



Schlussbericht

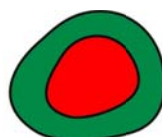
VLOTTE-Monitoring

30. September 2011

erstellt von
DI Martin Reis

unter Mitarbeit von
Mag. Yvonne Antretter-Wiedl
Iris Scheibler

Energieinstitut Vorarlberg
Abteilung MOBILITÄT
Stadtraße 33/CCD
6850 Dornbirn



Energieinstitut Vorarlberg

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
Anlass und Aufgabenstellung	6
Projektmotivation.....	6
Projektziel.....	6
Monitoring.....	6
Ergebnisse der Lärmmessung.....	7
Anlass und Ausgangslage	7
Beschreibung der Versuchsdurchführung.....	7
Beschreibung der Ergebnisse	8
Schlussfolgerungen aus den Lärmmessungen	8
Energie- und CO2-Monitoring	9
Anlass und Ausgangslage	9
Beschreibung der Versuchsdurchführung.....	11
Untersuchungen der TU Wien.....	11
Langzeitmessungen an 40 VLOTTE-Autos	11
Fahrzeuge und Batterietypen.....	11
Ergebnisse des Energiemonitorings	12
Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse der TU Wien	12
Ergebnisse der Langzeitmessungen	13
<i>Spezifischer Energieverbrauch</i>	13
Spezifischer Energieverbrauch nach Fahrzeugtypen	14
Spezifischer Energieverbrauch in Abhängigkeit der Fahrleistung.....	16
Energieverbrauchsmodell	19
Jahreszeitlich abhängiger Verbrauch	20
Vergleich der Fahrzeugeffizienz: Elektro-PKW versus Diesel-PKW	21
Vergleich der CO ₂ -Emissionen: Elektro-PKW versus Diesel-PKW.....	23
Schlussfolgerungen aus den Langzeitmessungen	24
Erfahrungen aus ersten Messreihen an Fahrzeugen mit Lithium-Batterien.....	25
Energie- und CO2-Bilanzierung	26
Anforderungen aus der Ausschreibung des Klimafonds	26
Energiebilanz für den Zeitraum Juli 2009 bis Dezember 2010.....	26
Gesamtenergiebilanz für das VLOTTE Projekt.....	29

Schlussfolgerungen aus der Energiebilanz	30
Nutzerbefragung	31
Anlass und Ausgangslage	31
Untersuchte Fragestellungen	31
Methode und Ablauf der Befragung	31
Befragung der Fahrzeug-BetreuerInnen	31
Befragung der FahrzeugnutzerInnen	33
Demografische Daten	32
Ergebnisse der Befragung zum Fahrverhalten und zur Fahrzeugnutzung	34
Einstellungen und persönliche Erfahrungen der NutzerInnen.....	37
Eigenschaften der Elektroautos aus NutzerInnensicht	38
Ladestationen und Ladeverhalten.....	40
Motivation zur Beteiligung am VLOTTE-Projekt und zur Nutzung der VLOTTE-Autos.....	43
Persönliche Einstellungen und Kaufbereitschaft der VLOTTE-NutzerInnen	44
Schlussfolgerungen aus der NutzerInnen-Befragung.....	47
Quellenverzeichnis	48
Anhang: Bericht über die Schallpegelmessung an Elektrofahrzeugen.....	49

Zusammenfassung

Im Rahmen des Monitorings-Auftrags zum Elektromobilitäts-Modellprojekt „VLOTTE“ wurden Untersuchungen zu Lärmemissionen und Energieverbrauch von Elektroautos vorgenommen. Ergänzend wurde eine breit angelegte Nutzerbefragung durchgeführt.

Die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Elektrisch angetriebene Kraftfahrzeuge können im innerörtlichen Verkehr zu einer erheblichen Lärmreduktion beitragen. Eine Reduktion, die bei einer vollständigen Umstellung auf E-Fahrzeuge und moderaten Fahrgeschwindigkeiten nahezu einer wahrgenommenen Halbierung des Verkehrslärms gleichkommen würde. Vergleichsweise einfach würde sich diese Lärmreduktion bei leichten, einspurigen KFZ (Moped/Mofas/Vespas) erreichen lassen, da diese vergleichsweise lärmintensiv sind. Gleichzeitig sind bereits serienreife und wirtschaftlich erschwingliche Modelle am Markt verfügbar.
- Die im Rahmen der Langzeitmessungen untersuchten Fahrzeuge mit Hochtemperatur-Batterie („Zebra-Batterie“) weisen einen deutlich höheren spezifischen Energieverbrauch (Tank-to-Wheel) auf, als in den Herstellerangaben ausgewiesen. Die Hauptursache dafür ist der relativ hohe Energieverbrauch für die „Beheizung“ der Hochtemperatur-Batterie. Bei Fahrleistungen von deutlich über 10.000 km pro Jahr tritt der Einfluss dieses „Stand-By-Verbrauchs“ jedoch langsam in den Hintergrund und es können auch mit solchen Batterien spezifische Energieverbrauchswerte zwischen 20 und 25 kWh pro 100 Kilometer erzielt werden. Aus diesem Grund sollten Zebra-Batterien vorzugsweise KFZ mit hohen Fahrleistungen eingesetzt werden. (Langstreckenpendler, Lieferdienste,...)
- Vorteile der Zebra-Batterien sind ihre Robustheit gegenüber niedrigen Außentemperaturen, die gut verfügbaren Batterierohstoffe (Natrium, Nickel, Chlor) und eine relativ gute Recyclingfähigkeit bzw. unproblematische Entsorgung als Zuschlagstoff in der Stahl-Industrie. (Quelle: http://eaaeurope.org/EVS20_Long_Beach_2003.pdf)
- Erste Messreihen mit den im VLOTTE-Projekt neu eingesetzten Fahrzeugen mit Lithium-Ionen-Batterien zeigen einen deutlich niedrigeren spezifischen Energieverbrauch. Diese Fahrzeuge eignen sich damit auch für Nutzungszwecke mit geringeren Fahrleistungen.
- Neben der Vermeidung von Luftschadstoffemissionen (Ozon, NOx, Feinstaub) liegt die große Stärke der untersuchten Elektrofahrzeuge in der Reduktion von Treibhausgasemissionen. Bedingt durch die niedrige CO2-Belastung des im VLOTTE-Projekt eingesetzten Stroms, haben die VLOTTE-Autos im Betrieb eine deutlich besser CO2-Bilanz als vergleichbare fossil betriebene Kleinwagen. Eine schrittweise Umstellung der Vorarlberger Fahrzeugflotte auf Elektroautos könnte einen hohen Beitrag zur CO2-Reduktion leisten, vorausgesetzt es gelingt, die für die Fahrzeuge benötigte Betriebsenergie durch neu errichteten Ökostromanlagen zu erzeugen.
- Um die für einen größeren Umstieg auf elektrisch angetriebene KFZ benötigten Strommengen auch im größeren Stil aus neuen Ökostromanlagen bereitstellen zu können, sollte die Fahrzeugeffizienz noch weiter gesteigert werden. (Reduktion des Fahrzeuggewichts, Verbesserung der Batterie-Technologie,...) Die Zufriedenheit der Vlotte-Partner und NutzerInnen mit den Fahrzeugmodellen ist trotz einiger Kinderkrankheiten erfreulich hoch. Diese hohe Zufriedenheit könnte auch mit dem Pionier-Charakter des VLOTTE-Projekts und der damit

verbundenen Bereitschaft der Partner, über Schwierigkeiten bei der Einführung neuer Technologien hinwegzusehen, zurückzuführen zu sein.

- Zentrale Anliegen der VLOTTE-NutzerInnen sind die Senkung der Anschaffungskosten von Elektro-Autos und die Erhöhung der Batterie-Reichweite.
- Selbst bei aktiven E-Auto-NutzerInnen besteht nur eine geringe Bereitschaft, für die Anschaffung eines Elektro-Autos deutlich mehr zu bezahlen als dies für ein vergleichbares konventionelles Automodell erforderlich wäre.
- Wird von der Gesellschaft eine schnelle Markteinführung von Elektro-Autos angestrebt, muss für den Endkunden eine betriebswirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit zwischen Elektro-Auto und fossil-betriebenen Fahrzeugen erreicht werden. Angesichts hoher Investitionskosten und geringer Betriebskosten von E-Fahrzeugen sollten Kommunikations-Strategien und Finanzierungsmodelle entwickelt werden, die den Fokus auf die Gesamtkosten legen, die im Zeitraum der Fahrzeugnutzung anfallen. (Total Cost of Ownership-Prinzip.)
- Aus Sicht der VLOTTE-NutzerInnen ist die **Umweltfreundlichkeit das zentrale Alleinstellungsmerkmal der Elektro-Autos**. Es sollte daher darauf geachtet werden, dass dieses Image nicht gefährdet wird. Besonderes Augenmerk sollte aus Sicht der befragten Nutzer dabei auf folgende Punkte gelegt werden:
 - Die durch Elektro-Autos verbrauchte elektrische Energie sollte durch neu errichtete Ökostromanlagen gedeckt werden.
 - Die Energieeffizienz der Fahrzeuge sollte noch weiter verbessert werden.
 - Für die Produktion und die Entsorgung gängiger Batteriesysteme für Elektro-Autos sollten durch unabhängige Institutionen detaillierte Ökobilanzen erstellt werden.

Anlass und Aufgabenstellung

Im Jahr 2008 wurde vom Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung eine Projektausschreibung zum Thema „Modellregionen für Elektromobilität“ ausgeschrieben. Das von der Vorarlberger Kraftwerke AG eingereichte Projekt „VLOTTE“ erhielt dabei den Zuschlag, um im Bundesland Vorarlberg mit der Modellregion „Rheintal/Walgau“ die erste österreichische Modellregion für Elektromobilität zu etablieren.

Projektmotivation

Langfristig soll mit Hilfe des Projekts VLOTTE ein Beitrag zur Entwicklung der Elektromobilität und damit für die Sicherstellung einer fairen, kostengünstigen und emissionsarmen Mobilität in Vorarlberg geleistet werden.

Längerfristig soll der KFZ-Markt und die verkehrsbezogene Infrastruktur in Vorarlberg auf vollelektrisch betriebene Fahrzeuge – in Kombination mit einem leistungsfähigen öffentlichen Verkehr sowie dem in Vorarlberg traditionell starken Radverkehr – ausgerichtet werden. Die zum Betrieb der Elektrofahrzeuge notwendige Energiemenge soll dabei zur Gänze über neue, lokale erneuerbare Energiequellen bereitgestellt werden.

Projektziel

Ziel des Projekts VLOTTE ist es, die Marktaufbereitung für rein erneuerbar-elektrisch angetriebene Fahrzeuge in Vorarlberg voranzutreiben. Über einen Zeitraum von drei bis fünf Jahren soll durch das Projekt VLOTTE die Technologie im Praxistest beforscht werden und der Bedarf nach Mobilität von Organisationen, Unternehmen und Privatpersonen mit dem Angebot von Herstellern sowie der notwendigen Infrastruktur für Wartung, Batterieladung und Mobilitätsmanagement zusammengebracht werden.

Monitoring

Im Rahmen des Projekts VLOTTE wurden dazu drei unterschiedliche Monitoringaufgaben definiert:

- Durchführung von Lärm-Messungen von Elektroautos in einer realen Verkehrssituation.
- Aufbau und Auswertung eines Monitorings über den Energieverbrauch der Fahrzeuge - inklusive der Erstellung einer CO₂-Bilanz.
- Breite Erhebung von Erfahrungen, Einstellungen und Verhaltensweisen von Fahrzeugnutzern.

Mit der Organisation und Durchführung dieser Aufgabenstellungen wurde das Energieinstitut Vorarlberg beauftragt. Die Umsetzung des Auftrags erfolgte mit Unterstützung folgender Organisationen:

1. Beratung bei Konzeption und Durchführung: Kairos – Wirkungsforschung & Entwicklung
2. Lärm-Messungen: Amt der Landesregierung - Abt. Vlc Maschinenbau und Elektrotechnik
3. Energieverbrauchsmessung: TU Wien – Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft
4. Messaufbau und Durchführung: Illwerke VKW – Abteilung Energieservice

Ergebnisse der Lärmmessung

Anlass und Ausgangslage

Lärm und speziell Straßenverkehrslärm kann nachgewiesenermaßen zu großen gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen¹. Ein oft zitierter Vorteil von vollelektrisch betriebenen Fahrzeugen ist – speziell bei niedrigen Geschwindigkeiten – eine deutlich geringere Lärmentwicklung im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungskraftmotoren.

Auf Grund der geringen Verbreitung von Elektroautos waren bislang meist nur Messungen an einzelnen Fahrzeugen möglich. Mit dem Projekt VLOTTE war es nun aber möglich, Messungen an einer größeren Fahrzeugflotte in einer realen Verkehrssituation durchzuführen und damit folgende Fragestellung zu prüfen:

„Können vollelektrisch angetriebene PKWs auch unter realen Verkehrsbedingungen zu einer Lärmreduktion im Straßenverkehr beitragen?“

Die detaillierte Beschreibung der Durchführung sowie die Ergebnisse der Lärmmessung finden sich im Anhang 1 dieses Berichts. Es wird deshalb an dieser Stelle nur eine kurze Zusammenfassung über wesentliche Eckpunkte und Ergebnisse gegeben.

Beschreibung der Versuchsdurchführung

Zur Durchführung der Lärmmessung wurde ein üblicherweise sehr stark befahrenes, 250 Meter langes Straßenstück der Landesstraße L190 in Bregenz für den öffentlichen Verkehr gesperrt. Diese Teststrecke wurde dann hintereinander sowohl mit 20 rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen als auch mit 20 Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren befahren. Bei den Elektroautos handelt es sich um Fahrzeuge der Modelle Think City, Fiat Panda und Fiat 500. Bei den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren handelte es sich um Fahrzeuge aus unterschiedlichen Klassen (vom Kleinwagen bis zum kleinen SUV).

Dabei wurden pro Richtungsfahrbahn je 10 Fahrzeuge auf die Strecke geschickt, die dann in drei verschiedenen Geschwindigkeiten die Messstrecke abfuhren:

1. konstante Geschwindigkeit mit 30 km/h
2. konstante Geschwindigkeit mit 50 km/h
3. Stopp & Go -Verkehr

Die Durchführung der Lärmmessung und die anschließende Auswertung wurde vom Leiter der Abteilung Maschinenbau und Elektrotechnik des Amtes der Vorarlberger Landesregierung, Univ-Doz DI Dr Wolfgang Wachter vorgenommen.

Eine Filmaufnahme der Versuchsreihe findet sich im Internet unter folgendem Link:

<http://www.youtube.com/watch?v=SU9eO79XbaM>

¹ „Straßenverkehrslärm kann die Gesundheit beeinträchtigen. Er führt zwar in der Regel nicht zu bleibenden physischen Hörschäden, Mittelungspegel oberhalb von 60 dB(A) (tagsüber) führen jedoch nach Erkenntnissen unter anderem des Umweltbundesamtes in Berlin und der Weltgesundheitsorganisation zu einer merklichen, oberhalb von 65 dB(A) sogar zu einer erheblichen Erhöhung des Herzinfarkt-Risikos. Die Lärmwirkungen umfassen insbesondere an innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen auch soziologisch und ökonomisch relevante Deklassierungsprozesse, die unter dem Schlagwort Lärmghetto subsumiert werden. Die Straßenlärmbekämpfung ist daher auch eine Frage der sozialen Gerechtigkeit.“

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Stra%C3%9Fenverkehrsl%C3%A4rm>

Beschreibung der Ergebnisse

Wie in untenstehendem Diagramm ersichtlich, waren die Elektrofahrzeuge bei den konstanten Geschwindigkeitsniveaus um 3 bis 4 Dezibel leiser als die mit Benzin oder Diesel angetriebenen Fahrzeuge.

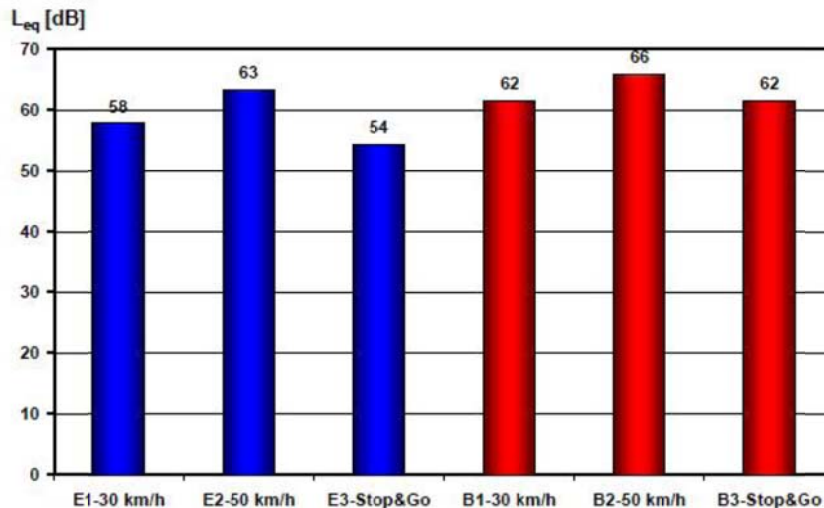


Abbildung 1: Energieäquivalenter Dauerschallpegel L_{eq} für alle Versuchsreihen

Die größten Differenzen ergaben sich im Stop-and-Go-Betrieb, in dem die Elektrofahrzeuge um 8 dB leiser waren als die Fahrzeuge mit Verbrennungskraftmotoren.

Subjektiv wird eine Lärmreduktion um 8 dB L_{eq} vom menschlichen Gehör als eine 45%-ige Lärmreduktion wahrgenommen. Um die gleiche Lärmreduktion durch eine geringere Anzahl von KFZ zu erreichen, wäre also eine Reduktion der Fahrzeuge um fast 50% erforderlich.

Der große Beitrag der alternativen Antriebstechnologie auf die Lärmreduktion zeigt sich auch am Umstand, dass zum Zeitpunkt, als die Teststrecke gesperrt und somit verkehrsfrei war, ein Grundschallpegel der Umgebung von 48 bis 49 dB gemessen wurde.

Schlussfolgerungen aus den Lärmmessungen

Aus den Ergebnissen der Lärmmessungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden.

- Elektrisch angetriebene Kraftfahrzeuge könnten speziell im innerörtlichen Verkehr zu einer deutlichen Lärmreduktion beitragen. Eine Lärmreduktion – die subjektiv empfunden – fast einer Halbierung des Verkehrslärms gleichkommt. Aus Sicht des Immissionsschutzes wäre es deshalb wichtig, dass dieses Potential bei Überlegungen zu einer möglichen „Lärmsignatur“ für E-Fahrzeuge berücksichtigt wird.
- Eine besondere Chance würde sich bei den leichten, einspurigen KFZ (Moped/Mofas/Vespas) ergeben, da diese im Verhältnis zu anderen KFZ oft besonders lärmintensiv sind, gleichzeitig aber bereits serienreife und wirtschaftlich erschwingliche Modelle am Markt verfügbar sind. Hier könnte – ähnlich wie bei der Einführung des Katalysators – durch gesetzliche Vorschriften und klare Übergangsfristen die erforderlichen Voraussetzungen geschaffen werden.
- Schwieriger wird die Realisierung von Lärmreduktionen in der ebenfalls sehr lärmintensiven Kategorie „Schwerverkehr“, da für Busse, Lastkraftwagen und Traktoren derzeit noch keine marktreifen Produkte auf Elektromotorbasis verfügbar sind.

Energie- und CO₂-Monitoring

Anlass und Ausgangslage

Das Ende des billigen Öls (Stichwort „Peak Oil“) und der durch die Emission von klimawirksamen Gasen wie Kohlendioxid und Methan erzeugte, menschengemachte Treibhauseffekt stellen eine der größten Herausforderung für die Menschheit im 21. Jahrhundert dar.

Der Mobilitätssektor ist sowohl beim Verbrauch von fossilen Treibstoffen als auch bei der Emission von Treibhausgasen das größte Sorgenkind: Österreichweit hat der Verkehrssektor in den letzten 20 Jahren sowohl beim Energieverbrauch (+73%) als auch bei den Treibhausgasemissionen (+61%) massive Steigerungsraten verzeichnet. Im Jahr 2008 ist der Verkehrssektor dadurch zum Sektor mit dem größten Energieverbrauch geworden. 95% der im Verkehrssektor eingesetzten Energie stammt derzeit aus fossilen Quellen, wodurch der Verkehrssektor nach dem Sektor der Industrie und des produzierenden Gewerbes auch an zweiter Stelle rangiert, was die Emission von Treibhausgasemissionen betrifft. (Umweltbundesamt 2010)

Für den Mobilitätssektor existieren zahlreiche regionale, nationale und internationale Zielvorgaben, von denen an dieser Stelle nur ein paar wenige genannt seien:

- In der Abschlusserklärung der Vertragsstaaten-Konferenz der Klimarahmenkonvention in Kopenhagen ist festgehalten, dass eine Beschränkung des globalen Temperaturanstiegs auf 2°C aus wissenschaftlicher Sicht notwendig ist. Für Industrieländer bedeutet das eine Reduktion der Treibhausgasmissionen um 25 bis 40 Prozent bis 2020 und um 80 bis 95 Prozent bis 2050 in Relation zu 1990. (UBA 2010)
- Im Effort-Sharing, einer Regelung aus dem Klima- und Energiepaket der EU, ist festgelegt, dass Österreich die Treibhausgas-Emissionen der nicht vom Emissionshandel erfassten Quellen bis 2020 um 16 Prozent gegenüber 2005 zu reduzieren hat (Entscheidung 406/2009/EG). (UBA 2010)
- Im Vorarlberger Verkehrskonzept „Mobil im Ländle“ ist festgehalten, dass die CO₂-Emissionen aus dem Verkehrssektor bis zum Jahr 2015 auf das Niveau des Jahres 2003 zurückgeführt werden sollen – was bezogen auf das Niveau von 2009 eine Reduktion um 12 Prozent bedeuten würde. (Amt der Vorarlberger Landesregierung 2006)
- Im Jahr 2009 hat der Vorarlberger Landtag einstimmig beschlossen, bis zum Jahr 2050 das Ziel der Energieautonomie anzustreben. Eine Zielsetzung, die auch den verkehrsbedingten Energieverbrauch einschließt.

Die Organisation westlicher Industriestaaten ist stark vom motorisierten Individualverkehr dominiert. Eine deutliche Änderung des Mobilitätsverhaltens von großen Teilen der Bevölkerung wird nur schwer und zum Teil auch gegen Widerstände erreichbar sein. Deshalb wird neben der Förderung des öffentlichen Verkehrs (der mit Zug, O-Bus und Straßenbahn ja bereits Großteils „elektrisch“ betrieben wird) und des Aktiv-Verkehrs (=Fußgänger- und Radverkehr) auch stark auf die Ablöse von fossil betriebenen Fahrzeuge durch Fahrzeuge mit alternativen Antriebssystem (Elektroautos, Wasserstoffantrieb,...) gesetzt.

Gerade der Elektromobilität werden bei der Suche nach einer energieeffizienten und klimaschonenden Möglichkeit im motorisierten Individualverkehr große Chancen eingeräumt. Die zentrale Voraussetzung, dass elektrisch betriebene Fahrzeuge diesen Anforderungen gerecht werden, ist, dass sie über ihren Lebens- und Nutzungszyklus weniger Primärenergie verbrauchen und weniger Treibhausgase emittieren als fossil betriebene Kraftfahrzeuge.

Bedingt durch die geringe Verbreitung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen liegen bis jetzt zur Frage des Energieverbrauchs von Elektrofahrzeugen im Fahrbetrieb bislang vorwiegend Herstellerangaben, Angaben von Prüfstandmessungen und Einzelmessungen über kürzere Zeiträume vor.

Im Zuge des Vlotte-Monitorings wurde deshalb die vergleichsweise große Anzahl an Elektrofahrzeugen genutzt, um statistisch belastbare Aussagen zu folgender Frage zu bekommen:

„Wie viel Energie verbrauchen die im VLOTTE-Projekt eingesetzten Elektro-Autos in realen Nutzungssituationen und längere Zeiträume pro gefahrenen Kilometer? (=Tank to wheel²)“

Aus den Erkenntnissen lassen sich dann in weiterer Folge Aussagen über die Gesamteffizienz auf Primärenergiebasis („Well-to-wheel“) und die induzierten CO₂-Emissionen ableiten.

² Für den Vergleich der Energieeffizienz unterschiedlicher Fahrzeuge und Antriebssysteme werden unter anderem die Kenngrößen „Tank-to-wheel“, „Well-to-tank“ und „Well-to-wheel“ herangezogen. „Tank-to-wheel“ betrachtet das Verhältnis zwischen dem Energieinput ins Fahrzeug beim Laden, Betanken, etc. auf Basis Endenergie und der im Betrieb des Fahrzeugs zurückgelegten Fahrleistung. „Well-to-tank“ betrachtet den Primärenergieaufwand, der für die Herstellung der für die Betankung bzw. Ladung des Fahrzeugs erforderlichen Endenergie benötigt wurde. „Well-to-wheel“ ist die Kombination aus beiden Betrachtungsgrößen und beschreibt damit den Energieaufwand, der für die Bereitstellung der gesamten Prozesskette – von der Energieerzeugung bis zur Erbringung der konkreten Fahrleistung des Fahrzeugs erforderlich ist.

Beschreibung der Versuchsdurchführung

Die Energieverbrauchsmessungen wurden in zwei unterschiedlichen Versuchsreihen durchgeführt:

Untersuchungen der TU Wien

Durch das Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der TU Wien wurden zum Energieverbrauch mehrerer Autos Messreihen über einen Zeitraum von drei Wochen durchgeführt. Diese Erfassung wurde mit einer Aufzeichnung der GPS-Daten – der im Rahmen der Messreihen von den Fahrzeugen zurückgelegten Fahrstrecken – kombiniert. Darüber hinaus wurden Messungen zu den Ladevorgängen und Standby-Verlusten der Fahrzeuge durchgeführt.

Langzeitmessungen an 40 VLOTTE-Autos

Parallel zu den Erhebungen der TU Wien wurde im Zeitraum vom Juni 2009 bis zum Dezember 2010 von den NutzerInnen von 40 VLOTTE-Autos in regelmäßigen Zeiträumen der Energieverbrauch und die gefahrenen Kilometer der Vlotte-Autos abgelesen und in einer Online-Datenbank erfasst. Die Energieverbrauchserfassung erfolgte mittels eines eingebauten analogen, einphasigen Stromzählers (Summenzähler, 230 V), der zwischen der Fahrzeugsteckdose und den Energieverbrauchern des Fahrzeugs (Elektronik, Batterie, Heizung, Motor, Hilfsantriebe, Licht,...) positioniert wurde. Somit wurde durch den Stromzähler der Gesamtenergieverbrauch des Fahrzeugs im Betrieb erfasst. (=“Tank-to-wheel“). Zusätzlich wurde ein Ladestundenzähler und eine Erfassung der Anzahl der Ladevorgänge eingebaut.



Abbildung 2: Messschema für die Langzeitmessung (Quelle: Leitinger, Schuster, Brauner | TU Wien)

Fahrzeuge und Batterietypen

Untersucht wurden die Fahrzeugmodelle Think City, Fiat 500 und Fiat Panda. Sämtliche Fahrzeuge sind mit sogenannten Zebra-Batterien ausgestattet. Es handelt sich dabei um Natrium-Nickelchlorid-Zellen, welche immer mit einer Betriebstemperatur von mindestens 240°C betrieben werden müssen.

Fahrzeug	Batterietyp	Speicherkapazität („rated energy“)	Gewicht der Batterie	Thermische Verluste bei 270°C Betriebstemperatur	Gewicht des Fahrzeugs
Think City	Z36-371-ML3X-76	28.2 kWh	243 kg	>130 Watt	1.100 kg
Fiat 500	Z57-253-ML3X-76	19,2 kWh	165 kg	> 105 Watt	1.000 kg
Fiat Panda	Z57-253-ML3X-76	19,2 kWh	165 kg	> 105 Watt	1.000 kg

Tabelle 1: Überblick über die Herstellerangaben zu den im VLOTTE-Monitoring untersuchten Fahrzeugen und Batterien

Ergebnisse des Energiemonitorings

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse der TU Wien

Vom Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der TU-Wien wurde ein detaillierter Bericht erstellt, in dem die Durchführung sowie die Ergebnisse der Begleitforschung beschrieben werden.

Es wird deshalb an dieser Stelle nur eine kurze Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse wiedergegeben.

- Der Energieverbrauch für den Betrieb des Motors sowie der Hilfsaggregate (Licht, Heizung,...) belief sich in den durchgeführten Messreihen auf 20 kWh/100km.
- Der Energieverbrauch für den Stand-By-Betrieb der Zebra-Batterien ist bei den untersuchten Fahrzeugmodellen sehr hoch. Er beläuft sich im Mittel auf rund 4 kWh pro Tag beim Modell Think City bzw. 2,5 kWh pro Tag beim Fiat 500.
- Der Unterschied zwischen den beiden Modellen ist zum einen auf die unterschiedliche Batteriegrößen (→ je größer die Batterie, desto mehr „Heizenergiebedarf“) aber auch auf das unterschiedliche Lademanagement zurückzuführen, das beim Fiat 500 wesentlich effizienter erfolgt.

Ergebnisse der Langzeitmessungen

Spezifischer Energieverbrauch

In untenstehenden Aufstellungen sind die Ergebnisse der Langzeitmessung in tabellarischer und grafischer Form dargestellt. Da die Fahrzeuge nicht alle gleichzeitig an ihrer Benutzer übergeben wurden, variiert die Messperiode zwischen 122 und 535 Tagen.

Fahrzeug	Messperiode (in Tagen)	zurückgelegte Kilometer	Energieverbrauch (in kWh)	Spezifischer Energie- verbrauch (in kWh/km)
Fiat 500 Nr. 7	354	9.385	1.929	0,21
Think Nr. 5	489	19.960	4.167	0,21
Fiat 500 Nr. 1	415	13.666	3.302	0,24
Fiat 500 Nr. 13	297	9.313	2.264	0,24
Fiat 500 Nr. 16	172	3.761	1.014	0,27
Fiat Panda Nr. 4	486	12.045	4.341	0,27
Fiat 500 Nr. 14	230	5.758	1.605	0,28
Fiat 500 Nr. 3	174	3.474	971	0,28
Fiat Panda Nr. 3	122	4.030	1.197	0,30
Fiat 500 Nr. 4	384	10.219	3.040	0,30
Think Nr. 20	493	17.780	5.321	0,30
Think Nr. 6	518	19.292	5.780	0,30
Think Nr. 8	531	20.156	6.224	0,31
Fiat 500 Nr. 8	306	6.693	2.124	0,32
Fiat 500 Nr. 12	301	6.110	1.976	0,32
Fiat 500 Nr. 11	297	5.488	1.849	0,34
Think Nr. 17	478	13.493	4.567	0,34
Fiat 500 Nr. 10	322	6.016	2.042	0,34
Fiat 500 Nr. 9	356	6.324	2.165	0,34
Think Nr. 3	534	13.877	4.917	0,35
Fiat 500 Nr. 15	203	4.102	1.455	0,35
Think Nr. 19	478	12.533	4.481	0,36
Think Nr. 16	486	12.045	4.341	0,36
Fiat Panda Nr. 1	284	4.437	1.603	0,36
Fiat Panda Nr. 2	256	6.315	2.298	0,36
Think Nr. 4	517	11.687	4.369	0,37
Think Nr. 14	537	11.582	4.336	0,37
Fiat 500 Nr. 6	310	5.013	1.929	0,38
Fiat 500 Nr. 5	374	4.615	1.781	0,39
Think Nr. 21	465	11.395	4.442	0,39
Think Nr. 1	533	9.764	3.874	0,40
Think Nr. 9	478	8.728	3.479	0,40
Think Nr. 2	493	9.639	3.847	0,40
Think Nr. 11	486	8.402	3.585	0,43
Think Nr. 12	486	8.402	3.585	0,43
Think Nr. 10	533	8.672	3.860	0,45
Think Nr. 7	477	7.829	3.580	0,46
Think Nr. 15	535	9.306	4.406	0,47
Think Nr. 13	489	6.425	3.094	0,48
Think Nr. 18	478	6.151	3.168	0,52
Mittelwert	404	9.347	3.208	0,35

Tabelle 2: Überblick über die Ergebnisse der Langzeitmessung (ausschließlich E-Autos mit Zebra-Batterien)

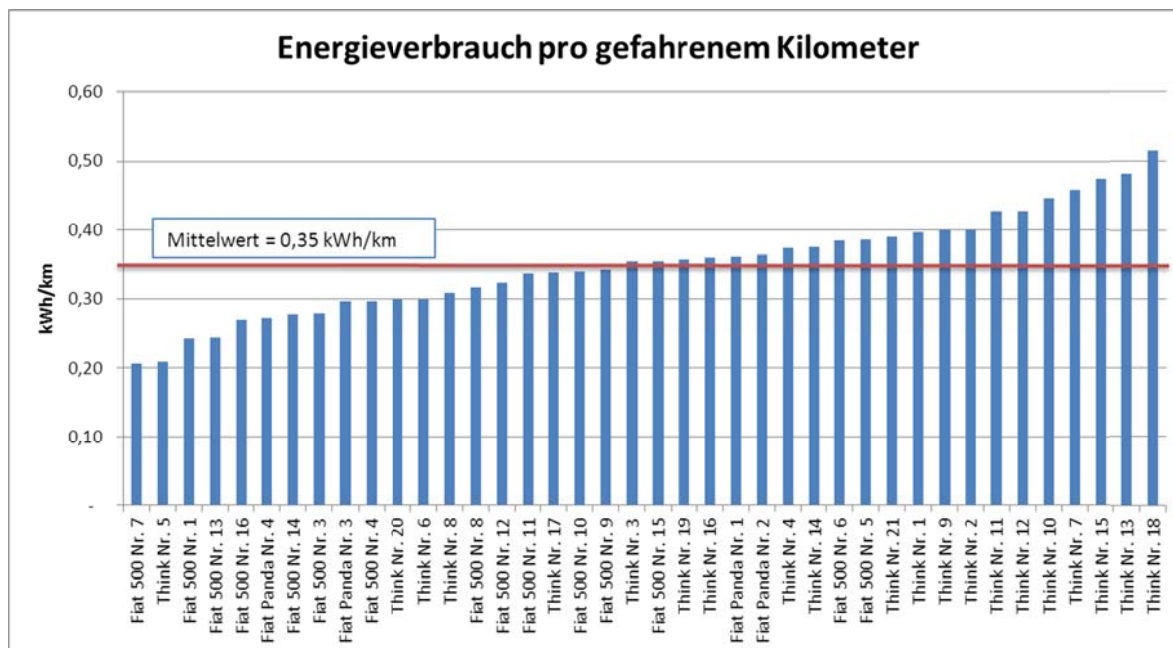


Abbildung 3: Spez. Energieverbrauch der im Energie-Monitoring erfassten KFZ (ausschl. E-Autos mit Zebra-Batterien)

Wie in obenstehender Darstellung ersichtlich, bewegt sich der spezifische Energieverbrauch der untersuchten Fahrzeuge im Bereich zwischen 0,2 und 0,5 kWh pro zurückgelegten Kilometer. Der Mittelwert von 0,35 kWh/km liegt deutlich über den Herstellerangaben. Diese beziehen sich somit offensichtlich nur auf den Energieverbrauch des Fahrzeugs während des Fahrvorgangs und umfassen nicht den Energieverbrauch, der in Form von Lade- und Stand-By-Verlusten anfällt.

Spezifischer Energieverbrauch nach Fahrzeugtypen

Bei einer Untergliederung der Fahrzeuge zeigt sich, dass sich der spezifische Energieverbrauch zwischen den einzelnen Fahrzeugtypen (Think City, Fiat Panda, Fiat 500) deutlich unterscheidet.

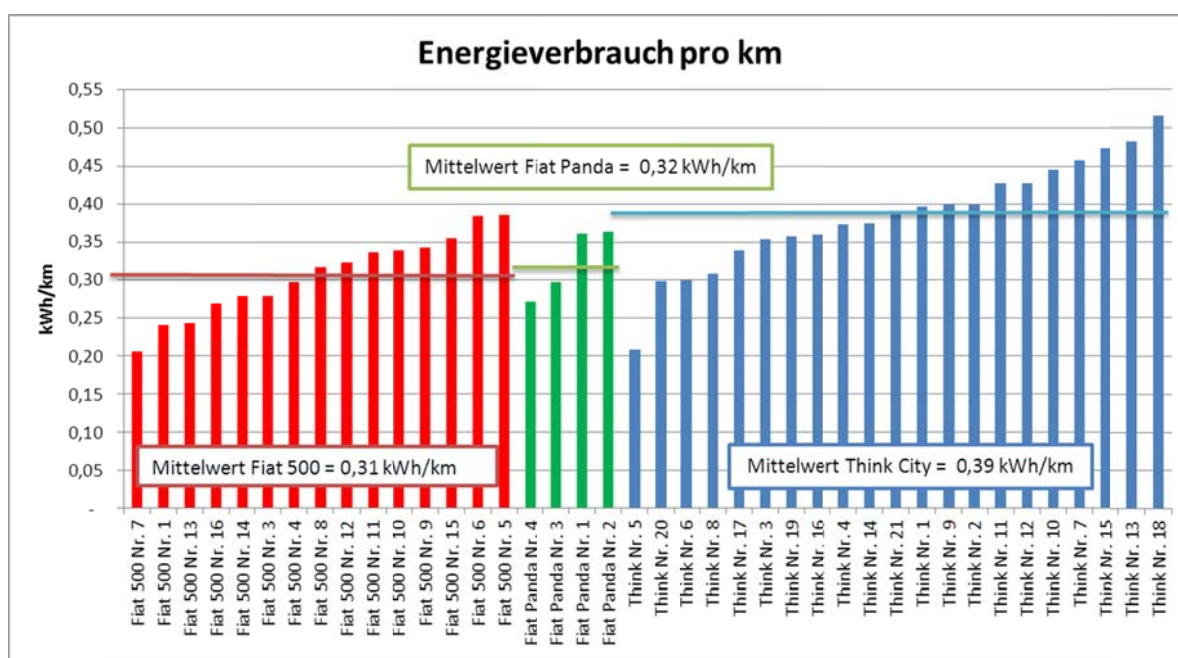


Abbildung 4: Spezifischer Energieverbrauch in Abhängigkeit der Fahrzeugtypen (ausschl. KFZ mit Zebra-Batterien)

Der doch deutliche Unterschied zwischen den Fiat-Modellen und den Think City-Fahrzeugen dürfte zum Teil auf die effizientere Ladetechnik (siehe Untersuchung der TU-Wien), auf die geringeren Höchstgeschwindigkeiten, vor allem aber auf das geringere Fahrzeuggewicht und die geringeren Standby-Verluste zurückzuführen sein. Die fast 50% größere Batterie der Think City-Modelle (bezogen auf die Speicherkapazität) benötigt deutlich mehr Energie für die Aufrechterhaltung der erforderlichen Betriebstemperatur was sich auch wieder in einem erhöhten Energieverbrauch niederschlägt.

Spezifischer Energieverbrauch in Abhängigkeit der Fahrleistung

Im Gegensatz zu Fahrzeugen mit Verbrennungskraftmotoren oder Elektrofahrzeugen mit Lithium-Ionen-Batterien hat bei Fahrzeugen mit Hochtemperatur-Batterien – bedingt durch die Stand-By-Verluste – nicht nur die Fahrleistung sondern auch die reine Nutzungsdauer einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch. In untenstehender Abbildung ist die Energieverbrauchsentwicklung eines Fahrzeugs in Abhängigkeit der gefahrenen Kilometer dargestellt.

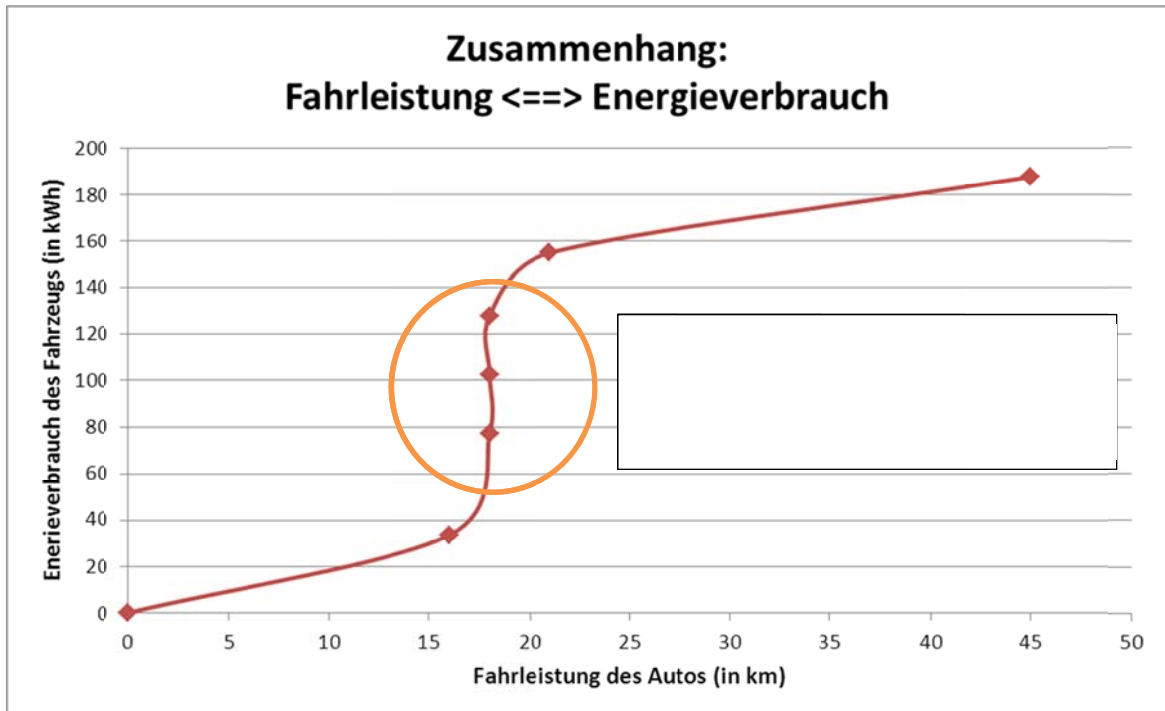


Abbildung 5: Darstellung der Energieverbrauchsentwicklung in Abhängigkeit der Fahrleistung eines konkreten VLOTTE-Autos mit Zebra-Batterie, das längere Zeit wenig oder gar nicht gefahren wurde

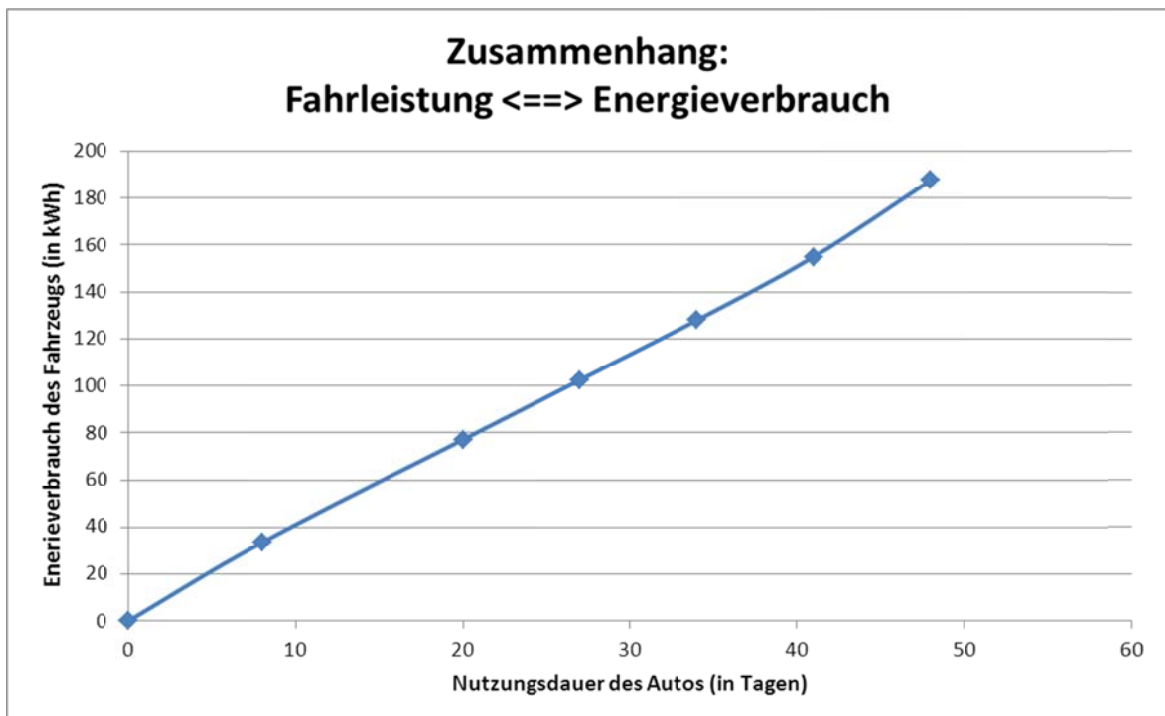


Abbildung 6: Darstellung der Energieverbrauchsentwicklung des in Abbildung 5 dargestellten VLOTTE-Autos mit Zebra-Batterie in Abhängigkeit der Nutzungsdauer (Obwohl das Fahrzeug in diesem Zeitraum kaum bewegt wurde (siehe Abb.5) ist der Energieverbrauch im zeitlichen Verlauf kontinuierlich gewachsen).

Stellt man den spezifischen Energieverbrauch der einzelnen Fahrzeuge in Abhängigkeit von ihrer jährlichen Fahrleistung dar, so zeigt sich, dass sich dieser bei zunehmenden Fahrleistungen reduziert.

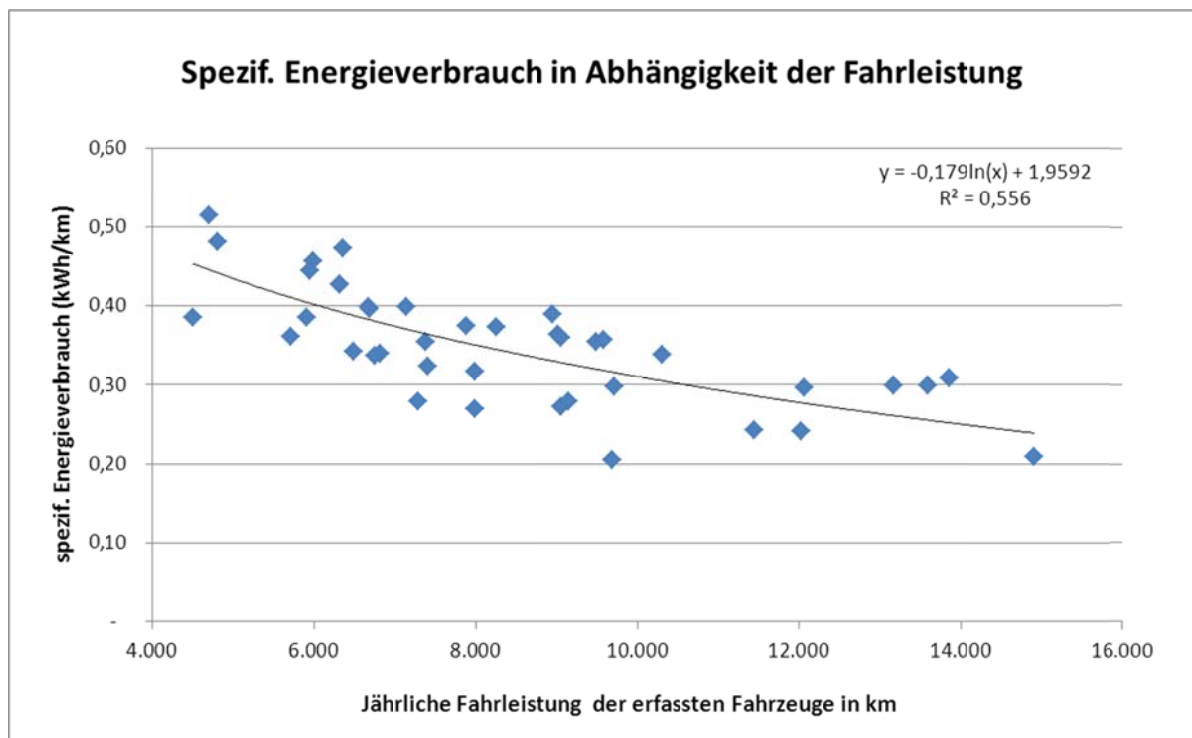


Abbildung 7: Spezif. Energieverbrauch der KFZ (ausschl. mit Zebra-Batterien) in Abhängigkeit der jährlichen Fahrleistung

Noch klarer wird dieser Effekt deutlich, wenn jeweils nur die Verbrauchswerte eines Fahrzeugtyps dargestellt werden.

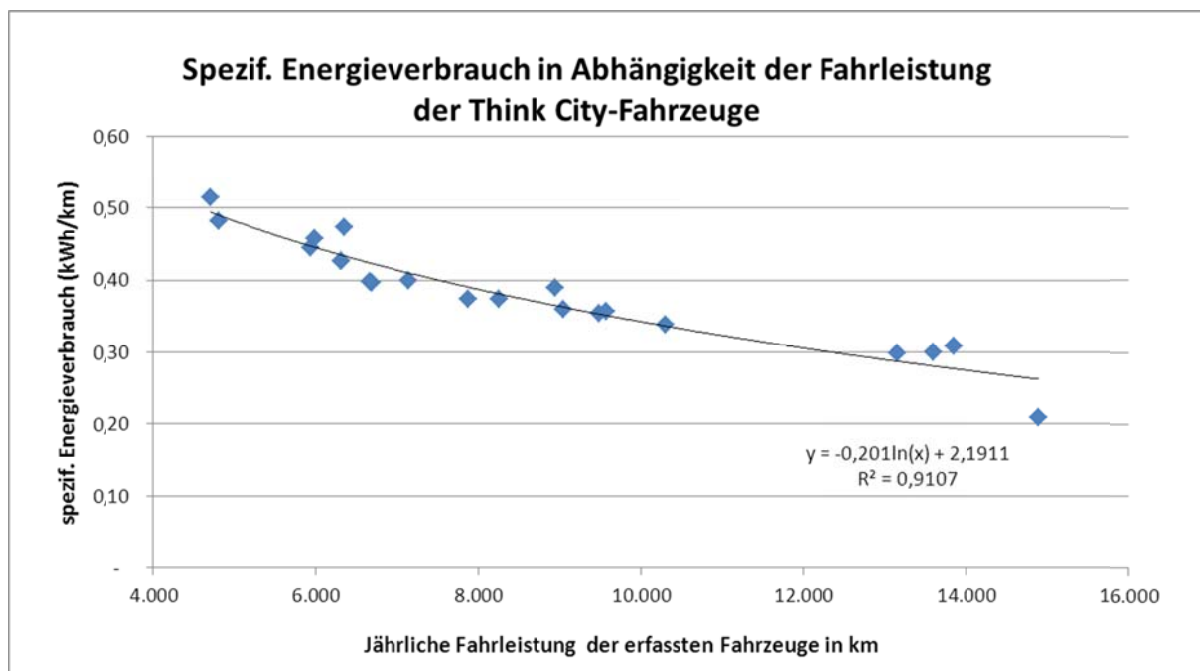


Abbildung 8: Zusammenhang von Fahrleistung und spez. Energieverbrauch bei den Think City-Modellen (ausschl. Zebra-Batterien)

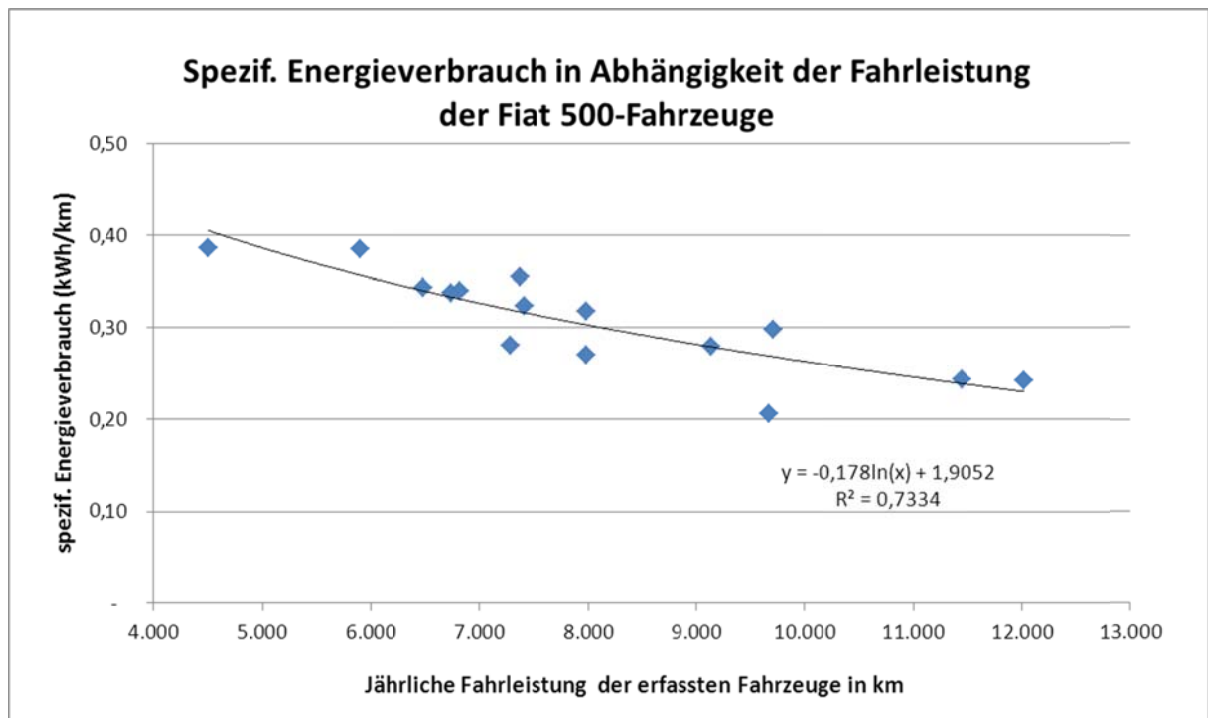


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Fahrleistung und spez. Energieverbrauch bei den Fiat 500 Modellen (ausschl. Zetrabatterien)

Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen deutlich, dass der spezifische Energieverbrauch der untersuchten Modelle bei deutlich höherer Fahrleistung zu sinken beginnt. Bedingt durch die vorwiegende Nutzung der untersuchten Fahrzeuge als Pool-Fahrzeuge liegt deren durchschnittliche jährliche Fahrleistung bei rund 8.500 km.

Bei einer jährlichen Fahrleistung von 10.000 bis 12.000 km – wie sie derzeit oft als Durchschnittswert für die Privat-PKW-Flotte unterstellt wird – sinkt der spezifische Energieverbrauch pro gefahrenem Kilometer auf rund 0,3 kWh/km (Think City) bzw. 0,22 kWh/km (Fiat 500).

Die Ergebnisse der Langzeitmessungen zeigen, dass jährliche Fahrleistungen von bis zu 14.000 km erbracht worden sind (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9).

Energieverbrauchsmodell

Wie bereits beschrieben ist der Energieverbrauch bei Fahrzeugen mit Hochtemperaturbatterien neben der Fahrleistung auch von der Nutzungsdauer abhängig.

Energieverbrauch $\approx$ Nutzungsdauer, Fahrleistung $E = f(t, km)$

$$E [kWh] = \text{spezif. Fahrleistungsfaktor} \times \text{Fahrleistung [km]} + \text{Standby-Faktor} \times \text{Nutzungsdauer [d]}$$

Auf Basis einer linearen Regressionsanalyse³ konnten folgende Werte für die Think City-Modelle bestimmt werden.

$$\text{spezif. Fahrleistungsfaktor} = 0,183 \text{ kWh/km}$$

$$\text{Standby-Faktor} = 4,2 \text{ kWh/d}$$

$$R^2 (\text{Bestimmtheitsmaß der Regressionsanalyse}) = 0,988$$

Für die Fiat-Modelle (Fiat 500 und Panda) konnten folgende Werte ermittelt werden:

$$\text{spezif. Fahrleistungsfaktor} = 0,153 \text{ kWh/km}$$

$$\text{Standby-Faktor} = 3,2 \text{ kWh/d}$$

$$R^2 (\text{Bestimmtheitsmaß der Regressionsanalyse}) = 0,978$$

Diese Ergebnisse für die Think-Modelle stimmen sehr gut mit den Messdaten überein, die im Zuge der Untersuchungen der TU Wien an einzelnen Think City-Modellen erhoben wurden (siehe Seite 11), sodass in weiterer Folge für Modellrechnungen auf diesem Ansatz aufgebaut wird.

³ Summe der kleinsten Fehlerquadrate

Jahreszeitlich abhängiger Verbrauch

Im Zuge der Messreihen wurde untersucht, inwieweit ein jahreszeitabhängiger Einfluss auf den Energiebedarf der Fahrzeuge erkennbar ist, da speziell im Winter ein zusätzlicher Wärmebedarf für Batterietemperierung und Fahrzeugheizung anfällt.

Zu diesem Zweck wurden aus den Messreihen 103 Datenreihen ausgewählt, die eindeutig der Sommerperiode (Ende April bis Ende September) bzw. der Winterperiode (November bis Mitte März) zugeordnet werden konnten. Zusätzlich wurde wieder nach dem Fahrzeugtyp unterschieden, um das Ergebnis nicht durch den Einfluss der unterschiedlichen Batterietypen zu überlagern.

Fahrzeugtyp	Think City		Fiat 500 + Panda	
Jahreszeit	Sommer	Winter	Sommer	Winter
Anzahl Datensätze	36	25	19	23
Energieverbrauch pro km (kWh/km)	0,19	0,22	0,14	0,17
Stand-by-Verbrauch pro Tag (kWh/d)	3,57	4,49	3,35	3,43
Bestimmtheitsmaß (R^2)	0,995	0,998	0,984	0,974

Tabelle 3: Jahreszeitliche Abhängigkeit des spezif. Verbrauchs – gegliedert nach KFZ-Modell (ausschl. Zebra-Batterien)

Wie in Tabelle 3 ersichtlich, verbessert sich die Korrelation bei den Think City-Modellen sowie bei den Sommerdaten der Fiat-Modelle. Lediglich bei den Winterdaten der Fiat-Modelle ergibt die Berücksichtigung der Jahreszeit keine eindeutige Verbesserung im Bestimmtheitsmaß.

Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Jahreszeit einen eindeutigen Einfluss auf den Energieverbrauch der Fahrzeuge hat. Wie in Tabelle 4 dargestellt, sind sowohl Stand-By-Verbrauch als auch der fahrleistungsabhängige Verbrauch bei den Think City-Modellen im Winter deutlich höher. Bei den Fiat-Modellen ist die Differenz beim fahrleistungsabhängigen Verbrauch in einer ähnlichen Größenordnung. Beim Stand-By-Verbrauch ist die Differenz geringer, was zum Teil auf die schlechtere Korrelation des Datenmodells und zum Teil auf die durch die kleinere Batterie insgesamt geringeren Stand-By-Verluste der Fiat-Modelle zurückzuführen ist.

Fahrzeugtyp	Think City		Fiat 500 + Panda	
	Differenz	in %	Differenz	in %
Energieverbrauch pro km (kWh/km)	0,03	17%	0,03	21%
Stand-by-Verbrauch pro Tag (kWh/d)	0,93	26%	0,08	2%

Tabelle 4: Jahreszeitliche Differenz im Energieverbrauch (ausschließlich KFZ mit Zebra-Batterien)

Vergleich der Fahrzeugeffizienz: Elektro-PKW mit Zebra-Batterie versus Diesel-PKW

Um die Energieeffizienz von Fahrzeugen mit Hochtemperaturbatterien vergleichen zu können, muss beim Ansatz von der gleichen Fahrleistung ausgegangen werden. Um einen möglichst realistischen Vergleich zu erhalten, wurden nur die Verbrauchsdaten der Think City-Modelle herangezogen, da diese – was Reichweite, Höchstgeschwindigkeit und Fahrzeugzuverlässigkeit anlangt – deutlich über den Werten der Fiat-Modelle liegen.

In den untenstehenden Tabellen wurden die ermittelten Verbrauchswerte für die Think City Modelle mit dem Verbrauch eines derzeit verfügbaren Diesel Kleinwagens der höchsten Effizienzklasse (Leitprodukt: VW Polo Bluemotion) jeweils für den Fall einer geringen Jahresfahrleistung und einer hohen Jahresfahrleistung angenommen. Beim Dieseldiesekleinwagen wurde angenommen, dass dieser unter realen Alltagsbedingungen einen durchschnittlichen spezifischen Energieverbrauch von 4,5 Liter pro 100 Kilometer aufweist⁴.

Effizienzvergleich bei hoher jährlicher Fahrleistung	Think City	Diesel-Kleinwagen
Stand-By-Verluste (kWh/d)	4,2	0
Fahrleistungsabhängiger Energieverbrauch (kWh/km)	0,18	0,45
Nutzungstage (d)	365	365
Jährliche Fahrleistung (km)	12.000	12.000
Energieverbrauch (Endenergie in kWh)	3.693	5.400

Tabelle 5: Energieverbrauchsvergleich bei hoher jährlicher Fahrleistung (ausschließlich KFZ mit Zebra-Batterien)

Effizienzvergleich bei geringer jährlicher Fahrleistung	Think City	Diesel-Kleinwagen
Stand-By-Verluste (kWh/d)	4,2	0
Fahrleistungsabhängiger Energieverbrauch (kWh/km)	0,18	0,45
Nutzungstage (d)	365	365
Jährliche Fahrleistung (km)	6.000	6.000
Energieverbrauch (Endenergie in kWh)	2.613	2.700

Tabelle 6: Energieverbrauchsvergleich bei niedriger jährlicher Fahrleistung (ausschließlich KFZ mit Zebra-Batterien)

Wie in obigen Tabellen ersichtlich, verbraucht das Elektrofahrzeug (Think City mit Zebra-Batterie) bei einer hohen jährlichen Fahrleistung rund 30% weniger, bei geringer Fahrleistung jedoch nur 3% weniger Energie als das Dieselfahrzeug.

Werden die Vorketten der Energieerzeugung in Form von Primärenergiefaktoren berücksichtigt, so zeigt sich, dass ein Effizienzgewinn durch das Elektroauto mit Zebra-Batterien nur mehr bei hohen Fahrleistungen und der Verwendung von Ökostrom vorliegt.

Fahrzeug	Think City			Diesel Kleinwagen
Energieträger	Strom aus PV	Strom aus Wasserkraft	UCTE Strommix	Diesel
Primärenergiefaktoren	1,66	1,33	3,53	1,22
Primärenergieverbr. bei 12.000 km/Jahr (in kWh)	6.130	4.912	13.036	6.588
Primärenergieverbr. bei 6.000 km/Jahr (in kWh)	4.338	3.475	9.224	3.294

Tabelle 7: Vergleich des Energieverbrauchs auf Primärenergiebasis (ausschließlich KFZ mit Zebra-Batterien)

⁴ Basis für die Annahme ist der Mittelwert der Verbrauchsangaben für das Modell VW Polo Bluemotion auf der Internetseite „Spritpreismonitor.de“: <http://www.spritmonitor.de/de/uebersicht/50-Volkswagen/451-Polo.html?fueltype=1&exactmodel=Bluemotion&powerunit=2>

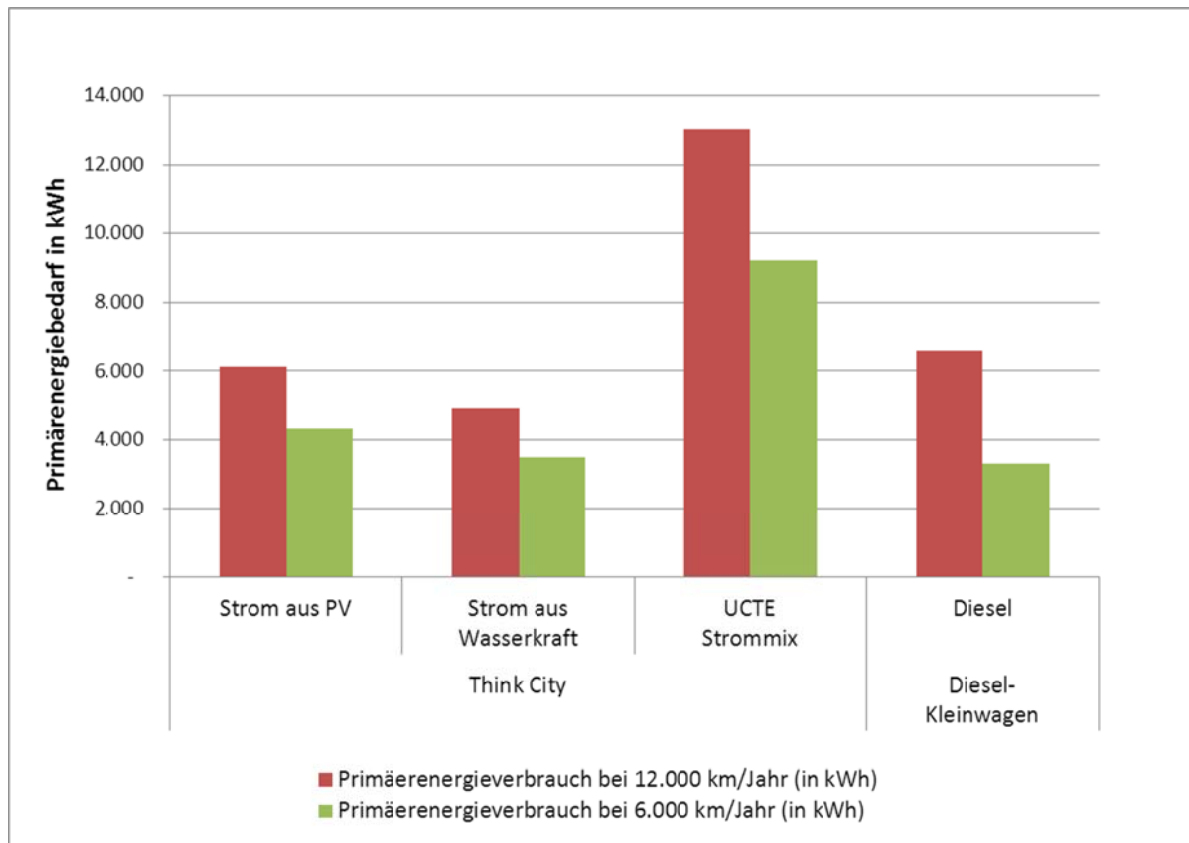


Abbildung 10: Vergleich Energieverbrauch auf Primärenergiebasis: Think City (mit Zebra-Batterie) versus Diesel-Kleinwagen

Für einen vollständigen Vergleich des kumulierten Energieverbrauchs müsste ein Vergleich eines ganzen Fahrzeuglebenszyklus vorgenommen werden, der neben den Verbrauchsdaten auch den kumulierten Energieverbrauch für die Produktion und Entsorgung der Fahrzeuge berücksichtigt. Mangels belastbarer Datengrundlagen speziell für die Frage der Produktion und Entsorgung der Batteriesysteme wurde auf diesen Vergleich an dieser Stelle verzichtet.

Vergleich der CO₂-Emissionen: Elektro-PKW versus Diesel-PKW

Auch für den Vergleich der CO₂-Emissionen wurden wieder für beide Fahrzeugtypen ein Vergleich mit einer hohen und einer niedrigen jährlichen Fahrleistung vorgenommen.

Fahrzeug	Think City			Diesel-Kleinwagen
	Strom aus PV	UCTE-Strommix	Strom aus Wasserkraft	Diesel
Energieträger				
Emissionsfaktoren in kg CO ₂ -Äquivalent pro kWh ⁵	0,09	0,60	0,01	0,30
Kumulierte CO ₂ -Emissionen in kg CO ₂ - bei hohen Fahrleistungen (12.000 km/Jahr)	330	2.200	40	1.633
Kumulierte CO ₂ -Emissionen in kg CO ₂ bei niedrigen Fahrleistungen (6.000 km/Jahr)	235	1.425	28	816

Tabelle 8: Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalent in Abhängigkeit der jährlichen Fahrleistung und Energiequelle (gilt für E-Auto mit Zebra-Batterien)

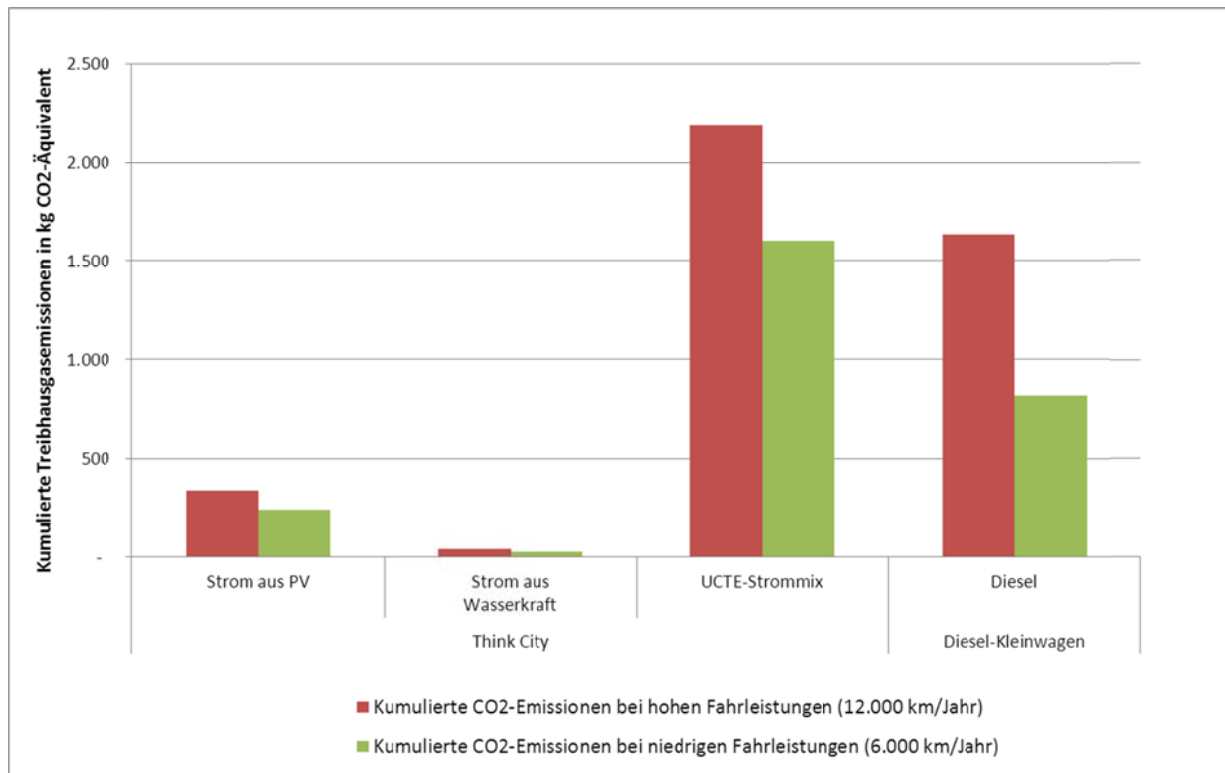


Abbildung 11: Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalent in Abhängigkeit der jährlichen Fahrleistung und Energiequelle (E-Auto mit Zebra-Batterie)

Wie in Abbildung 11 ersichtlich, stellt die Klimawirkung die besondere Stärke der Elektrofahrzeuge dar. Unter der Voraussetzung, dass der vom Fahrzeug benötigte elektrische Strom zur Gänze aus Photovoltaik-Anlagen stammt, reduziert sich der kumulierte CO₂-Ausstoß (inklusive Vorketten) auch im Falle von geringen jährlichen Fahrleistungen um mehr als 70% bei PV Strom. Bei Strom aus Wasserkraft beträgt die Reduktionsleistung gegenüber einem bereits sehr effizienten Dieselfahrzeug sogar 95%.

⁵ Quelle: Frischknecht, Tuchsmit 2008: Primärenergiefaktoren von Energiesystemen, ESU-Services

Wie beim Vergleich des Energieverbrauchs soll auch an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass für einen umfassenden Vergleich der treibhauswirksamen Emissionen auch die kumulierten CO₂-Emissionen des ganzen Fahrzeuglebenszyklus berücksichtigt werden müssten. Also auch jene Treibhausgasemissionen, die bei der Produktion und Entsorgung des Fahrzeugs anfallen.

Schlussfolgerungen aus den Langzeitmessungen

Aus den Ergebnissen der Langzeitmessungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die im Alltagsbetrieb erzielten Energieverbrauchswerte („Tank-to-Wheel“) liegen (wie auch bei den Fahrzeugen mit Verbrennungskraftmotoren beobachtet) bei den untersuchten Fahrzeugen deutlich über den Herstellerangaben.
- Bei geringeren Kilometerleistungen liegt der spezifische Energieverbrauch pro gefahrenem Kilometer relativ hoch, da in diesen Fällen der Stand-By-Verbrauch der Hochtemperatur-Batterien zu einem dominanten Faktor wird.
- Bei jährlichen Fahrleistungen von 6.000 km sind die Energieeinsparungen eines mit einer Zebra-Batterie betriebenen Fahrzeugs gegenüber einem Diesel-Kleinwagen der Effizienzklasse A nur gering.
- Werden bei E-Autos mit Hochtemperaturbatterien aber Fahrleistungen deutlich über 10.000 km pro Jahr zurückgelegt, tritt der Einfluss des fahrleistungsunabhängigen Stand-By-Verbrauchs in den Hintergrund. Hier können Energieverbrauchswerte zwischen 20 und 25 kWh pro 100 Kilometer erzielt werden.
- Ein Vorteil der Zebra-Batterien ist ihre vergleichsweise geringe Empfindlichkeit gegenüber niedrigen Außentemperaturen.
- Ein weiterer Vorteil von Zebra-Batterien ist, dass die Batterierohstoffe (Natrium, Nickel, Chlor) gut verfügbar sind.
- Die zentrale Stärke der in der Langzeitmessung untersuchten Elektrofahrzeuge ist das große Reduktionspotential von Treibhausgasen durch den Ersatz von fossiler Energie durch Strom aus Ökostromanlagen.
- Ein weiterer großer Vorteil liegt in der Vermeidung von Luftschadstoffen wie NO_x, Ozon oder Feinstaub, die derzeit zu einem großen Teil durch fossil betriebene KFZ ausgestoßen werden.
- Um die für einen größeren Umstieg auf elektrisch angetriebene KFZ benötigten Strommengen aus neuen Ökostromanlagen bereitstellen zu können, sollte die Fahrzeugeffizienz noch weiter gesteigert werden.

Ansatzpunkte zur weiteren Steigerung der Energieeffizienz :

1. Verringerung des Fahrzeuggewichts durch den Einsatz von Leichtbauweise.
2. Fahrzeuge mit Hochtemperaturbatterien nur für Anwendungen mit großer jährlicher Kilometerleistung einsetzen (Langstreckenpendler, Lieferdienste,...)
3. Fahrzeuge mit geringeren jährlichen Fahrleistungen (unter 10.000 km) sollten mit Batteriesystemen betrieben werden, die keine oder nur sehr geringe Stand-By-Verluste aufweisen

Erfahrungen aus ersten Messreihen an Fahrzeugen mit Lithium-Batterien

Erste Messergebnisse mit den im Rahmen des VLOTTE-Projekts neu eingesetzten Fahrzeugen mit Lithium-Batterien (Citroen C-Zero, Mitsubishi i-MiV) zeigen deutlich geringere Verbrauchswerte als die in der Langzeitmessung untersuchten Zebra-Batterie-Fahrzeuge. (Siehe Tabelle 9)

Mess-Serie Citroen C-Zero	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2	Fahrzeug 3
Spezifischer Energieverbrauch (kWh/100 km)	16,9	16,46	16,34
Messperiode	10 Wochen	8 Wochen	4 Wochen

Tabelle 9: Ergebnisse der Mess-Serien - April bis Juni 2011 an drei KFZ mit Lithium-Batterien (Citroen C-Zero)

Die oben dargestellte Mess-Serie wurde im Zeitraum April bis Juni durchgeführt. In diesem Zeitraum wird in der Regel keine Energie für den Betrieb von Heizung bzw. Klimaanlage benötigt. Selbst wenn man aber davon ausgeht, dass im Jahresdurchschnitt nur ein spezifischer Energieverbrauch von 20 kWh/100 km erreicht werden kann, so sind auch bei einer Betrachtung der Primärenergie die Werte der Lithium-Fahrzeuge deutlich besser als jene von hocheffizienten Diesel-Kleinwagen. (Siehe Abbildung 12)

Auch bei diesen Fahrzeugen ist aber die Art der Erzeugung des elektrischen Energie der entscheidende Faktor für die Gesamteffizienz des Systems.

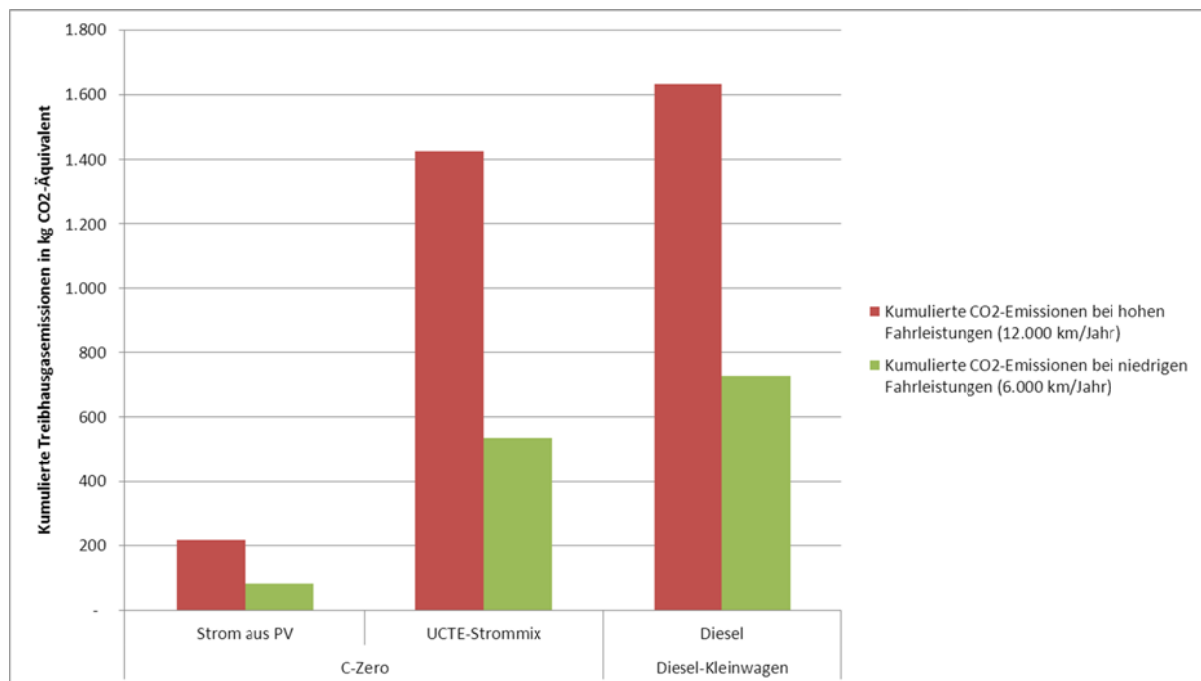


Abbildung 12: Vergleich des Energieverbrauchs auf Primärenergiebasis zwischen C-Zero (Lithium-Batterie) und Diesel-Kleinwagen

Energie- und CO2-Bilanzierung

Eine der Vorgaben an das VLOTTE-Projekts ist es, den durch die Elektro-Fahrzeuge verursachten Energieverbrauch zumindest im Rahmen einer Jahresbilanzbetrachtung zur Gänze durch Strom aus neu errichteten Ökostromanlagen zu decken.

Anforderungen aus der Ausschreibung des Klimafonds

Laut Ausschreibungsanforderungen des Klima- und Energiefonds sollten für die Dimensionierung der zu errichtenden Ökostromanlagen folgende Kennzahlen herangezogen werden:

- durchschnittlicher Jahreskilometerleistung der E-Fahrzeuge: 7.500 km
- durchschnittlicher spezifischer Energieverbrauch der E-Fahrzeuge: 18 kWh/100 km

Auf Basis dieser Vorgaben wurde die Errichtung von vier Ökostromanlagen geplant, die im Zuge des VLOTTE-Projekts schrittweise errichtet und ins Netz gebracht werden sollen.

1. PV-Anlage Bregenz Weidach | 65.000 kWh Jahresertrag | Inbetriebnahme: September 2009
2. PV-Anlage MFH Krumbach | 30.000 kWh Jahresertrag | Inbetriebnahme: Juli 2010
3. Revitalisierung KWK Brunnenfeld | 1.700.000 kWh Jahresertrag⁶ | Inbetriebnahme: April 2011
4. PV-Anlage in Lingenau | 6.300 kWh Jahresertrag | Inbetriebnahme: Juli 2011

Energiebilanz für den Zeitraum Juli 2009 bis Dezember 2010

Im Berichtszeitraum für das VLOTTE-Monitoring (Juli 2009 bis Dezember 2010) waren in Summe 79 Elektrofahrzeuge im Einsatz. Diese haben, wie in untenstehender Tabelle dargelegt, bis Ende 2010 im Rahmen des VLOTTE-Projekts 653.994 Kilometer zurückgelegt.

KFZ Nr.	km	KFZ Nr.	km	KFZ Nr.	km	KFZ Nr.	km
1	25.080	21	3.493	41	10.491	61	5.530
2	13.787	22	3.766	42	14.520	62	13.851
3	6.300	23	8.000	43	6.852	63	11.140
4	14.890	24	1.650	44	7.122	64	5.880
5	13.539	25	4.104	45	13.137	65	6.974
6	9.113	26	7.144	46	19.331	66	9.922
7	10.597	27	4.515	47	9.891	67	5.776
8	3.050	28	5.446	48	10.437	68	6.300
9	6.570	29	5.982	49	14.400	69	6.398
10	9.488	30	7.683	50	12.783	70	5.203
11	6.655	31	4.214	51	11.902	71	4.700
12	6.556	32	3.140	52	8.744	72	4.130
13	11.296	33	4.450	53	20.266	73	5.895
14	5.574	34	8.939	54	13.713	74	3.650
15	3.013	35	10.370	55	9.613	75	2.398
16	4.199	36	12.598	56	13.004	76	7.235
17	5.982	37	7.130	57	12.921	77	7.817
18	6.126	38	7.099	58	13.059	78	2.495
19	3.239	39	6.557	59	12.698	79	2.504
20	5.574	40	6.704	60	7.700		

Tabelle 10: Aufstellung der Fahrleistung der VLOTTE-Fahrzeuge bis Ende 2010

⁶ Das Kraftwerk Brunnenfeld verfügt über ein jährliches Regelarbeitsvermögen von rund 1,7 Mio kWh. Es wurde vertraglich vereinbart, dass mindestens ein Viertel der Jahreserzeugung für den Betrieb der VLOTTE-Fahrzeuge zur Verfügung gestellt wird.

Für die Hochrechnung des kumulierten Energiebedarfs aller 79 Fahrzeuge wurde ein spezifischer Energieverbrauch von 0,35 kWh/km angesetzt. Dieser wurde als mittlerer Verbrauchswert für die 40 Fahrzeuge ermittelt, die an der Langzeitmessung teilgenommen haben. (siehe Seite 14) Damit ergibt sich ein rechnerischer Energieverbrauch von rund 229.000 kWh für die im Zeitraum Juni 2009 bis Dezember 2010 in Betrieb befindlichen VLOTTE-Autos.

Energieerzeugung

Zur Abdeckung der für den Betrieb der Vlotte-Autos benötigten elektrischen Energie wurden im Zeitraum 2009 bis 2010 die Photovoltaik-Anlagen auf dem VKW-Parkhaus in Bregenz Weidach und auf der Mehrwohnungsanlage in Krumbach errichtet.

Die quartalsweisen Erträge der beiden Anlagen sind in untenstehender Tabelle dargestellt:

Anlagen	Quartal III / 09 [kWh]	Quartal IV / 09 [kWh]	Quartal I / 10 [kWh]	Quartal II / 10 [kWh]	Quartal III / 10 [kWh]	Quartal IV / 10 [kWh]	Gesamtertrag [kWh]
Parkhaus Weidach	6.862	10.003	12.177	23.836	23.666	7.949	84.493
MFH Krumbach	-	-	-	-	9.782	3.344	13.126
Summe	6.862	10.003	12.177	23.836	33.448	11.293	97.619

Tabelle 11: Erträge der im Zuge des Vlotte-Projekts errichteten PV-Anlagen

Energiebilanz für den Zeitraum September 2009 bis Dezember 2011

Wie in Abbildung 13 ersichtlich, ergibt sich für den Betrachtungszeitraum 2009/2010 bei der Gegenüberstellung von Ertrag und Verbrauch eine deutliche Unterdeckung.

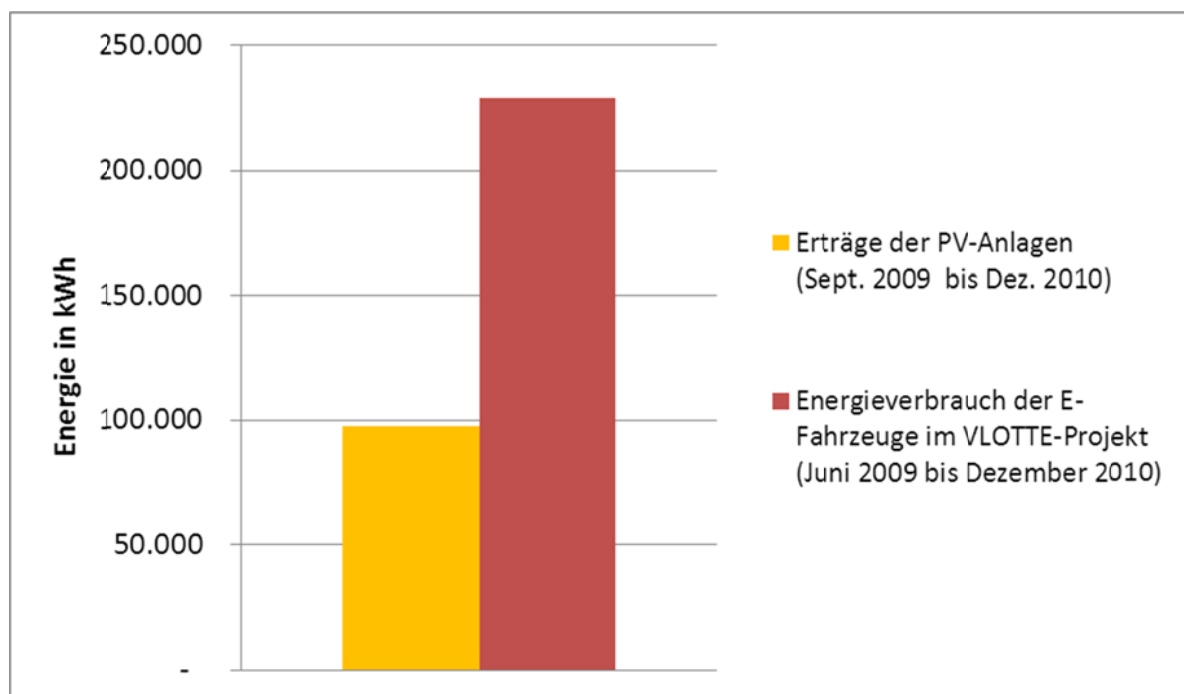


Abbildung 13: Vorläufige Energiebilanz des VLOTTE-Projekts im Zeitraum 6/2009 bis 12/2010

Die Ursache für diese Differenz ist zum einen darauf zurückzuführen, dass der in der Klimafonds-Ausschreibung vorgegebene spezifische Energieverbrauch pro E-Auto deutlich unter den tatsächlich

ermittelten Verbrauchswerten liegt. Zum anderen liegt auch die durchschnittliche jährliche Fahrleistung der in der Langzeitmessung untersuchten Fahrzeuge mit 8.449 Kilometern fast 1.000 Kilometer über der in der Klimafondsausschreibung angenommenen jährlichen Fahrleistung von 7.500 km.

Herkunft des nicht durch die PV-Anlagen abgedeckten Betriebsenergie der VLOTTE-Autos

Da die VLOTTE-Autos fast ausschließlich in Vorarlberg im Einsatz sind, kann davon ausgegangen werden, dass die nicht von den PV-Anlagen bilanztechnisch abgedeckte Energiemenge von 130.000 kWh aus dem VKW-Netz und damit mit dem Erzeugungsmix des VKW-Haushaltstroms abgedeckt worden ist.

CO₂-Bilanz für den Zeitraum 2009/2010

Für die Erstellung der CO₂-Bilanz wurden folgende Annahmen getroffen:

- Betrachtet wurde nur die Verbrauchsenergie – Emissionen, die bei der Produktion bzw. Entsorgung der Fahrzeuge anfallen, wurden nicht berücksichtigt.
- Für den spezifischen Energieverbrauch einer auf Diesel-Kleinwagen basierenden Referenz-Flotte wurden 4,5 Liter Diesel pro 100 km Fahrleistung angenommen (siehe Seite 21).
- Als CO₂-Faktoren für Diesel und PV-Strom wurden die Faktoren aus der ESU-Studie von Frischknecht und Tuchschnid herangezogen⁷.
- Als CO₂-Faktor für VKW-Netzstrom (VKW Privat bzw. VKW Privat 24) wurden 0,14 kg/kWh angesetzt⁸.

	CO ₂ -Faktoren	Diesel-Fahrzeuge	VLOTTE-Fahrzeuge
Fahrleistung [km]		653.994	653.994
Spezifischer Verbrauch [kWh/km]		0,45	0,35
Endenergieverbrauch [kWh]		294.297	228.898
- davon aus PV-Anlagen	0,09 kg/kg CO ₂	-	97.619
- davon aus VKW-Netz	0,14 kg/kg CO ₂	-	131.279
- davon aus Diesel	0,3 kg/kg CO ₂	294.297	-
CO ₂ -Emissionen in kg		88.289	27.165

Tabelle 12: Vorläufige Vergleichsrechnung zu den CO₂-Emissionen für den Zeitraum 2009/2010 (E-Autos mit Zebra-Batterien)

Wie in obenstehender Tabelle ersichtlich, haben die VLOTTE-Fahrzeuge nur 30% jener Menge an CO₂-Emissionen verursacht, die eine aus energieeffizienten Dieselfahrzeugen bestehende Fahrzeugflotte ausgestoßen hätte.

⁷ Frischknecht, Tuchschnid 2008: Primärenergiefaktoren von Energiesystemen, ESU-Services

⁸ Quelle: http://www.vkw.at/downloads/at/produktfolder_privat.pdf

Abschließende Gesamtenergiebilanz für das VLOTTE Projekt

Fahrzeugflotte im Projekt-Endausbau

Im Rahmen des VLOTTE-Projekts sollen insgesamt 394 Elektro-Autos angeschafft werden. Zu den bereits Ende 2010 betriebenen 79 Autos kommen somit nochmals 315 Autos dazu, die sich voraussichtlich folgendermaßen zusammensetzen werden:

- 10 mit Zebra-Batterien ausgestattete Citroen Berlingos
- 305 mit Lithium-Ionen-Batterien ausgestattete Mitsubishi iMiEV, Citroen C-Zero oder Peugeot Ion

Abschätzung des Energiebedarfs der VLOTTE-Fahrzeuge im Endausbau

Für die Abschätzung des Gesamtenergiebedarfs wurde angenommen, dass die 10 Zebra-Batterie-Fahrzeuge im Mittel denselben spezifischen Energieverbrauch (35 kWh/100 km) aufweisen wie die 40 Zebra-Fahrzeuge aus der Langzeitmessung.

Für die Lithium-Fahrzeuge wurde der auf Seite 25 abgeschätzte spezifische Verbrauch von 20 kWh/100 km angenommen. Ebenfalls basierend auf den Ergebnissen der Langzeitmessung wurde für alle Fahrzeuge eine mittlere jährliche Fahrleistung von 8.500 km angenommen.

Auf Basis dieser Annahmen errechnet sich ein jährlicher Energiebedarf für den Betrieb der 394 VLOTTE-Autos von rund 780.000 kWh.

	Anzahl KFZ	spez. Energieverbrauch (in kWh/100 km)	Durchschnittliche Fahrleistung (km/a KFZ)	Strombedarf (in kWh/a)
Vlotte-Autos mit Zebra-Batterien	89	35	8.500	264.775
Vlotte-Autos mit Lithium-Batterien	305	20	8.500	518.500

Tabelle 13: Abschätzung des jährlichen Bedarfs an Betriebsenergie für die VLOTTE-Fahrzeuge im Endausbau

Gegenüberstellung von Erzeugung und Verbrauch im Endausbau

Wie in untenstehender Grafik ersichtlich, wird neben dem jährlichen Ertrag der drei PV-Anlagen auch rund 40% der Jahreserzeugung des Kleinwasserkraftwerks Brunnenfeld für die VLOTTE-Fahrzeuge zugeteilt, um eine ausgeglichene Bilanz zwischen Verbrauch und Erzeugung zu gewährleisten.

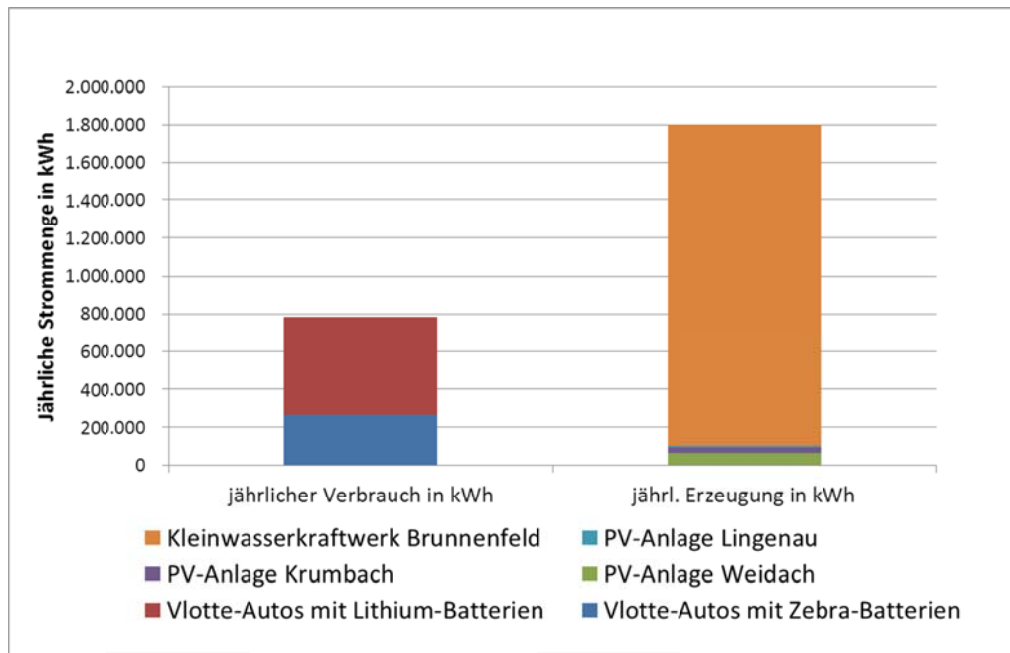


Abbildung 14: Gegenüberstellung von Energieverbrauch und Erzeugung im Endausbau des VLOTTE-Projekts (Darstellung mit 100% der Jahreserzeugung des KWK Brunnenfelds)

Schlussfolgerungen aus der Energiebilanz

- Bedingt durch die niedrige CO₂-Belastung des im VLOTTE-Projekt eingesetzten Stroms, haben die VLOTTE-Autos im Betrieb eine deutlich bessere CO₂-Bilanz als vergleichbare fossil betriebene Kleinwagen.
- Der reale Energieverbrauch der Elektroautos liegt im VLOTTE-Projekt speziell bei den mit Zebra-Batterien betriebenen Fahrzeugen deutlich über den Herstellerangaben. Dadurch mussten mehr Ökostromanlagen errichtet werden, als ursprünglich vorgesehen.
- Eine Umstellung der aktuell in Vorarlberg vorhandenen Fahrzeugflotte auf Elektroautos kann einen sehr hohen Beitrag zur CO₂-Reduktion leisten. Dazu muss es gelingen, die für die Fahrzeuge benötigte Betriebsenergie in neu errichteten Ökostromanlagen zu erzeugen.

Nutzerbefragung

Anlass und Ausgangslage

In der letzten Zeit wurden zahlreiche Einstellungs-Befragungen zur Elektromobilität durchgeführt⁹. Da bislang Elektroautos aber meist nur in sehr geringen Stückzahlen am Markt waren, wurden meist Personen befragt, die keine persönlichen Erfahrungen mit Elektroautos gemacht hatten. Daten zu den Meinungen und Erfahrungen von tatsächlichen NutzerInnen von Elektroautos liegen hingegen bislang kaum vor.

Im Rahmen des VLOTTE-Projekts war es nun möglich, eine große Anzahl an Personen, die regelmäßig mit Elektroautos unterwegs waren, zu ihren Haltungen und persönlichen Erfahrungen mit diesen Elektroautos zu befragen. Neben der vergleichsweise hohen Dichte an Elektro-Autos war auch der Umstand hilfreich, dass die befragten Nutzer nur mit drei verschiedenen Fahrzeugmodellen unterwegs waren und es sich bei allen Modellen um Kleinwagen mit Hochtemperaturbatterien gehandelt hat. Durch Homogenität der Fahrzeuge wurden die Erfahrungen mit Elektroautos nicht durch stark abweichende Modellerfahrungen überlagert.

Untersuchte Fragestellungen

Im Rahmen des Monitoring wurden folgende Fragekomplexe vertieft beleuchtet.

- Wie bewerten „Vielfahrer“ die Eigenschaften von Elektroautos?
- Wie sieht das Fahr- und Tankverhalten aus?
- Welche Motivation haben Nutzer und Betriebe, mit einem E-Auto zu fahren bzw. eines anzuschaffen?
- Wie hoch ist die Bereitschaft privat ein E-Auto anzuschaffen?

Methode und Ablauf der Befragung

Die VLOTTE-Nutzerbefragung wurde im Jahr 2010 im Zeitraum zwischen Juli bis September 2010 durchgeführt. Befragt wurden zwei unterschiedliche Personengruppen:

Fahrzeugbetreuer/innen

Personen, die – in den am VLOTTE Projekt teilnehmenden Organisationen (Betriebe, Verwaltungen, NGOs) – für die Betreuung des Elektro-Autos zuständig sind. Sie kümmern sich um die Einschulung von Mitarbeitern, Ablesung von Verbrauchsdaten, Durchführung von Wartungs- und Serviceeinheiten

FahrzeugnutzerInnen

Mitarbeiter/innen von Organisationen, die sich am VLOTTE Projekt beteiligen und bereits mehrfach mit dem Elektro-Auto des Betriebs unterwegs waren

Befragung der Fahrzeug-BetreuerInnen

Befragt wurden 39 Betreuungspersonen aus Unternehmen, die bereits zwischen 6 und 12 Monate ein oder mehrere VLOTTE-Autos im Einsatz hatten. Die Befragung fand in Form eines leitfadengestützten Telefoninterviews statt, in dem sowohl Fragen zu Erfahrungen und Einschätzungen aus Sicht der Betreuungsperson als auch zu persönlichen Erfahrungen und Einschätzungen als Fahrzeuglenker/in gestellt wurden.

⁹ z.B.: Ernest & Young 2010: Gauging interest for plug-in hybrid and electric vehicles in select markets; Mobilitätsakademie des TCS 2010: „Die Schweizer fahren elektrisch ab!“

Demografische Daten der FahrzeugbetreuerInnen

Unter den 39 befragten Fahrzeugbetreuer/innen waren 7 Frauen und 32 Männer. Die Jahrgänge der Betreuer lagen zum größten Teil im Bereich von 1960 bis 1969 (41%) gefolgt von den Jahrgängen 1970 bis 1979 (23%) und 1950 bis 1959 (18%).

Bei den von den Auskunftspersonen betreuten Fahrzeugen handelte es sich im Wesentlichen um die Modelle Think City, Fiat 500 und Fiat Panda.

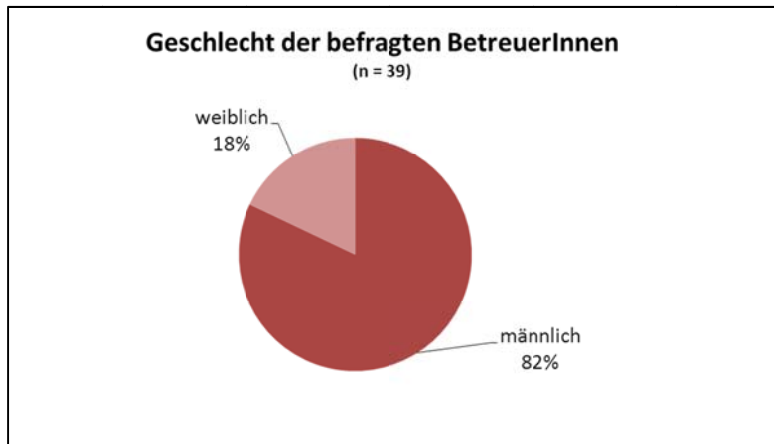


Abbildung 15: Geschlecht der befragten BetreuerInnen

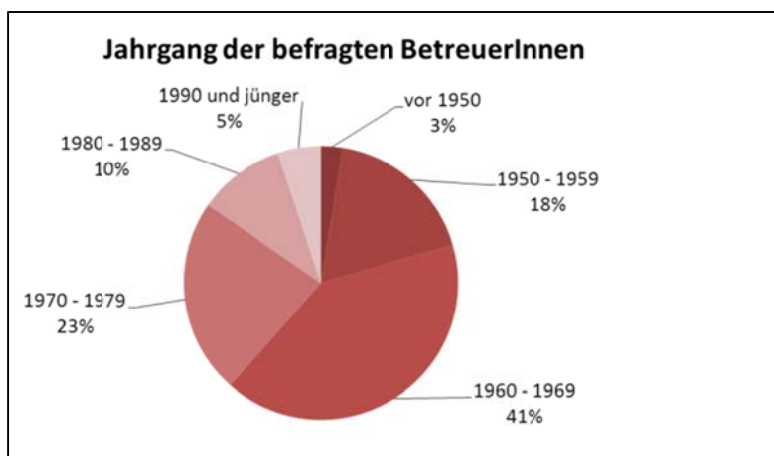


Abbildung 16: Jahrgang der BetreuerInnen

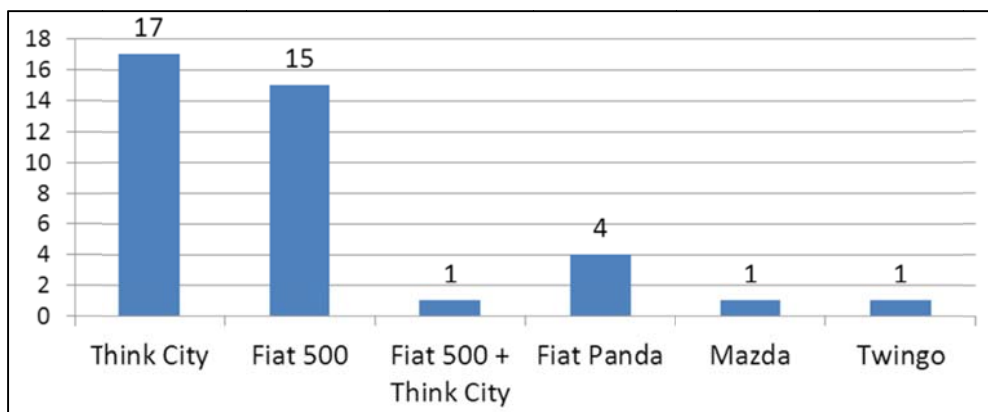


Abbildung 17: Von den Auskunftspersonen betreute Fahrzeugtypen (ausschließlich Fahrzeuge mit Zebra-Batterie)

Befragung der FahrzeugnutzerInnen

Hier wurden 140 Mitarbeiter/innen aus Organisationen befragt, die bereits wiederholt mit dem Elektro-Auto des Betriebs unterwegs waren.

Diese Befragung fand mittels eines Online-Formulars statt, das von den befragten Personen ausgefüllt wurde. Gefragt wurde nach persönlichen Erfahrungen und Einschätzungen vor dem Erfahrungshintergrund einer regelmäßigen Nutzung von E-Autos im Alltagsverkehr

Demografische Daten der FahrzeugnutzerInnen

Die Gruppe der 140 befragten **NutzerInnen** teilte sich zu 26% in weibliche und 74% männliche Auskunftspersonen auf. Im Gegensatz zu den BetreuerInnen war bei den NutzerInnen der Jahrgang von 1980 bis 1989 wesentlich stärker vertreten.

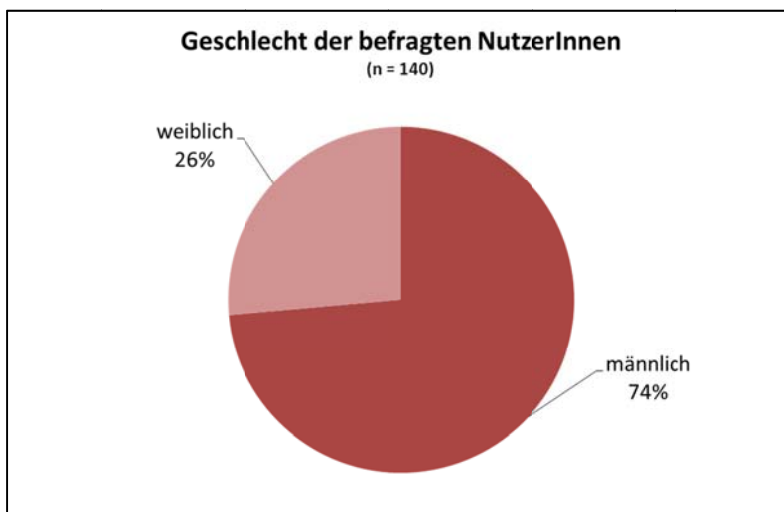


Abbildung 18: Geschlecht der befragten BetreuerInnen

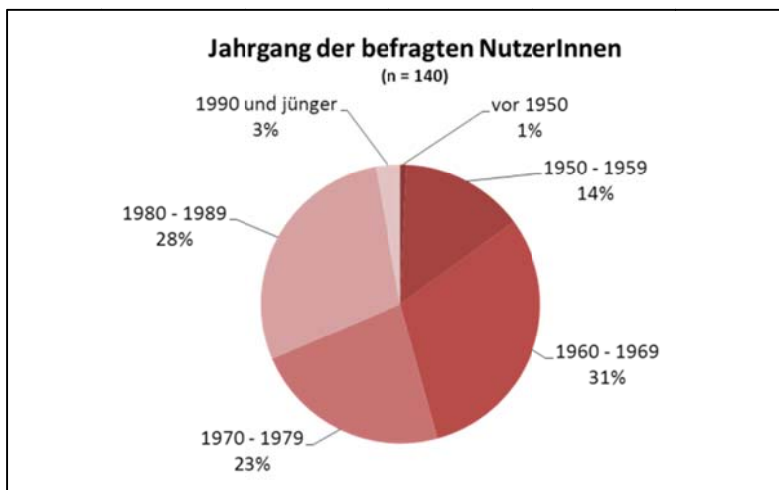


Abbildung 19: Jahrgang der Befragten NutzerInnen

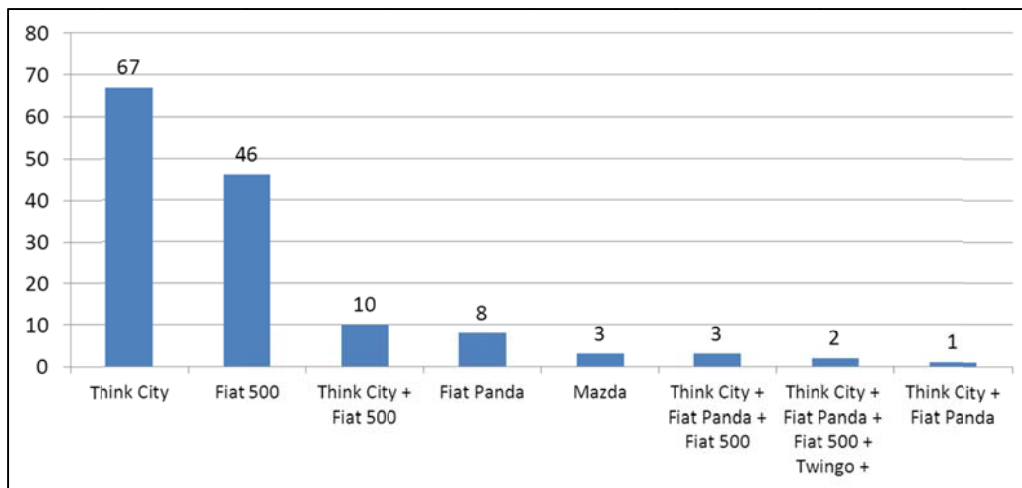


Abbildung 20: Von den NutzerInnen gefahrene Fahrzeugtypen (ausschließlich Fahrzeuge mit Zebra-Batterie)

Ergebnisse der Befragung zum Fahrverhalten und zur Fahrzeugnutzung

Die von den Auskunftspersonen genutzten Fahrzeuge werden als Pool-Autos bei den jeweiligen Betrieben eingesetzt. 97% dieser Autos sind laut Angaben der BetreuerInnen täglich oder mehrmals wöchentlich unterwegs.

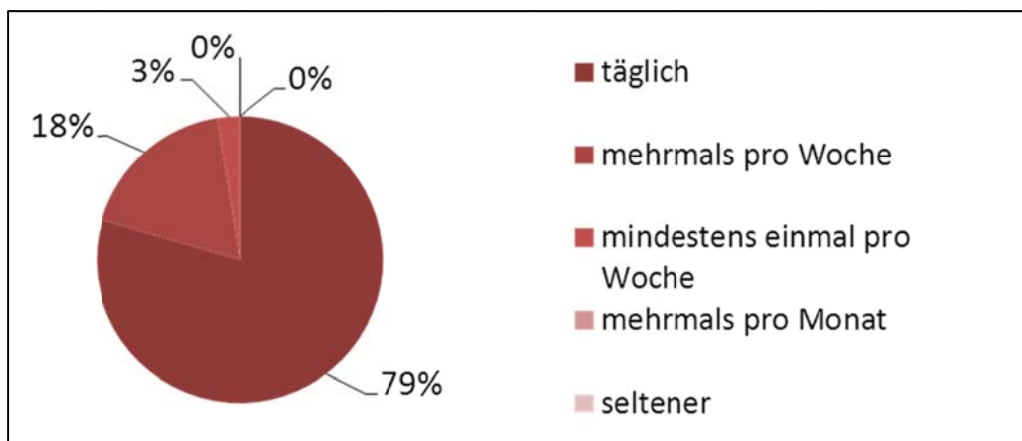


Abbildung 21: Angaben der Betreuungspersonen zur Autonutzung im Betrieb

Der Anteil der Belegschaft des Betriebs, der die Autos tatsächlich nutzt ist von Betrieb zu Betrieb sehr unterschiedlich – abhängig hauptsächlich von der Bewerbung der Fahrzeuge im Betrieb und der Verfügbarkeit des Autos.

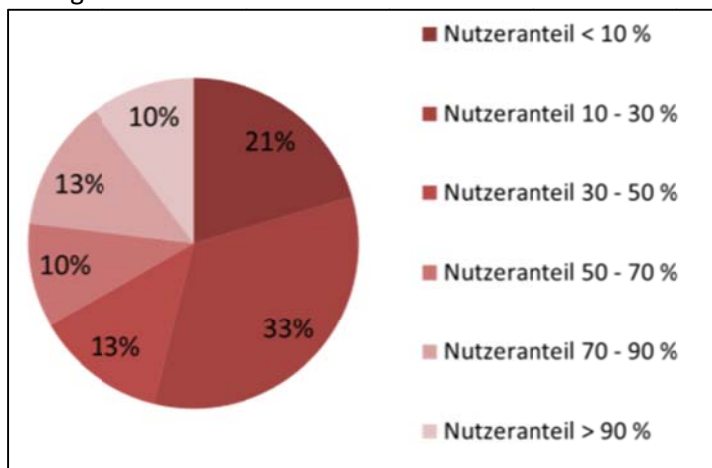


Abbildung 22: Anteil der Belegschaft, die das Auto tatsächlich nutzt

79,5% der befragten 140 NutzerInnen waren **mehrmals im Monat**, 25% sogar mehrmals pro Woche mit einem Vlotte-Auto unterwegs. Die befragten Personen verfügten also mehrheitlich über eine gute Praxiserfahrung in der Nutzung von Elektro-Autos.

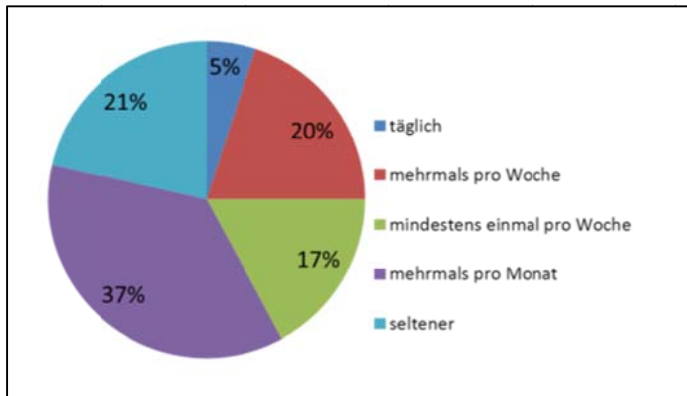


Abbildung 23: Zeitliches Nutzungsverhalten der befragten FahrzeugnutzerInnen

Bedingt durch die Funktion der Elektro-Autos als betriebliche Pool-Fahrzeuge wurden diese hauptsächlich für Dienstfahrten eingesetzt. In wenigen Ausnahmefällen erfolgte aber auch eine Freigabe für private Nutzungen.



Abbildung 24: Angaben zum Verwendungszweck der Fahrzeuge

Vlotte-Autos sind Kurzstreckenfahrzeuge

Die durchschnittliche Fahrdauer (Hinfahrt, Aufenthaltsdauer und Rückfahrt) der Elektro-Autos ist eher kurz und liegt bei etwa einer Stunde. Drei Viertel der Auskunftspersonen (133) geben an, dass eine durchschnittliche Fahrt (Hinfahrt + Aufenthalt + Retourfahrt) weniger als 1,5 Stunden dauert, 12% geben an, dass sie im Mittel über 3 Stunden unterwegs sind.

Der Mittelwert der durchschnittlichen Wegstrecke einer Fahrt liegt bei 30 km. 5% der Auskunftspersonen geben an, dass ihre Fahrt im Mittel länger als 90 km ist. Kurzstrecken dominieren also im Fahrprofil – längere Wegestrecken sind nur zu einem geringen Teil vertreten.

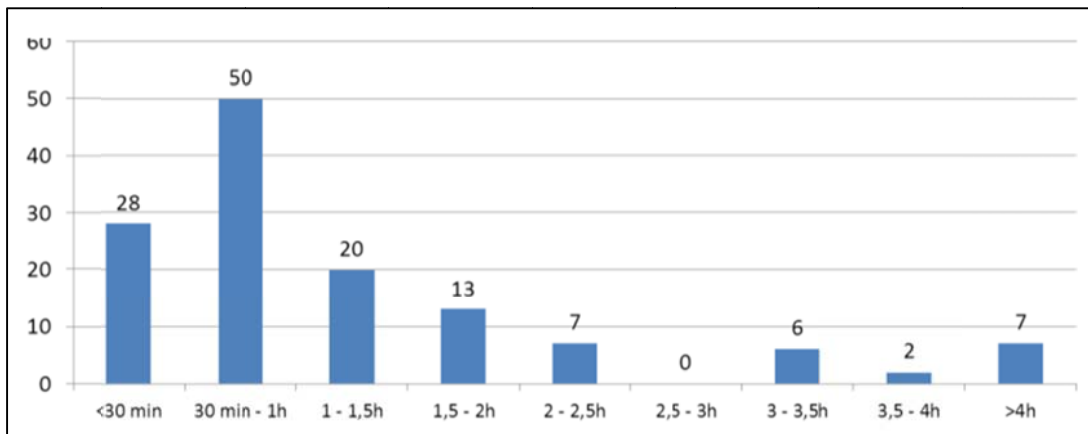


Abbildung 25: Angaben zur durchschnittlichen Fahrzeit mit den Elektroautos

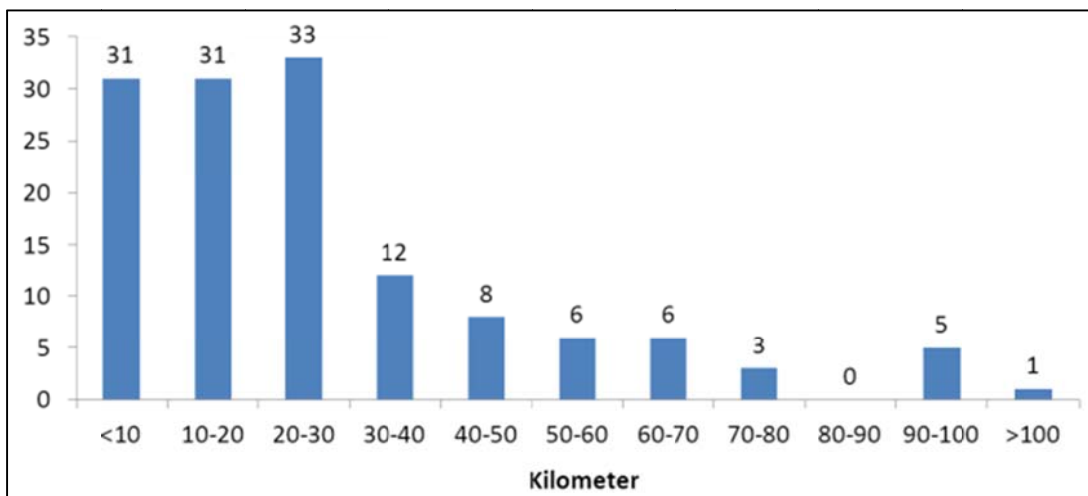


Abbildung 26: Fahrstreckenlänge in Kilometern

Nutzung der Dauerkarte für den öffentlichen Personennahverkehr

Mit dem Leasing eines VLOTTTE-Elektroautos hat jeder Betrieb auch eine übertragbare Jahreskarte für den ÖPNV in ganz Vorarlberg mitgeliefert bekommen. Dadurch sollte die Kombination von E-Auto und öffentlichem Verkehr (Park & Ride) gefördert werden.

Lediglich 16% der Auskunftspersonen (23 von 140 Personen) gaben in der Befragung an, diese ÖV-Dauerkarte grundsätzlich einmal genutzt zu haben. 28% der Auskunftspersonen waren nicht über die Existenz der Dauerkarte in ihrem Betrieb informiert. Lediglich 3 von 140 Personen haben die ÖV-Karte schon einmal in der Kombination von Park & Ride benutzt

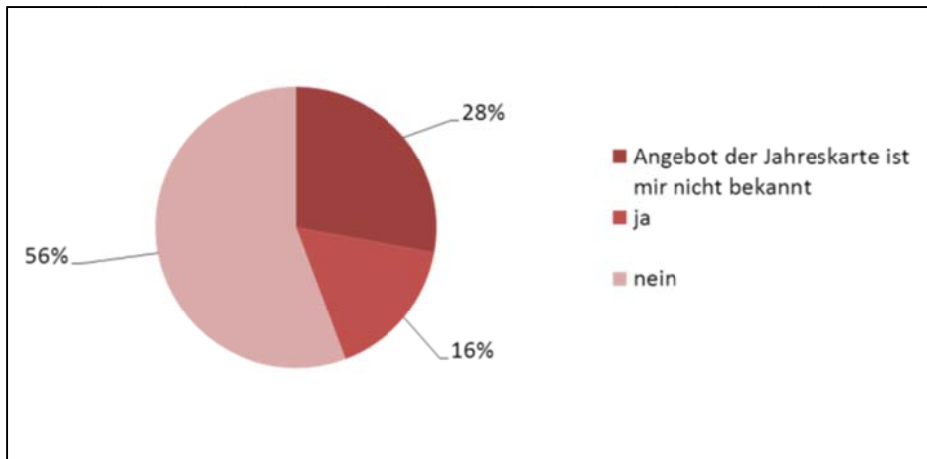


Abbildung 27: Grundsätzliche Nutzung der übertragbaren ÖPNV-Jahreskarte durch die FahrzeugnutzerInnen

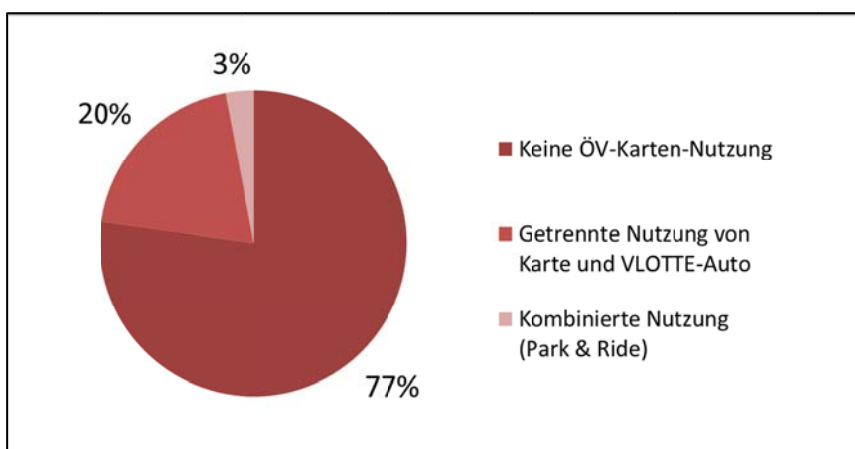


Abbildung 28: Nutzungsvarianten der ÖPNV-Jahreskarte

Einstellungen und persönliche Erfahrungen der NutzerInnen

In 36% der befragten 39 Betriebe gibt es Personen, die gegenüber von Elektro-Autos eine sehr skeptische bis ablehnende Haltung haben

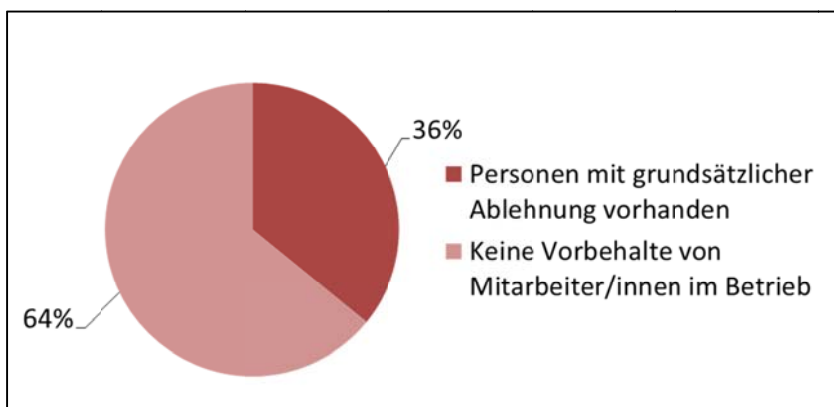


Abbildung 29: Information der BetreuerInnen zur Akzeptanz der E-Autos im Betrieb

Folgende Vorbehalte wurden laut Betreuungspersonen häufiger von Mitarbeiter/innen gegen die persönliche Nutzung des Elektro-Autos vorgebracht. Aus der Erfahrung der Betreuungspersonen bewährt es sich, eine persönliche Einschulung für die Belegschaft des Betriebs anzubieten, die – wenn möglich mit begleiteter Probefahrt – erfolgen sollte. Dies ist wichtig, um Ängste und Vorurteile abzubauen.

Angst vor dem Neuen

- unbekanntes Handling
- Gefahr etwas falsch zu machen
- keine Erfahrungen mit der Bedienung einer Automatikschaltung

Mangelndes/schlechtes Image

- Männer fahren nicht gerne mit kleinen Autos zu Außenterminen
- ungenügende Optik: „Image eines fahrenden Briefkastens“

Mangelndes Vertrauen in die Technik

- Zweifel an der ausreichenden Reichweite
- Image der mangelnden Pannensicherheit (speziell Fiat 500)
- zu wenig PS (Bergfahrten, Überholvorgänge)

Eigenschaften der Elektroautos aus NutzerInnen­sicht

Die befragten FahrzeugnutzerInnen (140) sowie die im Betrieb für die Fahrzeugbetreuung zuständigen Personen (39) wurden um eine Bewertung von unterschiedlichen Fahrzeugeigenschaften auf einer Skala von 1 bis 5 gebeten. (1 = trifft völlig zu bis 5 = trifft überhaupt nicht zu).

Beurteilte Fahrzeugeigenschaften	Mittelwert NutzerInnen	Mittelwert BetreuerInnen
geräuscharmes Fahren	1,34	1,28
wenig Pannen und technische Störungen	1,85	2,00
gutes Mithalten im normalen Straßenverkehr	1,86	1,82
Reichweite ist für meine Zwecke ausreichend	1,97	2,26
Höchstgeschwindigkeit ist für mich ausreichend	2,17	2,49
hohe Fahrsicherheit	2,58	2,29
gute Winter-Tauglichkeit	2,68	2,74
gute Berg-Fahrtauglichkeit	2,84	2,55

Tabelle 14: Bewertete Fahrzeugeigenschaften

Generell existiert eine sehr hohe Zufriedenheit unter den NutzerInnen. Betreuungspersonen sind in ihrer Einschätzung tendenziell kritischer als die Nutzer eingestellt.

In einer offen gestellten Vertiefungsfrage wurden NutzerInnen und BetreuerInnen nach besonders positiv wahrgenommenen Fahrzeugeigenschaften gefragt. Es zeigt sich, dass für die befragten Personen Umweltschonung und geringe Lärmentwicklung die wichtigsten „Trümpfe“ der Elektro-Mobilität sind. Ebenfalls positiv werden die guten Fahreigenschaften wahrgenommen.



In einer ebenfalls offen gestellten Vertiefungsfrage wurden NutzerInnen und BetreuerInnen nach **verbesserungswürdigen** Fahrzeugeigenschaften gefragt.

[illegible]A word cloud of car features. The most prominent word is 'Reichweite' (Range) in large, dark blue letters at the top. Other large words include 'Ladedauer' (Loading time) in dark blue on the left, 'Höchstgeschwindigkeit' (Top speed) in orange at the bottom, and 'Servolenkung' (Steering assist) in dark blue on the right. Smaller words scattered around include 'Klimaanlage' (Air conditioning), 'Sicherheit' (Safety), 'Bergtauglichkeit' (Hillability), 'Motorleistung' (Engine power), 'Ladekomfort' (Loading comfort), 'Innenraumaufteilung' (Interior layout), 'Beschleunigung' (Acceleration), 'Wintertauglichkeit' (Winter suitability), and 'Innengeräusch' (Interior noise).

39

Ladestationen und Ladeverhalten

Die Stromtankstellen des VLOTTE-Projekts werden von den 140 befragten NutzerInnen nur selten verwendet.

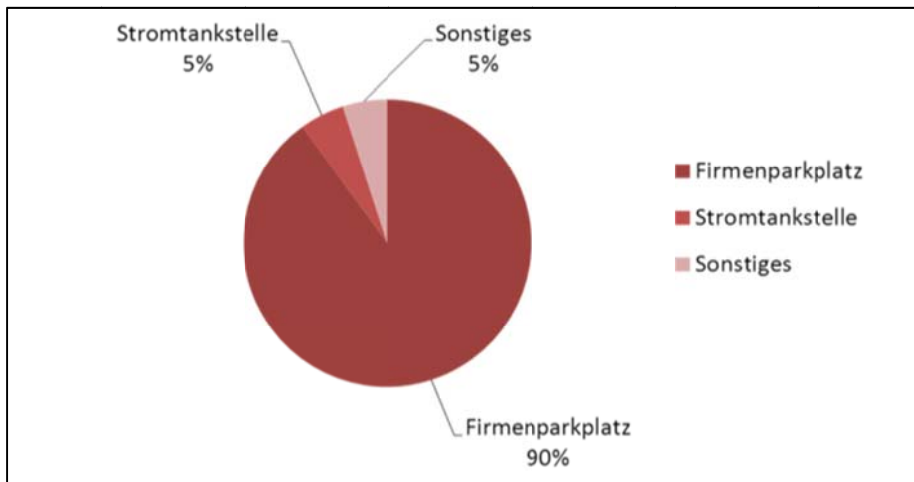


Tabelle 19: Angaben zur Frage, an welcher Stelle die NutzerInnen ihr Fahrzeug wiederaufladen

Unterschiedlicher Bekanntheitsgrad der Stromstellen

Die Bekanntheit der öffentlichen Stromstellen des VLOTTE-Projekts ist bei den Betreuungspersonen in den Firmen deutlich höher als unter den NutzerInnen der VLOTTE-Autos. Die Informationsarbeit zu Existenz, Orten und Nutzungsbedingungen der Stromstellen sollte deshalb noch verbessert werden.

Von 87 Auskunftspersonen, die grundsätzlich über die öffentlichen Stromstellen informiert sind, nutzen nur 23% dieses Angebot zumindest gelegentlich. Die Durchführung eines Ladevorgangs außerhalb des Betriebs wird jedoch auch von informierten Personen kaum vorgenommen.

Befragte Auskunftspersonen	Stromstellen bekannt	Stromstellen nicht bekannt
VLOTTE-Auto Betreuer (39)	69%	31%
VLOTTE-Auto Nutzer (140)	43%	57%

Tabelle 20: Bekanntheitsgrad der VLOTTE- Stromstellen

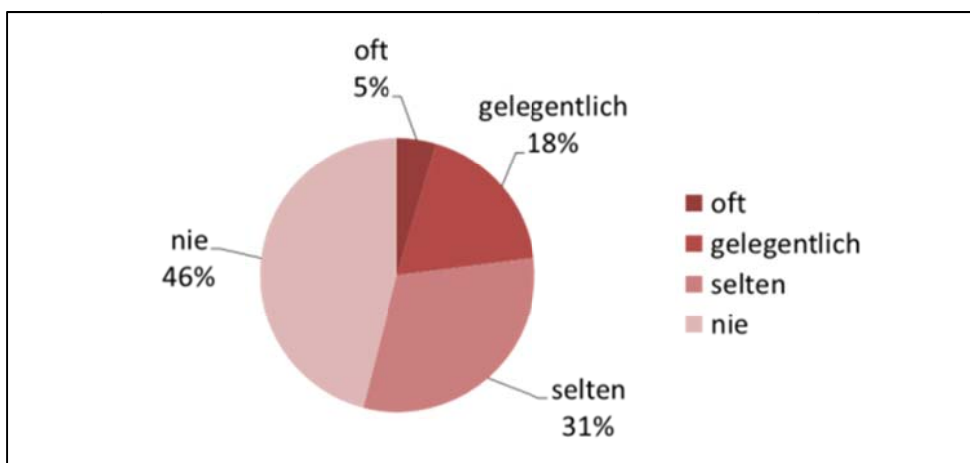


Abbildung 30: Nutzung der Stromstellen durch die Auskunftspersonen

Lediglich etwas mehr als die Hälfte der befragten Auskunftspersonen wünscht sich ein Ausbau des Stromstellennetzes. Für die befragte Nutzergruppe (=Nutzer von Firmen-Pool-Autos) sind mehr öffentliche Stromstellen mehrheitlich zwar wünschenswert, haben aber keine sehr hohe Priorität.

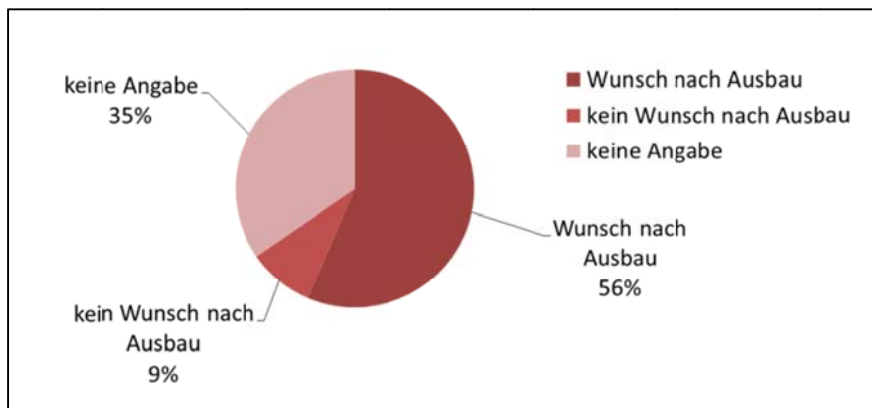


Abbildung 31: Frage nach dem Wunsch zum Ausbau des Stromstellennetzes

Aufenthaltsdauer, ab der eine Batterieladung angestrebt wird

75% der befragten Auskunftspersonen (179) geben an, bei einem Auswärtstermin erst ab einer voraussichtlichen Aufenthaltsdauer von über einer Stunde an eine Ladestation anzuschließen.

Öffentliche Ladestationen sollten deshalb vorwiegend an Orten stationiert werden, an denen die durchschnittliche Aufenthaltsdauer eine Stunde übersteigt.

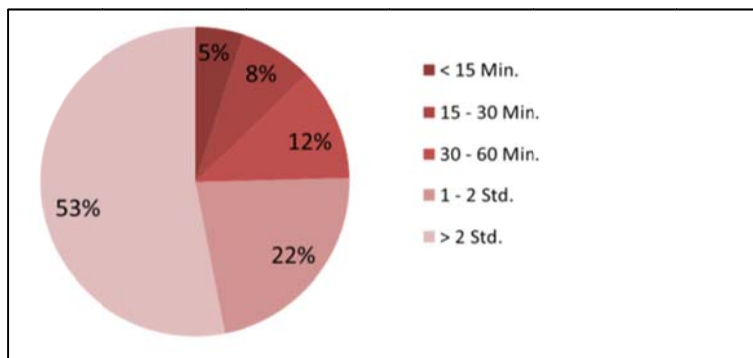


Abbildung 32: Durchschnittliche Aufenthaltsdauer, ab der eine Aufladung der Batterie versucht wird

Ladedauer

Die Ladedauer¹⁰ der Elektro-Autos liegt laut Angaben der 179 Auskunftspersonen nur in 13% der Fälle unter 3 Stunden. Der Ladezeitraum liegt zu 84% im Zeitfenster von 18:00 bis 6:00 Uhr.

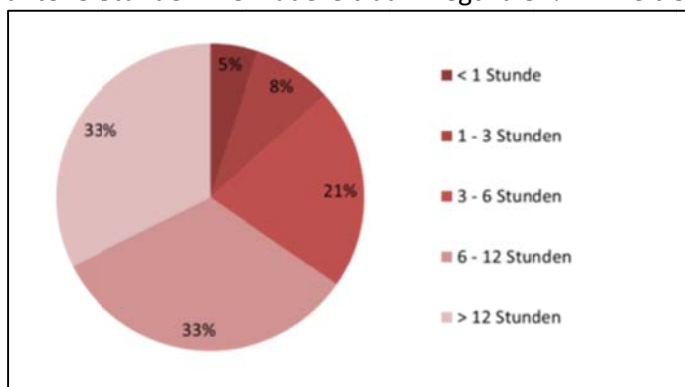


Abbildung 33: Angaben zur durchschnittlichen Ladedauer des E-Autos

¹⁰ Zeit zwischen dem Einstecken des Ladekabels und der Voll-Ladung der Batterie

Gewünschte Abrechnungsart bei Ladevorgängen

Höchste Akzeptanz zur Bezahlung des Strombezugs hätte ein automatisches Erkennungs- und Abrechnungssystem (112 von 319 Nennungen). Ebenfalls eine hohe Akzeptanz hätte eine Abrechnung via Bankomatkarte. Eher unbeliebt sind Abrechnungen über Mobiltelefone oder Quick-Karte sowie der klassische Münzeinwurf.

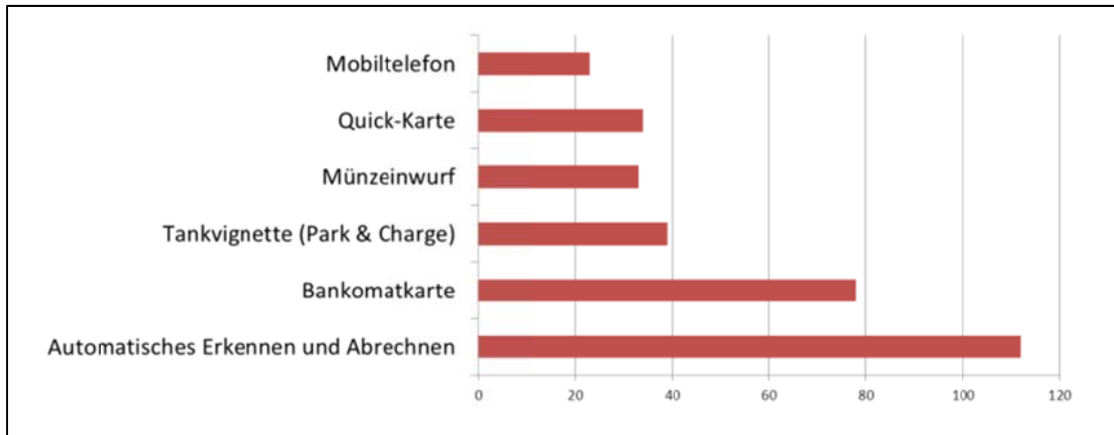


Abbildung 34: Bevorzugte Abrechnungssysteme

Schnelladestationen: Ausbau und Zahlungsbereitschaft

Etwas wichtiger als der Ausbau des allgemeinen Ladestellennetzes wird die Errichtung von Schnell-Ladestationen angesehen. Wobei als „Schnelladestationen“ Ladestationen beschrieben wurden, an denen Autos innerhalb von 10 Minuten wieder aufgeladen werden können. 179 Auskunftspersonen haben diese als wichtig oder sehr wichtig eingestuft.

Gefragt nach der Bereitschaft, für den Service der Schnell-Ladung eine höhere Ladegebühr zu entrichten konnte sich jedoch fast die Hälfte der 179 befragten Personen nicht vorstellen, einen Mehrpreis in Kauf zu nehmen.

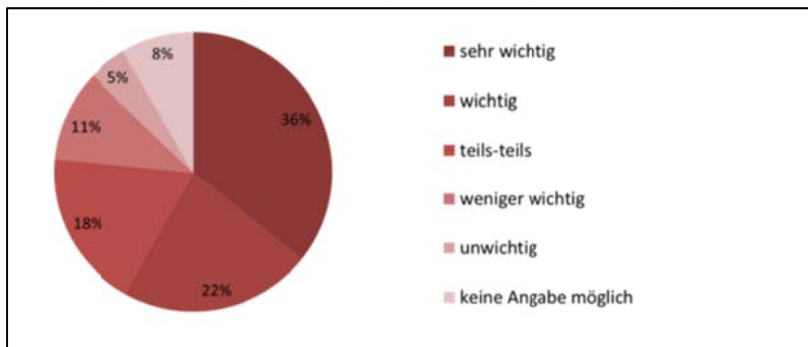


Abbildung 35: Wunsch nach Schnelladestationen

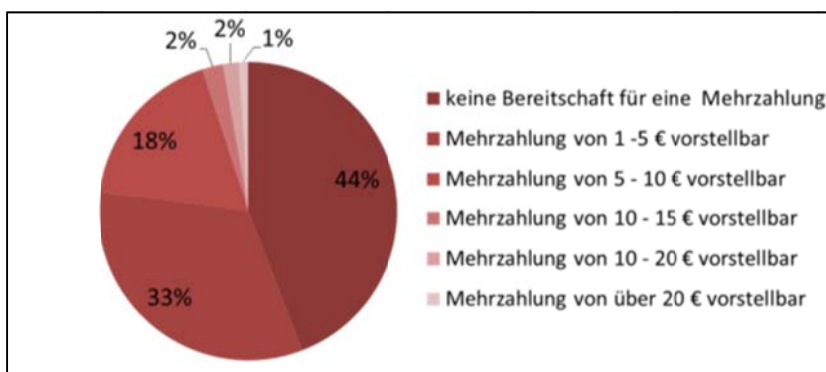


Abbildung 36: Zahlungsbereitschaft für Schnell-Ladungen

Motivation zur Beteiligung am VLOTTE-Projekt und zur Nutzung der VLOTTE-Autos

In einer offen gestellten Frage wurden 39 Fahrzeug-BetreuerInnen der Betriebe nach der Motivation ihres Unternehmens zur Beteiligung am VLOTTE-Projekt gefragt. Das qualitative Ergebnis der Antworten kann wie folgt grafisch dargestellt werden.



Abbildung 37: Motive des Unternehmens zum Teilnahme am VLOTTE-Projekt

Der Beitrag zum Umweltschutz wird von den befragten Organisationen als Hauptmotiv zur Anschaffung eines Elektro-Autos im Rahmen des VLOTTE-Projekts angeführt. Ebenfalls noch relativ stark ist das Motiv des Pionierstatus – die Möglichkeit eine Vorreiterrolle einzunehmen und Innovationsgeist zu demonstrieren.

Auch die 140 FahrzeugnutzerInnen wurden in einer offen Frage nach ihrer persönlichen Motivation zur Nutzung des VLOTTE-Autos gefragt. Auch bei diesen Auskunftspersonen war der Umweltschutz das am häufigsten genannte Motiv, um bei Dienstfahrten auf das Elektroauto zurückgreifen.



Abbildung 38: Persönliche Motive für die Fahrzeugnutzung

Erweiterung Fuhrpark um weiteres E-Auto

Befragt nach der Bereitschaft, den bestehenden Elektro-Auto-Fuhrpark um ein weiteres Fahrzeug zu erweitern, meinten fast drei Viertel der befragten 39 VLOTTE-Auto-BetreuerInnen, ihr Unternehmen könnte sich eine Erweiterung des Fuhrparks um ein weiteres Elektro-Auto grundsätzlich vorstellen.

Als Gründe, die gegen eine Anschaffung sprechen, wurden genannt: zu hohe Kosten, fehlender Bedarf, zu geringe betriebliche Nutzung, zu geringe Reichweite.

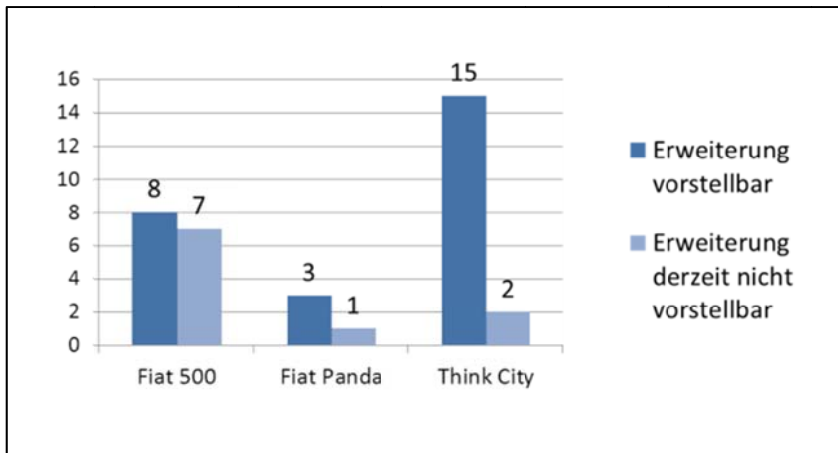


Abbildung 39: Bereitschaft der Unternehmen zur Fuhrparkerweiterung in Abhängigkeit des genutzten Fahrzeugmodells

Wie in Abbildung 39 ersichtlich, steht die Bereitschaft zur Fuhrparkerweiterung im engen Zusammenhang mit dem aktuell im Betrieb befindlichen Fahrzeugmodell. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die Think City-Modelle im Praxistest eine geringere Pannenanfälligkeit, höhere Geschwindigkeit und größere Reichweite aufweisen.

Persönliche Einstellungen und Kaufbereitschaft der VLOTTE-NutzerInnen

Marktchancen von Elektro-Autos

Die Mehrheit der 179 befragten Personen (NutzerInnen und BetreuerInnen) sind davon überzeugt, dass sich Elektro-Autos am Markt durchsetzen werden.

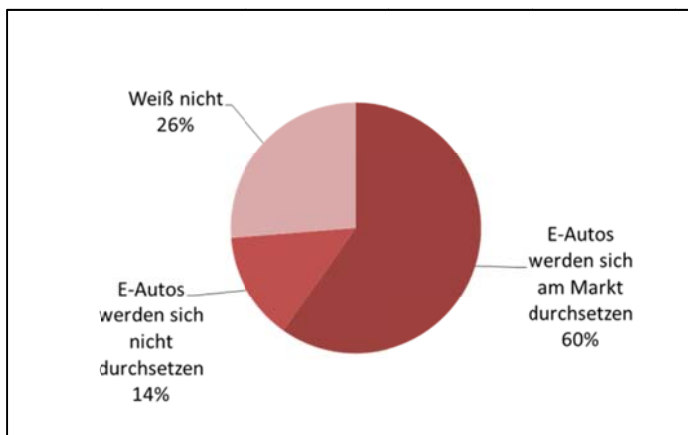


Abbildung 40: Einschätzung der NutzerInnen zu den Marktchancen von Elektro-Autos

Bereitschaft, sich privat eine Elektro-Auto anzuschaffen

Etwas mehr als die Hälfte der NutzerInnen (57%) können sich grundsätzlich vorstellen, auch privat ein Elektro-Auto anzuschaffen. Nicht ganz ein Drittel der befragten Personen können sich hingegen nach wie vor nicht vorstellen, auch privat ein Elektro-Auto anzuschaffen.

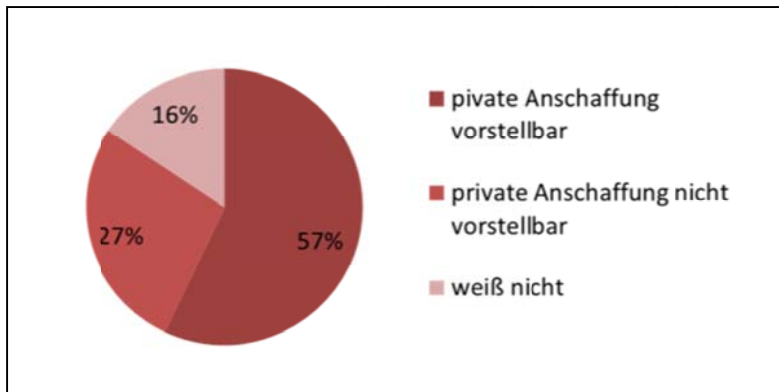


Abbildung 41: Bereitschaft zu einer privaten Anschaffung von Elektro-Autos

Als wichtige Voraussetzungen, unter denen eine private Anschaffung von den Auskunftspersonen denkbar wäre, wurden insbesondere die Senkung der Anschaffungskosten und eine Erhöhung der Reichweite genannt.



Abbildung 42: Wichtige Verbesserungen als Voraussetzungen für eine private Anschaffung

Persönliche Zahlungsbereitschaft

45% von 179 befragten Personen (NutzerInnen und BetreuerInnen) wären bereit, bei einer privaten Anschaffung einen Mehrpreis von zumindest 20% gegenüber einem KFZ mit Verbrennungsmotor in Kauf zu nehmen

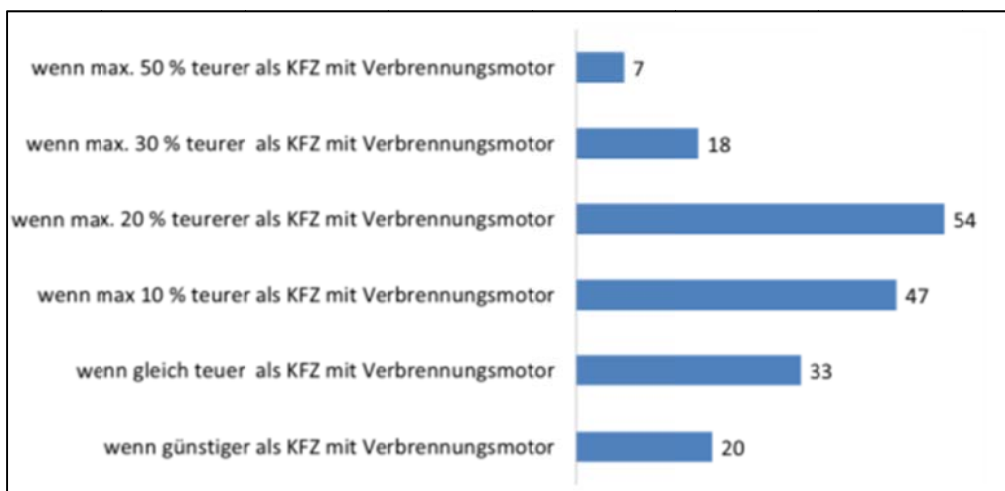


Abbildung 43: Persönliche Bereitschaft höhere Anschaffungskosten für ein Elektro-Auto in Kauf zu nehmen

Die Anschaffungspreise eines Elektro-Autos liegen derzeit noch in der Höhe von rund 300% der Kosten eines vergleichbaren Autos mit Verbrennungsmotor. Es kann deshalb festgehalten werden, dass trotz durchwegs guter Erfahrungen kaum einer der NutzerInnen bereit wäre, aktuelle Marktpreise für ein Elektro-Auto zu bezahlen.

Förderungen

Die Gewährung von finanziellen Förderungen für Elektro-Autos wird von den befragten Personen mehrheitlich als sinnvoll angesehen, die Befürwortung von Förderungen ist bei den VLOTTE-Auto-BetreuerInnen jedoch deutlich höher als bei den reinen Fahrzeug-Nutzern.

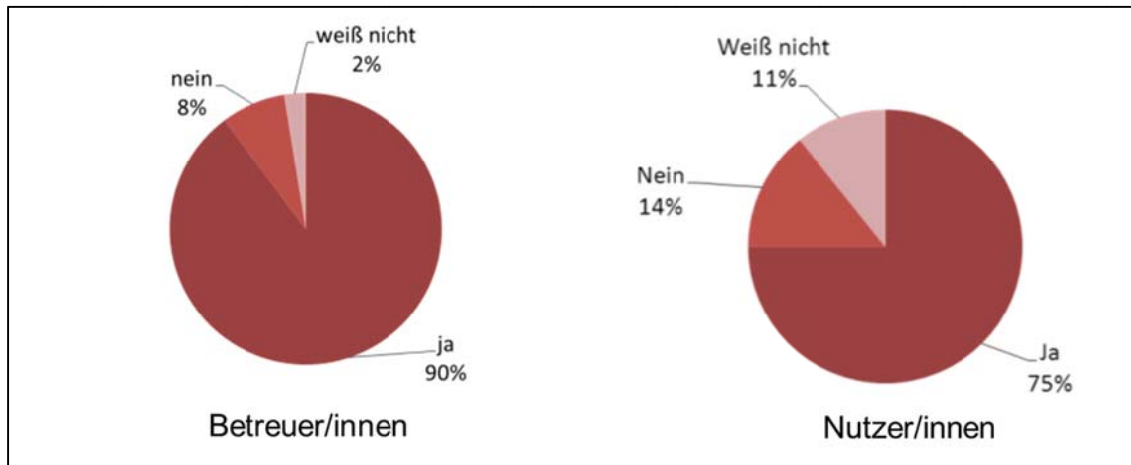


Abbildung 44: Beurteilung der Sinnhaftigkeit von Förderungen für Elektro-Autos

Schlussfolgerungen aus der NutzerInnen-Befragung

Auf Basis der Ergebnisse der NutzerInnenbefragung können folgende Schlussfolgerungen gemacht werden:

- Die Zufriedenheit der Vlotte-Partner und NutzerInnen mit den Fahrzeugmodellen ist trotz einiger Kinderkrankheiten erfreulich hoch. Diese hohe Zufriedenheit dürfte auch mit dem Pionier-Charakter des VLOTTE-Projekts und der damit verbundenen Bereitschaft der Partner, über Schwierigkeiten bei der Einführung neuer Technologien hinwegzusehen, zurückzuführen zu sein.
- Die Errichtung einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur inklusive Schnelladestationen wird von den VLOTTE-NutzernInnen zwar geschätzt, besitzt aber bei den befragten Personen derzeit nicht die allerhöchste Priorität.
- Wesentlich wichtiger sind aus Sicht der VLOTTE-NutzerInnen die Verbesserungen am Fahrzeug: die Senkung der Anschaffungskosten und die Erhöhung der Reichweite.
- Selbst bei aktiven E-Auto-NutzerInnen besteht nur eine geringe Bereitschaft, für die Anschaffung eines Elektro-Autos deutlich mehr zu bezahlen als dies für ein vergleichbares konventionelles Automodell erforderlich wäre.
Für eine breite Marktdurchdringung wird es entscheidend sein, neben der Verbesserung des Fahrkomforts die derzeitige Kostendifferenz zwischen Elektro-Autos und Autos mit Verbrennungskraftmotoren deutlich zu reduzieren. Wird von der Gesellschaft eine schnelle Einführung von Elektro-Autos angestrebt, werden neben der Nutzung von Kostensenkungspotentialen durch Serienproduktion auch Förderungen durch die öffentliche Hand und eine Verteuerung von fossil-betriebenen Fahrzeugen erforderlich sein.
- Außerdem sollten angesichts hoher Investitionskosten und geringer Betriebskosten Kommunikationsstrategien und Finanzierungsmodelle entwickelt werden, bei denen der Fokus auf den Gesamtkosten liegen sollte, die im Zeitraum der Fahrzeugnutzung anfallen. (Total Cost of Ownership.)
- Aus Sicht der VLOTTE-NutzerInnen ist die **Umweltfreundlichkeit das zentrale Alleinstellungsmerkmal der Elektro-Autos**. Es sollte daher darauf geachtet werden, dass dieses Image nicht gefährdet wird.

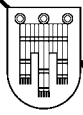
Besonderes Augenmerk sollte aus Sicht der befragten Personen dabei auf folgende Punkte gelegt werden:

1. Die durch Elektro-Autos zusätzlich verbrauchte elektrische Energie sollte über neu errichtete Ökostromanlagen gedeckt werden.
2. Die Energieeffizienz der Fahrzeuge sollte noch weiter verbessert werden.
3. Für die Produktion und die Entsorgung gängiger Batteriesysteme für Elektro-Autos sollten durch unabhängige Institutionen detaillierte Ökobilanzen erstellt werden.

Quellenverzeichnis

- Energiebericht 2010, Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2010
- Frischknecht, Tuchsmit: Primärenergiefaktoren von Energiesystemen, ESU-Services, 2008
- Galloway, Dustmann: Zebra Battery – Material Cost, Availability and Recycling, 2003
(http://eaaeurope.org/EVS20_Long_Beach_2003.pdf)
- Leitinger, Schuster, Brauner: Begleitforschung der TU Wien in VLOTTE, TU-Wien, 2010
- Umweltbundesamt: Neunter Umweltkontrollbericht des Umweltbundesamts, 2010
- Verkehrskonzept Vorarlberg „Mobil im Ländle“, Amt der Vlb. Landesregierung, 2006
- VLOTTE-Konsortium: Vorarlberg als Modellregion für Elektro-Mobilität - Einreichung im Rahmen der Ausschreibung „Elektromobilität“ des Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung, 2009
- Wolfgang Wachter: Schallpegelmessungen an Elektrofahrzeugen („VLOTTE“), Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2006

Anhang: Bericht über die Schallpegelmessung an Elektrofahrzeugen

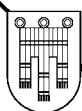


Amt der Vorarlberger Landesregierung

Schallpegelmessungen an Elektro- fahrzeugen („VLOTTE“)

Univ-Doz DI Dr Wolfgang Wachter
Abteilung Maschinenbau und Elektrotechnik

Bregenz, im Oktober 2009



Auskunft:
Univ-Doz DI Dr Wolfgang Wachter
Tel: #43(0)5574/511-26310

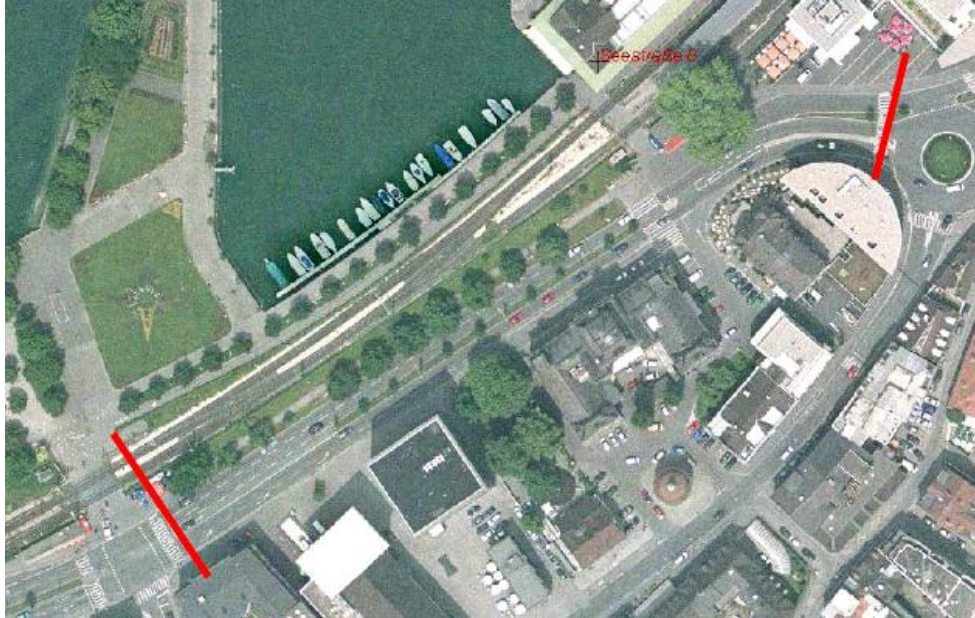
Schallpegelmessungen an Elektrofahrzeugen („VLOTTE“)

1. Aufgabenstellung

Auf Anfrage des Vorarlberger Energieinstituts sollten im Zuge eines Fahrversuches mit Elektrofahrzeugen („VLOTTE“) und herkömmlichen PKW mit Verbrennungskraftmaschinen (VKM) die Schallemissionen gemessen werden.

2. Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde am 7.10.2009 zwischen 10:55 und 11:25 Uhr auf der Seestraße in Bregenz durchgeführt. Die rund 250 m lange Strecke zwischen dem „Milchpilz“ und dem Kreisverkehr beim Hafen wurde für den öffentlichen Verkehr gesperrt. Die Teststrecke ist auf dem folgenden Orthofoto ersichtlich. Es kamen 20 Elektrofahrzeuge sowie 20 PKW mit VKM zum Einsatz. Dabei handelte es sich um Fahrzeuge unterschiedlicher Masse (von Kleinwagen bis zu Geländefahrzeugen) mit Otto- und Dieselmotoren. Jeweils 10 Autos bewegten sich pro Richtungsfahrbahn auf der Teststrecke. Zunächst kamen die Elektromobile zum Einsatz, wobei drei Versuchsreihen durchgeführt wurden: Fahrgeschwindigkeit 30 km/h konstant, 50 km/h konstant sowie simulierter Stop-and-Go-Verkehr. Die Fahrer wurden vor Versuchsbeginn instruiert. Anschließend wurden die gleichen Fahrzustände mit den konventionellen PKW absolviert.



Der Messpunkt befand sich ungefähr in der Mitte der Teststrecke jenseits der Gebäudelücke zwischen dem Kunsthhaus Bregenz und dem Postgebäude, 10 m östlich des nächstgelegenen Fahrleitungsmasten der ÖBB und rund 15 m vom Mittelstreifen zwischen den Richtungsfahrbahnen entfernt. Die Mikrofonhöhe betrug 1,8 m über Boden. Diese Position ermöglichte Messungen ohne nennenswerte Reflexionen und ohne schallabschirmende Wirkung durch Gebäude.

Als Messgerät kam ein Präzisionsschallpegelmesser Norsonic N 118, Messsystem „rot“, zum Einsatz. Die zeitliche Auflösung für die Signalaufzeichnung betrug 50 ms. Zusätzlich zu den A-bewerteten Schallpegeln wurden Terzen linear abgespeichert.

Die Witterung war sonnig und überwiegend windstill.

3. Ergebnisse

3.1 Schalltechnische Begriffe

Energieäquivalenter Dauerschallpegel (L_{eq})

Der L_{eq} dient zur Beschreibung von Schallereignissen mit variablem Schalldruckpegel und ist diesem energiegleich. Bei gleich bleibenden Geräuschen entspricht der L_{eq} dem gemessenen Schalldruckpegel.

Maximalpegel (L_{max})

Der höchste während der Messzeit auftretende Schalldruckpegel.

Minimalpegel (L_{min})

Der geringste während der Messzeit auftretende Schalldruckpegel.

Basispegel (L_{95})

Der in 95 % der Messzeit überschrittene Schallpegel.

Mittlerer Spitzenpegel (L_1)

Dies ist der in 1 % der Messzeit überschrittene Schallpegel. Er kennzeichnet bei einem zeitlich veränderlichen Geräusch die wiederholt auftretenden mittleren Schallpegelspitzen.

3.2 A-bewertete Schallpegel

Vor der Durchführung der Fahrversuche wurde das durch den unbeeinflussten, ortsüblichen Verkehr verursachte Umgebungsgeräusch in A-Bewertung gemessen. Das Ergebnis zeigt nachstehende Tabelle.

Messung Nr., Messfile Nr.	Umgebung, 0910007-0002
L_{eq} [dB]	61,8
L_{max} [dB]	74,6
L_{min} [dB]	51,7
L_{95} [dB]	54,9
L_1 [dB]	70,7

Es ist festzuhalten, dass der Verkehr im Messpunkt einen energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{eq} von rund 62 dB verursachte.

Während der Phase ohne Verkehr (zur Zeit der Vorbereitung der Messserien) betrug der L_{eq} der Umgebung 48 bis 49 dB.

Die Vorbeifahrten der 2 x 10 Elektrofahrzeuge verursachten folgende A-bewertete Schallpegel:

Messung Nr., Messfile Nr.	E1-30 km/h, -0003
L_{eq} [dB]	57,8
L_{max} [dB]	62,4
L_{min} [dB]	53,6
L_{95} [dB]	54,6
L_1 [dB]	60,1

Messung Nr., Messfile Nr.	E2-50 km/h, -0004
L_{eq} [dB]	63,4
L_{max} [dB]	66,4
L_{min} [dB]	46,1
L_{95} [dB]	48,0
L_1 [dB]	66,2

Messung Nr., Messfile Nr.	E3-Stop&Go, -0005
L_{eq} [dB]	54,4
L_{max} [dB]	63,5
L_{min} [dB]	49,6
L_{95} [dB]	50,7
L_1 [dB]	59,7

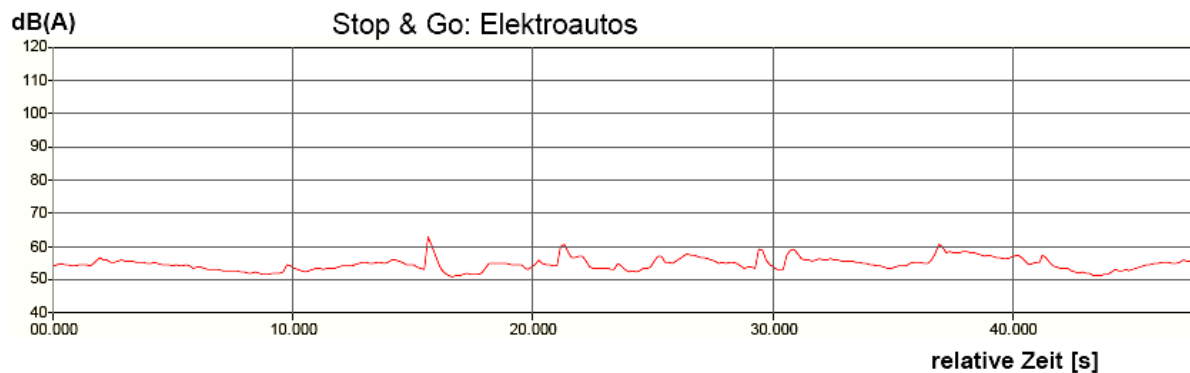
Die Messwerte für die 20 mit VKM ausgestatteten Fahrzeuge zeigen die nachstehenden Tabellen (die Bezeichnung „B“ wurde von der Versuchsleitung für die PKW mit VKM gewählt).

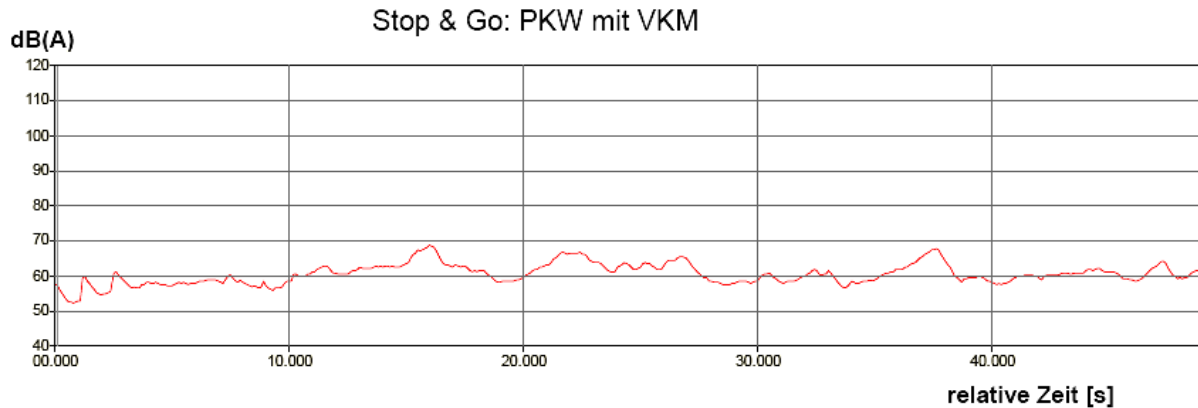
Messung Nr., Messfile Nr.	B1-30 km/h, -0006
L_{eq} [dB]	61,5
L_{max} [dB]	70,9
L_{min} [dB]	50,0
L_{95} [dB]	51,8
L_1 [dB]	65,4

Messung Nr., Messfile Nr.	B2-50 km/h, -0008
L_{eq} [dB]	65,9
L_{max} [dB]	69,7
L_{min} [dB]	53,5
L_{95} [dB]	55,4
L_1 [dB]	69,5

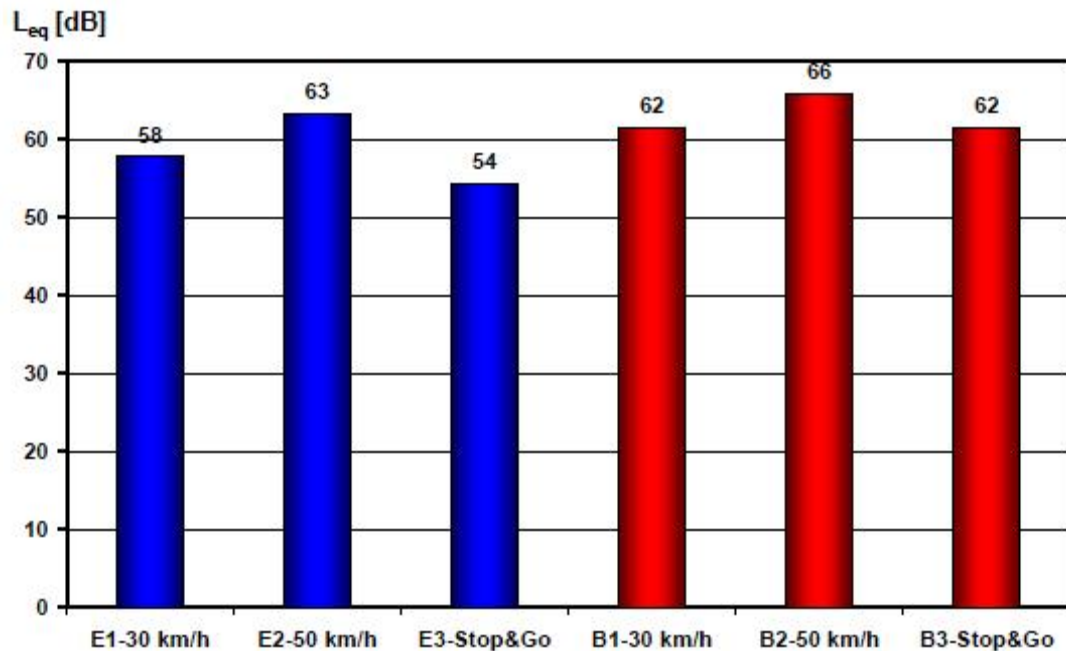
Messung Nr., Messfile Nr.	B3-Stop&Go, -0010
L_{eq} [dB]	61,6
L_{max} [dB]	68,9
L_{min} [dB]	52,0
L_{95} [dB]	56,5
L_1 [dB]	67,9

Die Pegelverläufe für den simulierten Stop-and-Go-Verkehr sind in den beiden nachfolgenden Bildern dargestellt.



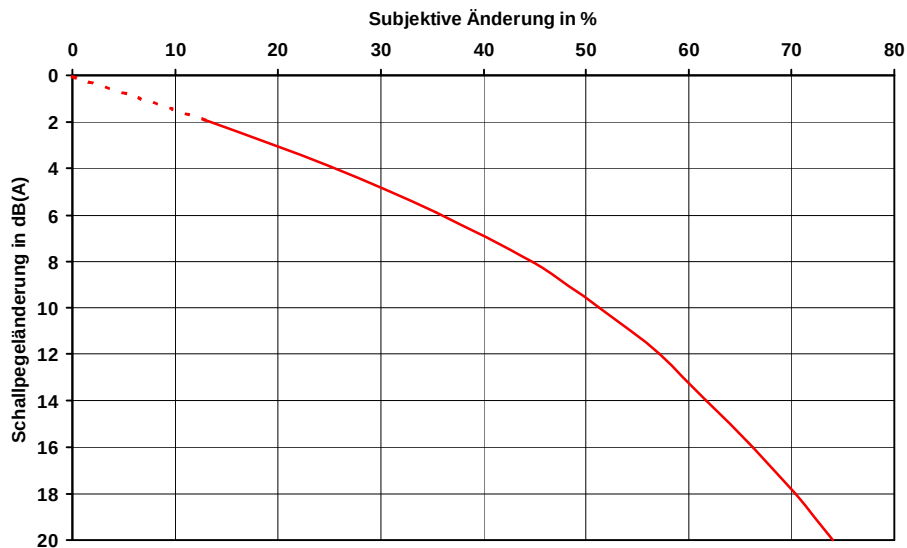


Das nachstehende Diagramm zeigt den energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{eq} für alle Versuchsreihen.



Aus dem Diagramm ist abzuleiten, dass die Elektrofahrzeuge im Stationärbetrieb mit nahezu konstanter Geschwindigkeit um rund 3 bis 4 dB leiser sind als die mit VKM ausgestatteten Fahrzeuge. Bei diesem Ergebnis ist zu berücksichtigen, dass letztere zum Teil deutlich größer waren als die Elektrofahrzeuge. Bei 30 km/h ist der Pegelunterschied etwas deutlicher als bei 50 km/h. Hier dürfte der Effekt des bei der geringeren Geschwindigkeit etwas leiseren Abrollgeräusches der Reifen einfließen; es dominiert der Antriebsmotor. Ein signifikanter Unterschied zeigt sich im Stop-and-Go-Betrieb, wo die Elektrofahrzeuge um 8 dB leiser sind als das hier verwendete Fahrzeugkollektiv mit VKM. Ferner fällt auf, dass der stockende Verkehr von Elektrofahrzeugen einen geringeren L_{eq} verursacht als die Konstantfahrt mit 30 km/h. Herkömmliche VKM (ohne Start-Stopp-Automatik) werden bei kurzen Stopps im unteren Leerlauf betrieben und emittieren im Unterschied zu Elektromotoren auch in dieser Phase Schall.

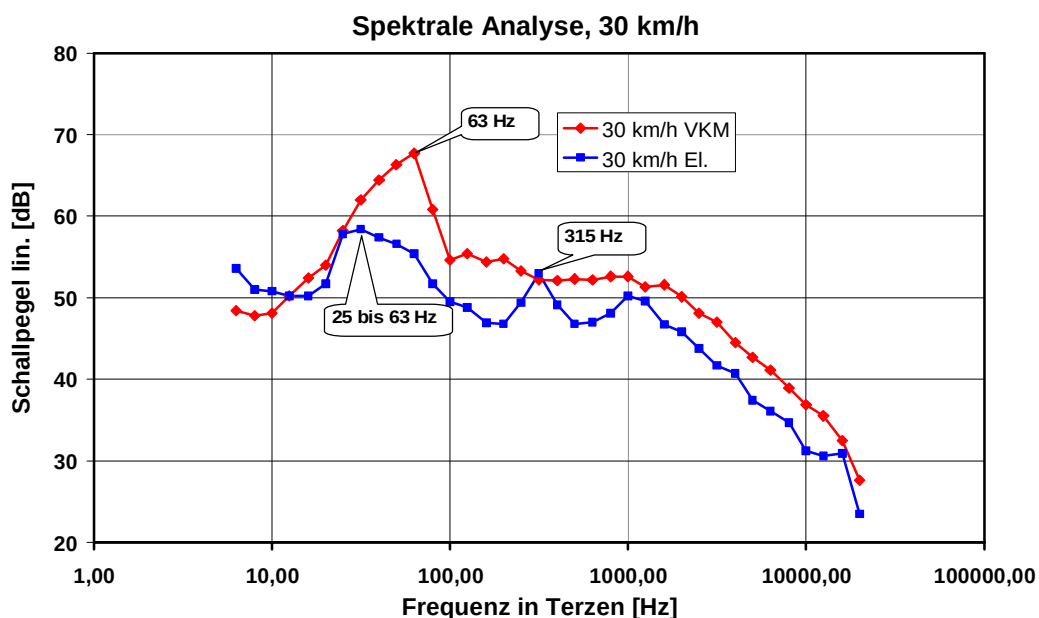
Die subjektive Empfindung von Schallpegeländerungen ist im nachstehenden Diagramm abgebildet.

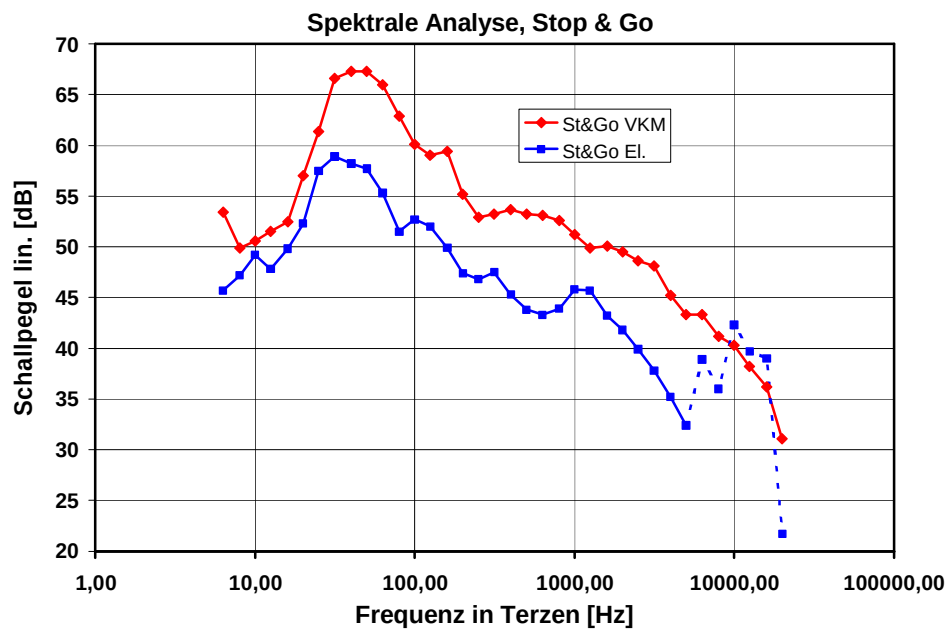
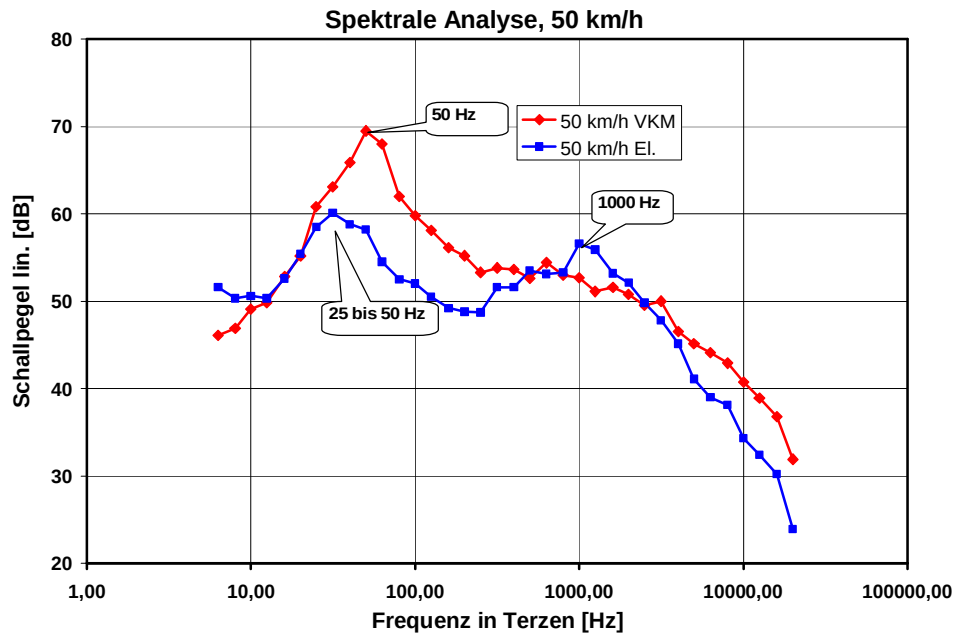


Es zeigt sich, dass eine Schallpegelminderung um 10 dB subjektiv als Halbierung empfunden wird.

3.3 Frequenzanalyse

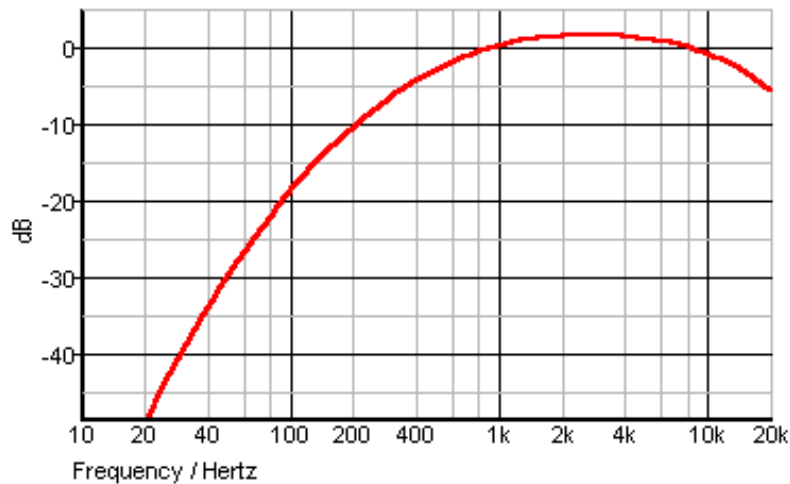
Die Messwerte der Vorbeifahrten wurden einer Frequenzanalyse unterzogen. Die Ergebnisse zeigen die folgenden Bilder in Form einer Darstellung von linearen Schallpegeln über den jeweiligen Terz-Mittenfrequenzen.





Sowohl die Elektrofahrzeuge als auch jene mit VKM zeigen im tiefen Frequenzbereich dominante Schallpegel, die Elektrofahrzeuge auch bei höheren Frequenzen (je nach Geschwindigkeit bei 300 bis 1.000 Hz). Bei den Vorbeifahrten der Elektroautos war dieses Phänomen in Form eines tonhaltigen Geräusches („Singen“) subjektiv wahrnehmbar.

Die Darstellung linearer Messwerte gibt nicht das subjektive Hörempfinden des Menschen wieder. Tiefe Frequenzen werden deutlich schlechter wahrgenommen als hohe, wie die nachfolgende A-Bewertungskurve zeigt, welche das menschliche Hörvermögen nachbildet. Man erkennt, dass beispielsweise bei 100 Hz nahezu 20 dB vom Messwert abgezogen werden müssen, um den Höreindruck wiederzugeben.



4 Schlussfolgerungen

Wenngleich die Anzahl der Fahrzeuge vergleichsweise gering war, sind aus den Ergebnissen der Schallpegelmessungen anlässlich des Fahrversuches folgende Schlüsse zu ziehen:

1. Die hier zum Einsatz gekommenen Elektrofahrzeuge sind bei konstanten, vergleichsweise geringen Geschwindigkeiten, wie sie in Städten typisch sind, um 3 bis 4 dB leiser als ein repräsentatives PKW-Kollektiv mit Verbrennungskraftmaschinen (Otto- und Dieselmotoren).
2. Je geringer die Geschwindigkeit, desto dominanter das Geräusch des Antriebsmotors. Bei höheren Geschwindigkeiten ist in zunehmendem Maße das Abrollgeräusch der Reifen bestimmend.
3. Den deutlichsten Unterschied ergab der Stop-and-Go-Verkehr, wo sich die Elektrofahrzeuge um 8 dB leiser zeigten als die PKW mit VKM.
4. Im Stop-and-Go-Betrieb sind Elektrofahrzeuge leiser als bei Konstantfahrt mit 30 km/h, weil bei stehendem Fahrzeug kein Schall emittiert wird.
5. Der Effekt der unterschiedlichen Fahrzeugmassen und -größen kann aus den Messwerten nicht abgeleitet werden.
6. Der subjektive Höreindruck im Stop-and-Go-Verkehr der Elektrofahrzeuge war angenehm. Das im realen Straßenverkehr immer anzutreffende Hochdrehen von Motoren mit Auspuffanlagen, die nicht dem Zustand der Fahrzeugtypenprüfung entsprechen, war bei den hier gemessenen Elektrofahrzeugen aus technischen Gründen nicht möglich¹.

¹ Es ist bekannt, dass namhafte Ausrüster am „Sounddesign“ von Elektrofahrzeugen arbeiten, um diesen beispielsweise das Geräusch eines konventionellen Sportwagens zu verleihen.