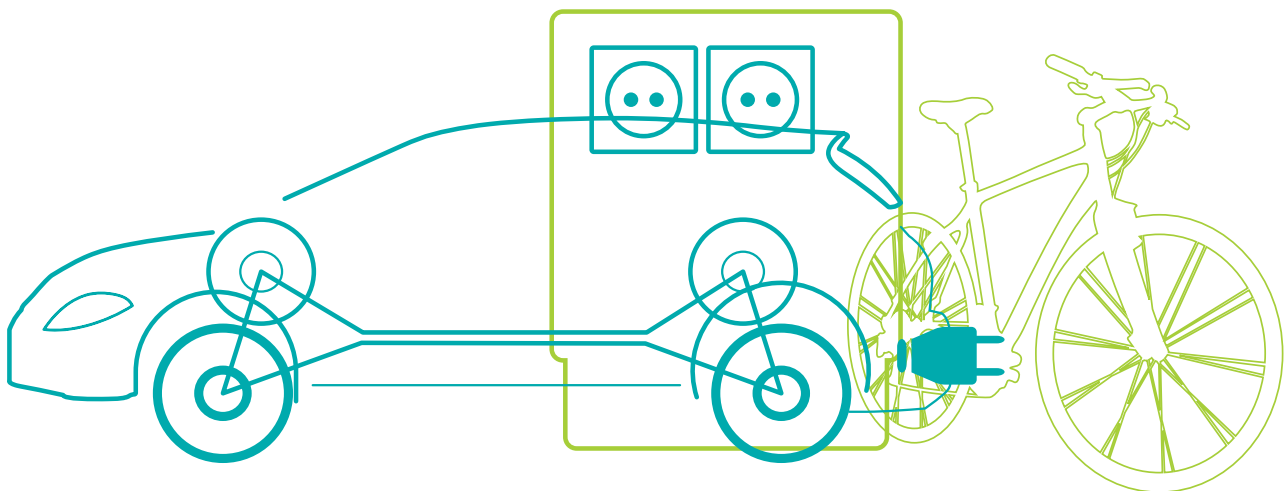




# Monitoring Modell- region VLÖTTE

## Kurzfassung



## Aufgabenstellung

Im Jahr 2008 wurde vom Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung ein Projekt zur Etablierung einer „Modellregion für Elektromobilität“ ausgeschrieben. Das vom Vorarlberger Energiedienstleister illwerke vkw eingereichte Projekt VLOTTE erhielt den Zuschlag. Die Region „Rheintal/Walgau“ im Bundesland Vorarlberg wurde zur ersten österreichischen Modellregion für Elektromobilität (E-Mobilität).

Im Rahmen des ersten Projektabschnitts von VLOTTE wurden bis Ende 2010 in Summe 78 mit Zebra-Batterien<sup>1</sup> ausgestattete Elektrofahrzeuge (E-Fahrzeuge) in Betrieb genommen. Diese Autos wurden ausschließlich an Betriebe und Einrichtungen der öffentlichen Hand abgegeben. Im zweiten Projektabschnitt folgten weitere sieben Fahrzeuge mit Zebra- und 272 Fahrzeuge mit Lithium-Batterien, die zum Teil auch von Privatpersonen erworben wurden. Mit Ende der zweiten Projektphase im Dezember 2011 waren in der Modellregion somit 357 rein elektrisch betriebene Autos unterwegs. Zeitgleich wurde für die Energieversorgung der E-Fahrzeuge eine Ladeinfrastruktur bestehend aus 139 normalen Ladestationen und drei Schnell-Ladestationen aufgebaut.

Aufgabe des Projekts VLOTTE war es, den Markt für rein erneuerbar-elektrisch angetriebene Fahrzeuge in Vorarlberg aufzubereiten und die Praxistauglichkeit der eingesetzten Fahrzeuge zu prüfen. Neben technischen Fragestellungen wie Energieverbrauch oder Lärmemissionen sollten auch Einstellungen und Erfahrungen von LangzeitnutzerInnen erfasst werden.

### Als Monitoring-Aufgaben wurden definiert:

1. Durchführung von Lärm-Messungen von Elektroautos (E-Autos) in einer realen Verkehrssituation
2. Ermittlung des Energieverbrauchs und Erstellung einer CO<sub>2</sub>-Bilanz für den Betrieb der Fahrzeuge
3. Erhebung von Erfahrungen, Einstellungen und Verhaltensweisen der FahrzeugnutzerInnen

## Ergebnisse der Lärm-Messung

Auf Grund der geringen Verbreitung von E-Autos waren Lärm-Messungen bislang meist nur an einzelnen Fahrzeugen möglich. Im Rahmen von VLOTTE war es möglich, Messungen mit einer größeren Fahrzeugflotte in realer Verkehrsumgebung durchzuführen.

Für die Messung wurde ein stark befahrenes, 250 m langes Straßenstück für den Verkehr gesperrt und abwechselnd mit E-Autos und Kfz mit Verbrennungsmotoren befahren. Bei den E-Autos waren die Modelle „Think City“, „Fiat Panda“ und „Fiat 500“ vertreten. Im Pool der Kfz mit Verbrennungsmotoren waren verschiedene Fahrzeuge aus unterschiedlichen Klassen (vom Kleinwagen bis zum kleinen SUV) vertreten.

Pro Richtungsfahrbahn wurden je zehn Fahrzeuge auf die Strecke geschickt und die Messstrecke in drei verschiedenen Geschwindigkeiten abgefahren:

1. konstante Geschwindigkeit mit 30 km/h
2. konstante Geschwindigkeit mit 50 km/h
3. Stop-and-go-Verkehr

Die Messung wurde vom Leiter der Abteilung Maschinenbau und Elektrotechnik des Amtes der Vorarlberger Landesregierung, Univ.-Doz. DI Dr. Wolfgang Wachter vorgenommen und auch filmisch festgehalten<sup>2</sup>.

### Deutliche Lärmreduktion durch E-Autos feststellbar

Bei den Messungen mit konstanten Geschwindigkeitsniveaus war die E-Auto-Flotte im Schnitt um 3 bis 4 Dezibel (dB) leiser als die mit Benzin oder Diesel angetriebenen Fahrzeuge.

<sup>1</sup>Hochtemperatur-Batterien mit Natrium-Nickelchlorid-Zellen benötigen eine Betriebstemperatur von mindestens 240 °C

<sup>2</sup><http://www.youtube.com/watch?v=SU9eO79XbaM>

## Energieäquivalenter Dauerschallpegel $L_{eq}$ für alle Versuchsreihen

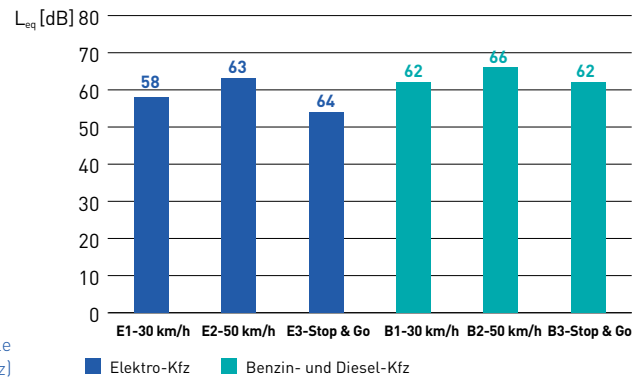


Abbildung 1: Energieäquivalenter Dauerschallpegel  $L_{eq}$  für alle Versuchsreihen (E = Elektro-Kfz, B = Benzin- und Diesel- Kfz)

Die größten Differenzen ergaben sich im Stop-and-go-Betrieb. Hier waren die E-Fahrzeuge sogar um 8 dB leiser als die Fahrzeuge mit Verbrennungskraftmotoren.

Ein Rückgang von 8 dB energieäquivalenter Dauerschallpegel ( $L_{eq}$ ) wird vom menschlichen Gehör bereits als 45%-ige Lärmreduktion wahrgenommen. Gerade im Stadtverkehr ist damit das Potenzial der E-Fahrzeuge zur Senkung der Lärmbelastung durchaus beachtlich.

### Schlussfolgerungen aus den Lärm-Messungen

- Elektrisch angetriebene Kraftfahrzeuge könnten speziell im innerörtlichen Verkehr eine deutliche Lärmreduktion bewirken.
- Eine besondere Chance würde sich bei leichten einspurigen Kfz (Moped/Mofas/Vespas) ergeben, da diese im Verhältnis zu anderen Kfz oft besonders laut sind. Hier könnte – ähnlich wie bei der Einführung des Katalysators – durch gesetzliche Vorschriften und zeitlich begrenzte Übergangsfristen ein signifikanter Beitrag zur Entlastung von lärmgeplagten Wohnlagen erbracht werden.
- Schwieriger wird die Realisierung von Lärmreduktionen in der ebenfalls sehr lärmintensiven Kategorie „Schwerverkehr“, da für Lastkraftwagen und Zugmaschinen keine marktreifen batterie-elektrisch oder mit Hybrid-Antrieb betriebenen Fahrzeuge verfügbar sind.

## Energie- und CO<sub>2</sub>-Monitoring

Der E-Mobilität werden große Chancen eingeräumt bei der Suche nach Technologien, die den motorisierten Individualverkehr klimafreundlicher und energieeffizienter werden lassen. Um dieses Ziel erreichen zu können, müssen elektrisch betriebene Fahrzeuge im gesamten Nutzungszyklus weniger Primärenergie verbrauchen und weniger Treibhausgase emittieren, als dies bei fossil betriebenen Kraftfahrzeugen der Fall ist.

Im Zuge des VLOTTE-Monitorings wurde die große Zahl von gleichartigen E-Fahrzeugen genutzt, um statistisch belastbarere Aussagen über den Energieverbrauch von E-Autos in realen Nutzungssituationen zu bekommen und damit auch die Herstellerangaben zum Energieverbrauch überprüfen zu können.

Erfasst wurde der Energieverbrauch im Betrieb (= „Tank-to-Wheel“). Aus den Ergebnissen wurden in weiterer Folge Aussagen zur Gesamteffizienz auf Primärenergiebasis („Well-to-Wheel“<sup>3)</sup> und die induzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen abgeleitet.

<sup>3)</sup>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 der 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.

## Methode

Untersucht wurden die Fahrzeugmodelle „Think City“, „Fiat 500“ und „Fiat Panda“. Sämtliche Fahrzeuge waren mit Zebra-Batterien ausgestattet.

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

Durch das „Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft“ der Technischen Universität (TU) Wien wurden Messreihen an mehreren Autos über einen Zeitraum von drei Wochen durchgeführt. Diese Erfassung wurde mit einer Aufzeichnung der GPS-Daten der zurückgelegten Fahrstrecken kombiniert. Zusätzlich wurden Messungen zu Ladevorgängen und Standby-Verlusten der Fahrzeuge durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden in einem eigenen Bericht des Klima- und Energiefonds veröffentlicht.

Durch das „Energieinstitut Vorarlberg“ wurden über einen Zeitraum von 19 Monaten Daten zu Fahrleistung und Energieverbrauch von 40 VLOTTE-Autos gesammelt. Insgesamt wurden 1.558 Datensätze erfasst und mit Hilfe von statistischen Verfahren ausgewertet.

Die Verbrauchserfassung erfolgte mittels eines Stromzählers (Summenzähler, 230 Volt [V]), der zwischen der Fahrzeugsteckdose und den Energieverbrauchern des Fahrzeugs positioniert wurde. Dadurch konnte mit dem Stromzähler der Gesamtenergieverbrauch der Fahrzeugs im Betrieb erfasst werden (= „Tank-to-Wheel“).

## Hoher spezifischer Energieverbrauch bei E-Autos mit Zebra-Batterien

In nebenstehender Aufstellung sind die Ergebnisse der Langzeitmessung in grafischer Form dargestellt. Da die Fahrzeuge nicht alle gleichzeitig an ihre BenutzerInnen übergeben wurden, variiert die Messperiode zwischen 122 und 535 Tagen.

Wie in Abbildung 2 ersichtlich, bewegt sich der spezifische Energieverbrauch der untersuchten Fahrzeuge im Bereich zwischen 0,2 und 0,5 kWh pro zurückgelegtem Kilometer. Der Mittelwert von 0,35 kWh/km liegt damit deutlich über den Herstellerangaben, die sich offensichtlich nur auf den Energieverbrauch des Fahrzeugs während des

## Energieverbrauch pro gefahrenem Kilometer

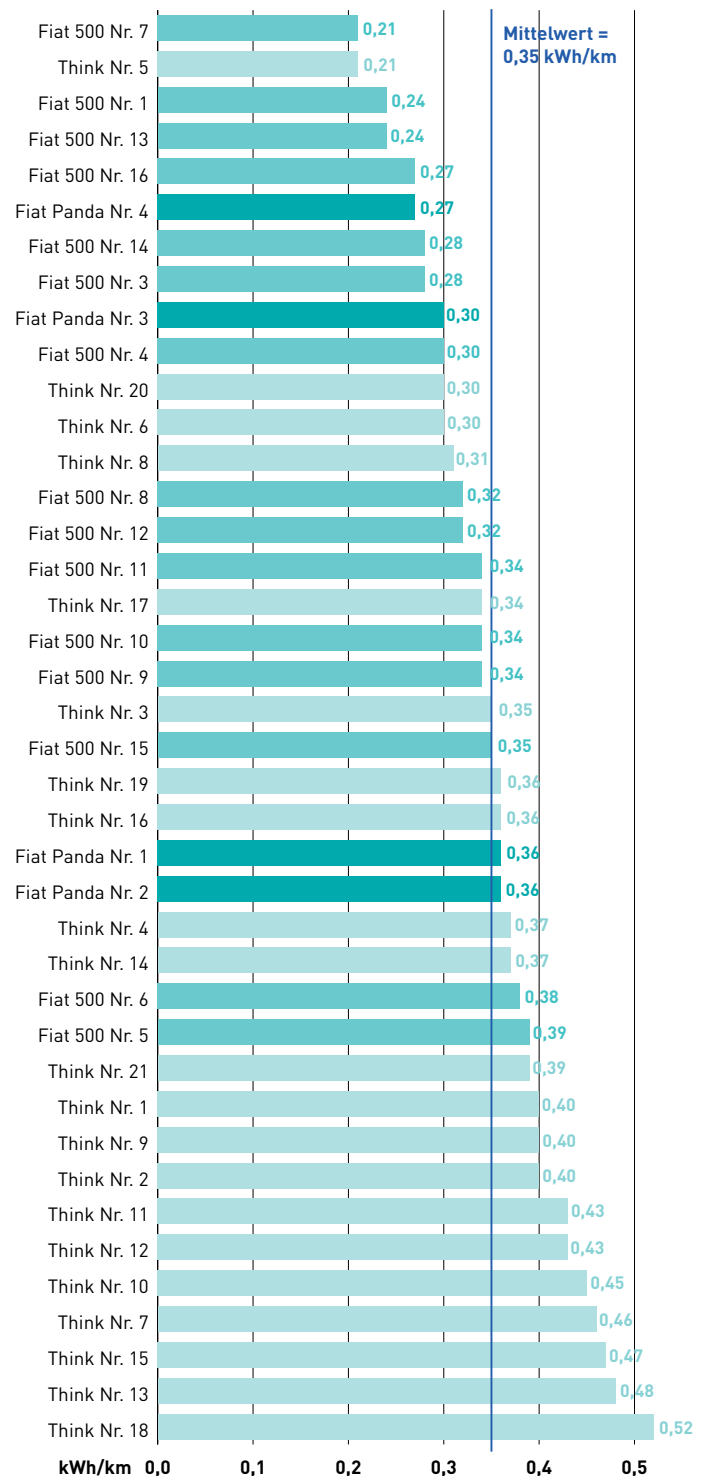


Abbildung 2: Spezifischer Energieverbrauch der im Energie-Monitoring erfassten Kfz (ausschl. E-Autos mit Zebra-Batterien)

Fahrvorgangs beziehen und den Energieverbrauch vernachlässigen, der in Form von Lade- und Standby-Verlusten anfällt.

### Große Unterschiede im Energieverbrauch der Fahrzeugtypen

Bei der Differenzierung der Fahrzeuge zeigt sich, dass sich der spezifische Energieverbrauch der einzelnen Fahrzeugtypen („Think City“, „Fiat Panda“, „Fiat 500“) deutlich unterscheidet. Der Unterschied dürfte auf folgende Ursachen zurückzuführen sein:

- effizientere Ladetechnik (siehe auch Untersuchung der TU-Wien)
- unterschiedliche Höchstgeschwindigkeiten
- unterschiedliches Fahrzeuggewicht
- unterschiedliche Standby-Verluste aufgrund unterschiedlich großer Batterien<sup>4</sup>

### Hoher Standby-Verbrauch bei Kfz mit Hochtemperatur-Batterien

Bei Fahrzeugen mit Hochtemperatur-Batterien hat nicht nur die Fahrleistung, sondern auch die Nutzungsdauer einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch, da die Batterie stets über einer Temperatur von 240 °C gehalten werden muss. Unabhängig davon, ob das Fahrzeug in Betrieb ist oder nicht, muss also für die Temperierung der Batterie Energie zugeführt werden. Kfz mit Hochtemperatur-Batterien weisen deshalb einen permanenten Standby-Verbrauch auf.

Stellt man den spezifischen Energieverbrauch der Fahrzeuge in Abhängigkeit der jährlichen Fahrleistung dar, so zeigt sich, dass der Einfluss des Standby-Verbrauchs bei zunehmenden Fahrleistungen in den Hintergrund tritt und der spezifische Energieverbrauch pro Kilometer sinkt.

### Spezifischer Energieverbrauch in Abhängigkeit der Fahrleistung der „Think City“-Fahrzeuge

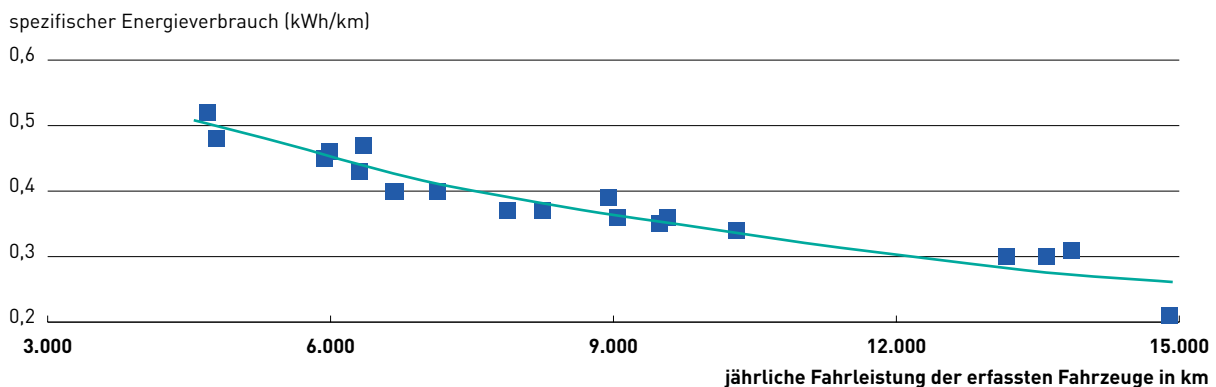


Abbildung 3: Zusammenhang von Fahrleistung und spezifischem Energieverbrauch bei den „Think City“-Modellen (ausschl. Zebra-Batterien)

Mithilfe einer linearen Regressionsanalyse konnten folgende Jahresmittelwerte für den reinen Fahrleistungsverbrauch und den Standby-Verbrauch bestimmt werden.

Fahrzeugtyp	Think City	Fiat Panda/Fiat 500
Reiner Fahrleistungsverbrauch	0,183 kWh/km	0,153 kWh/km
Standby-Verbrauch	4,2 kWh/d	3,2 kWh/d
Bestimmtheitsmaß der Regressionsanalyse (R <sup>2</sup> )	0,988	0,978

Tabelle 2: Fahrleistungsverbrauch und Standby-Verbrauch der Fahrzeugmodelle

### Jahreszeit hat einen erkennbaren Einfluss auf den Energieverbrauch von E-Autos

E-Autos verfügen im Gegensatz zu Autos mit Verbrennungsmotoren über keine Abwärme. Im Winter muss die Wärme zur Beheizung des Fahrzeugs gesondert erzeugt werden. Außerdem muss mehr Energie für die Temperierung der Hochleistungsbatterien aufgewendet werden. Es wurde deshalb untersucht, ob ein jahreszeitabhängiger Einfluss auf den Energiebedarf der Fahrzeuge erkennbar ist.

<sup>4</sup> Je größer die Masse der Batterie, desto höher ist bei Zebra-Batterien auch der Bedarf an „Heizenergie“ zur Erhaltung der benötigten Betriebstemperatur von mindestens 240 °C.

Fahrzeugtyp	Think City		Fiat Panda/Fiat 500	
	Sommer	Winter	Sommer	Winter
Jahreszeit	Sommer	Winter	Sommer	Winter
Anzahl verfügbarer Datensätze <sup>5</sup>	36	25	19	23
Reiner Fahrleistungsverbrauch (kWh/km)	0,188	0,221	0,136	0,166
Standby-Verbrauch pro Tag (kWh/d)	3,57	4,49	3,35	3,43
Bestimmtheitsmaß (R <sup>2</sup> )	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, zeigen beide Fahrzeugtypen bei einer jahreszeitlichen Differenzierung der Verbrauchswerte klare Unterschiede: Sowohl der fahrleistungsabhängige Verbrauch als auch der Standby-Verbrauch liegen bei reinen Winter-Datensätzen deutlich über den Werten aus hochsommerlichen Perioden. Es konnte somit ein klarer Einfluss der Jahreszeit bzw. von jahreszeitabhängigen Außentemperaturen auf den Energieverbrauch von mit Zebra-Batterien ausgestatteten E-Autos nachgewiesen werden.

### Energieeinsparung und Klimaschutz: Vergleich von Autos mit Zebra-Batterien, Lithium-Batterien und Diesel-Motoren

Um Aussagen über den möglichen Beitrag von E-Autos zu Energieeinsparung und Klimaschutz machen zu können, wurden VLOTTE-Testfahrzeuge mit den Verbrauchswerten eines Kfz mit Verbrennungsmotor verglichen.

Betrachtet wurden der für den Betrieb von Fahrzeugen anfallende jährliche Primärenergiebedarf<sup>6</sup> sowie der damit verbundene Ausstoß von Treibhausgasen. Basis des Vergleichs war eine jährliche Fahrleistung von 12.000 km pro Kfz.

Bei den Fahrzeugen mit Hochtemperatur-Batterien wurden nur die Verbrauchsdaten der „Think City“-Modelle herangezogen, da diese in Sachen Reichweite, Höchstgeschwindigkeit und Fahrzeugzuverlässigkeit besser mit marktüblichen Diesel- und Benzin-Kleinwagen vergleichbar sind. Als spezifische Verbrauchswerte wurden die in Tabelle 2 ermittelten Faktoren von 0,18 kWh fahrleistungsabhängiger Verbrauch pro Kilometer und 4,2 kWh Standby-Verbrauch pro Tag angesetzt.

Zusätzlich wurden die Verbrauchswerte der gegen Ende des VLOTTE-Projekts in den Fahrzeugpool aufgenommenen Fahrzeuge mit Lithium-Batterien („Citroën C-Zero“, „Mitsubishi i-MiEV“) herangezogen, da erste Messreihen gezeigt haben, dass deren Verbrauchswerte mit einer Bandbreite von 0,15 - 0,20 kWh/km<sup>7</sup> deutlich unter den Werten der „Think City“-Modelle liegen. Da insgesamt nur eine kleine Anzahl von Messdaten verfügbar war, wurde für die Vergleichsrechnung ein relativ hoher Verbrauchswert von 0,20 kWh/km angesetzt.

Als fossil betriebenes Vergleichsmodell wurde ein Diesel-Kleinwagen der höchsten Effizienzklasse (Leitprodukt: „VW Polo Bluemotion“) ausgewählt und angenommen, dass dieser unter realen Alltagsbedingungen einen durchschnittlichen spezifischen Energieverbrauch von 4,5 Liter Diesel pro 100 Kilometer (= 0,45 kWh/km) aufweist<sup>8</sup>.

Berücksichtigt wurde bei der Erstellung der Energie- und Klimabilanz jeweils nur die Betriebsenergie der Fahrzeuge. Der Energieverbrauch und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß, die bei Produktion und Entsorgung der Fahrzeuge anfallen, konnten mangels seriöser Datenquellen leider nicht berücksichtigt werden.

<sup>5</sup> Es wurden ausschließlich Datensätze herangezogen, die aus der Sommerperiode (Juli und August) bzw. der Winterperiode (Dezember bis Februar) stammen.

<sup>6</sup> Energieverbrauch einschließlich der Energie, die für die Erzeugung des vom Fahrzeug verwendeten Energieträgers (Strom bzw. Treibstoff) in der Produktion verbraucht worden ist.

<sup>7</sup> Endenergie, „Tank-to-Wheel“

<sup>8</sup> Basis für die Annahme ist der Mittelwert der Verbrauchsangaben für das Modell „VW Polo Bluemotion“ auf der Internetseite „Spritpreismonitor.de“: [www.spritmonitor.de/de/uebersicht/50-Volkswagen/451-Polo.html?fueltype=1&exactmodel=Bluemotion&powerunit=2](http://www.spritmonitor.de/de/uebersicht/50-Volkswagen/451-Polo.html?fueltype=1&exactmodel=Bluemotion&powerunit=2)

#### Primärenergieverbrauch im Fahrzeugbetrieb in MWh (bei 12.000 km/Jahr)

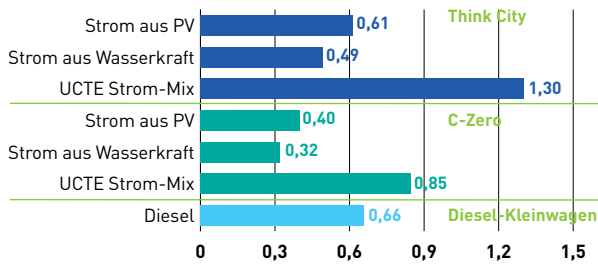


Abbildung 4: Vergleich Energieverbrauch auf Primärenergiebasis: „Think City“ (mit Zebra-Batterie), „C-Zero“ (Lithium-Batterie), energieeffizienter Diesel-Kleinwagen

#### Kumulierte CO<sub>2</sub>-Emissionen bei hohen Fahrleistungen in t (12.000 km/Jahr)

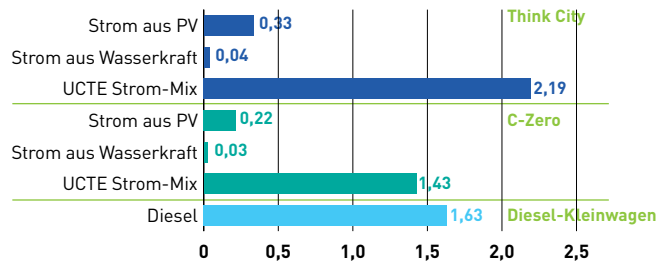


Abbildung 5: Treibhausgasemissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalent in Abhängigkeit der jährlichen Fahrleistung und Energiequelle

### Primärenergieverbrauch: E-Autos nur bei Verwendung von Ökostrom besser

Werden beim Energieverbrauch nicht nur der Endenergieverbrauch („Tank-to-Wheel“), sondern auch die Vorketten der Energieerzeugung in Form von Primärenergiefaktoren<sup>9</sup> berücksichtigt („Well-to-Wheel“), so zeigt sich, dass ein Effizienzgewinn durch das E-Auto mit Zebra-Batterien nur bei Ökostrombezug vorliegt. Auch der im Vergleich mit dem „Think City“ wesentlich sparsamere „C-Zero“ schneidet bei der „Betankung“ mit dem „Europäischen Strom-Mix“ (UCTE-Mix) schlechter ab als der Diesel-Kleinwagen.

Wie in Abbildung 5 ersichtlich, leisten E-Fahrzeuge trotz des sehr effizienten Elektromotors nur dann einen signifikanten Beitrag zum Klimaschutz, wenn die für den Betrieb der Fahrzeuge benötigte Energie zur Gänze aus **neu errichteten** Ökostrom-Anlagen stammt.

Ist diese Voraussetzung gegeben, können E-Fahrzeuge jedoch einen erheblichen Beitrag zur Reduktion von treibhauswirksamen Gasen leisten: Stammt der elektrische Strom beispielsweise zur Gänze aus Photovoltaik-Anlagen, reduziert sich der kumulierte CO<sub>2</sub>-Ausstoß (inklusive Vorketten) auch bei den Fahrzeugen mit Hochtemperatur-Batterien gegenüber fossil betriebenen Kleinwagen um mehr als 70 %. Bei Strom aus Wasserkraft und Fahrzeugen mit Lithium-Batterien beträgt die Reduktion sogar mehr als 95 %. Wie bei der Betrachtung des Primärenergieverbrauchs muss aber festgehalten werden, dass für eine vollständige Beurteilung der Klimawirkungen die CO<sub>2</sub>-Emissionen des ganzen Lebenszyklus der Fahrzeuge berücksichtigt werden müssten.

### Erkenntnisse und Schlussfolgerungen aus dem Energie- und CO<sub>2</sub>-Monitoring

- Die im Alltagsbetrieb festgestellten Energieverbrauchswerte („Tank-to-Wheel“) liegen bei den untersuchten Fahrzeugen mit Hochtemperatur-Batterien deutlich über den Herstellerangaben.
- Bei geringeren Kilometerleistungen ist der spezifische Energieverbrauch von Fahrzeugen mit Hochtemperatur-Batterien sehr hoch, da hier der Standby-Verbrauch zu einem dominanten Faktor wird. Solche Fahrzeuge sollten daher nur zum Einsatz kommen, wenn für das Fahrzeug hohe tägliche Fahrleistungen garantiert werden können.
- Die eingesetzten Hochtemperatur-Batterien („Zebra-Batterien“) haben jedoch auch einige günstige Eigenschaften. Sie sind relativ robust und wenig empfindlich gegenüber niedrigen Außentemperaturen. Die Batterierohstoffe (Natrium, Nickel, Chlor) sind gut verfügbar, während zur Frage der Verfügbarkeit von Lithium in der Literatur sehr unterschiedliche Angaben zu finden sind.
- E-Autos haben gegenüber fossil betriebenen Fahrzeugen große Vorteile in der Vermeidung von Lärm und Luftschadstoffen (NO<sub>x</sub>, Ozon, Feinstaub,...). Die besondere Stärke der untersuchten E-Fahrzeuge liegt aber in ihrem Potenzial zur Reduktion von Treibhausgasen. Entscheidende Voraussetzung dafür, dass dieses Potenzial auch realisiert werden kann: Die Betriebsenergie muss aus **neu errichteten Ökostrom-Anlagen** stammen, und die niedrigen Emissionen im Betrieb dürfen nicht durch hohe Emissionen in Produktion und Entsorgung von E-Autos überkompensiert werden.
- Um abschließende Aussagen über die Umweltfreundlichkeit von E-Autos treffen zu können, müssen zuerst belastbare Daten für Erstellung von Energie-, CO<sub>2</sub>- und Ökobilanzen zur Produktion und Entsorgung von Batteriesystemen bereitgestellt werden.

<sup>9</sup> Primärenergiefaktoren wurden aus folgender Quelle entnommen: Frischknecht, Tuchschnid: „Primärenergiefaktoren von Energiesystemen“, ESU-Services, 2008

## Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzierung des VLOTTE-Projekts

Es war Vorgabe an das VLOTTE-Projekt, dass der Energiebedarf der E-Fahrzeuge in der Jahresbilanz zur Gänze durch Strom aus neu errichteten Ökostrom-Anlagen gedeckt wird.

Insgesamt wurden im VLOTTE-Projekt 357 E-Autos in Betrieb genommen. Zu den bereits Ende 2010 betriebenen 78 Autos wurden nochmals 279 Autos angeschafft: 7 mit Zebra-Batterien ausgestattete, 272 mit Lithium-Ionen-Batterien ausgestattete Modelle.

Auf Basis der im Monitoring ermittelten spezifischen Energieverbrauchswerte ergibt sich ein mittlerer jährlicher Energiebedarf für den Betrieb aller 357 VLOTTE-Autos von rund 715.000 kWh.

Fahrzeug	Anzahl Kfz	Spezif. Energieverbrauch (in kWh/100 km)	Durchschnittliche Fahrleistung (km/a Kfz)	Strombedarf (in kWh/a)
VLOTTE-Autos mit Zebra-Batterien	85	35	8.500	252.875
VLOTTE-Autos mit Lithium-Batterien	272	20	8.500	462.000

Tabelle 4: Abschätzung des jährlichen Bedarfs an Betriebsenergie für die VLOTTE-Fahrzeuge im Endausbau

Parallel zur Erweiterung des Fuhrparks wurden vier Ökostrom-Anlagen neu ins Netz gebracht: Die PV-Anlagen Weidach, Lingenau und Krumbach mit Jahreserträgen von rund 100.000 kWh pro Jahr und ein Anteil des Kleinwasserkraftwerks (KWK) Brunnenfeld mit einer Jahresproduktion von 1.700.000 kWh<sup>10</sup>.

Mit diesen neu errichteten Anlagen konnte im Projekt VLOTTE eine ausgeglichene Bilanz zwischen zusätzlichem Stromverbrauch und neuer Ökostrom-Erzeugung gewährleistet werden.

## NutzerInnenbefragung

Ziel der NutzerInnenbefragung im VLOTTE-Projekt war es, Personen, die regelmäßig mit E-Autos unterwegs sind, zu ihren Haltungen und persönlichen Erfahrungen zu befragen. Da E-Autos nur in sehr geringen Stückzahlen am Markt sind, wurden bislang meist nur Personen befragt, die noch keine persönlichen Erfahrungen mit E-Autos gemacht haben<sup>11</sup>. Mit der Befragung aus dem VLOTTE-Projekt liegen nun erstmals Einstellungen und Erfahrungen von regelmäßigen NutzerInnen von E-Autos vor.

### Untersuchte Fragestellungen

Im Rahmen des Monitorings wurden folgende Themen vertieft beleuchtet:

- Wie bewerten regelmäßige NutzerInnen die Eigenschaften von E-Autos?
- Wie sieht das Fahr- und Tankverhalten der NutzerInnen aus?
- Welche Motivation besteht, ein E-Auto zu nutzen bzw. eines anzuschaffen?
- Wie groß ist die Bereitschaft von regelmäßigen NutzerInnen, privat ein E-Auto anzuschaffen?

Befragt wurden 39 BetreuerInnen und 140 regelmäßige NutzerInnen von VLOTTE-Autos. Die Befragung fand in Form von Telefon-Interviews bzw. über ein Online-Formular statt.

Jährliche Strommenge in kWh

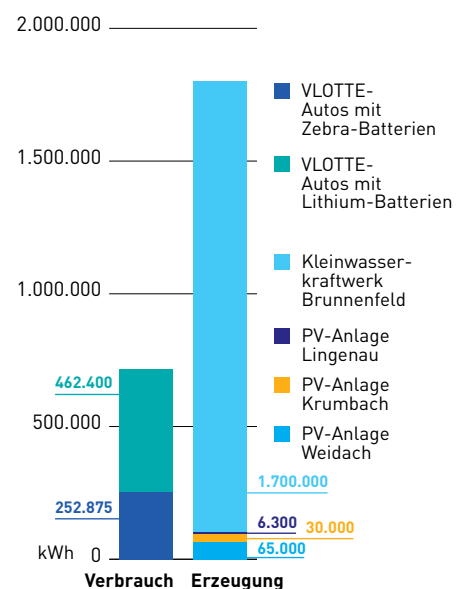


Abbildung 6: Gegenüberstellung von Energieverbrauch und -erzeugung im Endausbau des VLOTTE-Projekts (Darstellung mit 100 % der Jahreserzeugung des Kleinwasserkraftwerks (KWK) Brunnenfeld)

<sup>10</sup> 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.

<sup>11</sup> Z. B.: Ernst & Young 2010: „Gauging interest for plug-in hybrid and electric vehicles in select markets“; Mobilitätsakademie des Schweizer Touring-clubs (TCS) 2010: „Die Schweizer fahren elektrisch ab!“



## Darstellung ausgewählter Ergebnisse der Befragung

### VLOTTE-Autos sind keine reinen Kurzstreckenfahrzeuge

Die Angaben zur durchschnittlichen Länge einer Fahrt<sup>12</sup> mit den VLOTTE Autos lag bei 30 km. 21 % der Auskunftspersonen gaben an, regelmäßig Strecken von mehr als 50 km zurückzulegen. 5 % der Befragten gaben sogar an, dass ihre Fahrten im Mittel länger als 90 km sind.

### Hohe Zufriedenheit der VLOTTE-NutzerInnen

Die Zufriedenheit der VLOTTE-PartnerInnen und NutzerInnen mit den Fahrzeugmodellen war trotz einiger Kinderkrankheiten der umgebauten Fiat-Modelle erfreulich hoch. Diese hohe Zufriedenheit dürfte auch auf den Pioniercharakter des VLOTTE-Projekts und die damit verbundene Bereitschaft der NutzerInnen, über Schwierigkeiten bei der Einführung neuer Technologien hinwegzusehen, zurückzuführen sein.

### Geringe Nutzung der öffentlichen Stromstellen

Mit 56 % wünschten sich nur etwas mehr als die Hälfte der befragten Personen den Ausbau des Stromstellennetzes. Nur 5 % der Auskunftspersonen erklärten, die öffentlichen Stromstellen öfters zu nutzen. 46 % gaben sogar an, die Stromstellen nie zu nutzen.

### Ladeverhalten: Nur bei längerer Aufenthaltsdauer und vorzugsweise über Nacht

75 % der befragten Auskunftspersonen gaben 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. Die Ladedauer<sup>13</sup> der E-Autos lag laut Angaben der 179 Auskunftspersonen nur in 13 % der Fälle unter drei Stunden. Der angegebene Ladezeitraum lag zu 84 % im Zeitfenster von 18 bis 6 Uhr.

### Abrechnungsart: Automatisches Erkennen und Abrechnen mit höchster Akzeptanz

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 Mobiltelefon oder Quick-Karte sowie der klassische Münzeinwurf.

### Wie viele Kilometer werden Ihrer Einschätzung nach durchschnittlich pro Fahrt zurückgelegt?

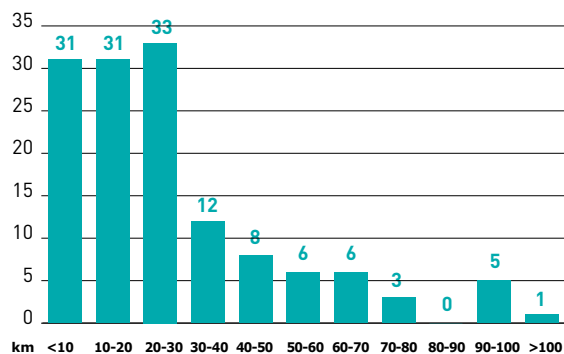


Abbildung 7: Angaben zu durchschnittlichen Fahrstreckenlängen in Kilometern

### Haben Sie diese öffentlichen Stromstellen schon für das Laden Ihres Autos genutzt?

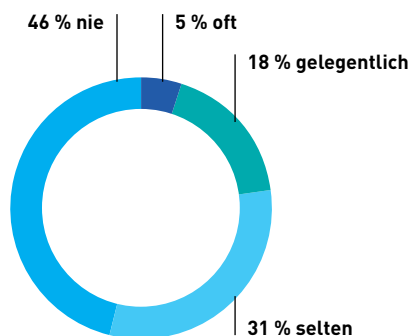


Abbildung 8: Nutzung der Stromstellen durch die Auskunftspersonen

### Welche Abrechnungsart würden Sie beim Tanken an einer öffentlichen Stromstelle bevorzugen?

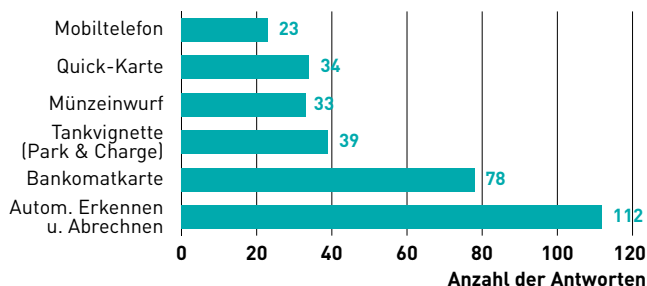


Abbildung 9: Bevorzugte Abrechnungssysteme

<sup>12</sup>Als „Fahrt“ wurde die Strecke bezeichnet, die zur Erledigung eines Wegezwecks – inklusive der Rückkehr an den Ausgangspunkt oder einen anderen Endpunkt (Wohnort) – zurückgelegt wird. Zwischenbetankungen sind während einer Fahrt möglich.

<sup>13</sup>Zeit zwischen dem Einstecken des Ladekabels und der Voll-Ladung der Batterie.

## Schnell-Ladestationen: Erwünschter Ausbau, aber geringe Zahlungsbereitschaft

Die Errichtung von Schnell-Ladestationen, an denen Autos innerhalb von 20 Minuten wieder aufgeladen werden können, wird von 76 % der Auskunftspersonen als „wichtig“ oder zumindest „teilweise wichtig“ angesehen.

Die Bereitschaft, für den Service der Schnell-Ladung eine erhöhte Ladegebühr zu entrichten, war mit 56 % jedoch nur bei etwas mehr als der Hälfte der befragten Personen vorhanden.



Abbildung 10: Persönliche Motive für die Fahrzeugnutzung

## Umweltfreundlichkeit ist wichtigste Eigenschaft von E-Autos

Aus Sicht der VLOTTE-NutzerInnen war die Umweltfreundlichkeit der Fahrzeuge das Hauptmotiv zur Nutzung der Fahrzeuge. Auch von den Betrieben wurde die Umweltfreundlichkeit als Hauptmotiv für die Anschaffung der Autos genannt.

### Könnten Sie sich grundsätzlich vorstellen, privat ein E-Auto anzuschaffen?

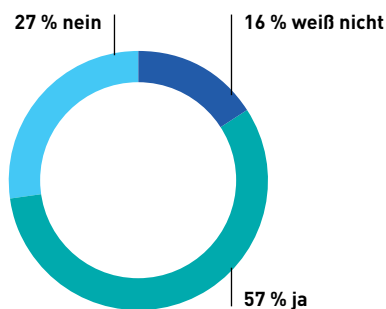


Abbildung 11: Bereitschaft zu einer privaten Anschaffung eines E-Autos

### Große Bereitschaft, sich privat ein E-Auto anzuschaffen

Etwas mehr als die Hälfte der NutzerInnen (57 %) konnte sich grundsätzlich vorstellen, auch privat ein E-Auto anzuschaffen. 27 % der Auskunftspersonen konnten sich hingegen eine private Anschaffung nicht vorstellen.

### Größere Reichweite und Kostensenkung als wichtigste Kaufvoraussetzungen

Die wichtigsten Eigenschaften von E-Autos, die für die befragten Personen verbessert werden müssten, um privat ein E-Auto anzuschaffen, sind die Erhöhung der Reichweite und die Senkung der Anschaffungskosten.



Abbildung 12: Wichtige Verbesserungen als Voraussetzungen für eine private Anschaffung

### Bereitschaft zum Kauf eines E-Autos in Abhängigkeit der Anschaffungskosten im Vergleich zu einem Kfz mit Verbrennungsmotor

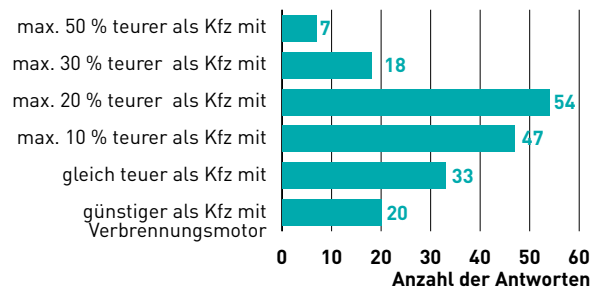


Abbildung 13: Persönliche Bereitschaft, höhere Anschaffungskosten für ein E-Auto in Kauf zu nehmen

### Bereitschaft zur Bezahlung höherer Anschaffungskosten vorhanden

Bei den befragten NutzerInnen bestand durchaus die Bereitschaft, für die Anschaffung eines E-Autos mehr zu bezahlen, als dies für ein vergleichbares konventionelles Automodell erforderlich wäre: 25 % der befragten Personen gaben sogar an, bei der Anschaffung Mehrkosten von 30 % gegenüber den Anschaffungskosten eines vergleichbaren Kfz in Kauf zu nehmen.

### Schlussfolgerungen aus der NutzerInnenbefragung:

- Wenn eine schnelle Marktdurchdringung des motorisierten Individualverkehrs mit E-Fahrzeugen angestrebt wird, muss eine Verbesserung der Reichweite und eine Senkung der Kostendifferenz zwischen E-Autos und Autos mit Verbrennungskraftmotoren erreicht werden<sup>14</sup>.
- Mit Ausnahme der Errichtung von Schnell-Ladestationen (= Reichweitenerhöhung) ist der Ausbau der Ladestationen für die NutzerInnen von weniger hoher Bedeutung.
- Angesichts hoher Investitionskosten und geringer Betriebskosten sollten Kommunikationsstrategien und Finanzierungsmodelle den Fokus noch stärker auf die Gesamtkosten legen, die im Zeitraum der Fahrzeugnutzung anfallen („Total Costs of Ownership“).
- Um die Umweltfreundlichkeit als Alleinstellungsmerkmal der E-Autos nicht zu gefährden, sollte darauf geachtet werden, die Betriebsenergie immer durch neu errichtete Ökostrom-Anlagen abzudecken. Zusätzlich sollte die von den NutzerInnen oft gestellte Frage nach der Ökobilanz der Batteriesysteme zufriedenstellend beantwortet werden können.

## Am VLOTTE-Monitoring beteiligte Organisationen

Neben dem „Energieinstitut Vorarlberg“, das mit der Durchführung des VLOTTE-Monitorings beauftragt wurde, waren folgende Personen und Organisationen maßgeblich am VLOTTE-Monitoring beteiligt:

- Beratung bei Konzeption und Durchführung: „Kairos“ Wirkungsforschung und Entwicklung gemeinnützige GmbH
- Lärm-Messungen: Amt der Vorarlberger Landesregierung - Abt. Maschinenbau und Elektrotechnik (Vlc)
- Verbrauchsmessung, Messaufbau und Durchführung: illwerke vkw
- Technische Universität (TU) Wien - Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft

**Langfassung des Berichts und weitere Infos zu Modellregionen E-Mobilität des Klima- und Energiefonds: [www.e-connected.at](http://www.e-connected.at)**

<sup>14</sup> Neben der Kostensenkung durch eine Serienproduktion in großem Maßstab wird für eine schnelle Marktdurchdringung auch eine Förderung bzw. eine Verteuerung von fossil betriebenen Fahrzeugen durch die öffentliche Hand erforderlich sein.

Vorarlberger Elektroautomobil Planungs- und Beratungs GmbH  
Ein Unternehmen von illwerke vkw  
Weidachstraße 6  
6900 Bregenz  
Telefon +43 5574 601-0  
Fax +43 5574 601-78528



**Energieinstitut Vorarlberg**

Energieinstitut Vorarlberg, Abteilung MOBILITÄT  
Stadtraße 33/CCD, 6850 Dornbirn

**Inhaltliche Bearbeitung:**

DI Martin Reis

**Mitarbeit:**

Mag. Yvonne Antretter-Wiedl

Alexander Fritz

Iris Scheibler

**Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:**

Klima- und Energiefonds  
Gumpendorfer Straße 5/22  
1060 Wien  
[www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at)

**Gestaltung:** ZS communication + art GmbH

**Druck:** gugler\* cross media (Melk/Donau). Bei der mit Ökostrom durchgeführten Produktion wurden sowohl die Anforderungen des Österreichischen Umweltzeichens als auch die strengen Öko-Richtlinien von greenprint\* erfüllt. Sämtliche während des Herstellungsprozesses anfallenden Emissionen wurden im Sinne einer klimaneutralen Druckproduktion neutralisiert. Der Gesamtbetrag daraus fließt zu 100 % in ein vom WWF ausgewähltes Klimaschutz-Projekt.



greenprint\*  
klimapositiv gedruckt

**Papier:** Olin

**Herstellungsort:** Wien, August 2012