach Erkennen, des niedrigen SOC's (State of Charge = Batterieladestand).

Mit 19% aller Ladevorgänge wurden am häufigsten 10 bis 20% (2,3 bis 4,6 kWh) der Batterienennenergie nachgeladen. Mit üblicher Ladeleistung benötigen diese rund 1 bis 2 Stunden. Annähernd linear fällt die Häufigkeitsverteilung der Ladeenergieaufnahmen mit ansteigendem Energieinhalt aus. Betrachtet man die Vollladungen, so erkennt man, dass die mittleren Entladetiefen (30 bis 70% DOD) mit größter Häufigkeit auftraten.

Bei den Fahrverbräuchen (spezifische Energiebedürfnisse beim Fahren) inklusive aller Verluste ist der im Vergleich sehr niedrige Wert vom „Mitsubishi i-MiEV“ von gut 14 kWh/100km (im Sommer ohne Nebenverbraucher) auffallend. Weiters zeigt sich, dass bei der Sommereinzelmessung ohne Nebenverbraucher der „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie den gleichen Fahrbedarf (etwa 22 kWh/100km) wie mit ZEBRA-Batterie besitzt. Abgesehen von den Stand- bzw. Heizverlusten der ZEBRA-Batterie wäre der Verbrauch also gleich hoch. Der Gesamtbedarf des „Mitsubishi i-MiEVs“ ist im Sommer mit Nebenverbraucher und im Winter ohne Nebenverbraucher mit je rund 19 kWh/100km (+30%) gleich hoch.

Die Bedarfsspitze ergibt sich im Winter mit Nebenverbraucher zu etwa +70% bzw. über 24 kWh/100km.

6.2 Zusammenfassung des Verkehrsverhaltens

Diese Analysen unterteilen sich in

- Standortverteilungen,
- Steh- und Ansteckverhalten sowie
- Fahrtlängenverteilungen.

Aus den Standortverteilungen ist ersichtlich, dass max. 10% aller Autos gleichzeitig in Bewegung und in den Nachtstunden nahezu alle Fahrzeuge abgestellt sind. Da die betrachteten Elektroautos fast ausschließlich von Firmen geleast wurden, ist die Standortverteilung am „Arbeitsplatz“ relativ konstant und liegt zwischen rund 50 bis 65%.

Das Stehverhalten zeigt, dass rund die Hälfte aller Stopps kleiner bzw. größer als 2 Stunden ist. 30% aller Stopps fallen länger als die durch Normalladung übliche Zeitdauer von 5 Stunden aus. Bei etwas über 10% aller Stopps waren die E-Autos angesteckt und erst bei Stehdauern ab 2 Tagen ist die Hälfte dieser Halte mit dem elektrischen Netz verbunden. Dementsprechend sind rund 33% der gesamten Stehdauer die E-Fahrzeuge angesteckt. Dementsprechend sind in rund 33% der gesamten Stehdauern die E-Fahrzeuge angesteckt. Vergleicht man die Mittelwerte aller Stopps (rund 8 Stunden) mit jenen Stopps, bei denen angesteckt wurde (etwa 23 Stunden), so erkennt man, dass tendenziell die längeren Fahrpausen zum Laden genutzt werden. Mit rund 73% aller Ansteckvorgänge ist der „Arbeitsplatz“ auch der Hauptstandort für die elektrische Ladeinfrastruktur. Mit jeweils 40% (6 Tester) wurden max. eine bzw. zwei unterschiedliche Ladestationen benutzt. Ein Tester (6,7%) verwendete sogar sechs verschiedene Ladeorte. Im Mittel wurden 2,13 Ladepunkte/Fahrzeug benutzt.

Die Fahrtlängenverteilung zeigt, dass die kurzen Wege kleiner als 10 km, mit rund 75% aller Fahrten dominieren. Der Mittelwert der Fahrtlängen der E-Autotester ist mit etwa 7,7 km sehr viel kleiner als der des österreichischen MIV (17,5 km). Auch hier zeigt sich, dass das Verhalten der einzelnen Tester durchwegs unterschiedlich ausfällt. Die Maxima variieren zwischen weniger als 20 und fast 85 km. Die E-Fahrzeuge in Salzburg haben durchschnittlich ca. 32,5 km pro Tag zurückgelegt. Die Mittelwerte der Tagesfahrtlängen der E-Autos bewegen sich zwischen rund 15 und ca. 65 km. Der Mittelwert aller Tester ergibt etwas über 4 Fahrten pro mobilen Tag. Die Maximalwerte schwanken jedoch zwischen drei und 14 Wege/Tag. Zusammengefasst weisen die Tester in der Fahrtlängenverteilung ein sehr unterschiedliches Verhalten auf.

6.3 Zusammenfassung der Power Quality

Die umfangreichen Analysen an herkömmlichen Netzsteckdosen deckten folgende Bereiche ab:

- Leistungsfaktoren
- Oberschwingungen
- Zwischenharmonische
- Flicker

Bei allen Elektroautotypen ist der Leistungsfaktor während der Maximalleistung gleich oder fast nahezu 1. Wird die aufgenommene Wirkleistung reduziert, so verschlechtert sich der Leistungsfaktor. Jedoch ist die Wirkleistung bei Faktoren kleiner 0,95 meist deutlich unter 0,9 kW. Speziell beim exponentiellen Abklingen der Ladeleistung (Konstant-Spannungsladephase) wird negative bzw. kapazitive Blindleistung abgefragt und erreicht in diesen Zeiten ihren Spitzenwert.

Bei den maximalen Ladeleistungen sind die THDI-Werte (Gesamtüberschwingungsgehalt des Stroms) zwischen 5 und 10% und damit sehr verzerrungsarm. Wiederrum bei geringeren Leistungen sowie der

exponentiellen Ladeleistungsabnahme erhöhen sich diese Werte. Bis auf den „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie, welcher gar keinen Grenzwert der Stromüberschwingungen verletzt, haben alle anderen Ladegeräte eine zu hohe 23. Stromüberschwingung. Die Autotype („TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie) mit dem schlechtesten Werten hat außerdem die Grenzwerte bei der 17. und 19. Oberwelle überschritten.

Mittels durchgeführter Strombewertung können Tendenzen verstärkter Elektromobilität in den Netzspannungsüberschwingungen aufgezeigt werden. Als Endergebnis zeigen sich die Verhältnisse der gemessenen harmonischen Stromkomponenten zu den jeweilig zulässigen Stromwerten gemäß Spannungsverträglichkeitspegeln. Sehr stark über der Verträglichkeit liegen hierbei bei allen Ladegeräten die 15. und 21. Oberwelle. An dritter Stelle kann noch die 9. Stromoberwelle genannt werden, welche eventuell bei verstärkter Elektromobilität in den Netzen zu Problemen führen kann. Alle anderen Stromoberwellen führen nur zu einer geringen Verschlechterung der „Power Quality“.

Der Spitzenwert der THDU (Gesamtüberschwingungsgehalt der Spannung) ist mit rund 2,7% unter dem Pegelwert und zeigt nur sehr geringe Korrelationen mit den Batterieladevorgängen. Die bei der Strombewertung schon bemerkten Oberwellen mit den Ordnungen 15 und 21, sind schon bei derzeitiger Ausprägung an Verbrauchern geringfügig über den Verträglichkeitspegeln. Die Werte aller anderen Ordnungen kommen meist weit unter den jeweiligen Grenzwerten zu liegen.

Die Ladegeräte zeigen durchwegs unterschiedliche Anteile, besitzen jedoch ihren Maximalwert stets bei der 1,5. Ordnung. Der IHDU-Verlauf (Spannungs-Verzerrungsfaktor der Zwischenharmonischen) korreliert dabei kaum mit den Ladeverhalten.

Innerhalb der Messperiode waren alle P_{it} -Werte (Flicker) unter Eins. Hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Messungen in der Modellregion an herkömmlichen Netzsteckdosen erfolgte und daher nicht alle „Power Quality“-Effekte den Elektroautos zu zuschreiben ist.

7 Abkürzungsverzeichnis

E-Auto	Elektroautos
V2G	Vehicle-to-Grid (Energiefluss vom Elektroauto ins Netz zurück)
Li-Ion	Lithium-Ionen (Batteriebestandteile)
E-FZ	Elektrofahrzeug
PQ	Power Quality
P	Leistung (Power)
GPS	Global Positioning System
BMS	Batteriemanagementsystem
ZEBRA	Zero Emission Battery Research Activities (Natrium-Nickelchlorid-Batterie)
DOD	Depth of Discharge (Entladetiefe)
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
MIV	Motorisierter Individualverkehr
THD	Total Harmonic Distorsion, I für Strom und U für Spannung (Gesamtoberschwingungsgehalt bzw. Verzerrungsfaktor)
IHDU	Individual Harmonic Distortion, U für Spannung
BEV	Batterie Electric Vehicle (Batterieelektrofahrzeug)
SOC	State of Charge (Batterieladestand)

8 Anhang

Messkonzept_Einzelmessungen

Messgeräteaufstellung_Messreihenmessungen

Infobroschüre für TeilnehmerInnen

Anhang: Diagramme

Nach dem gemeinsamen Meeting mit Herrn Alois Schößwendter (ElectroDrive Salzburg), Hans-Jürgen Bacher (ElectroDrive Salzburg), Thomas Rieder (Salzburg Netz) und Andreas Schuster (TU Wien) vom 23/05/2011 in Salzburg wurden folgende Details bzgl. den Einzelmessungen fixiert.

1. Einzelmessung

Testobjekte: Jeweils ein eSmart, TH!NK Li-Ion, iMiev und TH!NK ZEBRA (als Vergleichsobjekt)

Teststrecke: Fixe Strecke (Rund 100 km bzw. 2 Stunden Fahrtzeit), welche Abschnitte mit Autobahn, Überland, kleine Bergauf- und -abfahrten und Stadt enthält. Die Strecke sollte mit GPS-Loggern abgefahren werden.

Testablauf:

- Fahrzeugspezifikationen (inkl. Batteriekennndaten) notieren bzw. abspeichern
- Fahrzeuge müssen vollgeladen sein
- Außentemperatur(z.B.: ZAMG-Station „Salzburg Freisaal“) und Bewölkung (heiter, bewölkt und regnerisch/Schneefall) notieren
- Alle vier Fahrzeuge werden gleichzeitig und hintereinander gefahren
- Ohne zusätzlichen Verbraucher (Heizung, Klima und Radio) fahren
- Gefahrene Kilometer notieren

Messablauf:

- Messung der Wiederaufladung (bis 100%) und Stand-by-Zeit (zusätzlich mind. 1 Stunde) an Netzsteckdose aller vier Fahrzeuge gleichzeitig
- Durchführung durch Salzburg Netz (Thomas Rieder) mit „Power Quality“-Messgeräten (TOP-PAS oder dergleichen)
- Wichtige Messgrößen:
 - Leistungsverlauf (P) in mind. 30 s-Auflösung
 - „Power Quality“-Kenngrößen lt. EN 50160 bzw. IEC 61000-4-30: Oberschwingungen, Zwischenharmonische, Leistungsfaktor, Laständerungen bzw. Flicker und Spannungssymmetrien
- *Optional: Leistungsverlauf (P) direkt an Batterie auch in 30s-Auflösung oder nur Gesamtenergie in die Batterie in gleicher Betrachtungszeit wie oben (Stromzange)*

Zeitraum: Spätestens Mitte Juni (KW24)

Datenaustausch:

- Fahrzeugspezifikationen (inkl. Batteriekennndaten) von Hans-Jürgen Bacher
- Außentemperatur und Bewölkung von Hans-Jürgen Bacher
- Gefahrene Kilometer von Hans-Jürgen Bacher
- GPS-Loggung im CSV, HTML und KML-Format von Hans-Jürgen Bacher
- Leistungsverläufe im CSV-Format von Salzburg Netz (Thomas Rieder)
- „Power Quality“-Kenngrößen von Salzburg Netz (Thomas Rieder)

Weitere Einzelmessungen

Testobjekt: Entweder ein TH!NK Li-Ion oder iMiev, jedoch das gleiche Auto wie bei der ersten Messung.

Teststrecke: Gleiche Strecke wie bei der ersten Messung.

Testablauf:

- Fahrzeugspezifikationen (inkl. Batteriekenndaten) notieren
- Fahrzeug muss vollgeladen sein
- Außentemperatur(z.B.: ZAMG-Station „Salzburg Freisaal“) und Bewölkung (heiter, bewölkt und regnerisch/Schneefall) notieren
- Gefahrene Kilometer notieren
- Folgende unterschiedliche Testumgebungen sollten einzeln gefahren werden:

Außentemperatur Nebenverbraucher	Heiß (>30°C)	Kalt (<0°C)
Ohne Heizung, Klima und Radio	Testfall1¹	Testfall3
Mit Heizung bzw. Klima und Radio	Testfall2	Testfall4

Messablauf:

- Messung der Wiederaufladung (bis 100%) und Stand-by-Zeit (zusätzlich mind. 1 Stunde) an Netzsteckdose.
- Durchführung mittels Leistungslogger CLM1000 Professional Plus und 30 s-Auflösung durch Hans-Jürgen Bacher.
- *Optional: Leistungsverlauf (P) direkt an Batterie auch in 30s-Auflösung oder nur Gesamtenergie in die Batterie in gleicher Betrachtungszeit wie oben (Stromzange)*

Zeitraum: 2 Tage im Sommer (Juli, August) und 2 Tage im Winter (Dezember, Jänner)

Datenaustausch:

- Fahrzeugspezifikationen (inkl. Batteriekenndaten) von Hans-Jürgen Bacher
- Außentemperatur und Bewölkung von Hans-Jürgen Bacher
- Gefahrene Kilometer von Hans-Jürgen Bacher
- Leistungslogger via Post von Hans-Jürgen Bacher (Leistungsverläufe)

¹ Wenn bei der ersten Einzelmessung schon ein heißer Tag (>30°C) ist, dann ist der Testfall1 damit abgehandelt.

Diese Zusammenstellung der erforderlichen Messgeräte dient für den Ankauf aller benötigten Messinstrumente (Logger). Detaillierte Messvorschriften und deren Aufbau wird noch in nachfolgenden Dokumenten näher beschrieben. Folgende Messgerätetypen leisten die erforderlichen Aufgaben der Begleitforschung in der Modellregion ElectroDrive Salzburg.

Leistungslogger

Da die VKW bereits folgenden Leistungslogger im Hause verwendet hat, wurde dieser auch bei der Begleitforschung in VLOTTE erfolgreich eingesetzt. Dieser Gerätetyp hat einwandfrei funktioniert und war in der Bedienung nicht umständlich. Einziger Nachteil ist, dass man das Gerät vor Wasser und Eis schützen muss, wenn es Outdoor verwendet wird. Wie die VLOTTE dieses Problem gelöst hat, siehe Abb. 2.

Gerätbezeichnung:

Leistungsmessgerät CLM1000 Professional Plus von Christ-Elektronik GmbH

Bestellbar beim Webshop¹ für EUR 240,- pro Stück exkl. MwSt. ab 10 Stück Lieferung.

Benötigte Anzahl: 10 Stück.

Dieser Logger ist nur für Schuko-Stecker geeignet. Der Mennekes Elektromobilitäts-Stecker kann bei dieser Messanordnung nur mittels Zwischenkupplung verwendet werden.



Abb. 1: Leistungslogger CLM1000 Professional Plus



Abb. 2: Einsatz des Leistungsloggers bei der VLOTTE

¹ Siehe <http://www.christ-elektronik.de/shop/Messgeraete/Leistungsmessgeraete/CLM1000-P/>

GPS-Logger

Folgender GPS-Logger wurde für diese Begleitforschung neu angekauft und über 3 Wochen in einem Fahrzeug in Wien und Niederösterreich getestet. Die Ergebnisse aus diesem Test waren makellos.

Gerätbezeichnung:

i-Blue 747A+ Bluetooth GPS Trip Recorder (Receiver/ Data Logger) Geotagger Photo Tagger mit KFZ-Adapter

Bestellbar bei Amazon² für EUR 69,90 pro Stück inkl. MwSt.

Benötigte Anzahl: 10 Stück.



Abb. 3: GPS-Logger i-Blue 747A+

Power Quality Messgerät

Gemäß den Aussagen von Hrn. Thomas Rieder bei der Besprechung vom 9. September 2010 in Salzburg wird das Power Quality Messgerät von der Salzburg Netz GmbH zur Verfügung gestellt sowie die Messung durchgeführt. Die Wahl des zu verwendeten Messgeräts obliegt den Mitarbeitern der Salzburg Netz GmbH.

Die Durchführung der Messung wurde bereits im Dokument „Einzelmessung“ vom 21/02/2011 beschrieben. Detaillierte Messvorschriften bzgl. Power Quality können noch in Absprache mit der Salzburg Netz GmbH und der TU Wien direkt definiert werden.

Bedienung bzw. Set-up der Messgeräte

Für das Set-up beider Messgeräte wird ein zusätzliches Schriftstück von Seiten der TU Wien folgen. Die richtige Bedienung des doch etwas komplexen GPS-Loggers wird dabei auch näher beschrieben. Für weitere Fragen darüber hinaus ist die TU Wien (Schuster) immer offen.

Messvorschriften bzw. -aufbau der verwendeten Messgeräte (Leistungs- und GPS-Logger)

Die Einzelmessungen des Ladeverhaltens, Fahrverbrauchs und der Stand-by-Verluste wurden ebenfalls im Dokument „Einzelmessung“ vom 21/02/2011 genau definiert. Die Vorgehensweise bei den Messreihenmessungen wird in einem zusätzlichen Dokument noch genau beschrieben.

²http://www.amazon.de/Bluetooth-Recorder-Geotagger-KFZ-Adapter-Wegpunkte/dp/B002V87A9I/ref=sr_1_1?ie=UTF8&s=ce-de&qid=1301921806&sr=8-1

Sehr geehrte Damen und Herren!

ElectroDrive Salzburg ist bereits die zweite Modellregion für Elektromobilität im Rahmen der erfolgreichen Ausschreibungen des Klima- und Energiefonds in Österreich. Den Anfang machte ein Jahr zuvor die Region Vorarlberg mit dem innovativen Projekt „VLOTTE“. Diese Modellregionen liefern wertvolle Erfahrungen für Wirtschaft und Forschung, wie Ingmar Höbarth, Geschäftsführer des Klima- und Energiefonds, verdeutlicht: „In den Modellregionen wird Zukunft gelebt. Wir ermöglichen damit Innovationen und Chancen für die österreichische Wirtschaft, gewinnen wesentliche Erkenntnisse für eine breite Markteinführung der E-Mobilität und tragen somit zur Erreichung der Klimaziele bei“.

Begleitforschung der TU Wien

Zusätzlich zur Bereitstellung der Elektrofahrzeuge und der Installation neuer erneuerbarer Energiequellen ist es die Aufgabe jeder Modellregion eine Begleitforschung durchzuführen. Für beide Regionen Vorarlberg und Salzburg ist jeweils die TU Wien, im Speziellen das Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe, mitverantwortlich.

Das Arbeitsgebiet „Elektrische Anlagen“ im Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe beschäftigt sich mit dem gesamten technischen Spektrum von der Stromerzeugung, der Energieübertragung und -verteilung bis zur Nutzung des elektrischen Stroms beim Endkunden. Wichtige Schlagworte der Forschungstätigkeiten sind:

- Nachhaltige, effiziente und dezentrale Energiewandlung und –speicherung
- Innovative Netzstrukturen und deren Management (Systemsicherheit und Zuverlässigkeit)
- Elektromagnetische Verträglichkeit, Netzzrückwirkungen und Blitzforschung
- End-Use-Efficiency und Elektrische Mobilität

Seit 2007 laufen am Institut intensive Forschungstätigkeiten bezüglich der neuen elektrischen Mobilität. Neben vielen Forschungsprojekten hat das Institut vor rund 6 Monaten die Begleitforschung in der Modellregion VLOTTE abgeschlossen. Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse aus diesem Projekt kurz dargestellt.

Ergebnisse aus VLOTTE

In Vorarlberg wurden die neuen Elektrofahrzeuge der ersten Generation zumeist gewerblich genutzt. Der gesamte Endbericht sowie die wesentlichen Ergebnisse der E-Mobilitäts-Modellregion VLOTTE sind unter <http://www.e-connected.at> downloadbar. Folgend sind die wichtigsten Ergebnisse kurz zusammengefasst:

- Realer Fahrverbrauch bei kombinierter Stadt-, Land- und Bergfahrt liegt bei 20 kWh/100km (mit Aufladeverluste rund 23 kWh/100km).
- Zebra-Batterietechnologie ist nur für Vielfahrer eine effiziente Lösung.
- Ungesteuerte Ladeprofilspitzen der Firmenflotten können gleichzeitig zur Stromverbrauchsspitze am Abend auftreten.
- Ladeinfrastruktur von Firmenfahrzeugen benötigt nur wenige Standorte für Betrieb.

Forschungsziele mit ElectroDrive Salzburg

In der Modellregion Salzburg werden verstärkt Elektrofahrzeuge der neuen Generation, welche mit Li-Ionen-Batterien ausgestattet sind, zum Einsatz kommen. Daher stehen der reale Fahrverbrauch und die Ladecharakteristiken dieser Fahrzeugtypen im Vordergrund.

Für die intelligente Ladeinfrastrukturausbauplanung sowie Erhebung notwendiger Batteriegrößen und Netzausbauten ist es unerlässlich die absolvierten Fahrten mittels GPS- und Leistungslogger zu erfassen. Diese Messgeräte sollen Ihren Umgang mit dem Fahrzeug möglichst nicht stören, aber auch verlässlich die Daten aufzeichnen. Daher bitten wir Sie, auch die unten angeführten **Hinweise**, genau durchzulesen und zu befolgen. Vielen Dank dafür schon mal im Vorhinein.

Alle Messgeräte werden von Mitarbeitern der ElectroDrive Salzburg im Fahrzeug installiert, deren Daten ausgelesen und auch deinstalliert. Sämtliche Daten werden in anonymisierter Form an die TU Wien weitergeschickt und methodisch analysiert. Somit ist keine Verletzung des Datenschutzrechts zu befürchten.

Folgend nochmals die wichtigsten Forschungsziele in der Modellregion Salzburg, welche ohne Ihrer Unterstützung nicht erreichbar wären:

- Fahrzeugkennndaten (Fahrverbrauch, Aufladeverluste und Selbstentladung)
- Ladeverhalten (Ladeleistungsverläufe, Entladetiefenverteilung und Summeneffekte an bestimmten Netzknoten)
- Fahr- und Standverhalten (Verteilungen der Kilometerleistungen, Stehdauern und Stehorten sowie die Ladestellenausbauplanung)
- Netzbeeinflussungen (Power Quality im Niederspannungsnetz)

Analyse des eigenen Fahr-, Energie- und Emissionsverbrauchsverhaltens

Als Belohnung für Ihre Mitarbeit an dem wichtigen österreichischen Forschungsthema erstellt die TU Wien auf Ihren Wunsch im Anschluss Ihrer Messung einen kleinen Kurzbericht über Ihr eigenes Fahr-, Energie- und Emissionsverbrauchsverhalten. Mit diesem erkennen Sie auf einen Blick um wie viel Sie Ihre Umweltbelastung (CO₂-Emissionen) durch den Umstieg auf die Elektromobilität reduzieren können.

Kontakt

Falls Sie noch Fragen oder Anregungen haben scheuen Sie nicht entweder ElectroDrive Salzburg oder die TU Wien zu kontaktieren.

ElectroDrive Salzburg:

Herr Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Bacher
0662 88841334
Bayerhamerstraße 16,
5020 Salzburg
hans-juergen.bacher@electrodrive-salzburg.at

TU Wien:

Herr Dipl.-Ing. Andreas Schuster
01 58801 370 134
Gußhausstraße 25/E370-1,
1040 Wien
andreas.schuster@tuwien.ac.at

Wichtige Hinweise für die Testphase

Die Mitarbeiter der ElectroDrive Salzburg installieren in und an Ihr Fahrzeug für eine Testreihe von vier Wochen einen GPS- und Leistungslogger. Wir bitten Sie, diese Messanordnung in keinsten Weise zu ändern und bei der Verwendung auf folgende Hinweise zu achten.

Richtige Funktionsweise des GPS-Loggers:

Bitte ändern Sie niemals die Position des GPS-Loggers. Des Weiteren legen Sie bitte keine Gegenstände auf bzw. kein Handy neben den Logger. Dies würde den Empfang des Geräts merklich beeinflussen und damit die ganze Messung wesentlich verfälschen.

Abb.1 zeigt den GPS-Logger bei richtiger Funktionsweise während der Fahrt (Abb.2 bei einem Fehlzustand). Folgende LED-Zustände sind während der Fahrt nicht erlaubt:

- Akku-Status LED: Nur Rot blinkend → USB-Anschluss zum Zigarettenanzünder defekt. Bitte den Stecker kontrollieren.
- GPS-Status LED: Rot blinkend oder leuchtend → Speicher voll bzw. fast voll. Bitte die Ansprechperson bei Elektrodrive Salzburg kontaktieren.



Abb.1: GPS-Logger während der Fahrt (richtig)



Abb.2: GPS-Logger während der Fahrt (falsch)

Richtige Funktionsweise des Leistungsloggers:

Bitte laden Sie Ihr Elektroauto während der Testphase ausschließlich mit dem Ladekabel, welches mit dem Leistungslogger verbunden ist. Auch wenn Sie an „fremden“ oder öffentlichen Ladestellen laden.

Weiters verwenden Sie bitte das Ladekabel mit dem Leistungslogger nur fürs Laden des eigenen Elektrofahrzeugs. Kein anderes Fahrzeug oder Gerät darf damit angesteckt werden. Die zwei obig beschriebenen Fehlbedienungen würden die gesamte Messung nichtig machen und sind daher unbedingt zu vermeiden.



Abb.3: Leistungs-Logger

Das Gerät besitzt keinen Schutz gegen Wasser/Eis. Daher das Gehäuse bitte vor Wasser und Eis schützen. Sonst ist dieses Gerät sehr robust und nicht fehleranfällig.

Notiz besonderer Vorkommnisse:

Wir bitten Sie alle besonderen oder nicht alltäglichen Vorkommnisse folgend unter „Bemerkungen während der Testphase“ mit zu notieren. Beispielsweise, wenn Sie

- an einer öffentl. oder nicht bei der „Heimladestation“ Ihr Auto anstecken,
- auf ein anderes Verkehrsmittel umsteigen (wenn ja, welches), oder
- sehr lange im Stau (>10 Minuten ohne Bewegung) stehen, oder
- sonstiges dergleichen.

Notieren Sie bitte in diesen Fällen Art, Datum und Uhrzeit des Vorkommnisses.

Tritt ein sichtbarer Fehlerfall bei den zwei Messgeräten auf, kontaktieren Sie bitte die ElectroDrive Salzburg (Hans-Jürgen Bacher, 0662 88841334) umgehend.

Vielen Dank für Ihre tatkräftige Unterstützung. Ihr Beitrag hilft der Forschung und Entwicklung nachhaltiger Energielösungen für eine umweltfreundliche Zukunft.

Mit freundlichen Grüßen

Ing.
Alois Schößwendter

Em.O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing.
Günther Brauner

Geschäftsführer ElectroDrive Salzburg

Inst. f. Energiesysteme u. Elektrische Antriebe

Fragebogen

GPS-ID:	
BEV-Typ (inkl. Batt.-Größe):	
Nutzung hauptsächlich privat oder geschäftlich:	

Wichtigste Stehplätze:

... zu Hause	
Adresse	
Straße:	
Haus-Nr:	
PLZ, Ort:	
Stehplatzart	
☐	Privater Garagen- oder Stellplatz (überdacht)
☐	Privater Stellplatz (nicht überdacht)
☐	Öffentlicher Garagen- od. Stellplatz (überdacht)
☐	Öffentlicher Stellplatz – Straßenrand (nicht überdacht)

... am Arbeitsplatz / am Ausbildungsort	
Adresse	
Straße:	
Haus-Nr:	
PLZ, Ort:	
Stehplatzart	
☐	Privater Garagen- oder Stellplatz (überdacht)
☐	Privater Stellplatz (nicht überdacht)
☐	Öffentlicher Garagen- od. Stellplatz (überdacht)
☐	Öffentlicher Stellplatz – Straßenrand (nicht überdacht)

... weitere - Welche Art?:	
Adresse	
Straße:	
Haus-Nr:	
PLZ, Ort:	
Stehplatzart	
☐	Privater Garagen- oder Stellplatz (überdacht)
☐	Privater Stellplatz (nicht überdacht)
☐	Öffentlicher Garagen- od. Stellplatz (überdacht)
☐	Öffentlicher Stellplatz – Straßenrand (nicht überdacht)

... weitere - Welche Art?:	
Adresse	
Straße:	
Haus-Nr:	
PLZ, Ort:	
Stehplatzart	
☐	Privater Garagen- oder Stellplatz (überdacht)
☐	Privater Stellplatz (nicht überdacht)
☐	Öffentlicher Garagen- od. Stellplatz (überdacht)
☐	Öffentlicher Stellplatz – Straßenrand (nicht überdacht)

Datum und Uhrzeit der Installation	
Km-Stand bei Installation	
Datum und Uhrzeit der Deinstallation	
Km-Stand bei Deinstallation	

Bemerkungen während der Testphase

Datum	Uhrzeit	Art des Vorkommnisses

Sonstiges

Ergebnisse – Ladeverhalten

Summenladeprofile

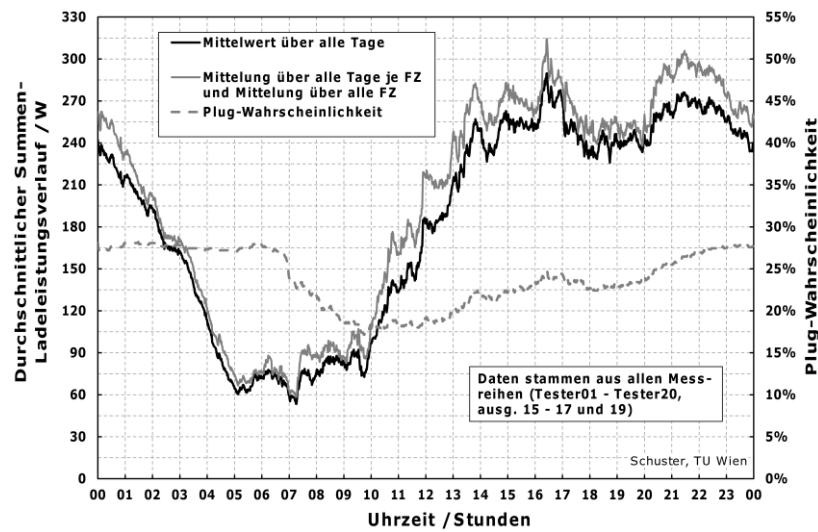


Abbildung A: Durchschnittlicher Summenladeleistungsverlauf aller Messreihen unterschiedlich gemittelt sowie die Plug-Wahrscheinlichkeit, welche die mittlere Aufteilung der am elektrischen Netz angesteckten FZ angibt

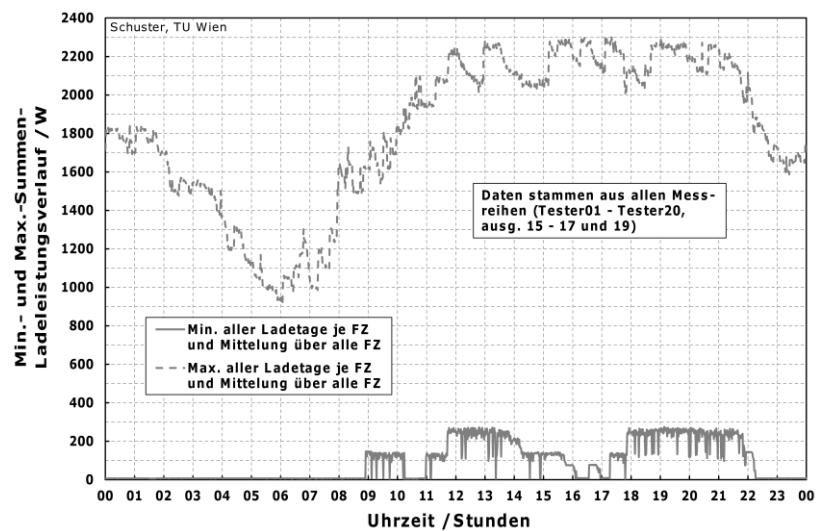


Abbildung B: Minimaler und maximaler Summenladeleistungsverlauf aller Messreihen

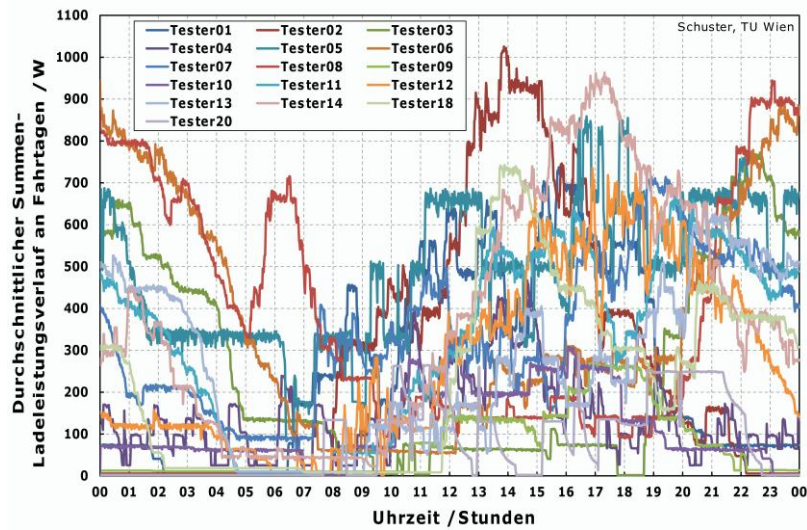


Abbildung C: Durchschnittlicher Summenladeleistungsverlauf aller Tester bezogen auf alle Fahrtage (Tage an denen das FZ gefahren wurde)

Ladebeginnverteilungen

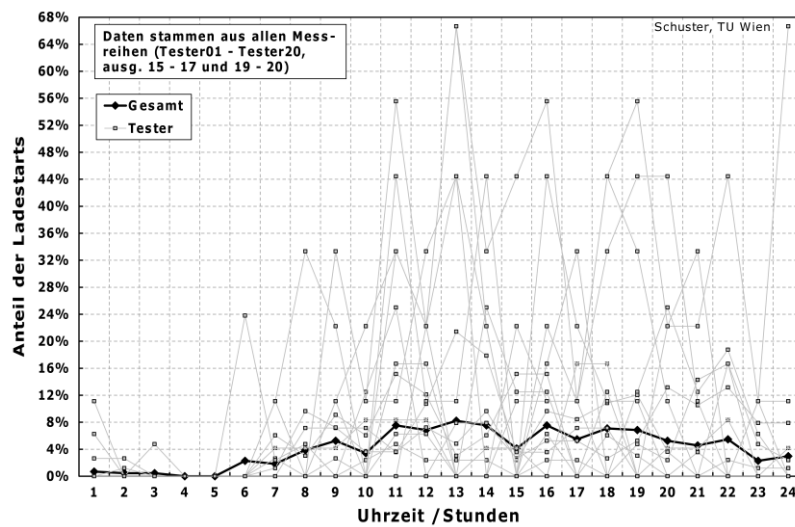


Abbildung D: Anteil aller Ladestartzeitpunkte im Stundenraster aller Tester einzeln und im Durchschnitt

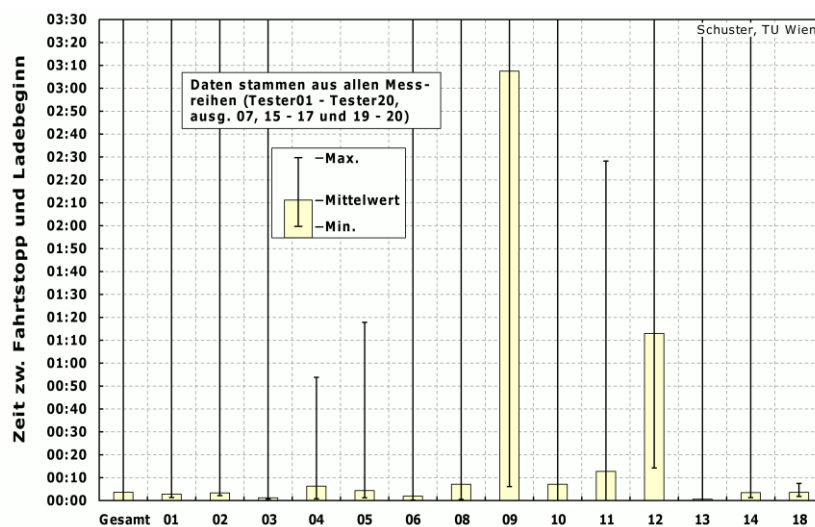


Abbildung E: Minimale, mittlere und maximale Zeit zwischen Fahrtstopp und Ladebeginn aller Tester einzeln sowie Gesamt

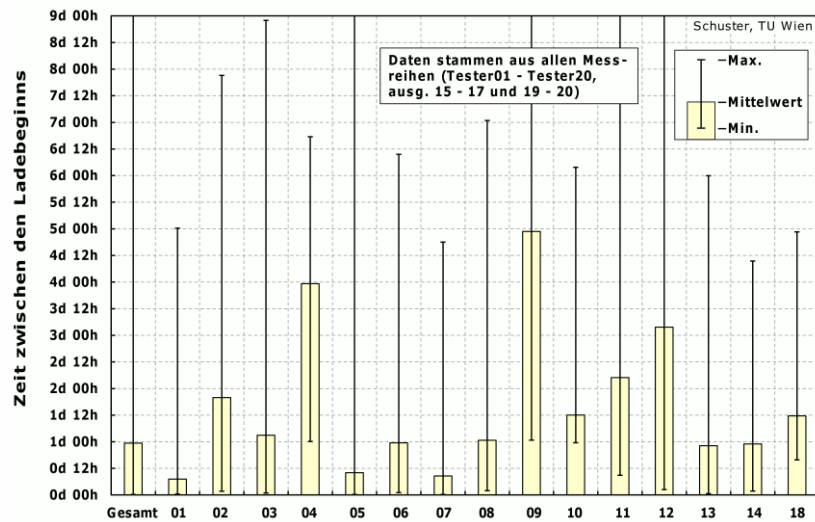


Abbildung F: Minimale, mittlere und maximale Zeit zwischen den Ladestarts aller Tester einzeln sowie Gesamt

Fahrverbräuche

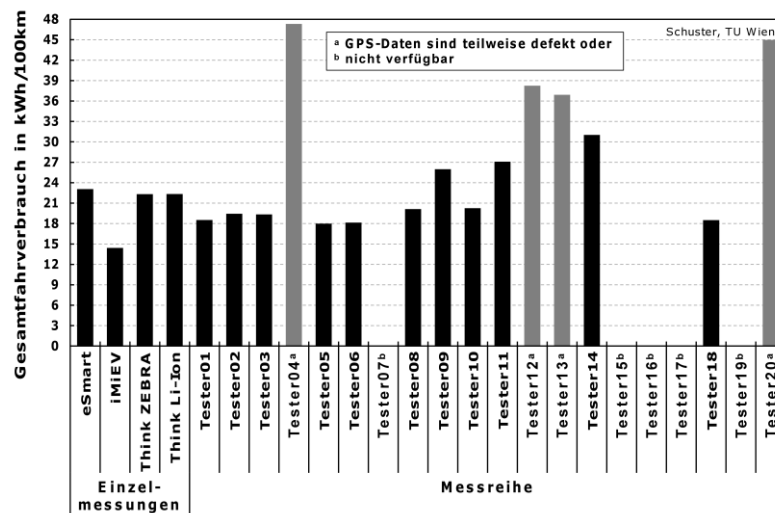


Abbildung G: Gesamtfahrverbräuche (inkl. aller Verluste) aller Einzelmessungen und Messreihen inkl. nicht valider Daten

Ergebnisse – Verkehrsverhalten

Standortverteilungen

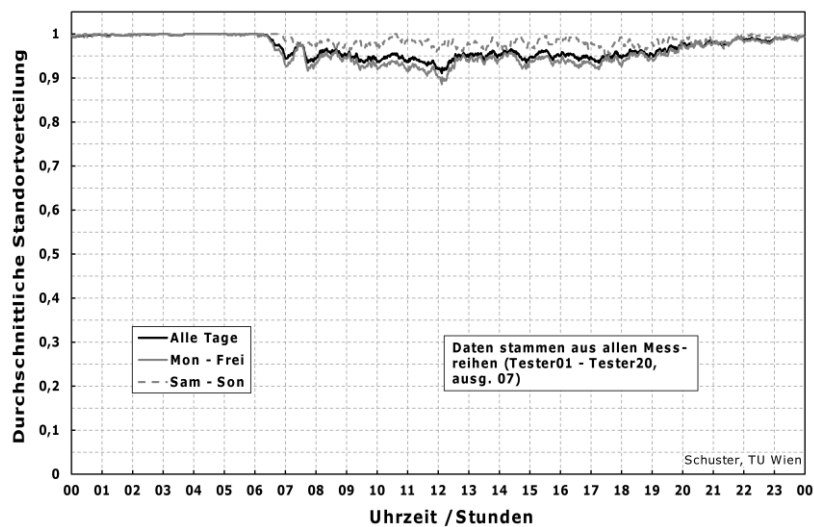


Abbildung H: Durchschnittliche Standortverteilung aller Orte aufgespalten in alle Tage, Montag bis Freitag und Samstag bis Sonntag

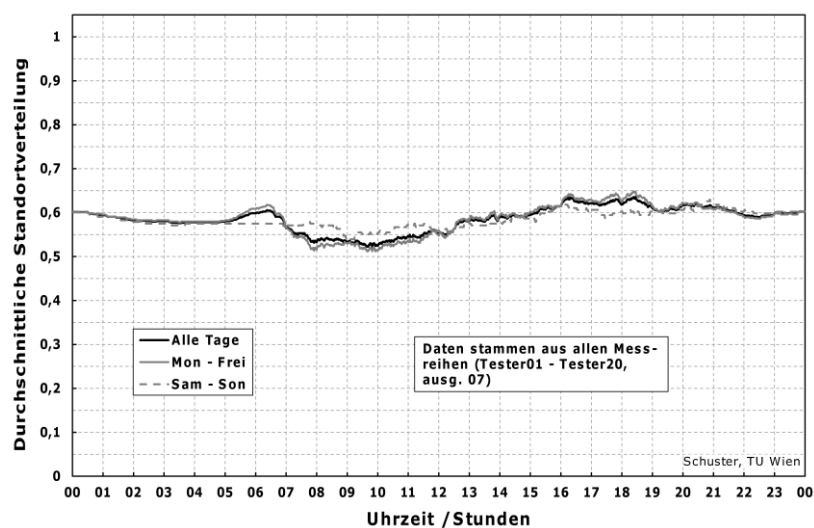


Abbildung I: Durchschnittliche Standortverteilung am Arbeitsplatz (Hauptstandort) aufgespalten in alle Tage, Montag bis Freitag und Samstag bis Sonntag

Steh- und Ansteckverhalten

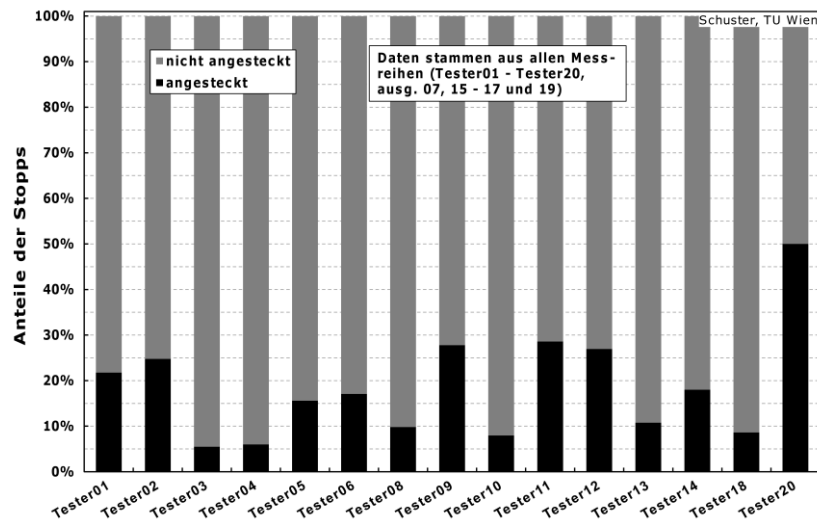


Abbildung J: Aufteilung der Stops in angesteckt und nicht angesteckt aufgespaltert je nach Tester

Fahrtlängenverteilungen

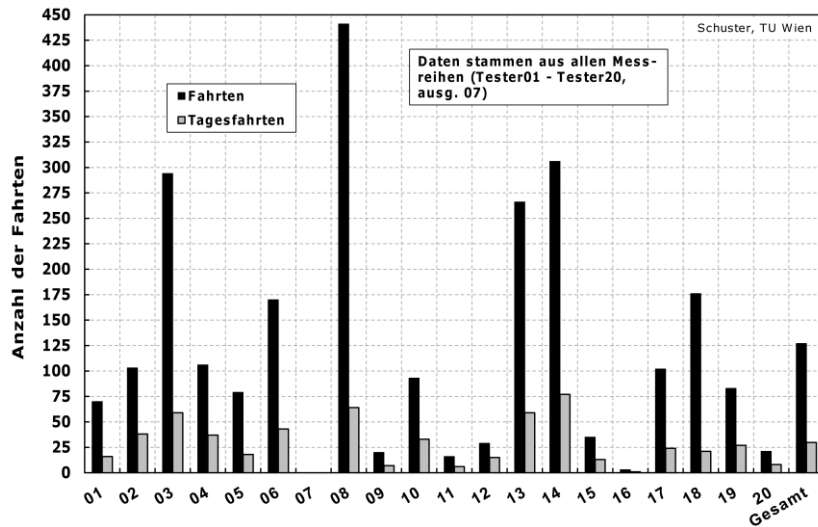


Abbildung K: Anzahl der Fahrten und Tagesfahrten aufgespaltert je Tester und Gesamtheit

Ergebnisse – Power Quality

U-I-Profile

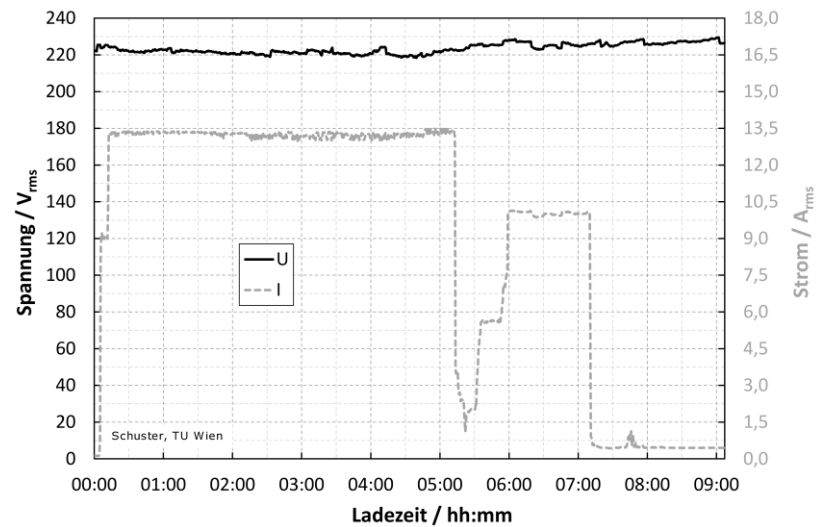


Abbildung L: Spannungs- und Stromverlauf einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie

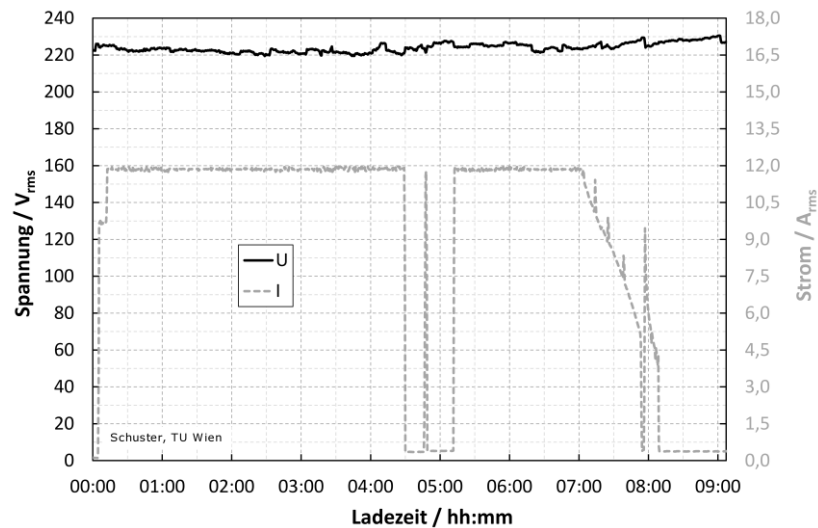


Abbildung M: Spannungs- und Stromverlauf einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

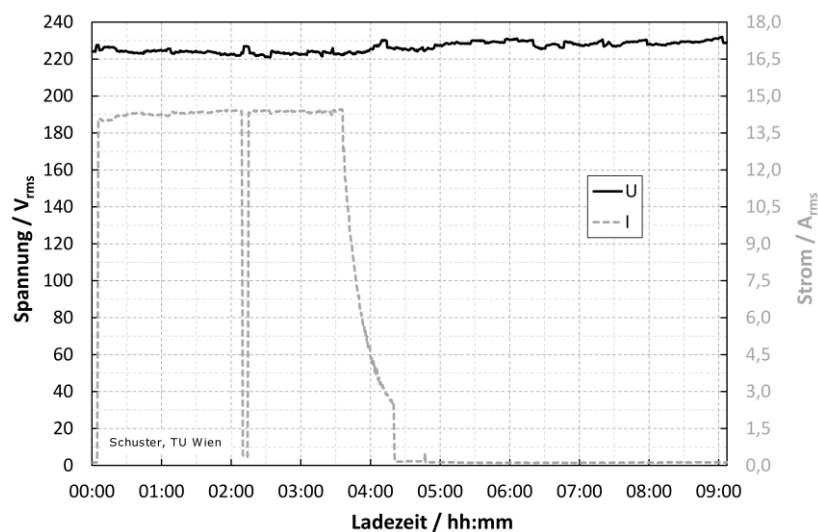


Abbildung N: Spannungs- und Stromverlauf einer Vollladung eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

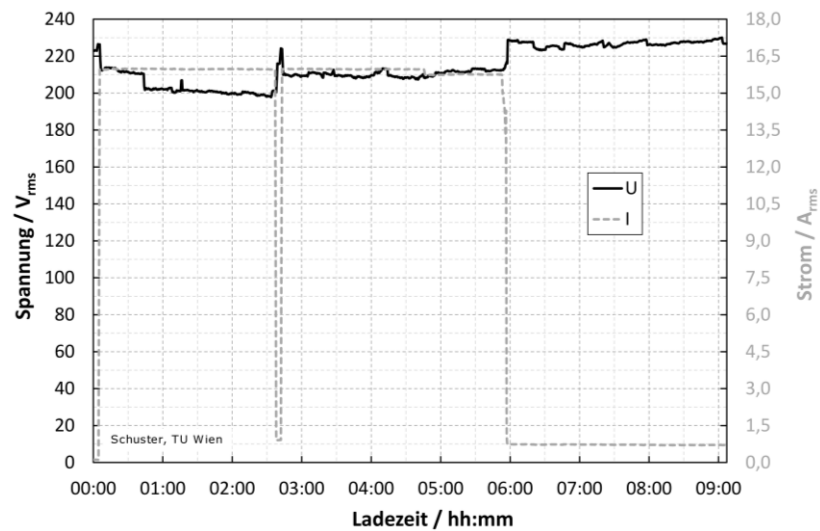


Abbildung O: Spannungs- und Stromverlauf einer Vollladung eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie

Oberschwingungen

Stromüberschwingungen

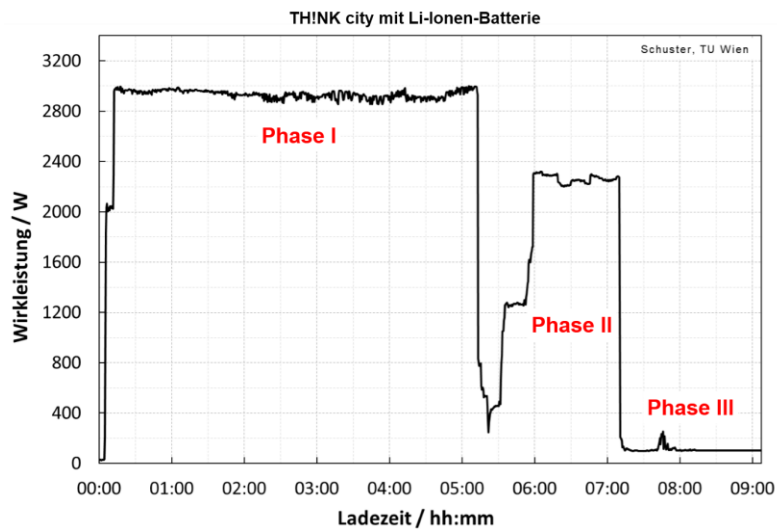


Abbildung P: Einteilung der Stromüberschwingungsanalyse in drei Teilphasen bei einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie

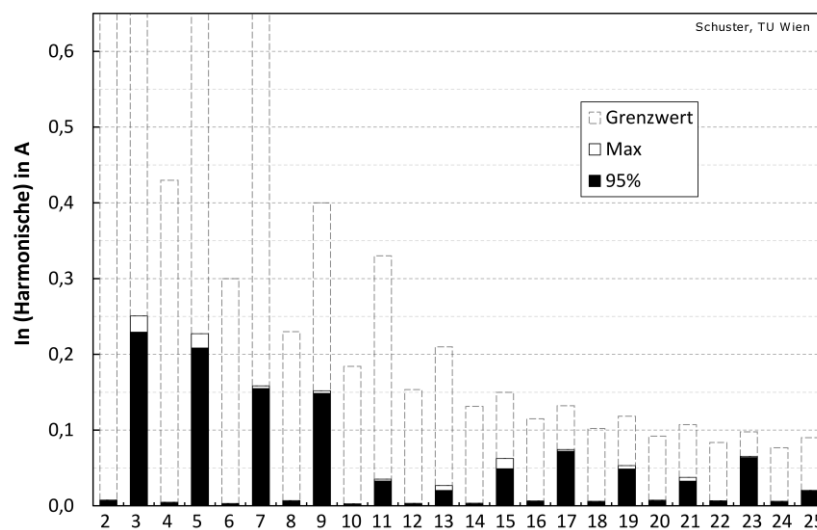


Abbildung Q: Harmonische Stromüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-3-2 Klasse A einer Vollladung (Phase II) eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie

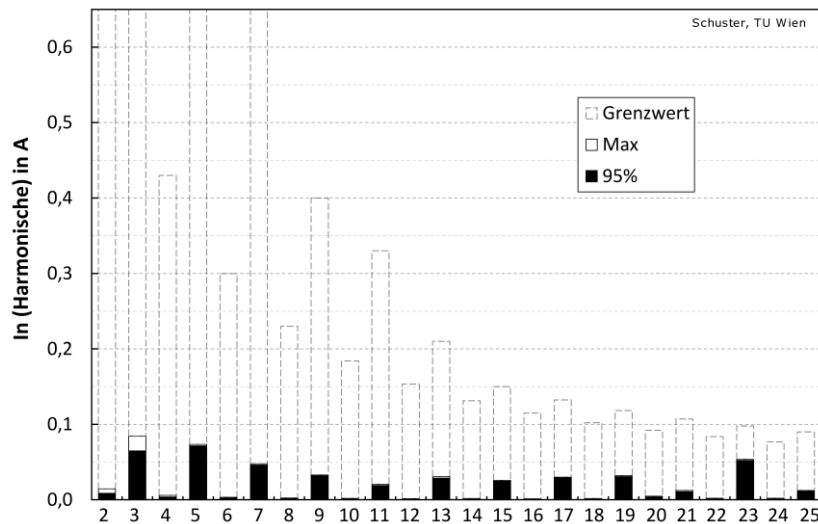


Abbildung R: Harmonische Stromüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-3-2 Klasse A einer Vollladung (Phase III) eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie

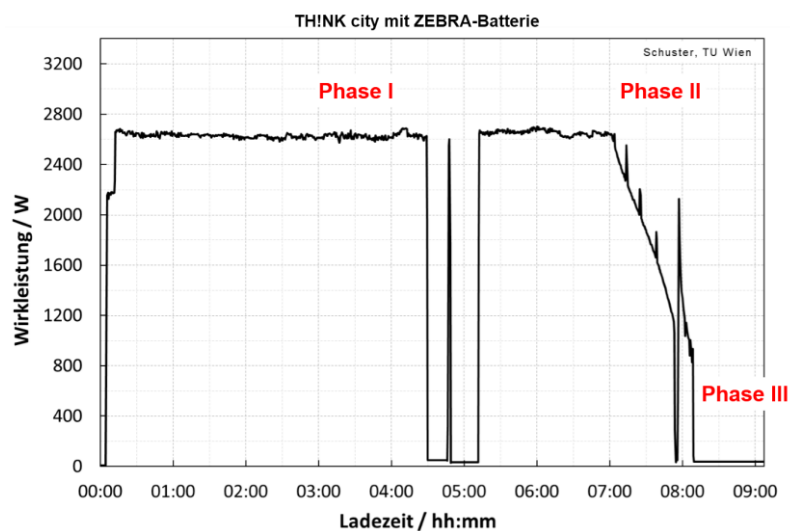


Abbildung S: Einteilung der Stromüberschwingungsanalyse in drei Teilphasen bei einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

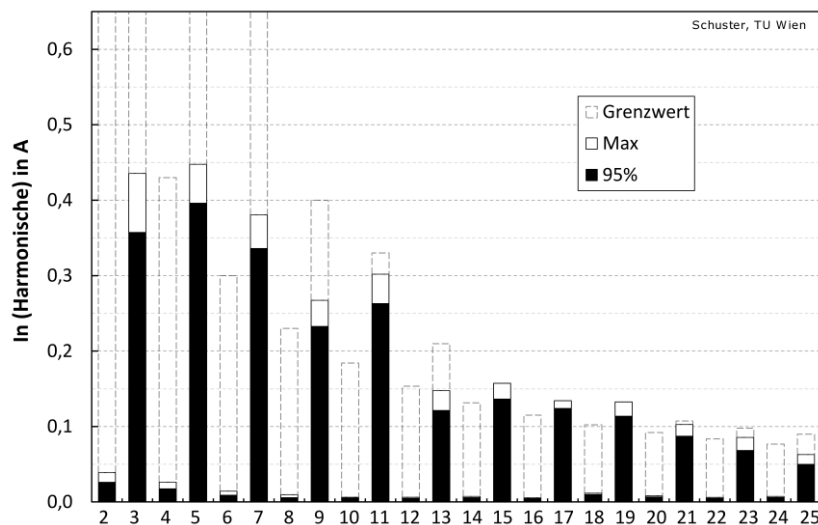


Abbildung T: Harmonische Stromüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-3-2 Klasse A einer Vollladung (Phase I) eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

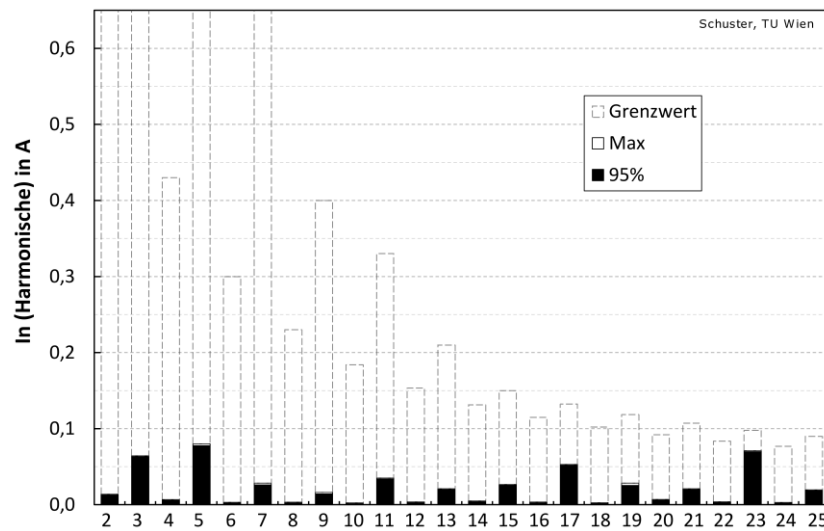


Abbildung U: Harmonische Stromüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-3-2 Klasse A einer Vollladung (Phase III) eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

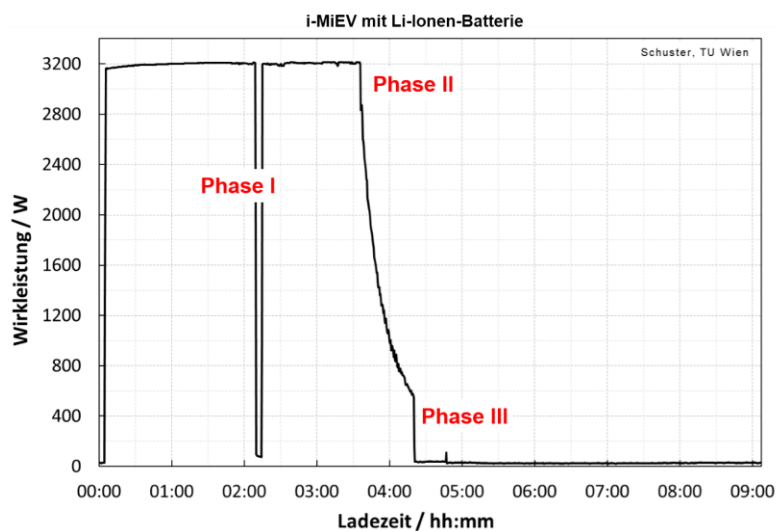


Abbildung V: Einteilung der Stromüberschwingungsanalyse in drei Teilphasen bei einer Vollladung eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

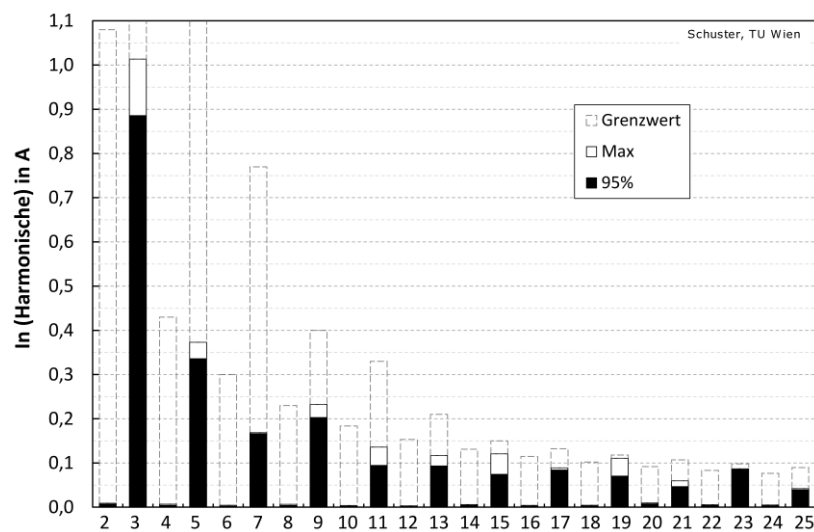


Abbildung W: Harmonische Stromüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-3-2 Klasse A einer Vollladung (Phase II) eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

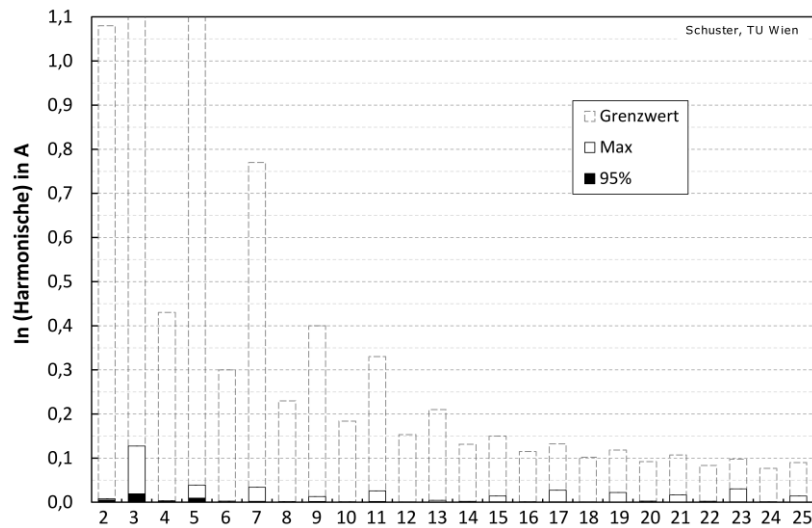


Abbildung X: Harmonische Stromüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-3-2 Klasse A einer Vollladung (Phase III) eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

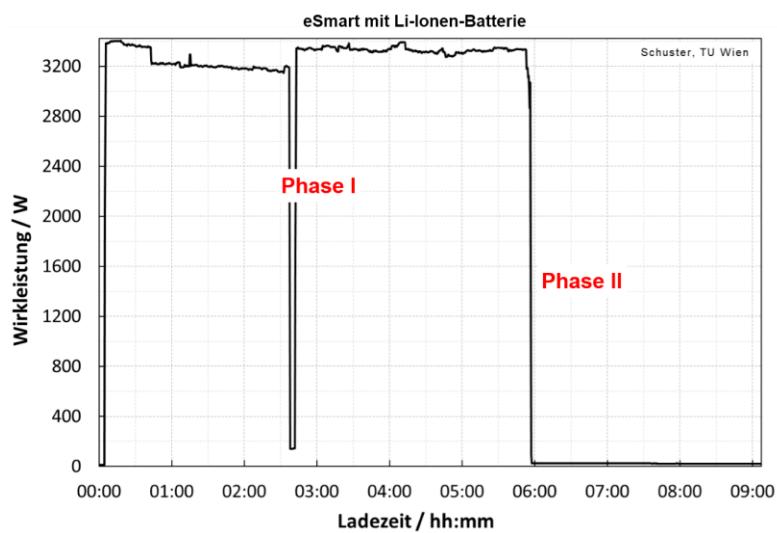


Abbildung Y: Einteilung der Stromüberschwingungsanalyse in drei Teilphasen bei einer Vollladung eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie

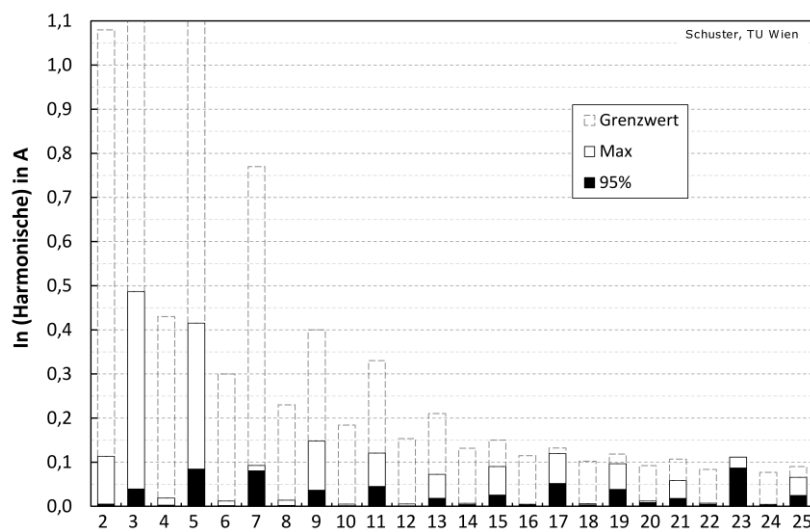


Abbildung Z: Harmonische Stromüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-3-2 Klasse A einer Vollladung (Phase II) eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie

THDU

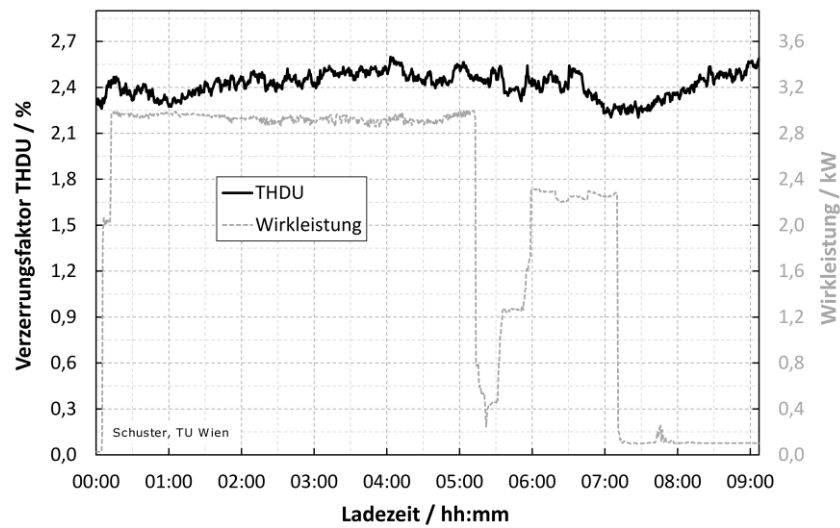


Abbildung AA: Verlauf des Spannungs-Verzerrungsfaktors (THDU) sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie

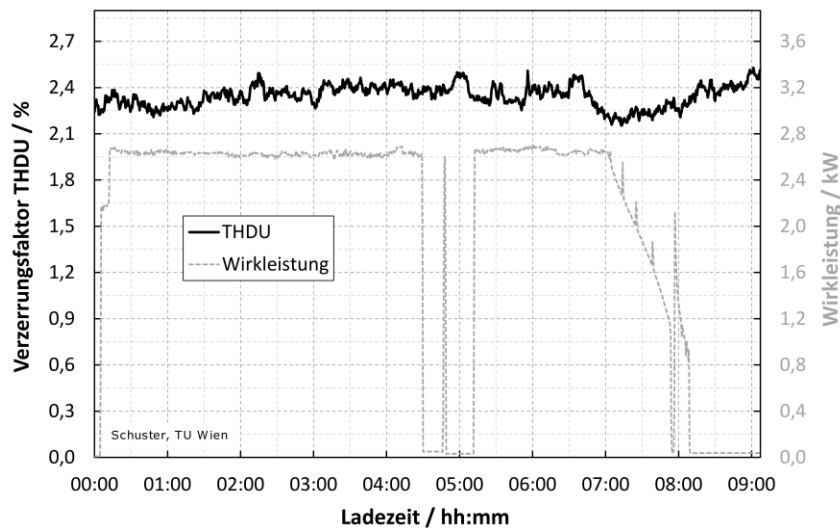


Abbildung BB: Verlauf des Spannungs-Verzerrungsfaktors (THDU) sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

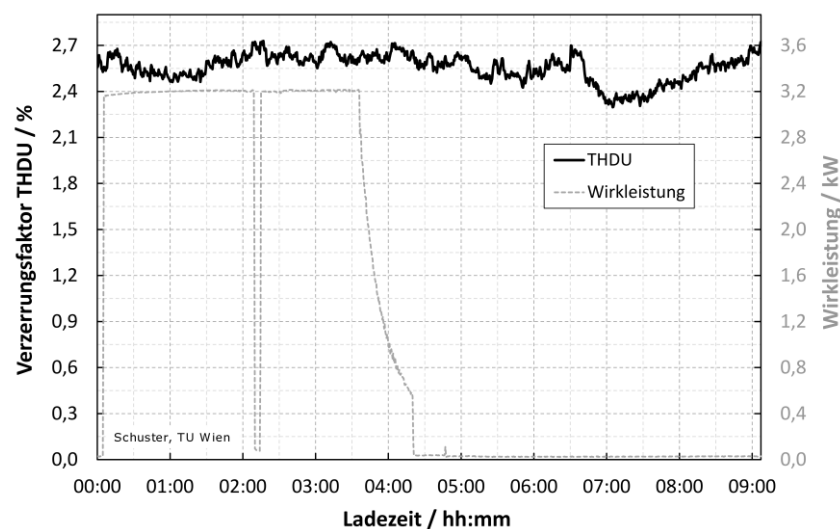


Abbildung CC: Verlauf des Spannungs-Verzerrungsfaktors (THDU) sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

Spannungsüberschwingungen

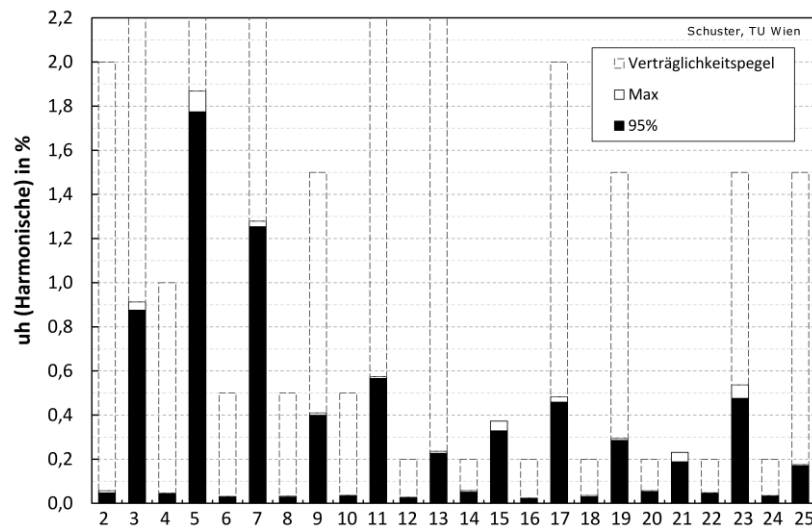


Abbildung DD: Harmonische Spannungsüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile jeweils 10min-Mittelwerte) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-2-2 einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie

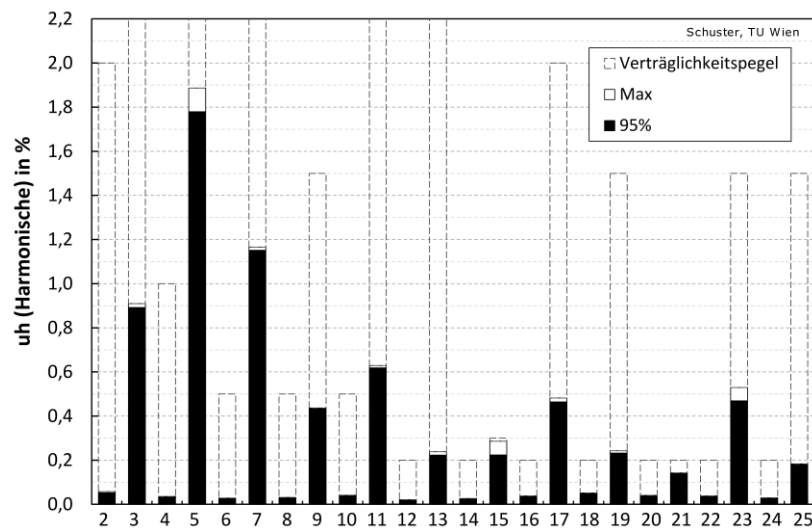


Abbildung EE: Harmonische Spannungsüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile jeweils 10min-Mittelwerte) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-2-2 einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

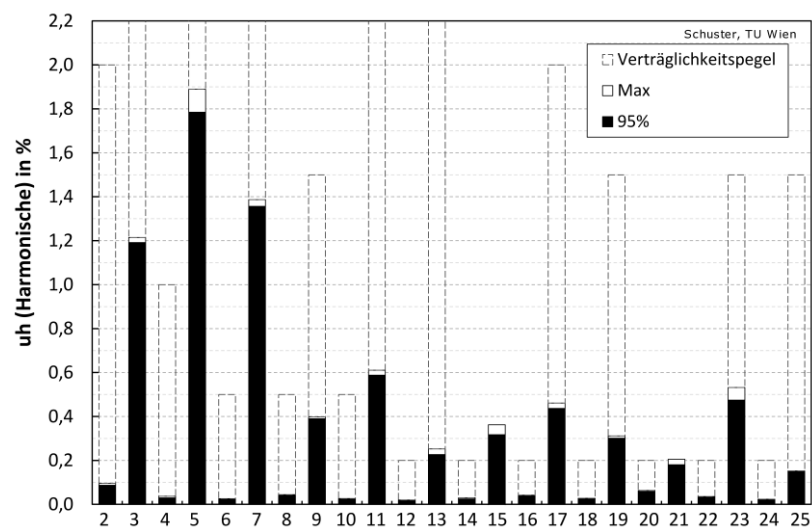


Abbildung FF: Harmonische Spannungsüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile jeweils 10min-Mittelwerte) sowie deren Grenzwerte gemäß EN 61000-2-2 einer Vollladung eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie

Zwischenharmonische

IHDU

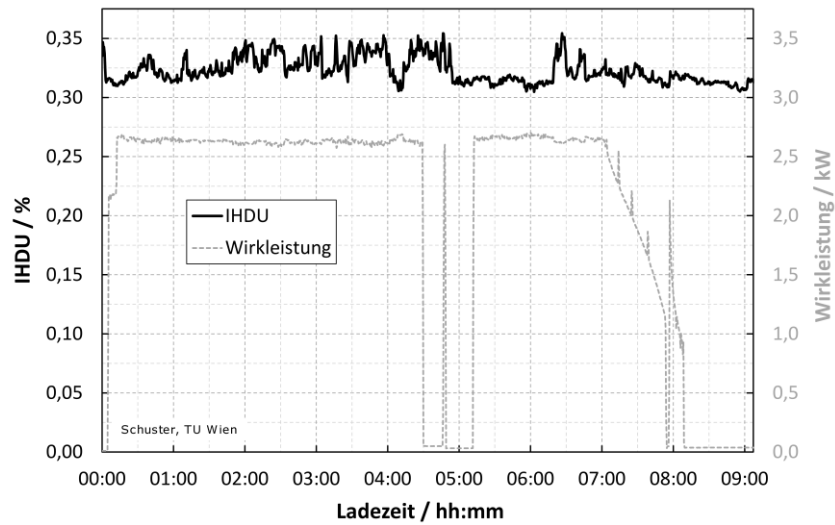


Abbildung GG: Verlauf des Spannungs-Verzerrungsfaktors (IHDU) sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit ZEBRA-Batterie

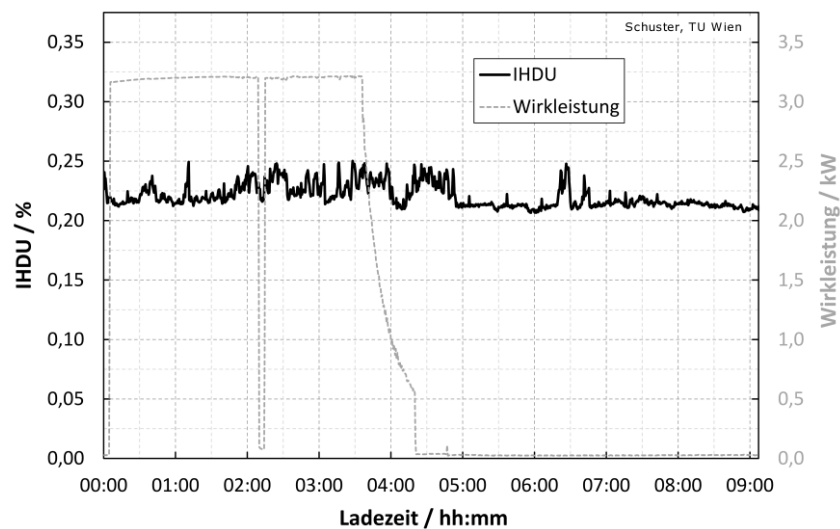


Abbildung HH: Verlauf des Spannungs-Verzerrungsfaktors (IHDU) sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

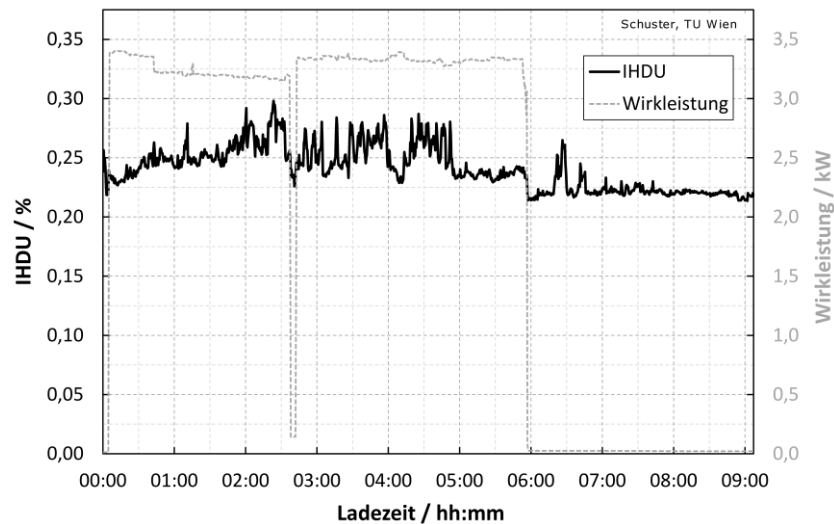


Abbildung II: Verlauf des Spannungs-Verzerrungsfaktors (IHDU) sowie Wirkleistung einer Vollladung eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie

Spannung-Zwischenharmonische

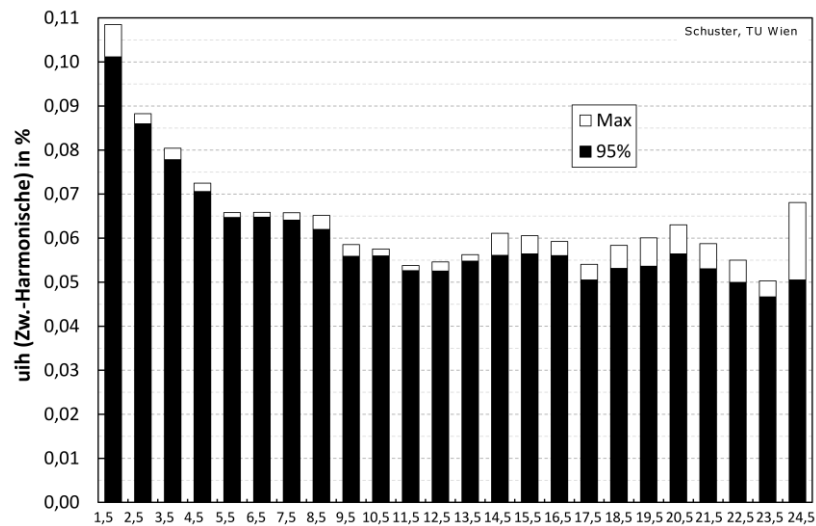


Abbildung JJ: Zwischenharmonische Spannungsüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) einer Vollladung eines „TH!NK city“ mit Li-Ionen-Batterie

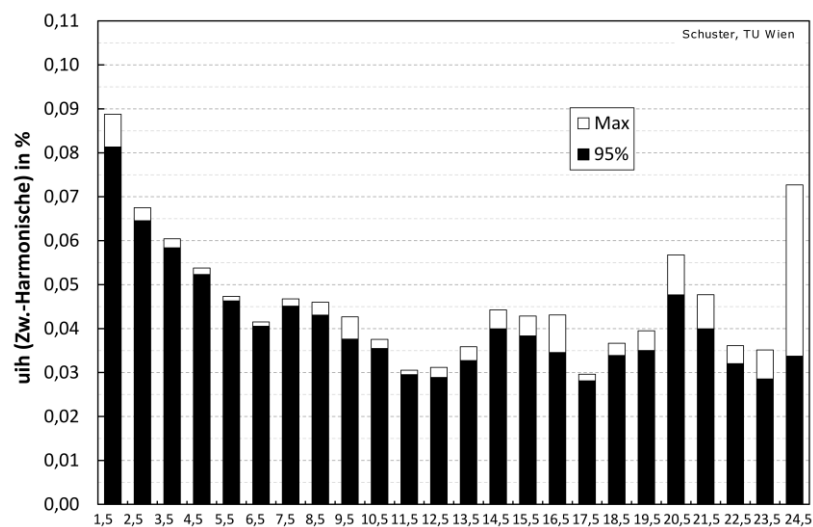


Abbildung KK: Zwischenharmonische Spannungsüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) einer Vollladung eines „Mitsubishi i-MiEV“ mit Li-Ionen-Batterie

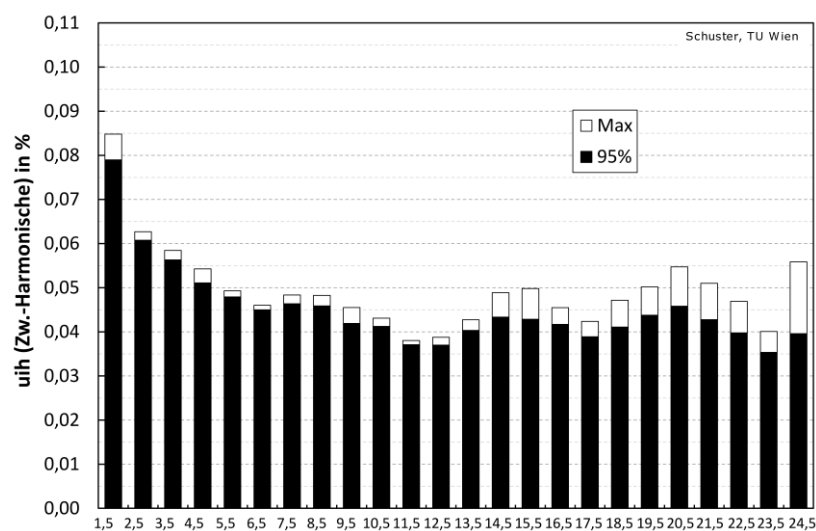


Abbildung LL: Zwischenharmonische Spannungsüberschwingungsanteile (Maxima und 95%-Quantile) einer Vollladung eines „eSmart“ mit Li-Ionen-Batterie