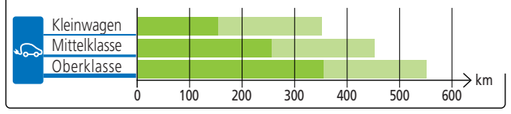
e-mobile

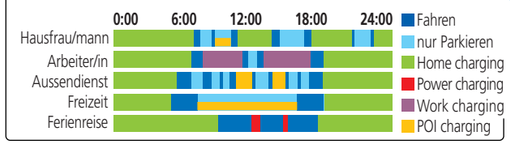
MOBILITÄT 20xx

Reichweiten

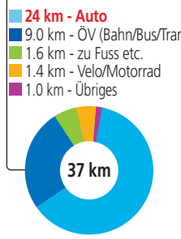


Typische Fahrmuster (Alltagsgebrauch)

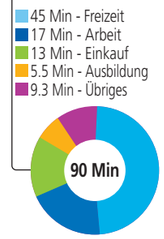
«EN PASSANT laden statt extra tanken!»



Unterwegs – wie? Distanz in km/Tag



Unterwegs – wozu? Dauer in Min/Tag

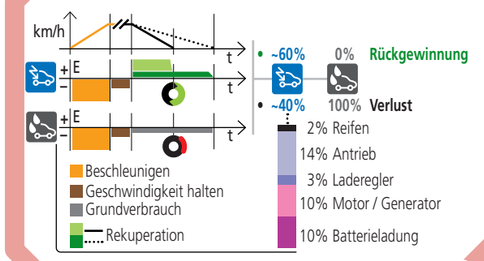


2 Mobilität Schweiz

1 BEV Einsatz im Alltag

7 MOBILITÄT 20xx

1 Energiebilanz Fahrzyklus



Reichweite mit 1kWh (1kWh = 0.12l Benzin)

2 Effizienz

- Weniger bewegliche Teile – einfacher! Weniger Verschleiss + Wartungsbedarf

3 Energie-strategie CH 2050

- Vor Ort IMMER emissionsfrei (OHNE Lärm / Abgase / Luftverbrauch)
- Fahren mit CH-Energie
- Wertschöpfung vor Ort!

Mein Beitrag! 2050

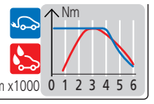
4 Fahr-Komfort

- RUHE! Keine Motoren- / Getriebegeräusche
- Handling vereinfacht «1 Pedal fahren» >> vorausschauendes fahren
- Heizen/kühlen ohne Motor
- Auch vor der Abfahrt… überall… P

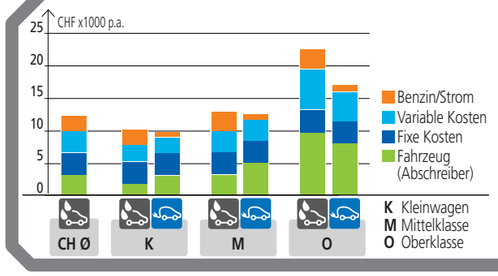
8 Besondere MERKMALE

5 Sicherheit

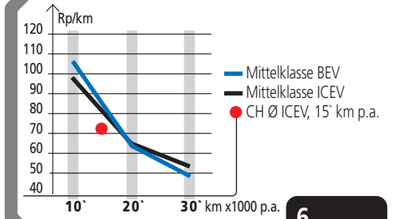
- Kollisionsschutz ++
- Feuergefahr: 10x kleiner!
- Schwerpunkt tief
- Schlupfregelung maximal präzis
- Beschleunigung++ Noch sicherer überholen!
- Drehmoment Typischer Verlauf rpm x1000



1 TCO Kosten total (Total Cost of Ownership) über 10 Jahre x 20`000 km für ICEV und BEV



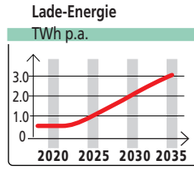
2 km Kosten je km



Basis: Meistverkaufte Wagen je Klasse

6 KOSTEN Effizienz

Lade-Energie TWh p.a.

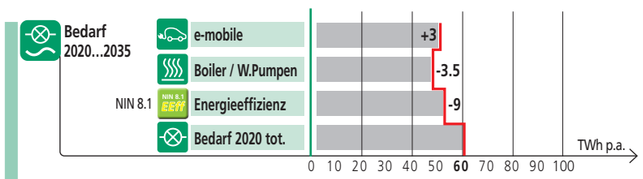


Energie-bedarf e-mobile CH

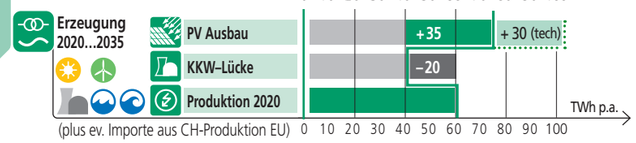
Energiestrategie 2050

9 ELEKTRIZITÄT Versorgung

Bedarf 2020…2035

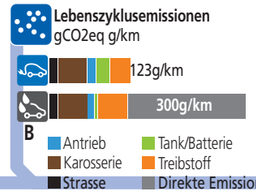


Erzeugung 2020…2035

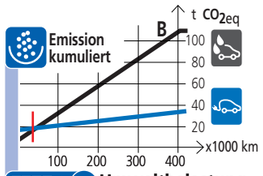


Abgase Liter/km

Lebenszyklusemissionen gCO2eq g/km



Emission kumuliert

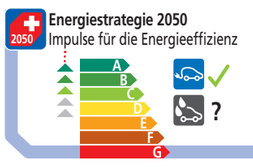


2 Umweltbelastung Elektrizität: CH-Mix

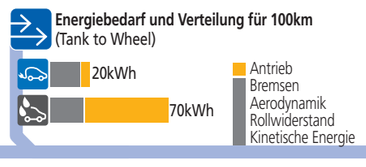
5 UMWELT Nachhaltigkeit

Energie-effizienz

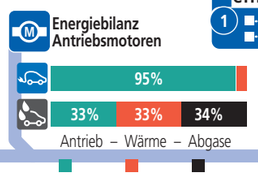
Energiestrategie 2050 Impulse für die Energieeffizienz



Energiebedarf und Verteilung für 100km (Tank to Wheel)



Energiebilanz Antriebsmotoren



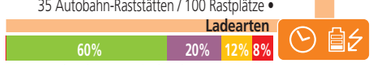
10 LADEN

Ladefelder

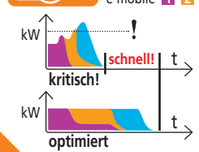
Ladestationen CH

Ladestationen AC: 7200 •
ich-tanke-strom.ch •
Förderung (Bund, Kantone, Verteilnetzbetreiber) •
35 Autobahn-Raststätten / 100 Rastplätze •

Ladearten

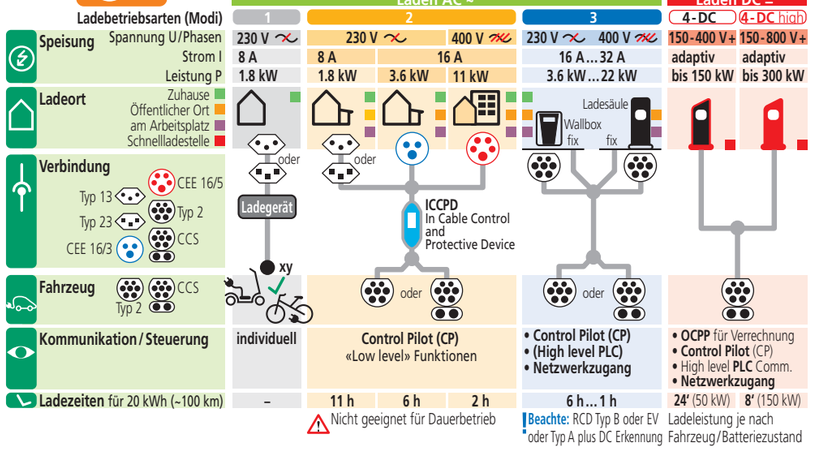


2 Lademanagement e-mobile 1 2 3



Laden

1 Ladebetriebsarten (Modi)



4 MARKT Entwicklung

3 Treiber e-Mobilität

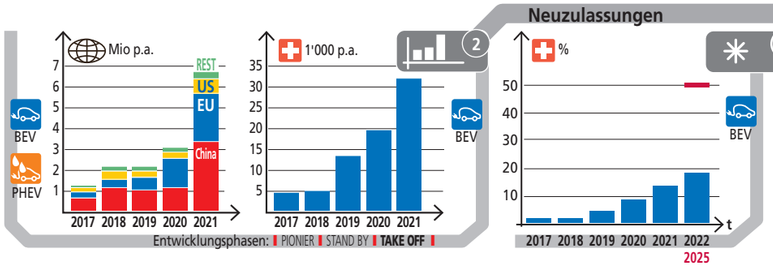
- Sensibilisierung +
- «Neue Wege suchen / gehen»
- Zollbefreiung BEV / PHEV
- Lenkungsboni (z.B. Mfzg-Steuer)
- Innovation+ / BEV im Verkehr+
- Megatrend Klimaschutz (EU green deal)

- Reduktion = MUSS
- Vorgaben ASTRA 2021 118g/km
- Umweltzonen im Stadtgebiet (EU ✓)
- Förderung Schnellladestationen
- 35 Autobahn-Raststätten / 100 Rastplätze

Ein neues Fahrgefühl.
Für mich, die Umwelt und alle andern.

Neuzulassungen

2 Verkäufe BEV



GENERELLES

1 Normen/Vorgaben

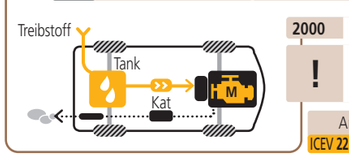
SIA 2060
WVCH 2021
MUKEN 2014
SNEN 61851
NIN 7.22

2 Fahrzeugarten

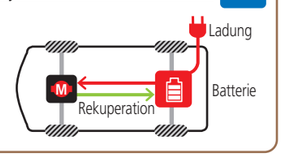
battery electric vehicle **BEV**
internal combustion engine veh.**ICEV**
FCEV fuel cell electric vehicle
PHEV, HEV (plug in) hybrid electric vehicle

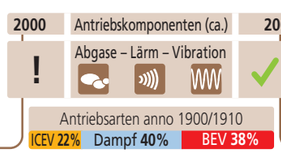
3 Typische Konfiguration

Verbrenner (Benzin) internal combustion engine vehicle 3.1 ICEV



e-mobile 3.2 BEV battery electric vehicle



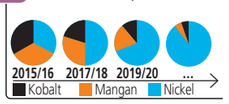


BATTERIE

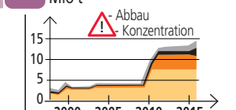
11 Produktion

Betrieb

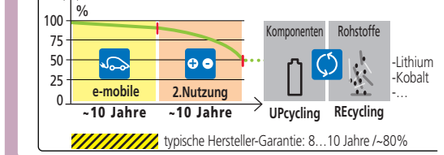
Materialmix kontinuierlich optimiert



Lithiumvorräte Mio t

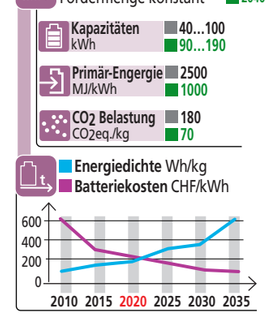


Nutzungen / Kapazitätsverlauf



Besondere Merkmale
- Materialwahl / Konstruktion für lange Lebensdauer
- Kontrollierter Betrieb (Temperatur / Leistung)
- Minimaler Kapazitätsabbau (1-2% p.a.)

Produktionswerte Fördermenge konstant



Mit Unterstützung von energieschweiz

Redaktion: Peter Bryner / Christian Frei / Claudio Pfister | Version 20d_011122
Realisation: ergocom® Michael Kuhn | © Electrosuisse 11_2022

e-mobile

LADEN

1_ Fahrleistung: 50 km / Tag
15'000 km / Jahr

2_ Energiebedarf: 9…15 kWh / Tag
für 100 km15…20 kWh

3_ Ladedauer
für 100 km
- **20…40 Min.** Ladeleistung 22 kW
- **50…80 Min.** Ladeleistung 11 kW

4_ Typische Stehzeit (zuhause) ~ 12h

PLANUNGSwerte

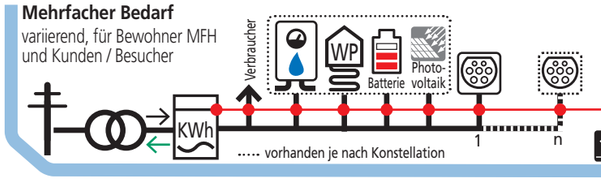
CH • Energiebedarf
• Ladung

Situation Einzelbedarf (EFH)

Lastoptimierung •
Kostenoptimierung •
Einspeisung / Rückeinspeisung •
(ev. bidirektional vom e-mobil)
1 od. mehr Ladepunkte •

Mehrfacher Bedarf

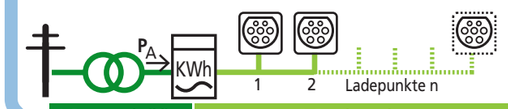
variierend, für Bewohner MFH und Kunden / Besucher



Lastoptimierung •
Kostenoptimierung •
Einspeisung / Rückeinspeisung •
Anzahl Ladepunkte siehe 3.3 •
Mehrere Eigentümer siehe 2 •

Ausbaugrad für die Ausbaustufen 1,2 in%

für Bewohner MFH und Kunden / Besucher



1_Power to building | 2_Ready to charge

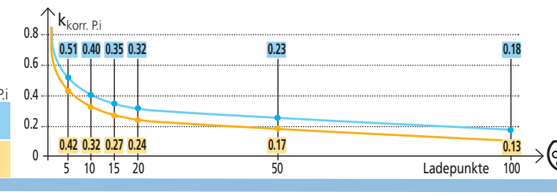
Stufe	Art	Ziele Ausbaugrad Minimum	Zielwert	2035
1	MFH	60%	80%	80%
	Kunden Besucher	60%	80%	80%
2	MFH	2 P	20%	100%
	Kunden Besucher	2 P	bis 100%	20%

Entwicklungsschritte

Dimensionierung P_A kW

P_A z.B. bei 11kW Ladeleistung:
$P_A = n_{Lade} \times 11 \times k_{korr.Pi}$

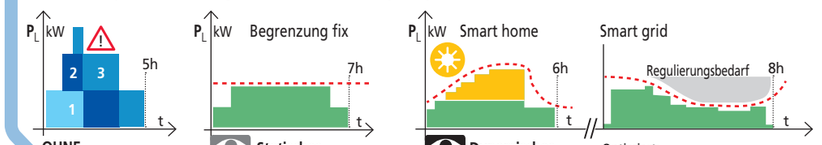
Leistungskorrekturfaktor $k_{korr.Pi}$	
Kunden Besucher	$k_{korr.Pi} = 0.895 / n^{0.347}$
MFH	$k_{korr.Pi} = 0.800 / n^{0.401}$



Anschluss-leistung

P_A 4

Lastkurven je nach Management und Leistungsangebot



Beachten / klären…

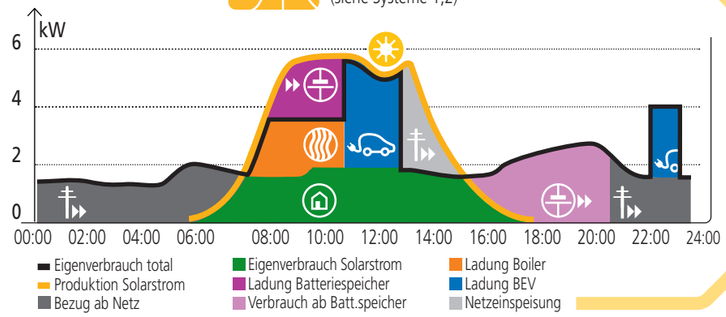
- NB-Ansteuerung/Sperrung
- Leistung 11 oder 22 kW
- Abrechnung: Zähler je Anschluss

- Lademanagement ohne - statisch - dynamisch
- Dynamischer Phasenausgleich

- Eigentum Ladestation(en)
- Zusatzkosten (LAN, DL, ABO…)
- Etappierung

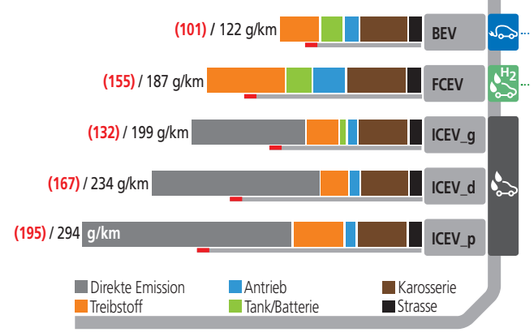
Lokale Optimierung

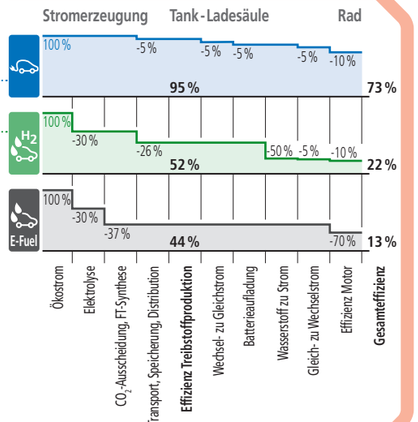
Produktion / Verbrauch — mit Speicherbatterie (siehe Systeme 1,2)



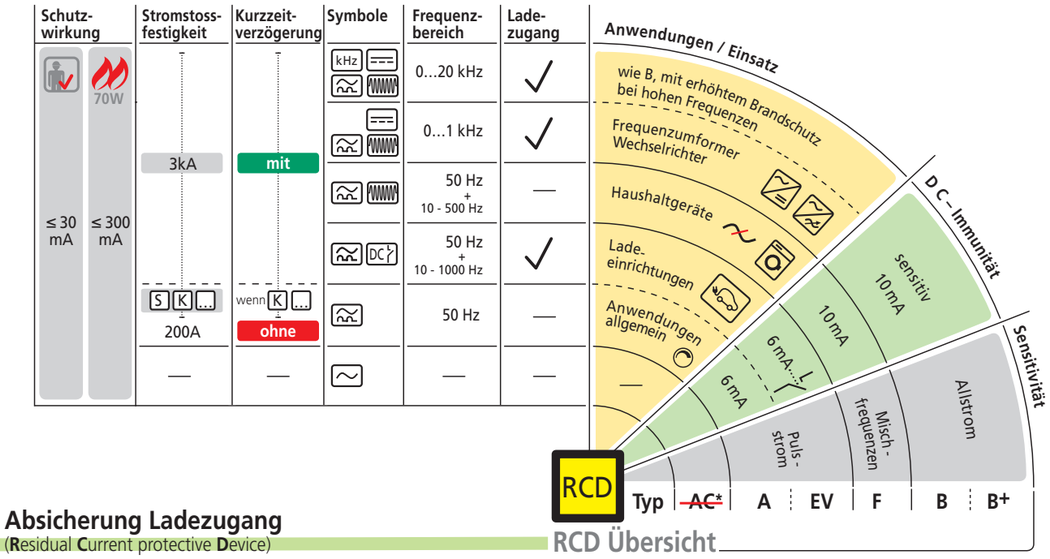
Emissionen 2018 / (2040)

Umweltbelastung in gCO2eq g/km





Ressourcen-Effizienz



RCD Absicherung Ladezugang

(Residual Current protective Device)

RCD Übersicht

Quellen Glossar ABC

BEV Battery Electric Vehicle
FCEV Fuel Cell Electric Vehicle
ICEV Internal Combustion Engine Vehicle (petrol / diesel / gas)
PHEV Plug in Hybrid Electric Vehicle
HEV Hybrid Electric Vehicle
CO2eq Kohlendioxyd-Equivalent
MUKEN 2014 Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
NIN 7.22 Stromversorgung von Elektrofahrzeugen
POI Point of interest (Zielort)
SIA 2060 Infrastruktur für Elektrofahrzeuge in Gebäuden
SNEN 61851 El. Ausrüstung von Elektro-Straßenfahrzeugen
WVCH 2021 Werkvorschriften der Elektrizitätsunternehmungen

Organisationen

Auto Schweiz
ASTRA Bundesamt für Strassen
BFE Bundesamt für Energie
BFS Bundesamt für Statistik
BFH Berner Fachhochschule
ETH Eidg. Tech. Hochschule ZH
Electrosuisse
e-mobile schweiz
IEA Internat. Energie Agentur
ISE Fraunhoferinstitut
NFPA National Fire Protection Association
PSI Paul Scherrer Institut
SIA Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein
TCS Touring Club Schweiz

Electrosuisse
Luppmenstrasse 1 | CH-8320 Fehraltorf | +41 58 595 11 11
info@electrosuisse.ch | www.electrosuisse.ch

Diese artmap® wurde entwickelt mit der freundlichen Unterstützung von:

EnFK Konferenz Kantonaler Energiefachstellen
Conférence des services cantonaux de l'énergie
Conferenza dei servizi cantonali dell'energia
Conferenza dals posts spezialisads chantunals d'energia

swissgee

ENERGY STORAGE E3DC A member of Hager Group

EM

E-Mobilität – Der Antrieb der Zukunft

electro suisse

Die mit dieser Broschüre erklärte artmap® e-mobile, welche vom Autorenteam Peter Bryner, Christian Frei und Claudio Pfister inhaltlich erarbeitet und von ergocom® Claudius Bohrer realisiert wurde, befasst sich mit der hochaktuellen Thematik der Elektromobilität. Die artmaps® von Electrosuisse zeichnen sich dadurch aus, dass sie komplexe Inhalte grafisch auf maximal zwei A3-Seiten darstellen. In dieser Reihe sind bisher erschienen:

Titel Map	Name	Jahr	Autor
NIN 2000	Niederspannungs-Installationsnorm	1999	P. Bryner | J. Schmucki
NIN 2005	Niederspannungs-Installationsnorm	2004	P. Bryner | J. Schmucki
NIN 2010	Niederspannungs-Installationsnorm	2009	P. Bryner | J. Schmucki
NIN 2015	Niederspannungs-Installationsnorm	2014	P. Bryner | J. Schmucki
NIN 2020	Niederspannungs-Installationsnorm	2019	P. Bryner | J. Schmucki
NIV 2001	Niederspannungs-Installationsverordnung	2001	P. Bryner | M. Wey
NIV 2018	Niederspannungs-Installationsverordnung	2018	P. Bryner | M. Wey
SK EN 61439-1	Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen	2014	P. Bryner | M. Schellenberg
Normen	Gesetzliche Grundlagen und Regeln der Technik für elektrische Anlagen	2017	M. Schellenberg
Messen	Richtig Messen in Niederspannungsanlagen	2017	P. Bryner | U. Schmid
EEff	Energieeffizienz für Niederspannungsanlagen	2019	P. Bryner | V. Wouters
e-mobile	E-Mobilität – Eine Übersicht	2020	P. Bryner | C. Frei | C. Pfister

Partner

Mit Unterstützung von energieschweiz

EM Einfach.Mehr.

Ausgabe 2023

Autor: Peter Bryner
Mitautoren: Christian Frei | Claudio Pfister

Bezugsquelle

Electrosuisse | Luppmenstrasse 1 | 8320 Fehraltorf
T +41 58 595 11 90 | normenverkauf@electrosuisse.ch

Die Unterlagen wurden aufgrund der gültigen Normen eingehend geprüft. Für Fehler übernehmen die Verfasser keine Haftung. Im Zweifelsfall gelten die entsprechenden Normen.

ISBN: 978-3-907255-08-7

Inhaltsverzeichnis

1. Normen / Vorgaben 9

2. Fahrzeugarten 11

2.1. Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV) 11

2.2. Battery Electric Vehicle (BEV) 11

2.3. Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV) 11

2.4. (Plug-in) Hybrid Electric Vehicle (PHEV, HEV) 11

3. Typische Konfiguration 13

3.1. Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV), Verbrennungsmotor 13
3.1.1. Funktionsweise des Verbrennungsmotors 13
3.1.2. Abgase 13
3.1.3. Geräusche 14

3.2. Battery Electric Vehicle (BEV), Elektrofahrzeug 14
3.2.1. Funktionsweise des Elektrofahrzeuges 14
3.2.2. Lokal emissionsarme BEV 15

3.3. Antriebsarten anno 1900 16

4. Markt / Entwicklung 17

4.1. Neue Modelle / Neuzulassungen 17

4.2. Treiber e-Mobilität 19
4.2.1. CO_2-Reduktion 19
4.2.2. Umweltzonen im Stadtgebiet (EU) 20
4.2.3. Förderung Schnellladestationen (SLS) 21
4.2.4. Förderungen energiefranken.ch 22

5. Umwelt / Nachhaltigkeit 23

5.1. Energieeffizienz 23
5.1.1. Energiestrategie 2050 – Impulse für die Energieeffizienz 23
5.1.2. Energiebedarf und Verteilung für 100 km (Tank-to-Wheel) 25
5.1.3. Energiebilanz Antriebsmotoren 27

5.2. Umweltbelastung 28
5.2.1. Abgase 29
5.2.2. Emission (von Treibhausgasen als Mass für das klimaschädigende Potenzial von Fahrzeugen) 29
5.2.3. Emission kumuliert 31

6. Kosten / Effizienz **32**

6.1. Kosten total (TCO) **32**

6.2. Kosten je km **34**

7. Mobilität 20xx **35**

7.1. BEV Einsatz im Alltag **35**
7.1.1. Reichweiten 35
7.1.2. Typische Fahrmuster (Alltagsgebrauch) 36

7.2. Mobilität Schweiz **37**
7.2.1. Unterwegs – wie? 37
7.2.2. Unterwegs – wozu? 38

8. Besondere Merkmale **39**

8.1. Energiebilanz Fahrzyklus (Tank to Wheel) **39**

8.2. Effizienz **39**
8.2.1. Wirkungsgrad 39
8.2.2. Antriebskomponenten 39

8.3. Energiestrategie CH 2050 **39**
8.3.1. Vor Ort IMMER emissionsfrei: Ohne Lärm, Abgase und Luftverbrauch 39
8.3.2. Fahren mit CH-Energie – Wertschöpfung vor Ort 39

8.4. Fahrkomfort **40**
8.4.1. Ruhe: Keine Motoren- und Getriebegeräusche 40
8.4.2. Handling vereinfacht: «Ein Pedal fahren» und vorausschauendes Fahren 42
8.4.3. Heizen/kühlen ohne Motor – Auch vor der Abfahrt … überall 42

8.5. Sicherheit **43**
8.5.1. Kollisionsschutz 45
8.5.2. Feuergefahr: 10x kleiner 45
8.5.3. Schwerpunkt tief – Schlupfregelung maximal präzis 45
8.5.4. Beschleunigung (noch sicherer überholen) – Drehmoment (typischer Verlauf) 46

9. Elektrizität / Versorgung **47**

9.1. Energiebedarf e-mobile CH **47**

9.2. Energiestrategie 2050 / MUKEN **47**
9.2.1. Bedarf 2020 … 2035 49
9.2.2. Erzeugung 2020 … 2035 50

10. Laden 54

10.1. Anschluss 55

10.2. Lademanagement 58

10.3. Laden 60
10.3.1. Ladefelder 61
10.3.2. Ladestationen CH (siehe dazu auch 4.3.3.) 61

11. Batterie 64

11.1. Produktion 64
11.1.1. Materialmix 64
11.1.2. Lithiumvorräte 65
11.1.3. Produktionswerte 65
11.1.4. Energiedichte/Batteriekosten 66

11.2. Betrieb 67
11.2.1. Nutzungen/Kapazitätsverlauf 67
11.2.2. Besondere Merkmale 68

12. Glossar 69

13. Spezifikationen 71

Vorwort

Zapfhahn zu, ab an die Steckdose – was so einfach klingt, ist nichts Geringeres als eine Revolution des Verkehrs, wie wir ihn seit über 125 Jahren kennen.
ABB Schweiz (2017)

Es gewinnt «einfach plus günstig plus effizient», also der Elektroantrieb.
(Urs W. Muntwyler, 2020)

Es wird nicht mehr darüber diskutiert, ob Elektromobilität tatsächlich ein alternativer Antrieb ist, sondern es ist der Antrieb der Zukunft.
Dr. Jörg Beckmann (Geschäftsführer des Verbandes Swiss eMobility)

Dank den weltweiten, von Jugendlichen initiierten Klimabewegungen und Klimaprotesten wird von der Politik immer lauter gefordert, mehr gegen den Klimawandel zu unternehmen. Ein Viertel der europaweiten Treibhausgasemissionen sind auf den Verkehr zurückführen. Der Verkehrssektor hat den höchsten Energiebedarf in der Schweiz. Die Tendenz ist weiterhin zunehmend. Der motorisierte Individualverkehr trägt dabei den Hauptanteil und verursacht etwa 70 % der klimaschädlichen CO_2-Emissionen des Mobilitätssektors. Der Bedarf nach nachhaltigen Mobilitätskonzepten und entsprechenden technischen Lösungen ist und bleibt daher besonders dringlich. Die Experten sind sich einig, eine nachhaltige Dekarbonisierung der Mobilität lässt sich nur durch eine weitgehende Elektrifizierung des Fahrzeugantriebs realisieren.

Elektrofahrzeuge gibt es bereits seit dem 19. Jahrhundert und ihre Anfänge reichen zum Beginn der Automobilgeschichte zurück. Das erste Elektroauto wurde 1837 im schottischen Aberdeen gebaut.

Im Jahre 1881 folgte mit dem Dreirad des Franzosen Gustave Trouvé das erste echte Elektrofahrzeug. Das allererste rein elektrische Auto mit vier Rädern von Andreas Flocken kam 1888 auf den Markt. Die Technologie war so erfolgreich, dass Ende des 19. Jahrhunderts in London und New York sogar batteriebetriebene Taxis unterwegs waren. Der Rest der Geschichte ist schnell erzählt: Dank sinkenden Benzinpreisen und deutlich grösseren Reichweiten begann gegen Ende des 19. Jahrhunderts der Siegeszug der mit fossiler Energie betriebenen Fahrzeuge, der mit dem von Carl Benz 1885 entwickelten Automobil mit Verbrennungsmotor begonnen hatte.

Nach knapp einem Jahrhundert fossiler Mobilität beginnt nun die Aufholjagd der Elektromobilität. Steigende Benzinkosten, schärfere Umweltschutzregelungen und neue Entwicklungen in der Batterietechnik erfordern ein Umdenken. Davon profitieren vor allem neue Player wie z.B. Tesla, die jetzt den Takt vorgeben und mittlerweile zu den erfolgreichsten der Branche gehören. Doch auch die grossen Autobauer fahren im Windschatten des Elektrobooms mit. Seit den turbulenten Anfängen der «neuen Elektromobilität» 2003 rund um den Pionier Elon Musk hat sich das Elektroauto von einem teuren Statussymbol zu einem alltagstauglichen und bezahlbaren Fahrzeug entwickelt.

Viele energiepolitische Weichenstellungen der Schweiz im Zeichen der Energiewende zeigen es deutlich: Der Ersatz von fossilen Brenn- und Antriebsstoffen ist unausweichlich, die Elektromobilität wird nicht mehr verschwinden. Der Bundesrat hat beschlossen, den Ausstoss von Treibhausgasen bis 2050 auf null zu senken. Bei den Personenwagen werde das Batteriefahrzeug das Mittel der Wahl sein, um dieses Ziel zu erreichen, sagt Christoph Schreyer Leiter Energieeffizienter Verkehr beim Bundesamt für Verkehr BFE. Die Frage ist nur noch, wie schnell es vorwärts geht. Derzeit scheint es, dass es schneller gehen wird, als viele denken. Bereits

zehn europäische Länder wollen den Verkauf von neuen Benzin- und Dieselautos verbieten. In Norwegen ab 2025 in England ab 2030 in Kalifornien soll das ab 2035 der Fall sein. Möglicherweise wird die Umstellung auch deutlich schneller gehen.
2022 waren in der Schweiz 68'254 Plug-in-Hybridfahrzeuge und 110'745 Elektrofahrzeuge immatrikuliert. Damit sind sie nach wie vor in der Unterzahl, doch ihre Verkaufszahlen steigen rasant. Gemäss einer repräsentativen Umfrage von AXA kann sich unterdessen jeder dritte Autofahrer hierzulande vorstellen, in Zukunft ein E-Auto zu kaufen. Eine andere Umfrage zeigt: Wer einmal ein E-Fahrzeug besitzt, will nicht mehr zurück in die fossile Vergangenheit.

1. Normen/Vorgaben

Normen, Richtlinien und Standards öffnen den Markt für die Elektromobilität und bereiten den Weg für ihre rasche Weiterentwicklung bis hin zum massentauglichen Mobilitätskonzept Sie bilden die Basis für die Umsetzung zukünftiger Innovationen auf diesem Gebiet.

Bild 1.1: Normen, Vorgaben

Die artmap® enthält eine Übersicht der wichtigsten Vorgaben zur Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge, welche sich aus der Elektroinstallation, dem Ladesystem und der eigentlichen Ladestation zusammensetzt.

SN 411000
Niederspannungs-Installationsnorm (NIN)
Kap. 7.22 Stromversorgung von Elektrofahrzeugen

SIA 2060
Infrastruktur für Elektrofahrzeuge in Gebäuden

WVCH 2021
Werkvorschriften CH. Technische Anschlussbedingungen (TAB) für den Anschluss von Verbraucher-, Energieerzeugungs- und elektrischen Energiespeicheranlagen an das Niederspannungsnetz

MuKEn 2014
Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich

SN EN 61851
Elektrische Ausrüstung von Elektro-Strassenfahrzeugen – Konduktive (leitungsgebundene) Ladesysteme für Elektrofahrzeuge (Normenserie)

Während beim Betrieb eines Geschirrspülers keine besonderen Vorkehrungen zu treffen sind, müssen beim Laden eines Elektrofahrzeuges die speziellen Bedingungen des Ladevorgangs beachtet werden. Im Gegensatz zu den leistungsstarken Verbrauchern im Haushalt, wie Boiler, Backofen, Herd, Wärempumpe, Lift, etc. ruft das Elektrofahrzeug beim Laden eine grosse bis sehr grosse elektrische Leistung während mehreren Stunden ab.

Was die **Elektroinstallation** anbelangt, wird seit 2015 auf das Kapitel 7.22 der NIN verwiesen. Mit der Elektroanlage ist die Installation im Gebäude bis zur Steckdose oder zum festen Anschluss einer Ladestation gemeint. Schwerpunkte der NIN bilden die elektrische Sicherheit, die Einwirkung (EMF) und die Verträglichkeit elektromagnetischer Felder, die mechanische Gefährdung und Umweltanforderungen.

Ladesysteme dürfen nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn beim kabelgebundenen Laden eines Elektrofahrzeugs die Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen der folgenden Vorschriften eingehalten werden:

SR 734.26
Verordnung über elektrische Niederspannungserzeugnisse (NEV)

SR 734.27
Verordnung über elektrische Niederspannungsinstallationen (NIV)

SR 734.5
Verordnung über die elektromagnetische Verträglichkeit (VEMV)

SR 814.81
Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV)

Die **IEC 61439-7** «Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 7: Schaltgerätekombinationen für bestimmte Anwendungen wie Marinas, Campingplätze, Marktplätze, Ladestationen für Elektrofahrzeuge» regelt die **Ladestation**, welche ein Erzeugnis ist.

2. Fahrzeugarten

Fahrzeuge lassen sich nach der Antriebsart grundsätzlich in zwei Hauptklassen unterteilen: Konventionelle Antriebe (ICEV) und alternative Antriebe (BEV, FCEV, HEV, PHEV).

Bild 2.1: Fahrzeugarten

2.1. Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV)

Konventionelle Fahrzeuge werden mit einem Verbrennungsmotor angetrieben, meist einem Ottomotor (Fremdzünder) oder einem Dieselmotor (Selbstzünder). Entzündbare Kraftstoffe wie Benzin, Diesel oder Erdgas werden in mechanische Energie umgewandelt. Heutzutage gibt es auch alternative Kraftstoffe biogener (Biogas, Biodiesel, Bioethanol) oder synthetischer Herkunft (Wasserstoff, Methanol, etc.), welche z.T. auch konventionelle Antriebe mit Energie versorgen können. Benzinbetriebene Fahrzeuge gibt es seit den Anfängen des Automobilbaus, d. h. seit 1886, als Carl Benz das erste Automobil zum Patent angemeldet hat.

2.2. Battery Electric Vehicle (BEV)

Batteriefahrzeuge oder batterieelektrische Fahrzeuge sind rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge, bei denen ein Elektromotor die Räder antreibt. Der Strom stammt bei aktuelle Modellen meist aus einer Lithium-Ionen-Batterie, welche über eine externe Stromquelle geladen wird. Zudem verfügen BEV über einen Rekuperationsmechanismus. Dabei wandelt der Elektromotor als Generator die beim Verlangsamen oder Bremsen die Bewegungsenergie in elektrische Energie um. Diese lässt sich in der Batterie speichern und später wieder für den Antrieb nutzen.

Spricht man gemeinhin von «Elektrofahrzeugen», so sind damit in erster Linie Batterieelektrofahrzeuge gemeint. Hybridfahrzeuge sind hingegen keine Elektrofahrzeuge.

Die Anfänge der Elektrofahrzeuge reichen analog zu den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren in die Achtziger Jahre des 19. Jh. zurück. 1888 kam das allererste elektrische Auto von Andreas Flocken auf den Markt.

2.3. Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)

Brennstoffzellenfahrzeuge (Wasserstoffautos) sind auch Elektrofahrzeuge. Im Unterschied zu den BEV stammt die elektrische Energie, welche den Elektromotor antreibt, nicht aus einer Batterie, sondern aus Brennstoffzelle. Darin wird aus Wasserstoff, mit dem das Fahrzeug betankt wird, und aus Sauerstoff aus der Luft, Strom produziert. Dieser wiederum treibt den Elektromotor an. FCEV und BEV zählen zu den leisen Fahrzeugen.

2.4. (Plug-in) Hybrid Electric Vehicle (PHEV, HEV)

a) Hybridfahrzeuge (HEV)

Das Wort «Hybrid» ist lateinischen Ursprungs und bedeutet «von zweierlei Herkunft» oder «aus Verschiedenem zusammengesetzt». Hybridfahrzeuge verfügen über zwei Antriebsarten: Sie kombinieren Elektromotoren mit Verbrennungsmotoren, welche heute in der Regel mit Benzin betrieben werden. Mögliche Treibstoffe sind auch Diesel oder Erdgas.

Die Kombination der beiden Motorenarten soll die spezifischen Vorteile der Antriebsarten vereinen – und die Nachteile ausgleichen. Ein Hybridantrieb nutzt beim Fahren automatisch eine energiesparende Kombination aus Verbrennungs- und Elektromotor. So erhöht sich die Reichweite der Fahrzeuge pro «Tankfüllung» Benzin, Diesel oder Erdgas.

Eine Batterie an Bord dient als kurzzeitiger Energiespeicher für Hybridfahrzeuge, die im Unterschied zu Plug-in-Hybriden nicht über externe Stromquellen geladen wird. Anders gesagt: Die gesamte Antriebsenergie wird durch die Verbrennung von Benzin, Diesel oder Erdgas generiert. Dank der Batterie kann jedoch ein kleinerer Verbrennungsmotor verwendet werden, der erst noch effizienter betrieben werden kann.

Beim Parallelhybrid wirken beide Motoren auf die Räder. Durch die Rückgewinnung von Bremsenergie werden die Batterien geladen. Beim Serienhybrid oder seriellen Hybrid treibt lediglich ein Motor, d. h. meistens der Elektromotor, die Räder an. Währenddessen treibt der Verbrennungsmotor einen Generator an, der den Elektromotor mit Strom versorgt oder die Batterien lädt.

Hybridfahrzeuge gibt es seit mehr als 120 Jahren. Erfunden hat das Prinzip des dualen Antriebs ein Schweizer namens Marc Birkigt 1899.

b) Plug-in-Hybridfahrzeuge (PHEV)
Der Plug-in-Hybrid oder Steckdosenhybrid ist eine Weiterentwicklung des Serienhybrids, dessen Batterien auf drei Arten geladen werden können:

I. über den Verbrennungsmotor – wie beim Hybridfahrzeug

II. über eine Ladesäule oder Steckdose – wie beim Elektrofahrzeug

III. über die Rekuperation (Bremsenergierückgewinnung) – wie beim Hybrid- und Elektrofahrzeug

Bei Plug-in-Hybridfahrzeugen treibt ein Verbrennungs- und/oder Elektromotor die Räder an. Im Gegensatz zum Hybridfahrzeug kann die Batterie an einer externen Stromquelle geladen werden, welche den Strom für den Elektromotor liefert. Ist die Batterie leer (oder wird eine hohe Leistung abgerufen), kommt ein kleiner Verbrennungsmotor (zusätzlich) zum Einsatz, bis die Batterie erneut an einer Ladesäule oder Steckdose geladen werden kann. Da die Batterien von Plug-in-Hybridfahrzeugen meistens grösser als diejenigen von Hybridfahrzeugen sind, können längere Distanzen rein elektrisch zurückgelegt werden.

3. Typische Konfiguration

3.1. Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV), Verbrennungsmotor

3.1.1. Funktionsweise des Verbrennungsmotors

In der Automobiltechnik zählen alle Bestandteile zum Antriebsstrang, die die Antriebsleistung im Fahrzeug erzeugen und auf die Strasse übertragen. Beim rund 2000 Komponenten umfassenden konventionellen Antriebsstrang eines ICEV umfasst dieser den Otto- oder Dieselmotor mit dem Schwungrad, die Kupplung mit dem Getriebe, die Räder und abhängig von der Ausführung verschiedene Differentiale, Antriebswellen und Gelenke.

In einem Viertakt-Verbrennungsmotor wird ein Kraftstoff-Luft-Gemisch in einen Zylinder gesaugt (1. Takt), welcher sich anschliessend bei einem Benziner mittels Funken einer Zündkerze entzündet (2. Takt). In einem Dieselmotor kommt es bei genügend hohem Druck zu einer Selbstzündung des Diesel-Luft-Gemisches. Im 3. Takt verbrennt das Kraftstoff-Luft-Gemisch. Der durch die Verbrennungsgase generierte Druck bewegt den Kolben und das Pleuel im Zylinder und versetzt die Kurbelwelle in Drehung. Der Kolben schiebt im 4. und letzten Takt die verbrannten Abgase aus dem Zylinder durch den Auspuff in die Umwelt.

3.1.2. Abgase

Abgase der Verbrennungsmotoren bestehen aus Stickstoff (N_2), Kohlendioxid (CO_2) und Wasserdampf (H_2O), sowie den toxischen Schadstoffen: Schadstoffe: Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoff (HC), Stickoxid (NOX), Schwefeldioxid (SO_2) und Russpartikel (PM), letztere vor allem durch Diesel-Motoren. Die qualitative und quantitative Zusammensetzung der Abgase ist abhängig von den benutzten Brennstoffen, vom Typ des Motors und seinem Alter, vom Stand der technischen Einstellungen und der Wartung des Motors, vom Abgasreinigungssystem und von der Verwendung des Autos.

Im Strassenverkehr entsteht Feinstaub durch Reifen- und Bremsenabrieb, aufgewirbelten Staub und durch Abgase – vor allem aus ungefilterten Dieselfahrzeugen. Da die Feinstaubpartikel vom Körper nur unvollständig gefiltert werden, können sie bis in die Lungenbläschen vordringen. Mögliche Folgen: Atemwegs-, Herz- und Kreislauferkrankungen sowie Krebs. Stickoxide reizen und schädigen die Atmungsorgane. Erhöhte Konzentrationen in der Atemluft haben einen negativen Effekt auf die Lungenfunktion von Kindern und Erwachsenen. Sie sind massgeblich auch für die Entstehung des sauren Regens mitverantwortlich. Eine der Hauptquellen für Stickoxide in der Atmosphäre sind Abgase, die bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen.

Katalysatoren sind Teil der Abgasnachbehandlung von Otto- und Dieselmotoren, bei der die schädlichen Verbrennungsgase, nachdem sie den Zylinder verlassen haben, mittels eines chemisch-mechanischen Prozess gereinigt werden. Die in den 70-er Jahren in den USA entwickelten Katalysatoren trugen zu einer wesentlichen Emissionsminderung von ICEV bei, indem sie namentlich den Anteil an Kohlenwasserstoffen, Kohlenmonoxid und Stickoxiden im Abgas reduzierten. Hinzu kam die Begrenzung bestimmter Kraftstoffanteile wie Schwefel und Blei, wodurch die Abgase ebenfalls weniger umweltschädigend wurden. Für ein einwandfreies Arbeiten des Autokatalysators ist das Tanken von bleifreiem Benzin erforderlich.

Die nationalen und internationalen Emissions- und Immissionsvorschriften werden laufend verschärft, was eine technische Optimierung der Verbrennungsmotoren sowie eine aufwendige Abgas-Nachbehandlung zur Erfüllung der Grenzwerte notwendig macht. Gestützt auf das Bundesgesetz über den Umweltschutz sieht die Luftreinhalte-Verordnung vor, dass die Kantone dafür sorgen, dass «Menschen, Tier, Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume sowie der Boden vor schädlichen oder

lästigen Luftverunreinigungen geschützt werden» (Art. 1 LRV). Es war zudem ein Meilenstein in der Luftreinhaltung der Schweiz, als ab 1. September 2019 die verschärften Zulassungsbedingungen für Autos in Kraft traten. Ab dann mussten Fahrzeuge, die in die Schweiz importiert und neu zugelassen wurden, mindestens der Abgasnorm Euro 6d-Temp entsprechen. Dieselfahrzeuge müssen somit als Neuwagen über eine Harnstoff-Einspritzung und SCR-Katalysatoren für deutlich weniger Stickoxidausstoss verfügen, Benziner müssen einen Partikelfilter aufweisen. Am 1. Januar 2020 wird bereits die etwas strengere Norm Euro 6d eingeführt. Diese ist dann ab dem 1. Januar 2021 für alle Neuwagen verpflichtend.

Quelle: NZZ, 29.08.2019 | ADAC, Dieselfahrverbot oder Umweltzone? Der Unterschied, 28.01.2019

3.1.3. Geräusche

Die grösste Lärmquelle in der Schweiz bildet der Strassenverkehr. 20 % der Bevölkerung unseres Landes ist gemäss lärm.ch am Wohnort übermässigem Strassenverkehrslärm ausgesetzt. Reduziert werden kann der Strassenlärm durch lärmarme Strassenbeläge, Geschwindigkeitsreduktion, rücksichtsvolles Fahrverhalten, Fahrzeugunterhalt sowie technische Innovationen auf dem Gebiet der Fahrzeugtechnik.

Die Lärmemissionen von Motorfahrzeugen setzen sich aus drei Komponenten zusammen:
1. Antriebsgeräusche
2. Rollgeräusche
3. Windgeräusche

Die EU-Verordnung Nr. 540/2014, welche seit 2016 auch für die Schweiz gilt, legt Grenzwerte für Geräuschemissionen von Motorfahrzeugen fest, welche bis 2026 weiter gesenkt werden sollen.

3.2. Battery Electric Vehicle (BEV), Elektrofahrzeug

Reine Elektrofahrzeuge (BEV) sind im Vergleich zu den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor mit einem deutlich effizienteren Antriebsstrang ausgestattet. Er umfasst rund 200 Komponenten und ist somit 10 Mal weniger komplex aufgebaut als jener von ICEV Wesentliche Teile wie das Schaltgetriebe und die Kupplung entfallen in einem Elektrofahrzeug, dessen wichtigste Komponenten sind:
- Elektromotor
- Antriebsbatterie (Hochvoltbatterie)
- Leistungselektronik
- Bordnetzbatterie (Niedervoltbatterie)
- Ladeanschluss

3.2.1. Funktionsweise des Elektrofahrzeuges

In einem elektrischen Antriebssystem wandelt der Elektromotor die in der Batterie gespeicherte elektrische Energie in mechanische Energie um. Es gibt diverse Typen von Elektromotoren, welche bei Elektroautos zum Einsatz kommen. Am häufigsten werden heute bei Elektroautos synchrone Drehstrommotoren (PSM/FSM) verbaut, wobei punktuell v.a. in der leistungsstarken Oberklasse auch asynchrone Drehstrommotoren (ASM) zum Einsatz kommen. Elektromotoren bestehen aus einem beweglichen magnetischen Gegenstück, dem Rotor. Beim permanent erregten Synchronmotor (PSM) stellt der Rotor mittels Permanentmagneten ein konstantes Magnetfeld her, beim fremd erregten Synchronmotor (FSM) wird dieses temporär mittels Gleichstrom in elektrischen Wicklungen erzeugt. Der Stator hingegen erzeugt mittels Drehstrom ein sich drehendes Magnetfeld. Die Magnetfelder von Rotor und Stator ziehen einander abwechselnd an und stossen einander ab. Der Rotor dreht sich und bringt die Räder resp. das Fahrzeug in Bewegung.

Das reine Elektroauto (BEV) wird durch einen elektrischen Motor (Energiewandler) angetrieben, der seine Energie aus einem elektrisch aufladbarem Energiespeichersystem bezieht, das als Antriebsbatterie bezeichnet wird. Die Batterie ist vergleichbar mit dem Tank eines konventionellen ICEV. Er ist auch gleichzeitig die teuerste Komponente eines Elektrofahrzeuges und macht 15–30 % seines Werts aus. Aktuell werden hauptsächlich Lithium-Ionen-Batterien verwendet. Sie sind langlebig, laden schnell und können mehr Strom speichern als Batterien mit einer anderen Zusammensetzung. Die Batterie muss regelmässig aufgeladen werden und seine Kapazität bestimmt die Reichweite des Fahrzeuges. Die Antriebsbatterie wird extern über das Stromnetz an einer öffentlichen oder privaten Ladestation, einer Wallbox oder einer Steckdose aufgeladen.

Dass der Strom aus der Batterie in die für den Elektromotor richtige Form, Stärke und Frequenz umgewandelt wird, dafür sorgt die Leistungselektronik.

Neben der Antriebsbatterie gibt es wie bei allen Autos noch eine zweite Bordnetzbatterie, meist einer 12V-Bleibatterie, die für die Energieversorgung der Bordelektronik zuständig ist. Dazu zählen etwa das Radio, die Beleuchtung, Scheibenwischer oder der Tempomat.

Der Stecker eines Elektrofahrzeuges ist der Ladeanschluss, dank dem der Strom aus dem Netz in das Fahrzeug geladen wird. Analog zum Tankdeckel von ICEV gibt es Fahrzeuge mit einer seitlich angebrachten Klappe. Bei gewissen Fahrzeugmodellen hingegen befindet sich die Klappe vorne oder hinten.

Vorsichtsmassnahmen bei Hochvoltbatterien (bis 800V): Die sichere Handhabung der Batterien erfordert zusätzliche Kompetenzen. Diese sind durch die Garagenbetriebe bzw. Ihrer Mitarbeiter zu erlangen. Ebenfalls sind geeignete Werkzeuge zu verwenden.

3.2.2. Lokal emissionsarme BEV

BEV sind bezogen auf das Fahren grundsätzlich lokal emissionsarm, da sie mit einem geräuscharmen, vibrationsfreien Elektromotor ausgestattet sind, der keine Abgase produziert. Im Unterschied zu ICEV werden Elektrofahrzeuge nicht durch einen Verbrennungsmotor angetrieben. Indem sie beim Fahren keine klimaschädlichen Emissionen wie z. B. Stickoxide ausstossen, aus dem sich Sommersmog, bodennahes Ozon und Feinstaub entwickelt, leisten sie einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Lufthygiene und zu einem klimafreundlicheren Verkehr. Aus diesem Grund kommt energie schweiz in ihrer Broschüre «Energieeffiziente Fahrzeuge. Markttrends 2019» zu folgendem Schluss: «Die Elektromobilität ist eine Schlüsseltechnologie für die dringend notwendige Reduktion der Treibhausgase im Verkehr.»

Elektroautos verursachen zwar weniger Feinstaub als ICEV, ihr Reifen- und in reduziertem Masse auch Bremsabrieb trägt jedoch analog zu den konventionellen Fahrzeugen zur Feinstoffbelastung in Form von Staub und Mikroplastik bei. Der Reifenabrieb von Fahrzeugen zählt zu den grössten Verursachern von Mikroplastik in der Umwelt. Forscher haben ein Verfahren für Fahrzeuge entwickelt, das verhindert, dass Reifen- und Bremsemissionen in die Umgebung gelangen. Sie machen sich dabei die elektrostatische Aufladung der Staub- und Plastikteilchen zu Nutze. Ultrafeine und dementsprechend besonders gesundheitsschädliche Feinstaubpartikel, die bei direkteinspritzenden Ottomotoren entstehen, werden durch Elektroautos aber nicht erzeugt.

Elektrofahrzeuge sind nur geräuscharm bei Geschwindigkeiten bis ca. 35 km/h. Fährt der BEV schneller, so überwiegt das Reifen-Fahrbahn-Geräusch – unabhängig von der Antriebsart. Da sich Fahrzeuge mit einem Elektro- oder Hybridantrieb unter 20 km/h nahezu geräuschlos fortbewegen und dadurch eine potenzielle Gefahr für den Langsamverkehr sein kann, ist seit Juli 2019 in der EU und damit auch in der Schweiz bei der Neuzulassung ein Warngeräuschgererator («Acoustic Vehicle Alerting System» (AVAS)) Pflicht. Das dabei generierte Schallzeichen muss zu erkennen geben, ob das Fahrzeug beschleunigt oder bremst.

Die Frage, ob die lokale Umweltfreundlichkeit der BEV auch für den gesamten Lebenszyklus gilt, sprich von der Herstellung über den verwendeten Strom bis hin zur Entsorgung, wird im Kapitel 5 Umwelt/Nachhaltigkeit geklärt.

3.3. Antriebsarten anno 1900

Ein Blick in die Geschichte des Automobils liefert überraschende Erkenntnisse, was die Verteilung der Antriebsarten von den in den USA um 1900 verkauften Automobile anbelangt. Um die Jahrhundertwende waren 38 % aller verkauften Fahrzeuge elektrisch betrieben und 40 % waren Dampfwagen. Der vergleichsweise tiefe ICEV-Anteil von 22 % erklärt sich dadurch, dass der Benzinantrieb zu jener Zeit der vergleichsweise langsamste Antrieb war. Punkten konnten sie dadurch, dass sie günstiger und leichter als dampfbetriebene Fahrzeuge waren und im Vergleich zu den BEV über eine grössere Reichweite verfügten.

Das vorläufige Ende der Automobilgeschichte, sprich der Siegeszug des Verbrennungsmotors, ist bekannt. Der Benziner wurde ab 1908, als der Ford Modell T auf den Markt kam, dank der neu eingeführten Fliessbankfertigung immer mehr zu einem Massenprodukt, das dadurch immer günstiger angeboten werden konnte. Dazu beigetragen hat sicherlich die Tatsache, dass das Reichweitenproblem der Elektrofahrzeuge lange nicht gelöst werden konnte. Ausserdem kam es zu einer sehr erfolgreichen Allianz zwischen der Erdölindustrie und den Herstellern von ICEV-Fahrzeugen, das sich in einem raschen Ausbau des Tankstellennetzes äusserte.

Quelle: Patalong, Frank. Zurück in die Zukunft – Mobilität wie anno 1899. Spiegel Geschichte Online, 14.11.2017

4. Markt / Entwicklung

Inzwischen beginnen auch die Konsumenten auf die Elektromobilität umzusatteln. Die Verkaufszahlen steigen stetig an. Gewisse Modelle gehen davon aus, dass in fünf Jahren über ein Viertel der Neuverkäufe sogenannte Steckerfahrzeuge sein – also entweder Batterieautos oder Plug-in-Hybride, eine Kombination aus Verbrenner- und Batterieauto. Das Beispiel Norwegen zeigt allerdings: Es kann sogar noch schneller gehen. Zudem gehen Analysten davon aus, dass die Herstellung von Batterieautos bereits 2024 nicht mehr teurer sein wird als der Bau von Autos mit Verbrennungsmotor.

4.1. Neue Modelle / Neuzulassungen

BEV versus PHEV

Vergleicht man die Markteinführungen neuer Modelle von BEV und PHEV ab 2016, so ist ein eindeutiger Trend weg von den Hybridelektrofahrzeugen zu den reinen Elektrofahrzeugen erkennbar. Dass die Hybridfahrzeuge zunehmend zu einem Auslaufmodell werden, widerspiegeln auch die verkauften Modelle in Form der Neuzulassungen in der Schweiz. Die rasante Entwicklung der BEV ist auch im Angebot auf dem Schweizer Markt sichtbar. In die gleiche Richtung deutet der technologische Schub, der die Entwicklung der BEV erfasst hat. Es gibt zunehmend Fahrzeugarchitekturen, welche speziell für Elektromodelle konzipiert sind. Reale Reichweiten von 200–400 km oder mehr für Premiumserien lassen sich dank leistungsfähigeren Batterien realisieren. Immer mehr Elektrofahrzeuge erlauben zudem Ladeleistungen von bis zu 150 kW. Zudem gibt es eine wachsende Anzahl von Lademöglichkeiten.

Batteriebetriebene Fahrzeuge werden auch preislich immer kompetitiver, da ihre Gesamtlebenszykluskosten oft gleich hoch oder sogar tiefer als jene von Verbrennern ausfallen. Diese könnten noch weiter sinken dank immer tieferer Anschaffungspreisen von Batterien, Leistungselektronik und Halbleitern. Gemäss einer aktuellen Studie des TCS betrug die mittlere Reichweite pro Batterieladung 2015 noch 127 km. Bis 2020 hat sie sich mit 331 km mehr als verdoppelt. Der Fahrzeugpreis/km Reichweite hat sich in dieser Zeit von CHF 343 auf CHF 167 fast halbiert. Darin zeige sich gemäss TCS der technologische Fortschritt bei der Batterieherstellung sowie das Mengenwachstum bei der Produktion, das sich in einem tieferen Preis niederschlägt. Der wichtigste Sparfaktor ist der im Vergleich zu Benzin oder Diesel günstigere Strom: Bei 15 000 gefahrenen Kilome-

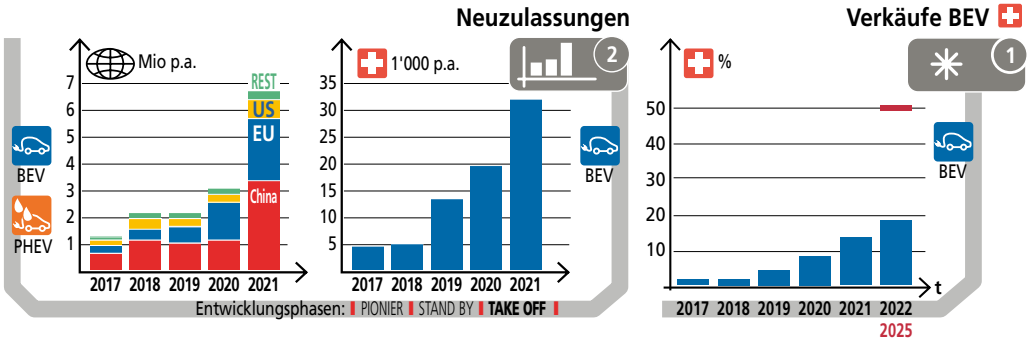


Bild 4.1: Zulassungen neue Modelle, Weltweit für BEV+PHEV

tern pro Jahr belaufen sich die Kosten im Mittel auf einen Drittel oder rund CHF 500, wenn zu Hause geladen wird. Auch die Wartungskosten sind in der Regel geringer. Elektroautos erfordern keine Ölwechsel, keine neuen Keilriemen und haben weit weniger Motorbauteile als konventionelle Fahrzeuge. Ausserdem sind elektrisch betriebene Fahrzeuge wertbeständiger. Nach fünf Jahren lässt sich ein Elektroauto gegenüber einem gleich teuer beschafften konventionellen Fahrzeug oft zu einem höheren Preis verkaufen.

Dass die PHEV 2020 wieder zu einem Verkaufsrenner wurden, scheint gemäss Experten nur vorübergehender Natur zu sein. Sie bezeichnen die Hybridfahrzeuge nur als eine Übergangslösung, da er die Vorteile batteriebetriebener Fahrzeuge und solcher mit Verbrennungsmotoren kombiniert, sprich umweltfreundliches Fahren mit fast unbegrenzter Reichweite. Gerne geht vergessen, dass die PHEV auch die Nachteile kombinieren. Indem Sie mit zwei Technologien angetrieben werden, ist ihre Technik sehr komplex, was sich zum einen negativ auf die Produktionskosten auswirkt. Zum andern erhöht die doppelte Antriebstechnologie das Fahrzeuggewicht deutlich. So kann es schwerer als jenes von baugleichen Benzin- und Dieselfahrzeugen sein. Zudem fallen die Unterhaltskosten höher als bei den BEV aus, da im PHEV zusätzlich zur Batterie ein Verbrennungsmotor mit über 1 000 Komponenten eingebaut ist.

Innerhalb eines Jahres hat in der Schweiz die Zahl der neu immatrikulierter BEV 2022 von 33'600 auf 40'200 mehr als 26 % zugenommen, und damit einen Marktanteil von fast 18% der Neuwagen erreicht. Die steigende Nachfrage ist auf das immer grösser werdende Angebot an BEV und auf mehr Lademöglichkeiten zurückzuführen. 2018 erreichten Personenwagen mit einem Alternativantrieb (BEV, PHEV) bei Neuzulassungen einen Marktanteil von 3.2 %, im Jahre 2020 wurden bereits 14.3 % erreicht. Das ursprüngliche Ziel gemäss «Roadmap Elektromobilität 2022» der Altbundesrätin Doris Leuthard, die über 50 Firmen und Organisationen verschiedener Branchen mitunterzeichnet haben, eines Marktanteils von 15 % bei allen Neukäufen, wurde somit rund 2 Jahre früher erreicht.

Quellen: energie schweiz. Energieeffiziente Fahrzeuge. Markttrends 2019 und 2020 | auto-schweiz. PW 2020 | Jürg Meier. Nur wer diszipliniert ist, fährt sauber. NZZ am Sonntag, 02.08.2020 | Lorenz Honegger. Der Preis für die Reichweite bei Elektroautos hat sich halbiert: Trotzdem lohnt sich der Kauf nicht für jeden. NZZ, 03.08.2020

Die Zukunft der chinesischen Elektromobilität

China führt schon seit längerem die Weltrangliste der Anzahl neuzugelassener Elektrofahrzeuge mit deutlichem Abstand zur EU und den USA an und kann mit gutem Recht als das Zugpferd der Elektromobilität bezeichnet werden. Dies hat in erster Linie damit zu tun, dass die Elektromobilität bis vor kurzem quasi zur Staatsdoktrin gehörte und Unterstützung in Form von grosszügigen Fördergeldern und Zulassungserleichterungen erhielt. Es ist jedoch möglich, dass sich dieser Trend abkühlen wird, da die Regierung in Peking 2019 überraschend ihre Elektroauto-Politik in Form von Förderungen und Kaufprämien von umgerechnet 8 000 Euro pro E-Auto 2019 auslaufen liess. Insofern ist es nicht erstaunlich, dass die Verkaufszahlen von Elektroautos 2019 in China auf dem Niveau von 2018 stagnierten.

Verliert die Elektromobilität mit China nun also ihren Vorzeigemarkt? Dies hätte grosse Auswirkungen gerade auf die europäischen Hersteller und Zulieferer, die bis zu einem gewissen Grad abhängig sind vom Kurs Pekings. Volkswagen etwa verkauft vier von zehn produzierten Fahrzeugen nach China. Die Experten sind sich jedoch über die konkreten Folgen des chinesischen Kurswechsels nicht einig. Während die einen glauben, dass der Anteil an BEV im Reich der Mitte in den kommenden Jahren nicht mehr stark ansteigen werde, gehen andere davon aus, dass die Elektromobilität nach wie vor ein wesentlicher Pfeiler der chinesischen Mobilitätswende bleibe. Das Zurückfahren der Subventionen müsse nicht als Abkehr Pekings von den BEV gewertet werden, sondern sei als Zeichen zu werten, dass China den E-Fahrzeug-Markt konsolidieren und konkurrenzfähiger machen wolle. Die Hersteller seien dadurch gefordert, ihre BEV ohne Förderung am Markt zu verkaufen. Optimistisch stimme zudem die Tatsache, dass die Subventionen durch eine Quote ersetzt würden, d. h., ab 2020 muss jedes zehnte verkaufte Auto in China elektrisch sein und ab 2025 jedes fünfte.

Weniger eindeutig präsentiert sich die Zukunft der Elektromobilität in offiziellen Verlautbarungen Pekings, wo immer mehr von neuen Methanol- oder Wasserstoff-basierten Technologien die Rede ist. China könnte versucht sein, mehr auf Rohstoffe zu setzen, die im eigenen Land verfügbar sind. Methanol kann aus der Vergasung von chinesischer Kohle gewonnen werden, Wasserstoff per Elektrolyse. Lithium-Ionen-Batterien setzen sich hingegen aus importierten Rohstoffen zusammen wie Lithium oder Kobalt, die hauptsächlich aus Ostafrika stammen.

Quellen: Tages-Anzeiger, 17.12.2019 | Luzerner Zeitung, 23.12.2019

4.2. Treiber e-Mobilität

Ein neues Fahrgefühl. Für mich, die Umwelt und alle andern. Dank der technologisch bedingten starken Beschleunigung von Elektroautos schon beim Anfahren kommt der Fahrspass nicht zu kurz.

4.2.1. CO_2-Reduktion

Elektro statt Diesel lautet die Devise bei immer mehr Autokonzernen, wenn es um die zukünftige Modellpalette geht. Der wichtigste Treiber für diese Entwicklung sind die verschärften Abgasvorschriften und insbesondere die strengeren CO_2-Verminderungsvorschriften für neue Personen und Lieferwagen, die ab 2020 in Europa und damit auch in der Schweiz gelten. Die neuen Autos in Form der populären SUV werden immer schwerer und der Anteil von Allradfahrzeugen hat 2018 auf fast 50 Prozent zugenommen. Dementsprechend stiegen auch die CO_2-Emissionen der Neuwagen. Aus diesem Grund stieg der Handlungsbedarf in Sachen CO_2 Reduktion. Die Marktanteile von emissionsarmen Personenwagen (LEV) haben seit der Einführung der Emissionsvorschriften 2012 stark zugenommen, insbesondere 2018 und 2019. Der Druck wird noch verstärkt durch Diskussionen, Fahrverbote für Dieselfahrzeuge in Städten auf ganze Länder auszudehnen (siehe 4.3.2). Zusätzlichen Schub erhält die Elektromobilität mit Quoten wie in China, das einen bestimmten Markanteil lokal emissionsfreier Fahrzeuge verlangt.

Mit rund einem Drittel aller klimaschädlichen Kohlendioxidemissionen ist der Verkehrssektor der grösste inländische Emittent von Treibhausgasen, davon entfallen 60 % auf den motorisierten Individualverkehr (Stand 2017). Um den klimapolitischen Verpflichtungen im Rahmen des Kyoto-Protokolls von 1997 nachzukommen, wurden im CO_2-Gesetz Reduktionsziele und Mittel zu deren Umsetzung festgelegt. Als zen-

trale Massnahme im Mobilitätsbereich gelten seit Juli 2012, analog zur Europäischen Union (EU), CO_2-Emissionsvorschriften für neue Personenwagen. Diese verpflichten die Schweizer Importeure, die CO_2-Emissionen der erstmals in der Schweiz zum Verkehr zugelassenen Personenwagen zu senken. Seit dem 1. Juli 2012 wird für den Importeur eine Sanktion pro Gramm Zielwertüberschreitung der CO_2-Emissionen erhoben.

Für eine weitere Reduktion der CO_2-Emissionen des Verkehrssektors wurden die CO_2-Emissionsvorschriften im Rahmen der Energiestrategie 2050 dem technischen Fortschritt

4.2.2. Umweltzonen im Stadtgebiet (EU)

In den vergangenen Jahren hat sich in Europa Einiges getan, um die Luftqualität zu verbessern bzw. die Gesundheit der Menschen vor Feinstaub und Stickoxid zu schütze. Viele europäische Städte haben Umwelt- und Luftschutzzonen, Zufahrtsbeschränkungen und -verbote oder eine City-Maut eingeführt. Eine europaweit einheitliche Regelung dieser Massnahmen fehlt jedoch. Der Grund für die Beschränkungen sind gesundheitsbelastende Stickoxid- und Feinstaubwerte, die häufig über der gesetzlich festgelegten EU-Luftreinhaltegrenzwerte liegen.

Bild 4.2: Treiber e-Mobilität

angepasst und neu ein Zielwert von **118 g CO_2/km nach WLTP ab 2021 für Personenwagen** eingeführt (Lieferwagen und leichte Sattelschlepper: 186 g CO_2/km).

Gesetzliche Grundlagen

SR 641.71 Bundesgesetz über die Reduktion der CO_2-Emissionen (CO_2-Gesetz)
SR 641.711 Verordnung über die Reduktion der CO_2-Emissionen (CO_2-Verordnung) (01.10.2022).
Quellen: energie schweiz. Energieeffiziente Fahrzeuge. Markttrends 2019 und 2020 | Bundesamt für Energie BFE. CO_2-Emissionsvorschriften für neue Personenwagen. 29.10.2019 | Bundesamt für Strassen ASTRA. CO_2-Verminderungsvorschriften | Bundesamt für Energie BFE. Auswirkungen der CO_2-Emissionsvorschriften für neue Personenwagen 2012-2018. 18.02.2020.

Meist sind es Gebiete in der Innenstadt, wo eine Umweltzone (Low Emission Zone (LEZ)) eingerichtet wurde. Diese dürfen nur Fahrzeuge befahren, die bestimmte Abgasstandards einhalten. Das 2018 in Deutschland eingeführte Dieselfahrverbot gilt für Dieselfahrzeuge einer bestimmten Schadstoffklasse. Bisweilen ist eine LEZ auch nur zu gewissen Uhrzeiten in Kraft. Eine Umweltzone kann permanent gelten wie im Grossraum von Paris oder nur temporär, falls gewisse Werte überschritten werden. Seit 2020 gilt z. B. in Genf an Tagen, an denen die Luft stark verschmutzt ist, ein Fahrverbot für Fahrzeuge mit besonders hohen Emissionen zwischen 6 und 22 Uhr.

In gewissen Städten kann die Umweltzone nur mit einer Plakette befahren werden. Die Genfer Vignette «Stick'Air» definiert mit einem Farbensystem 6 unterschiedliche Schadstoffklassen und lehnt sich an die französische Plakette «Crit'air» mit ihren Emissionsklassen an. An belasteten Tagen gilt zwischen 6 und 22 Uhr für gewisse Kleberfarben ein Fahrverbot im Stadtzentrum. Missachtungen einer Umweltzone haben oft hohe Geldstrafen zur Folge, welche z. B. in Dänemark bis zu EUR 2 700 betragen können.

Die Einführung einer Umweltzone (Circulation différenciée) hat Genf im Alleingang und ohne gesetzliche Grundlage beschlossen, denn in seiner Antwort auf die Interpellation Girod 18.384 Umweltzonen und Massnahmen gegen die Luftverschmutzung vom 9. Mai 2018 spricht sich der Bundesrat gegen die Einführung von Umweltzonen in der Schweiz aus.

London hat sowohl eine City Maut (London Congestion Charge Zone) für die Innenstadt als auch eine Umweltzone (Ultra Low Emission Zone (ULEZ) eingeführt. Dieselfahrzeuge, Benziner und Motorräder einer bestimmten Emissionsklasse müssen zusätzlich zur City-Maut eine ULEZ-Gebühr bezahlen.

Auf Green-zones.eu (Homepage oder App) findet man einen Überblick über die in Europa eingerichteten Umweltzonen und aktualisierte Informationen über die in den jeweiligen Ländern resp. Städten geltenden Regeln.

Quellen: ADAC. Zufahrtsbeschränkungen in Europa. 18.02.2020 | Dieselfahrverbot oder Umweltzone? Der Unterschied. 28.01.2019 | www.green-zones.eu | TCS. Umweltzonen in Europa. NZZ. Zürich liebäugelt mit einem Fahrverbot für ältere Dieselfahrzeuge. 12.11.2019 | Helmut Stalder. Genf macht die Innenstadt für Dreckschleudern dicht. NZZ, 7.11.19

4.2.3. Förderung Schnellladestationen (SLS)

An Schnellladestationen (auch «Stromtankstellen» genannt) können E-Autofahrerinnen und -fahrer ihre Fahrzeuge rasch für die Weiterfahrt aufladen. Allerdings gibt es keine allgemein anerkannte Definition, ab wann eine Ladestation eine Schnellladestation ist. Gegenwärtig (Stand 2017) wird ab einer Ladeleistung pro Ladepunkt von 50 kW Gleichstrom bzw. 43 kW für Laden mit Wechselstrom von einer Schnellladung gesprochen. Dieser Wert ist jedoch nur provisorischer Natur und unterliegt dem Fortschritt der E-Fahrzeugtechnologie, da sich die Ladeleistung am aktuell standardisierten und von den Fahrzeugen nachgefragten Maximum je Ladesystem orientiert. Anders gesagt: Höhere Batteriekapazitäten für längere Reichweiten ermöglichen höhere Ladeleistungen, die schon heute bei einzelnen Modellen die 200 kW Marke überschritten haben. Dies wiederum setzt eine leistungsstarke Stromversorgung mit entsprechenden Anschlusswerten voraus.

Bild 4.3: Signalisation Schnellladestation Raststätten Schweiz

Die Schnellladeinfrastruktur sollte nicht nur möglichst leistungsfähig, sondern auch «diskriminierungsfrei» sein, indem sie jederzeit zugänglich ist und BEV mit den gängigen Steckertypen aufgeladen werden können.

Der Aufbau einer Schnellladeinfrastruktur ist von grösster Bedeutung für die Entwicklung der Elektromobilität und wird als zentraler Hebel für eine nachhaltige Steigerung der Nachfrage nach Elektrofahrzeugen angesehen. Schnellladestationen wiederum stehen in direktem Zusammenhang mit der Batteriekapazität. Je dichter und zuverlässiger dieses Netz ist, desto weniger fällt die Reichweite der Elektrofahrzeuge respektive die Reichweitenangst ihrer Fahrer ins Gewicht. Die Akzeptanz des BEV als Erstauto steht und fällt letztendlich mit einem leistungsstarken Netz von Ladestationen.

Ein flächendeckendes und leistungsstarkes Netz von Schnellladestationen entlang der 1 850 km langen Nationalstrassen, welche von Privaten errichtet und betrieben werden, ist denn auch das erklärte Ziel des Bundesrates. Derzeit ist eine Schnellladung eines BEV innerhalb des Schweizer Autobahnnetzes auf 43 von derzeit 75 Raststätten des Bundes, was einer rund 60 prozentigen Abdeckung entspricht (Stand August 2021). Am 26. Juni 2020 ist die erste Schnellladestation (SLS) für Elektrofahrzeuge auf einem Nationalstrassenrastplatz eröffnet worden. Erklärtes Ziel des Bundes gemäss Roadmap Elektromobilität 2022 ist es, dass alle Schweizer Raststätten und 100 Rastplätze der Kantone mit einer Schnellladeinfrastruktur ausgestattet sein werden. Damit werden zusammen mit den Raststätten insgesamt 160 Lademöglichkeiten mit rund 600 Ladepunkten zur Verfügung stehen.

Die für die Mobilität der Zukunft gerüsteten Raststätten und Rastplätze tragen so massgeblich dazu bei, dass Elektrofahrzeuge auch auf Langstrecken komfortabel genutzt werden können.

Die interaktive Karte des BFE (ich-tanke-strom.ch) zeigt auf in Echtzeit, die in der Schweiz verfügbaren Ladestationen für Elektrofahrzeuge.

Quellen: ABB Schweiz AG. E-Mobilität startet durch. Gute Ladeinfrastruktur für das Fahren mit Strom, 2017 | ASTRA. Schnellladenetz für Elektroautos auf Nationalstrassen | Bericht des Bundesrats in Erfüllung des Postulats 14.3997 der KVF-N vom 06.10.2014. Voraussetzungen für ein Schnellladenetz für Elektroautos auf Nationalstrassen, 2017 | ASTRA. Empfehlungen zum Aufbau von Schnellladestationen entlang der Nationalstrassen, 2017 | e-mobile.ch | lemnet.org

4.2.4. Förderungen energiefranken.ch: Mit wenigen Klicks zum passenden Energieförderprogramm

Auf dem Portal energiefranken.ch finden Privatpersonen, Unternehmen und öffentliche Verwaltungen rasch das für sie passende Förderprogramm für Energie und Mobilität. energiefranken.ch listet alle verfügbaren Förderangebote von Bund, Kantonen, Gemeinden, regionalen Energieversorgungsunternehmen und weiterer Anbieter auf.

5. Umwelt/Nachhaltigkeit

Selbst die Fachwelt ist sich uneinig, wie gross der ökologische Fussabdruck von BEV effektiv ist. Den aktuellen Stand des Wissens bringt unserer Meinung nach die PSI-Studie aus dem Jahr 2018 sehr gut auf den Punkt, welche einen Überblick über Umweltbelastungen gibt, die von Personenwagen mit unterschiedlichen Antriebstechnologien verursacht werden.

5.1. Energieeffizienz

Energieeffizienz bezeichnet das Verhältnis zwischen dem Nutzwert eines Systems und der Energie, die in dieses System hineingesteckt werden muss. Die Differenz zwischen Nutzenergie und Eingangsenergie stellt die Verlustenergien des betrachteten Systems dar.

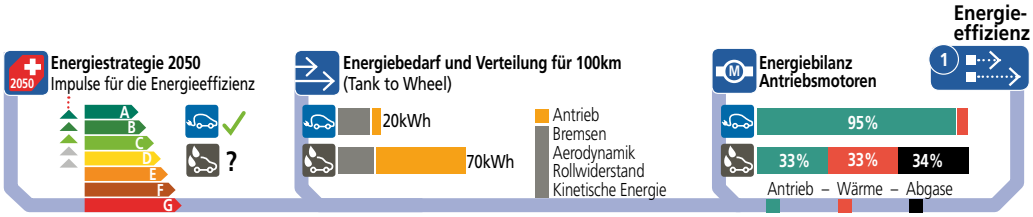


Bild 5.1: Energieeffizienz

Die Analyse des Paul Scherrer Instituts bildet unsere Hauptquelle für den Abschnitt 5, welche die Nachhaltigkeit von Elektrofahrzeugen zu quantifizieren versucht. Das Faktenblatt von EnergieSchweiz (BFE), «Umweltauswirkungen von Personenwagen: heute und morgen», fasst die PSI-Studie zusammen und enthält aktualisierte Daten von Februar 2020.

Beim Vergleich der Ökobilanzen von BEV und ICEV ist es wichtig, den ganzen Lebenszyklus (Life Cycle Assessment (LCA)) der Fahrzeuge in die Analyse miteinzubeziehen, welche deren Produktion, deren Betrieb und deren Entsorgung umfasst sowie das Bereitstellen der Treibstoffe.

Quellen: Brian Cox und Christian Bauer. Labor für Energiesystemanlagen, Paul Scherrer Institut (PSI). Hintergrundbericht: Die Umweltauswirkungen von Personenwagen: heute und morgen, Sept. 2018 | Zusammenfassung und Update PSI-Studie: EnergieSchweiz (BFE). Umweltauswirkungen von Personenwagen: heute und morgen, Februar 2020

Die letzten Jahre sind von Bemühungen des Bundes unter der Federführung des ASTRA geprägt, die Energieeffizienz des Strassenverkehrs zu steigern. Von den elektrisch betriebenen Fahrzeugen erhofft man sich mittelfristig eine erhebliche Effizienzsteigerung. Elektromobilität ist ein wichtiger Baustein für eine energieeffizientere und klimaverträglichere Mobilität. Brennstoffzellenfahrzeugen und Erdgasfahrzeugen sind weniger energieeffizient, da es zu wesentlichen Energieverlusten bei der Produktion von Wasserstoff und noch ausgeprägter bei der Herstellung von synthetischem Methan kommt.

5.1.1. Energiestrategie 2050 – Impulse für die Energieeffizienz

Im Rahmen der Energiestrategie 2050, die u.a. aufgrund der Ratifizierung des Pariser Klimaabkommens im Jahr 2016 beschlossen wurde, wurden die Vorschriften für die Kohlenstoffemissionen bei Individualfahrzeugen verschärft. Dabei setzt der Bund auf eine höhere Energieeffizienz der Mobilität, die man mittels der Förderung von Elektrofahrzeugen zu errei-

chen beabsichtigt. Die Elektrifizierung des Strassenverkehrs ist somit eine Schlüsseltechnologie, die einen Beitrag zur Erreichung der energie-, umwelt- und klimapolitischen Ziele der Schweiz leistet. Elektrofahrzeuge sind ein wichtiges Instrument einer nachhaltigen und energieeffizienten Mobilität, indem sie das Potenzial haben, die Feinstaubbelastungen und den Energieverbrauch zu verringern. Sie dienen den Klimaschutzzielen, indem sie die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und den Ausstoss des klimaschädlichen Kohlendioxids reduzieren.

Kennzeichnungspflicht mittels Energieetikette

Gemäss dem im Rahmen der Energiestrategie 2050 revidierten Energiegesetz, welches 2017 vom Volk angenommen wurde, ist der Bundesrat berechtigt, Vorschriften über einheitliche und vergleichbare Angaben des spezifischen Energieverbrauchs von serienmässig hergestellten Fahrzeugen zu erlassen (Art. 44 EnG). Art. 10 und Anhang 4.1 der Energieeffizienzverordnung, welche sich aus dem EnG ableitet, definiert eine Kennzeichnungspflicht mittels Energieetikette für sämtliche Neuwagen, die in Verkehr gebracht werden. Sie muss beim Autohändler am Personenwagen oder in seiner Nähe gut sichtbar angebracht werden. Auch die Werbung, Verkaufsdokumentationen, Preislisten und Onlinekonfiguratoren müssen Angaben gemäss Energieetikette enthalten.

Neben den Basisinformationen zum Fahrzeugen (Leergewicht, Antriebsart, Leistung) sind folgende Informationen auf der Energieetikette ersichtlich:

- Treibstoff- resp. **Energieverbrauch**
- **Energieeffizienz-Kategorie A – G** (A symbolisiert ein energieeffizientes, G ein entsprechend ineffizientes Fahrzeug)
- **CO_2-Emissionen** (Skala) werden in g/km im Fahrbetrieb relativ zum angestrebten Zielwert von 115 g CO_2/km aller verkauften Neuwagen ausgewiesen

Ebenfalls seit dem 1. Januar 2020 muss die Energieeffizienzkategorie grafisch in Form einer farbigen Skala dargestellt werden. Die Einteilung in die verschiedenen Kategorien basiert auf dem absoluten Primärenergieverbrauch (was so viel bedeutet wie den Energieverbrauch inklusive Förderung, Herstellung, Bereitstellung des Energieträgers) der Fahrzeuge und unterstützt so angestrebte Absenkung des durchschnittlichen Treibstoffverbrauchs neuer Personenwagen. Andere Umweltaspekte wie der CO_2-Ausstoss werden in die Kategorieneinteilung nicht miteinbezogen. Die Kategoriengrenzen der Energieetikette werden jährlich durch das UVEK aktualisiert und neu berechnet.

Analog etwa zu der Energieetikette für Haushaltgeräte informiert die Energieetikette für Personenwagen einfach und unkompliziert über die Energieeffizienz und macht sie diesbezüglich vergleichbar. Sie schafft Transparenz beim Autokauf und schärft das Bewusstsein der Käuferinnen und Käufer für umweltfreundliche Modelle. Gewisse Kantone gewähren Rabatte bei der Motorfahrzeugsteuer auf der Basis der Energieetikette.

Quellen: SR 730.00 Energiegesetz (EnG) | SR 730.02 Verordnung über die Anforderungen an die Energieeffizienz serienmässig hergestellter Anlagen, Fahrzeuge und Geräte (Energieeffizienzverordnung, EnEV)/BFE. Die Energieetikette für Personenwagen, 2018 | BFE. FAQ – Energieetikette für Personenwagen, 2020 | BFE. Anpassung der Energieetikette für Neuwagen ab 1. Januar 2020 | www.verbrauchskatalog.ch (TCS/EnergieSchweiz)

5.1.2. Energiebedarf und Verteilung für 100 km (Tank-to-Wheel)

Well-to-Wheel-Effizienz (WtW)

Die gesamte Energieeffizienz eines Kraftfahrzeuges (Well-to-Wheel-Energieeffizienz = Bohrloch zu Rad) setzt sich aus der Energieeffizienz der Vorkette (Well-to-Tank = Bohrloch zu Tank) und der Effizienz des eigentlichen Fahrzeuges (Tank-to-Wheel = Tank zu Rad) zusammen.
Für einen möglichst exakten Vergleich des Wirkungsgrades von BEV und ICEV ist eine Well-to-Wheel-Analyse heranzuziehen, indem von der Gewinnung und Bereitstellung eines Treibstoffes bzw. Energieträgers bis zur Umwandlung in Bewegungsenergie alle direkten und indirekten Emissionen der gesamten Wirkungskette ermittelt werden.

Vergleicht man die gesamte Wirkungsgradkette von der Gewinnung der Primärenergie bis zum Rad des Fahrzeugs in Form einer Well-to-Wheel-Bilanz, so fällt die Energiebilanz von batteriebetriebenen Fahrzeugen massiv besser aus als diejenige von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Je mehr der für die BEV angewandte Strommix aus erneuerbaren Energiequellen generiert wird, desto weniger WtW-Emissionen sind zu verzeichnen, da diese direkt mit den Emissionen der Stromproduktion skalieren.

Well-to-Tank-Effizienz (WtT)

Der Well-to-Tank-Prozess beginnt mit der Erzeugung der Primärenergie und endet mit der Speicherung dieser Energie in der Fahrzeugbatterie resp. Fahrzeugtank. Die dafür aufgewendete Energie wird als Primärenergieaufwand bezeichnet. Einer erster Schritt besteht in der Gewinnung von Rohstoffen aus der Umwelt wie der Rohölförderung, aber auch in der Nutzung der Bewegungsenergie des Windes mittels Windrad oder der Sonnenenergie in einer Solarzelle. Danach wird die gewonnene Primärenergie in eine Form gebracht, die im Fahrzeug gespeichert werden kann, nämlich die Sekundärenergie. Dies kann in einer Raffinerie geschehen, wo Rohöl zu Benzin oder Diesel raffiniert wird, oder in der Windturbine resp. Photovoltaikanlage, die Windenergie resp. Sonnenenergie in elektrischen Strom umwandelt. Diese Umwandlung geschieht nicht verlustfrei, ihr energetischer Wirkungsgrad wird als Well-to-Tank-Effizienz bezeichnet und fällt je nach Primärenergieart unterschiedlich aus.

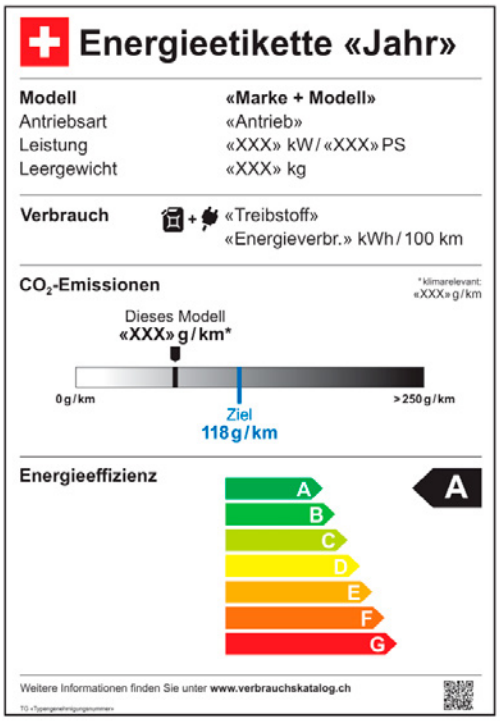


Bild 5.2: Energieetikette

Quelle:
verbrauchskatalog.ch

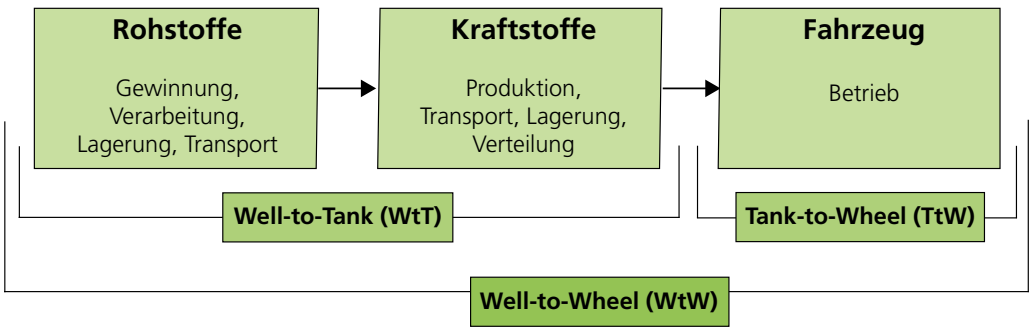


Bild 5.3: Umfang des Well-to-Wheel Gesamtsystems

Quelle:
Eigene Darstellung

Energieträger sind natürliche Stoffe und Quellen, die einen hohen Energiegehalt aufweisen und sich deshalb zur Deckung unseres Energiebedarfs eignen.

Primärenergieträger wurden (noch) keiner Umwandlung oder technischen Aufbereitung unterzogen; sie befinden sich in naturbelassenem Zustand. Die heute genutzten oder geförderten Primärenergieträger sind Erdöl (Rohöl), Erdgas, Kohle, Torf, Natururan bzw. Kernenergie, Holz und andere Biomasse, Wind-, Gezeiten-, Wellen-, Meeresströmungs- und Wasserkraft,Sonnenstrahlung, Erd- und Umgebungswärme.

Sekundärenergieträger werden durch Umwandlung oder technische Aufbereitung aus Primärenergieträgern gewonnen. Die heute verwendeten Sekundärenergieträger sind Erdölprodukte wie Heizöle, Benzin, Dieselöl, Flugtreibstoffe, Flüssiggas, Petrolkoks, Propan/Butan, Leuchtpetrol und andere, Koks, Briketts, Holzkohle, Pellets, Elektrizität, Stadt- und Biogas, Fernwärme, Alkohol und Wasserstoff. Die Umwandlung der Primär- in Sekundärenergie findet (unter Entstehung energetischer Verluste) in Raffinerien, Elektrizitäts-, Gas- und Fernheizwerken, Biogasanlagen sowie anderen (auch kombinierten) Werken und Anlagen statt.
Umwandlungsverluste: Bei der Umwandlung der Primär- in Sekundärenergieträger entstehen energetische Verluste: Die am Ende des Umwandlungsprozesses resultierende Energiemenge ist kleiner als die eingesetzte.

Transportverluste: Für den Transport der Energie beziehungsweise der Energieträger wird ebenfalls Energie benötigt. Beim Strom sind das Verluste auf den Leitungen und allenfalls bei der Speicherung in einer Batterie oder Pumpspeicherkraftwerk. Bei den Erdölbrennstoffen sind dies Pumpenenergie für Pieplines, Umladepumpen in Lagern (Häfen, Zwischenlager) und Tankstellen, sowie Transportenergie für Schiffe und Lastwagen.

Tank-to-Wheel-Effizienz (TtW)
Ist die Energie einmal im Fahrzeug, muss sie durch das Antriebssystem (z. B. Motor, Getriebe) in Bewegungsenergie am Rad zum Betrieb des Fahrzeugs umgesetzt werden. Dieser Prozess ist mit Energieverlusten im Antriebssystem verbunden. Das Fahrzeug muss zudem Fahrwiderstände überwinden, die aufgrund des Luft- und Rollwiderstandes und der Massenträgheit des Fahrzeuges entstehen. Bei Steigungen ist ausserdem die Erdanziehungskraft zu überwinden. Das Bremsen bedingt ebenfalls einen zusätzlichen Energieaufwand. Der Wirkungsgrad, der den gefahrenen Kilometern im Verhältnis zur getankten/geladenen Energie entspricht, wird als Tank-to-Wheel-Effizienz bezeichnet. Sie hängt mit dem Wirkungsgrad des Antriebssystems zusammen (siehe 5.1.3) wie auch mit der Aerodynamik und anderen Parametern des Fahrzeuges wie z. B. dem Reifenmaterial.

Der Energieverbrauch für den Fahrzeugbetrieb wird berechnet unter der Annahme eines vorgegebenen Fahrprofils, des «Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure» (WLTP). Vergleicht man die TtW-Effizienz ICEV

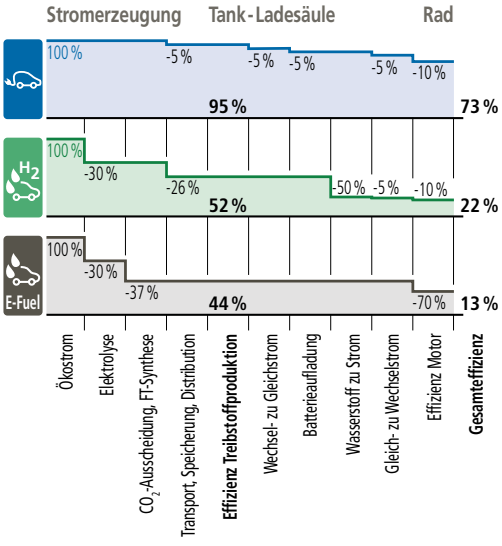


Bild 5.4: Tank-to Wheel «Elektrofahrzeug versus H2 versus E- Fuel»

und BEV, so fällt auf, dass batteriebetriebene Fahrzeuge gleich viel Energie zur Überwindung von Roll- und Luftwiderstand, sowie für die Beschleunigung (kinetische Energie) und Höhenüberwindung (Potentielle Energie) wie Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren aufwenden. Hingegen können BEV beim verlangsamen respektive bremsen und beim bergab fahren, einen guten Teil dieser Energien durch Rekuperation wieder zurückgewinnen, was die Energiebilanz von BEV in einem bergigen Land wie der Schweiz nochmals signifikant verbessert. Insgesamt fällt der Energiebedarf von BEV viel geringer aus (20 kWh vs. 70 kWh), indem dank dem hocheffizienten Elektromotor viel weniger Energie auf den Antrieb entfällt. Der TtW-Wirkungsgrad eines Elektrofahrzeuges ist somit um mindestens Faktor 3 besser als derjenige des Verbrenners.

Quellen: Julius Jöhrens und Hinrich Helms. Konzept zur zukünftigen Beurteilung der Effizienz von Kraftfahrzeugen. 2013 | Forschungs-Informations-System. Mobilität und Verkehr. 2019 | Well-to-Wheel Betrachtung der Antriebstechnologien | PSI. Hintergrundbericht. Die Umweltauswirkungen von Personenwagen: heute und morgen, 2018 | BFE. Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019

5.1.3. Energiebilanz Antriebsmotoren

Der theoretische (auf dem Prüfstand) Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren liegt bei etwa 33 %. Das bedeutet, lediglich ein Drittel der mit dem Kraftstoff zugeführten chemischen Energie wird in mechanische Antriebsenergie umgewandelt. Ein Grossteil sprich Zweidrittel der Primärenergie geht in Form von Abgasen und Wärme verloren und kann nicht als Nutzenergie für den Verbrennungsmotor verwendet werden. Die motorische Energieumwandlung ist somit bei den ICEV mit grossen Verlusten behaftet, indem rund ein Drittel als Abgase an die Umwelt abgeben wird. Ein letztes Drittel entfällt auf die Erwärmung des Motors. Diese Wärmeenergie wird mehrheitlich über den Kühler (deshalb haben ICEV grosse Kühler-Elemente in der Fahrzeugfront) an die Umgebung abgegeben. Ein nicht unerheblicher Teil der Kraftstoffenergie wird für die permanente Entziehung von Wärme im Motor mittels Kühlwasser aufgewendet werden, damit er nicht überhitzt. Im Winter wird ein Teil der Wärme zum Heizen des Fahrzeuginnenraums verwendet.

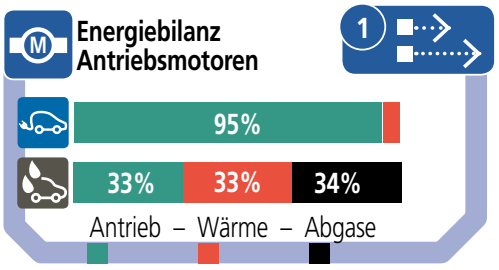


Bild 5.5: Energiebilanz Antriebsmotoren

Die Grafik zeigt es deutlich, elektrische Antriebssysteme schneiden bezüglich Energiebilanz deutlich besser als fossil angetriebene Motoren ab. Elektrofahrzeuge sind lokal emissionsfrei und produzieren im Unterschied zu Benzin- und Dieselfahrzeugen keine Abgase. Der durchschnittliche Wirkungsgrad eines Elektroantriebs liegt bei 95 %, d. h., 95 % des zugeführten Stroms werden in Bewegungsenergie umgewandelt. Nur fünf Prozent der Ausgangsenergie gehen in Form vom Wärme im Kühlsystem des Fahrzeugs oder in der Umgebungsluft verloren. Ein Elektromotor kommt dank den viel geringeren Verlusten mit der gleichen Energiemenge deutlich weiter als ein Verbrennungsmotor, welcher etwa drei Mal so viel Energie wie ein Elektrofahrzeug benötigt.

In der Grafik 5.6 nicht berücksichtigt sind die 10 % Wirkungsgradverluste, die direkt beim Laden entstehen, nämlich

1. zwischen dem Anschlusspunkt der Wallbox und dem Stecker am Batteriegehäuse
2. im Gleichrichter (Umrichter), der den Wechselstrom in den von der Batterie benötigen Gleichstrom umwandelt
3. in der Batterie aufgrund Innenwiderstand

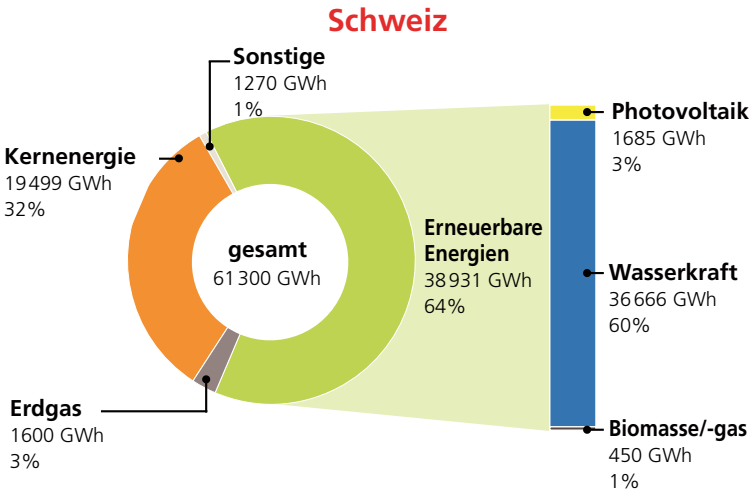


Bild 5.6: Schweizer Strommix

Quelle: Eurostat, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2017, Schweizerische, Statistik der erneuerbaren Energien 2017, Ecoinvent-Datenbank.

90 % der Energie, welche aus der Steckdose kommt und bezahlt wird, wird dementsprechend in der Batterie gespeichert. Elektromotoren haben verglichen mit Verbrennungsmotoren einen weit höheren Wirkungsgrad und benötigen weniger Energie für die gleiche Kilometerzahl. Darüber hinaus begrenzt der hohe Entwicklungsstand konventioneller Antriebe das Potenzial für weitere Effizienzsteigerungen.

Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Wie umweltfreundlich sind Elektroautos? Eine ganzheitliche Bilanz | Johannes Winterhagen. Laden von Elektroautos. Bisschen Verlust ist immer. FAZ, 26.03.2020

5.2. Umweltbelastung

Bei der Methode der Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment LCA) werden alle Umweltauswirkungen eines Produktes oder einer Dienstleistung analysiert, hier bezogen auf das Elektrofahrzeug. Das LCA analysiert den gesamten Lebenszyklus eines Produktes, d. h. die Herstellung aller Bauteile, der Betrieb, der Wartungsaufwand und schliesslich die Entsorgung bzw. Wiederverwertung. Jede Lebensphase wird in Bezug auf die Umweltwirkungen überprüft, die die Rohstoffe und Energieträger bei ihrer Gewinnung und Verarbeitung verursachen. Zu nennen wären etwa Treibhausgasemissionen als Mass für die potenziellen Auswirkungen auf den Klimawandel, der Primärenergieverbrauch als Mass für die Energieeffizienz, und weitere Indikatoren für Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit wie Feinstaub- oder bodennahe Ozonbelastung.

Bei der Beurteilung der Gesamtumweltbelastung von BEV, dem Life Cycle Assessment (LCA) ist es sehr wichtig, zusätzlich zu der Bilanz der Well-to-Wheel (siehe 5.1.2) diejenige des Lebenszyklus (Cradle-to-Grave) miteinzubeziehen, welche die Umweltbelastung bei der Rohstoffgewinnung, der Herstellung, des Unterhalts und des Recyclings bzw. der Entsorgung der Fahrzeuge analysiert. Effektive Klimaschutzstrategien im Bereich der Fahrzeugtechnologie basieren letztendlich auf einer Cradle-to-Grave- und Well-to-Wheel-Betrachtungsweise, welche die Reduktion des Endenergieverbrauchs, eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Primärenergie (Well-to-Tank) und eine Erhöhung der Umwandlungseffizienz von Primär- zu Endenergie (Tank-to-Wheel) und eine ressourcenschonendere Herstellung und Entsorgung der Fahrzeuge zum Ziel hat.

Letztendlich muss hier erwähnt werden, dass die vorliegende Ökobilanz auf dem Schweizer Strommix beruht, was die Versorgung der Fahrzeuge mit Elektrizität anbelangt (siehe dazu auch Abschnitt 9 Elektrizität/Versorgung).

Quelle: PSI. Hintergrundbericht. Die Umweltauswirkungen von Personenwagen: heute und morgen, 2018 | BFE. 74 Prozent des Stroms aus Schweizer Steckdosen stammten 2018 aus erneuerbaren Energien, 17.02.2020

Bild 5.7: Umweltbelastung

5.2.1. Abgase

Rein batterie-elektrische Fahrzeuge werden auch als ein Zero Emission Vehicles (ZEV) bezeichnet, da sie im Fahrbetrieb (Tank-to-Wheel) keinerlei lokale Emissionen sprich Abgase erzeugen. Sie tragen wesentlich dazu bei, die Luftqualität an Orten mit hoher Verkehrsbelastung zu verbessern. Zero Emission Vehicles sind die Voraussetzung für die Dekarbonisierung des Verkehrs.

Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren stossen lokal antriebsbedingte Luftschadstoffe aus, Emissionen durch Reifen- und Bremsabrieb, werden von alle Fahrzeuge, je nach Fahrstil und Antriebssystem mehr oder minder verursacht. Diese Abgase sind eine toxische Mischung aus mehrheitlich unbedenklichem Stickstoff und Wasserdampf, sowie für das Klima schädlichem Kohlendioxid und weiteren Schadstoffen. Diese werden in der Diskussion um das klimaschädliche Kohlendioxid leider gerne vergessen. Sie sind aber für Menschen, Tiere und die Umwelt direkt schädlich, teils giftig oder gar krebserregend. Die bedeutendsten Schadstoffe in Abgasen sind Kohlenmonoxid, Stickstoffoxide, Kohlenwasserstoffe, Schwefeloxide, Feinstaub und Russ.

5.2.2. Emission (von Treibhausgasen als Mass für das klimaschädigende Potenzial von Fahrzeugen)

Um die klimaschädigende Wirkung verschiedener Treibhausgase vergleichbar zu machen, hat das Intergovernmental Panel on Climate Change der Vereinten Nationen (IPCC) das «Globale Erwärmungspotenzial» (Global Warming Potential (GWP) definiert. Das GWP wird in CO_2-Äquivalenten (CO_2 Equivalents, CO_2eq oder CO_2e) angegeben. CO_2-Äquivalent ist die Masseinheit, die angibt, wie sehr ein Gas in einem bestimmten Zeitraum (meistens 100 Jahre) im Vergleich zur gleichen Menge CO_2 zur Erderwärmung beiträgt. Es drückt aus, wie stark die Klimawirkung resp. Erwärmungspotenzial eines Gases ist.

CO_2-Äquivalente (CO_2eq) sind eine Masseinheit zur Vereinheitlichung der Klimawirkung der unterschiedlichen Treibhausgase.

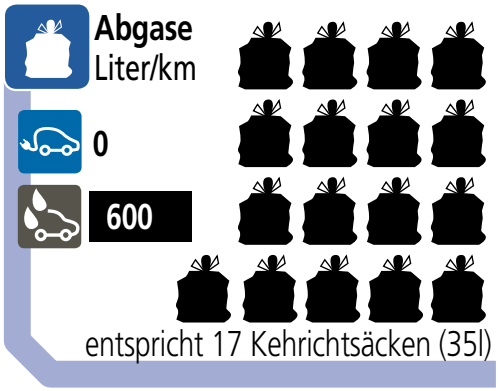


Bild 5.8: Abgase Liter je Kilometer

Die Tabelle 5.1 zeigt grundsätzlich auf, dass die klimaschädigenden Emissionen, welche bei der Herstellung sowie in Bezug auf Well-to-Wheel anfallen, bei den ICEV mit 300 g CO_2-Äquivalenten mehr als doppelt so hoch sind wie diejenigen der Batteriefahrzeuge, die mit 123 g CO_2-Äquivalenten zu Buche schlagen.

Unter Annahme des Schweizer Strom-Mix (Stand 2018), der dank Wasser- und Kernkraft mit vergleichsweise wenig Treibhausgasemissionen verbunden ist, sind BEV wesentlich klimafreundliche als ICEV.

Betrachtet man die Verteilung der CO_2-Äquivalente auf die einzelnen Komponenten, so fällt auf, dass beim ICEV v.a. die direkten Emissionen im Fahrbetrieb den ausschlaggebenden Unterschied ausmachen. Im Unterschied zu den abgasfreien BEV kommen bei den ICEV nochmals rund eineinhalb mal so viele Treibhausgase für den Fahrbetrieb (TtW) zu den indirekten Emissionen (WtT inkl. Fahrzeugherstellung) hinzu.

Die Herstellung eines BEV, welche die Komponenten Batterie/Tank und Karosserie umfasst, ist mit einem höheren Ausstoss von Treibhausgasen verbunden als die Fabrikation eines ICEV. Dies ist auf den höheren Energieaufwand bei der Batterieproduktion zurückzuführen. In der gesamten Klimabilanz fallen jedoch die Abgasemissionen von konventionellen Fahrzeugen viel mehr ins Gewicht, da sie viel höher sind als die Emissionen bei der Herstellung von Batterien für E-Fahrzeuge.

Tabelle 5.1: Verteilung der Treibhausgase pro Fahrzeugkilometer auf WtW-Komponenten (inkl. Fahrzeugherstellung).

Carculator.psi.ch (2020, Mittelklasse)

	ICEV_p (CO_2eq g/km)	BEV (CO_2eq g/km)
Strasse	19	19
Karosserie (Fahrwerk und Wartung)	50	49
Antrieb	8	7
Tank/Batterie (Energiespeicher)	1	28
Treibstoffherstellung	39	20
Direkte Emissionen	183	0
Total	300	123

Quelle: PSI. Hintergrundbericht. Die Umweltauswirkungen von Personenwagen: heute und morgen, 2018

5.2.3. Emission kumuliert

Die in der Grafik dargestellten kumulierten Emissionen umfassen die Treibhausgasemissionen während der gesamten Lebensdauer (Life Cycle) der Fahrzeuge, die bis zu einer Strecke von 400 000 km ausgestossen werden. Die Treibhausgasemissionen beim Kilometerstand 0 beziehen sich auf die Produktion und die Entsorgung und sind unabhängig von der zurückgelegten Distanz. Diese sind bei BEV höher als bei ICEV aufgrund der energieintensiven Batterieherstellung. Nach rund 40 000 km kompensiert das BEV die in der Produktion anfallenden Emissionen dank dem viel geringeren Treibhausgasausstoss während der Betriebsphase (WtW) basierend auf dem Schweizer Strom-Mix.

Die Steigung der Linien gibt an, wie gross die Emissionen während der Betriebs (WtW) sind, welche aus den Abgasen der ICEV und der Strom- und Treibstoffherstellung von beiden Fahrzeugtypen stammen. Die Linie der ICEV geht im Vergleich zu den BEV markant steil nach oben, da sie pro Kilometer Fahrstrecke mehr Treibhausgase zu verzeichnen haben. Der treppenartige Verlauf der BEV-Emissionen ist auf den Ersatz der Batterien zurückzuführen, welche nach dem heutigen Stand der Technik voraussichtlich alle 150 000 km ausgetauscht werden müssen. Die Steigung der BEV-Linie hängt von den Treibhausgasemissionen ab, die bei der Stromproduktion anfallen.

Quelle: PSI. Hintergrundbericht. Die Umweltauswirkungen von Personenwagen: heute und morgen, 2018

6. Kosten / Effizienz

Die Kostenkriterien gehören zusammen mit der Reichweite und der zur Verfügung stehenden Ladeinfrastruktur[1] zu den wichtigsten Parametern bei der Wahl eines Elektrofahrzeuges.

6.1. Kosten total (TCO)

Der Vergleich von E-Fahrzeugen und Verbrennern aus wirtschaftlicher Perspektive basiert auf einer Gesamtkostenbetrachtung (Total Costs of Ownership (TCO)). Die TCO enthalten alle Kosten, die für Erwerb und Nutzung eines Fahrzeugs über dessen gesamte Haltedauer hinweg anfallen. Dies ist gerade für den Vergleich der verschiedenen Antriebssysteme sehr aufschlussreich, da ein Elektrofahrzeug zwar oft höhere Anschaffungskosten als sein konventionelles Pendant hat, im Betrieb aber erheblich geringere Kosten aufweisen. Die TCO entsprechen der Summe aus den Anschaffungskosten zum Betrachtungszeitpunkt t=0 und den variablen und fixen Kosten über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs, die auf den Betrachtungszeitpunkt diskontiert werden.

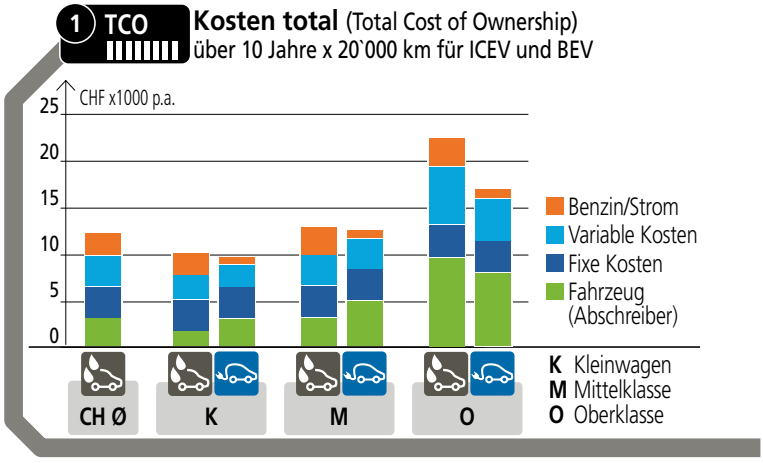
Die Grafik zeigt im Rahmen eines Gesamtkostenvergleichs die Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen für verschiedene PKW-Kategorien. Das TCO-Modell berücksichtigt alle im Laufe der Fahrzeughaltedauer relevanten Kostenparameter aus Sicht des Fahrzeugbesitzers. Diese stehen jeweils in Abhängigkeit von der jeweiligen Grössenklasse (Kleinwagen, Mittelklasse und Oberklasse) und den definierten Rahmenbedingungen von 10 Jahren über eine Distanz von 200 000 km im Fall der vorliegenden Grafik. Sie berücksichtigt explizit folgende Kostenparameter:

- Fahrzeug (Abschreiber): Anschaffungskosten
- Fixe Kosten: Versicherung
- Variable Kosten: Unterhalt und Reparaturen / Ersatz von Fahrzeugkomponenten
- Benzin/Strom (Kraftstoffkosten)

Während sich die TCO für BEV und ICEV des Klein- und Mittelklassesegments etwa im gleichen Rahmen bewegen – vorbehaltlich der Unterschiede zwischen den einzelnen Kostenparametern – sind die TCO für BEV der Oberklasse markant tiefer als für ICEV. Die TCO für BEV-Kleinwagen fallen minim tiefer als für ICEV aus. Bei den Mittelklassewagen schneiden die ICEV bezüglich TCO geringfügig besser ab. Die TCO vom Kleinwagen zum Mittelklassewagen steigen nur leicht sowohl im Bereich ICEV wie auch BEV. Vergleicht man hingegen Fahrzeuge der Mittel- und Oberklasse so fällt hier die TCO Differenz viel höher aus, insbesondere bei den ICEV.

Die Unterschiede zwischen Benzin-/Dieselfahrzeugen und Elektrofahrzeugen sind am deutlichsten beim Wertverlust resp. Abschreiber (vom Anschaffungswert). Der Wertverlust anteilig an den Gesamtkosten von Elektrofahrzeugen liegt zwischen 8 % und 12 % und damit ähnlich dem Wertverlust konventioneller Fahr-

Bild 6.1: Kosten total (meistverkaufte Wagen der Klassen)



[1] RIP-Grundsatz: Reichweite Infrastruktur Preis

Kosten-parameter*	CH Ø ICEV	Kleinwagen		Mittelklasse		Oberklasse	
		ICEV	BEV	ICEV	BEV	ICEV	BEV
Fahrzeug / Abschreiber	CHF 3150 (25.4 %)	CHF 1607 (15.9 %)	CHF 3051 (31.5 %)	CHF 3158 (24.3 %)	CHF 5038 (39.9 %)	CHF 9927 (43.5 %)	CHF 8188 (47.2 %)
Fixe Kosten	CHF 3461 (28 %)	CHF 3455 (34.2 %)	CHF 3459 (35.7 %)	CHF 3460 (26.6 %)	CHF 3465 (27.4 %)	CHF 3478 (15.3 %)	CHF 3474 (20 %)
Variable Kosten	CHF 3318 (26.8 %)	CHF 2634 (26.1 %)	CHF 2438 (25.1 %)	CHF 3324 (25.5 %)	CHF 3322 (26.3 %)	CHF 6332 (27.8 %)	CHF 4722 (27.2 %)
Benzin / Strom	CHF 2452 (19.8 %)	CHF 2400 (23.8 %)	CHF 750 (7.7 %)	CHF 3080 (23.7 %)	CHF 800 (6.3 %)	CHF 3066 (13.4 %)	CHF 950 (5.5 %)
Total	CHF 12381	CHF 10096	CHF 9698	CHF 13022	CHF 12625	CHF 22803	CHF 17334

Tabelle 6.1: TCO-Vergleich für ICEV und BEV nach Grössenklassen.

Quelle: TCS Rechner

* CHF p. a.
(Anteil in % an TCO)

zeuge. Die Unsicherheit im Markt bezüglich der erzielbaren Preise für gebrauchte E-Fahrzeuge ist der Faktor, der den prognostizierten Wertverlust in die Höhe treibt.

BEV-Klein- und Mittelklassefahrzeuge sind in der Anschaffung teurer als ICEV. Dies ist im Fall der Oberklassenfahrzeuge gerade umgekehrt. Einer der Hauptgründe für die heutigen hohen Anschaffungskosten von BEV ist der Preis der Lithium-Ionen-Batterien. Die letzten Jahre haben eindrücklich gezeigt, dass die Kosten für die Batterieherstellung massiv gesunken sind. Gemäss einer Untersuchung von BloombergNEF sind die Kosten für Lithium Ionen Batterie-Packs zwischen 2010 und 2020 um fast 70 % gefallen. Weitere Einsparungen dank neuen Technologien und weiterer Optimierungen in der Herstellung werden in den nächsten Jahren die Wettbewerbsfähigkeit von BEV weiter verbessern.

Elektrofahrzeuge machen die hohen Anschaffungskosten namentlich durch einen geringeren Aufwand für die Wartung und den Treibstoff wett. Der Elektroantrieb weist konstruktionsbedingt weniger Verschleissteile auf, was den Unterhalt günstiger macht. Es werden keine Schmierstoffe, Zündkerzen, Luft- und Kraftstofffilter benötigt und die Abgaswartung entfällt wie auch der Ölwechsel. Ein Elektroauto muss weniger oft in die Garage und der Service beschränkt sich oft auf Kleinigkeiten wie das Auswechseln des Pollenfilters. Unter dem Strich sinken die Wartungskosten.

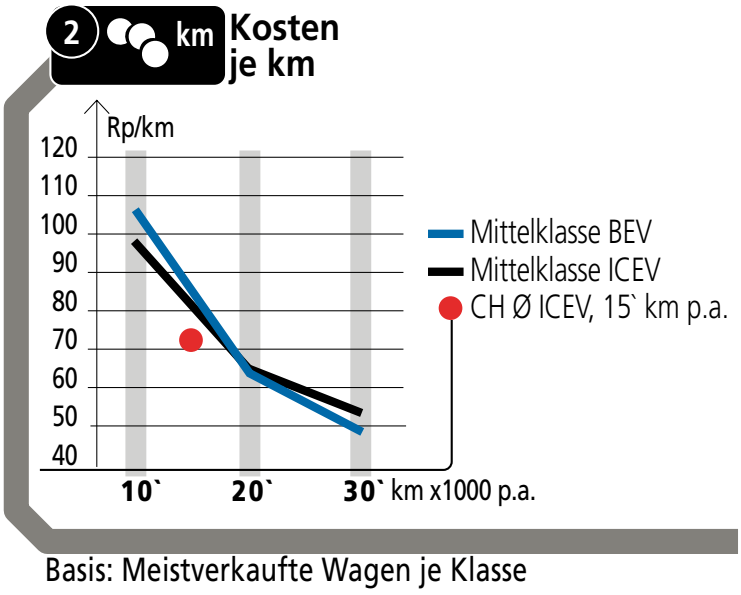
Durchgehend tiefer sind die Treibstoffkosten für Elektroautos sämtlicher Grössenklassen verglichen mit Verbrennern, bei denen man gut das Doppelte für Benzin und Diesel ausgeben muss. Tendenziell wird sich diese Preisschere weiter öffnen, da insbesondere bei fossilen Brennstoffen mit erhöhten Abgaben aufgrund der angestrebten Dekarbonisierung des Verkehrs im Rahmen der Klimaschutzgesetzgebung zu rechnen ist. Die Entwicklung der Preise für Treibstoff und für Batterien werden denn auch als massgebliche Treiber der Gesamtkosten für Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebsarten angesehen.

Lange Zeit war die Devise «Elektrofahrzeuge sind teuer». Diese Aussage ist nur noch zum Teil richtig. Elektroautos sind zwar in der Anschaffung meist noch etwas teurer als Benzin- und Dieselautos. Der TCO-Vergleich zeigt jedoch, dass BEV-Kleinwagen und solche der Oberklasse im Durchschnitt günstiger sind als herkömmliche Fahrzeuge mit Verbrennungs-

motoren. Ausserdem sind elektrisch betriebene Fahrzeuge häufig wertbeständiger. Nach fünf Jahren lässt sich ein Elektroauto gegenüber einem gleich teuer beschafften konventionellen Fahrzeug oft zu einem höheren Preis verkaufen. Dieser Vorteil könnte sich in den kommenden Jahren noch verstärken, da ICEV mit den diversen geplanten Fahr- oder Zulassungsverboten und den angekündigten Entwicklungsstopps bei den Herstellern den Trend verstärken.

Quellen: Martin Wietschel et al. Klimabilanz, Kosten und Potenziale verschiedener Kraftstoffarten und Antriebssysteme für Pkw und Lkw. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. 2019 | Brian Cox, Christian Bauer, Angelica Mendoza Beltran, Detlef P. van Vuuren, Christopher L. Mutel. Life cycle environmental and cost comparison of current and future passenger cars under different energy scenarios. PSI, 2020 | Lorenz Honegger. Der Preis für die Reichweite bei Elektroautos hat sich halbiert: Trotzdem lohnt sich der Kauf nicht für jeden, 03.08.2020

Bild 6.2: Kosten je km



6.2. Kosten je km

Die tatsächliche Kostenersparnis bei E-Autos hängt auch vom Nutzungsverhalten ab. Die Grafik zeigt es deutlich: Je höher die Kilometerleistung, desto höher ist der finanzielle Vorteil gegenüber einem konventionellen Fahrzeug. Der Breakeven etwa im volumenstarken Mittelklassebereich liegt bei 20 000 km, d. h. ab dieser Laufleistung pro Jahr ist ein Elektrofahrzeug günstiger als sein Pendant mit Verbrennungsmotor.

Eine Studie von 2020 zieht folgendes Fazit aus dem Lebenszyklus- und Gesamtkostenvergleich von BEV und ICEV verschiedener Grössenordnungen: Fahrzeuge mit kleineren Batterien und höherem Kilometerstand schneiden bezüglich Klimaschutz und Kosten am besten ab. Nimmt man den Durchschnitt aller Grössenkategorien so schneidet auch da das Elektrofahrzeug besser als der Verbrenner ab, wenn man gleichzeitig die TCO und den Ausstoss von Treibhausgasen berücksichtigt. Die Elektrifizierung der Antriebe von Personenwagen bringt somit Vorteile aus ökologischer, aber auch aus wirtschaftlicher Sicht, da sie im Durchschnitt nicht mit signifikant höheren Kosten verbunden ist. Hinzu kommt, dass das TCO-Potenzial der Elektromobilität nach Einschätzung der Experten noch längst nicht ausgeschöpft ist.

Quelle: Brian Cox, Christian Bauer, Angelica Mendoza Beltran, Detlef P. van Vuuren, Christopher L. Mutel. Life cycle environmental and cost comparison of current and future passenger cars under different energy scenarios. PSI, 2020

7. Mobilität 20xx

7.1. BEV Einsatz im Alltag

7.1.1. Reichweiten

«Reichweitenangst» (Range Anxiety) – so nennen Fachleute die Sorge von Elektrofahrzeug-Neulingen, dass die «Tankfüllung» ihres Autos nicht ausreicht, um die aktuelle Fahrt zu beenden. Sie schätzen das Risiko eines BEV, mit leerer Batterie weit weg von der nächsten Ladestation stehenzubleiben, viel höher ein als bei einem ICEV. Reichweite ist Teil der Abkürzung R.I.P., die für die zentralen Erfolgsfaktoren der Elektromobilität steht, nämlich Reichweite, Infrastruktur (Ladestationen) und Preis. Obwohl die die Batteriekapazität von elektrifizierten Fahrzeugen stetig zunimmt und längst schon für die alltäglichen Fahrten ausreicht, taucht die Reichweitenangst immer wieder in der Diskussion über die Alltagstauglichkeit von Elektromobilität auf. Der Besitzer des Elektrofahrzeuges verliert die Reichweiten Angst relativ schnell mit seiner Erfahrung.

Faustregel zur Berechnung der Reichweite:
Moderne Bordcomputer berechnen die verbleibende Reichweite, indem sie den Energieverbrauch aller Aggregate sowie die bisherige Fahrweise berücksichtigen, und können die Ladezeit für das Elektrofahrzeug voraussagen.

Die tatsächliche Reichweite eines BEV hängt von verschiedenen Faktoren ab. Zum einen ist die **Kapazität der Batterie** entscheidend. Grundsätzlich gilt: Je grösser die Batteriekapazität, desto grösser die Reichweite. Die elektrochemisch bedingte Alterung der Batterie über die Laufzeit beeinflusst die Batterieleistung negativ. Zum anderen ist die tatsächlich benötigte Leistung des Fahrzeugs wichtig, die nicht zu verwechseln ist mit der Maximalleistung unter ganz bestimmten Bedingungen und von folgenden Bedingungen abhängt:

- **Fahrzeugmodell**: Siehe Grafik, welche die Reichweite in Abhängigkeit der Elektrofahrzeugkategorie aufzeigt.

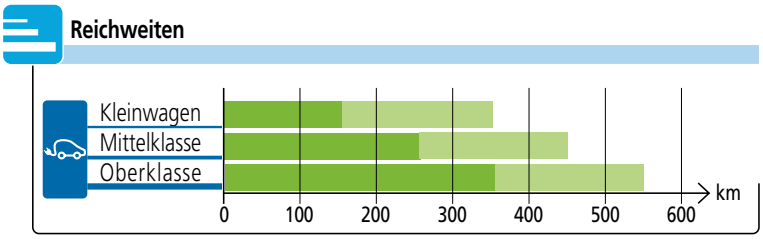


Bild 7.1: Reichweite in km

- **Elektronische Ausstattung**: Elektronische Verbraucher wie Klimaanlage oder Heizung, Navigation oder Radio verbrauchen Batteriestrom des Elektrofahrzeugs.
- **Streckenprofil**
- **Fahrweise**: Energieaufwändiges Fahrverhalten mit sehr hohen Geschwindigkeiten, kontinuierlichem Beschleunigen und Bremsen mindert die Reichweite.
- **Geschwindigkeit**: Grundsätzlich gilt: Bei zunehmender Geschwindigkeit, die mit erhöhten Reibungsverlusten und grösserem Luftwiderstand einhergeht, nimmt die Reichweite des Fahrzeugs überproportional ab. Die Geschwindigkeit, welche die Batterie am meisten schont, ist fahrzeugabhängig und in den Herstellerangaben zu finden.
- Ein zu niedriger **Reifendruck** wie auch **Winterreifen** erhöhen den Rollwiderstand und damit den Energieverbrauch des Elektroautos.
- **Aussentemperatur**: Die standardisierte Reichweite gemäss WLTP (World Light Vehicle Test Procedure) wird bei Laborbedingungen resp. bei 20 Grad erhoben. Gemäss aktueller Studie der Norwegian Automobile Federation (NAF) beträgt die durchschnittliche Reichweiteneinbusse bei winterlichen Bedingungen 18.5 % gegenüber WLTP-Angaben. Die beträchtliche Spannweite der Verluste von zwischen 10 % und 30 % zeigt aber auch, dass einige Automodelle die Kälte bedeutend besser vertragen als andere.
Die Reichweitenverluste haben einerseits

mit einer verminderten Batterieleistung zu tun, da niedrige Temperaturen die elektrochemischen Prozesse verlangsamen, was den Innenwiderstand erhöht. Demzufolge steigt die Spannung bei gesteigertem Stromfluss, sprich, die Batterie entleert sich schneller, ihr Wirkungsgrad sinkt. Ebenso verlängert sich die Ladezeit der Batterien. Andererseits verbrauchen Elektrofahrzeuge deutlich mehr Energie im Winter als im Sommer. Viel Energie wird für das Beheizen von Innenraum, Heck- und Frontscheiben, Batterie und allenfalls Sitzen und Lenkrad aufgewendet. Mittlerweile rüsten einige Hersteller die E-Autos mit Wärmepumpen (nutzen die Abwärme von batterieexternen Autokomponenten), Batterieisolierung und einer Vorwärm-Option auf, die die Reichweite der Elektroautos im Winter erhöhen.

Entgegen dem, was man auf den ersten Blick vermuten würde, spielen gemäss einer Studie des Center Automotive Research (CAR) das **Fahrzeuggewicht und die Beladung keine entscheidende Rolle** für die Reichweite.

Die Grafik zeigt, dass Fahrzeuge der Oberklasse Distanzen von bis zu 550 km abdecken können, ihre durchschnittliche Reichweite liegt bei rund 350 km. Mittelklassewagen erreichen eine Reichweite von bis zu 450 km, im Durchschnitt legen sie 250 km zurück. Bei Kleinwagen mit überwiegender Nutzung im Stadtverkehr werden deutlich kleinere Batteriekapazitäten verbaut, einzelne Modelle erreichen 350 km, wobei die erreichbare Distanz üblicherweise bei etwa 150 km liegt. Mit den meisten Elektrofahrzeuge erreicht man somit eine Reichweite von zwischen 150 und 350 Kilometern, die kürzer als diejenige von herkömmlichen Verbrennern ist. Allerdings spielt dies im Fahralltag kaum eine Rolle, da mit der durchschnittlich zurückgelegten Strecke eines PKWs, die selten mehr als 100 km beträgt, ein Elektromodell in der Regel mühelos zurechtkommt.
Gemäss aktueller TCS-Studie hat sich dank Fortschritten in der Batterieforschung die durchschnittliche Reichweite pro Batterieladung aller Elektrofahrzeuge zwischen 2015 und 2020 von 127 auf 331 km mehr als verdoppelt. Und die Fachleute sind zuversichtlich, dass dieser Trend anhält.

Quelle: Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeuge. Bedeutung für die Elektromobilität. VDI/VDE, 2019 | Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2018. EBP, 2018 | Welche Reichweite hat ein Elektroauto?, E.ON Energie Deutschland GmbH | Lorenz Honegger. Der Preis für die Reichweite bei Elektroautos hat sich halbiert: Trotzdem lohnt sich der Kauf nicht für jeden, 03.08.2020 | Philipp Vetter. Leichtbauweise verbessert Ökobilanz von E-Autos kaum. Die Welt am Sonntag, 03.12.2017 | Tobias Stahl. Mega-Reichweiten-Test: Diese 20 Elektroautos fahren im Winter am weitesten. efahrer.com, 19.03.2020

7.1.2. Typische Fahrmuster (Alltagsgebrauch)

«En passant laden statt extra tanken!»
Die Grafik, die den Alltagsgebrauch eines Elektrofahrzeugs abbildet, zeigt sowohl das Fahrverhalten wie auch das Ladeverhalten auf. Das Ladeverhalten beschreibt wie häufig und wo Elektrofahrzeuge laden. Es bestimmt letztendlich den Erfolg eines Geschäftsmodells mit der Elektromobilität ab sowie die Interaktion mit dem Stromsystem. Eines haben sowohl BEV wie auch ICEV gemeinsam, sie sind was das alltägliche Mobilitätsverhalten Ihrer Fahrerinnen und Fahrer anbelangt in erster Linie ein «Stehzeug» und nicht ein Fahrzeug. Die Grafik zeigt es: Selbst Fahrzeuge von Vielfahrern wie dem Aussendienstmitarbeitenden stehen wäh-

rend eines Grossteils des Tages auf einem Parkplatz oder in der heimischen Garage. Unternehmen Schweizerinnen und Schweizer eine Ferienreise, so nimmt sogar eine Langstreckenfahrt das Elektrofahrzeug weniger in Anspruch als das Parkieren. Da eine Fahrt in die Feriendestination meist auf den Autobahnen stattfindet, wird das Fahrzeug an einer Schnellladestation geladen. Das sogenannte Power Charging spielt hingegen im Alltagsgebrauch keine nennenswerte Rolle.

Typische Lademuster zeichnen sich dadurch aus, dass das Elektrofahrzeug mit Abstand am häufigsten während der Standzeiten zu Hause aufgeladen wird (Home Charging). Aktuell besitzen praktisch sämtliche Elektrofahrzeughalterinnen und -halter eine private Ladestation zu Hause, wo sie täglich kleine Strommengen (Tagesbedarf) nachladen. An zweiter Stelle folgt das Laden an der privaten Station des Arbeitgebers (Work Charging). Dies gilt für sämtliche in der Grafik abgebildeten Fahrmuster. Daran wird sich nach Einschätzung der Experten auch nicht viel ändern, denn auch in Zukunft würden 90 % aller Ladevorgänge am Wohnort oder im Unternehmen stattfinden. Aus diesem Grund konzentriert sich die Infrastrukturplanung im Bereich Elektromobilität darauf, die Anzahl Ladepunkte an bisher nicht erschlossenen Standorten wie Mehrfamilienhäusern und Firmengeländen zu steigern. Von einer öffentlichen Ladestation (POI Charging) wird, wenn überhaupt, von sehr mobilen Arbeitnehmern im Aussendienst, oder in der Freizeit Gebrauch gemacht.

Fazit: An öffentlichen Ladestationen (POI und Power Charging) wird deutlich weniger häufig geladen als an privaten Ladestationen (Home und Work Charging). Daraus ergeben sich folgende Fragen für das Laden der Zukunft: Wie viel ist der Fahrer eines Elektrofahrzeugs bereit zu zahlen für eine hohe Ladeleistung (Schnellladung), die die Ladezeit spürbar verkürzt? Werden Elektrofahrzeuge auch in Zukunft an privaten Ladestationen geladen, da es dort am günstigsten ist? Kommen öffentliche Ladestationen für das Nachladen nur in Frage, wenn die Fahrzeugbatterie bereits stark entleert ist? Wo gibt es für Personen die kein Home oder Work Charging machen können Lademöglichkeiten zu fairen Preisen?

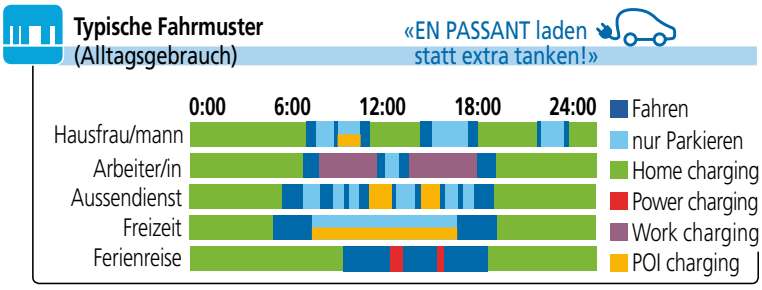


Bild 7.2: Typische Fahrmuster

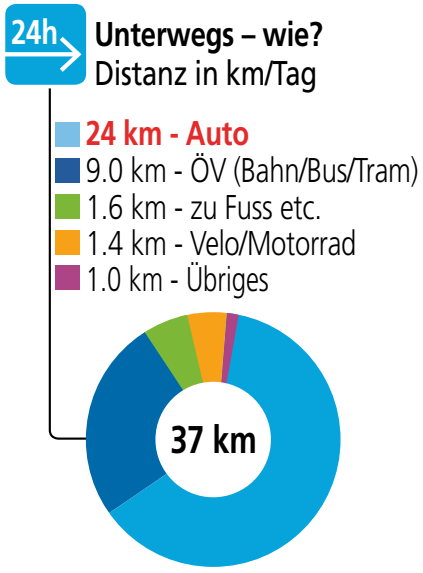
7.2. Mobilität Schweiz

7.2.1. Unterwegs – wie?

Zwei Drittel der durchschnittlichen Tagesdistanz von 37 km/Person (ab 6 Jahren) legten Herr und Frau Schweizer 2015 mit dem Auto zurück und nur ein Viertel mit dem öffentlichen Verkehr. Diese Zahl spricht für sich und zeigt die Notwendigkeit eines klimaverträglichen sprich CO_2-neutralen privaten Fahrzeugparks.

Die somit rund 25 km, welche pro Person und Tag mit dem Auto zurückgelegt werden, zeigen deutlich auf, dass aktuelle BEV mit Reichweiten zwischen 150 und 350 km oder gar mehr, den täglichen Mobilitätsbedarf der meisten Schweiz problemlos abdecken. Auch wenn man die Fahrleistung auf die rund 4.7 Mio. in der Schweiz zugelassenen Personenwagen verteilt, ergibt dies immer noch lediglich eine Strecke von rund 50 km pro Tag.

Bild 7.3: Unterwegs wie?



Sind die Schweizerinnen und Schweizer vorwiegend elektrisch unterwegs, so hat dies unmittelbare Auswirkungen auf die Klimabilanz der Alltagsmobilität. Der Anteil des Langsamverkehrs (Fussgänger und Velofahrer) von 8% fällt demgegenüber vergleichsweise bescheiden aus.

Zwischen 1994 und 2015 hat sich die durchschnittliche Tagesdistanz pro Person um 18 % verlängert. Diese Zunahme geht vor allem auf das Konto der Bahndistanz, welche in diesem Zeitraum um 77 % zugenommen hat. Die Autodistanzen pro Person haben sich zwar stabilisiert, da jedoch die Schweizer Wohnbevölkerung zugenommen hat, nimmt der Strassenverkehr seit 2000 weiter zu. In den rund 40 Jahren zwischen 1980 und 2018 wuchs die mit dem Auto zurückgelegte Tagesdistanz pro Person um 52 %, im Eisenbahnverkehr betrug die Wachstumsrate sogar 107 % dank dem Ausbau des öffentlichen Verkehrs.

Quelle: Bundesamt für Statistik. Panorama Mobilität und Verkehr, März 2020

7.2.2. Unterwegs – wozu?

Die Bewältigung der 37 km Tagesdistanz/Person nahm 2015 rund 90 Minuten in Anspruch. Wichtigster Verkehrszweck ist die Freizeit mit 44 %, gefolgt von der Arbeit mit 24 %, den Einkaufsaktivitäten mit 13 % sowie der Ausbildung mit 6 %. Die Arbeit ist nach der Freizeit der zweitwichtigste Verkehrszweck, was sich auch in der Pendlerstatistik niederschlägt. 2017 pendelten 9 von 10 Schweizerinnen und Schweizer zur Arbeit, d. h., ihr Arbeitsort lag ausserhalb ihres Wohngebäudes. Während der Anteil der in der Wohngemeinde beschäftigten Personen zwischen 1990 und 2017 von 59 % auf 29 % zurückgegangen ist, zählten 2017 mehr als Zweidrittel der arbeitstätigen Bevölkerung zu den interkommunalen resp. interkantonalen Arbeitspendlerinnen und Arbeitspendler. Zugenommen hat dementsprechend auch die Arbeitsdistanz, nämlich zwischen 2000 und 2017 um 16 %.

Quelle: Bundesamt für Statistik. Panorama Mobilität und Verkehr, März 2020

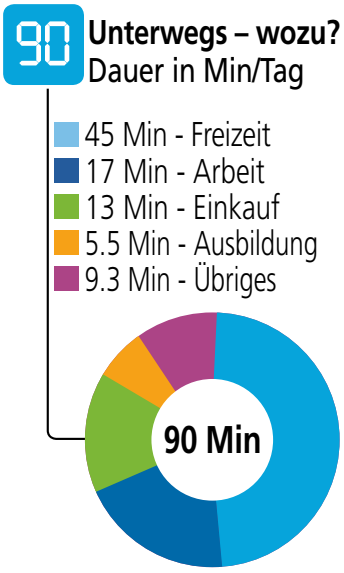


Bild 7.4: Unterwegs wozu?

8. Besondere Merkmale

8.1. Energiebilanz Fahrzyklus (Tank to Wheel)

(Siehe auch 3.2, 5.1.2 und 5.1.3)

Vergleicht man die Energiebilanz von ICEV und BEV bezogen auf den Fahrzyklus (Tank to Wheel), so gehen E-Fahrzeuge als eindeutige Gewinner hervor, welche durchschnittlich 60 % der Bremsenergie wieder zurückgewinnen können. Im Gegensatz zum ICEV, welches 100 % der Bremsenergie mit den Bremsen und dem Motor als Energieverlust abbuchen müssen. Der Grossteil der nicht rekuperierbaren Energieverluste von durchschnittlich 40 % gehen zulasten des Antriebes mit 14 % und mit je 10 % auf das Konto des Elektromotors/Generators und der Batterieladung.

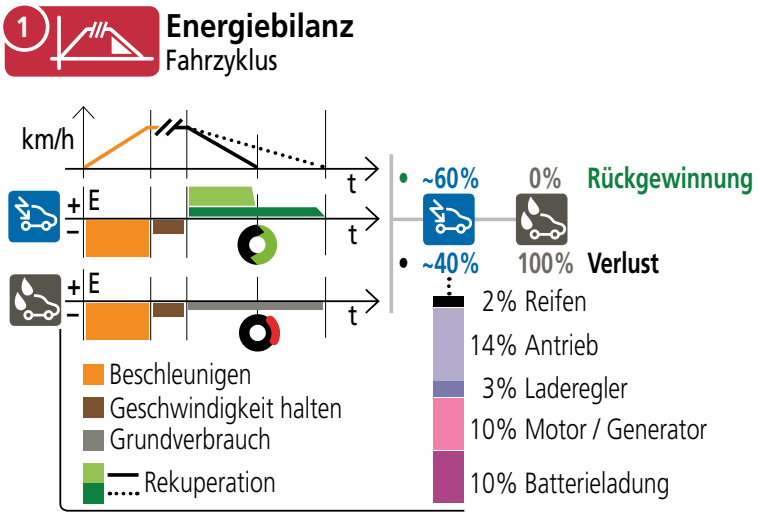


Bild 8.1: Energiebilanz

8.2. Effizienz

8.2.1. Wirkungsgrad

Mit der gleichen Menge an zugeführter Energie (Tank-to-Wheel) kann ein BEV eine fast 3.5 Mal längere Strecke als ein ICEV zurücklegen (siehe auch 5.1 Energieeffizienz).

8.2.2. Antriebskomponenten

Der Antriebsstrang von BEV ist einfach aufgebaut und setzt sich aus zehn Mal weniger Komponenten als das viel komplexere Gegenstück von ICEV zusammen (200 vs. 2 000 Teile). Weniger Servicearbeiten fallen an, denn weniger bewegliche Teile gehen mit geringerem Verschleiss und kostengünstigerem Wartungsaufwand für Elektrofahrzeuge einher (siehe auch 6.1 Kosten total (TCO)).

8.3. Energiestrategie CH 2050

8.3.1. Vor Ort IMMER emissionsfrei: Ohne Lärm, Abgase und Luftverbrauch

Die Luft- und Lebensqualität gerade in verkehrsreichen Ballungsräumen verbessert sich merklich dank Elektrofahrzeugen, welche keine direkten Schadstoffemissionen in Form von Abgasen und bedeutend weniger Lärm verursachen. Der oft im Zusammenhang mit der Elektromobilität verwendete Begriff des Zero Emission Vehicle oder des emissionsfreien Fahrzeugs ist ein Elektroauto, das im Fahrbetrieb (Tank-to-Wheel) komplett CO_2-frei unterwegs ist.

8.3.2. Fahren mit CH-Energie – Wertschöpfung vor Ort

2019 verbrauchte die Schweiz die meiste Energie in Form von Treibstoffen (35.3 %), gefolgt von Strom (24.7 %), Gas (13.8 %), Erdölbrennstoffen (13.5 %) und restlichen Energieträgern (z. B. Holz, übrige erneuerbare Energieträger oder Industrieabfälle (12.7 %). Der Energieverbrauch der Schweiz zeichnet sich sowohl durch

Bild 8.2: Effizienz im Vergleich

Bild 8.3: Energiestrategie 2050

eine «hohe Versorgungssicherheit als auch durch eine «hohe Auslandabhängigkeit» aus, indem 75 % der in der Schweiz verbrauchten Energie im Ausland produziert wird. Diese umfasst alle Erdölprodukte, Erdgas und die Kernbrennstoffe für die Schweizer KKW.

Ganz anders präsentiert sich die Situation bezüglich Auslandimporten, wenn man die Herkunft des produzierten Stromes in der Schweiz betrachtet. Die Schweiz verzeichnete in vierzehn der letzten zwanzig Jahren einen Stromexportüberschuss. Ein anderes Bild ergibt sich jedoch, wenn man die Versorgungslage im Winter betrachtet. In jedem Winter der letzten zehn Jahre war die Schweiz auf Stromimporte angewiesen, um den inländischen Strombedarf zu decken.

99.8 % der gelieferten Kernenergie wurden 2018 in Schweizer Kernkraftwerken erzeugt, wobei ihre Energieträger jeweils zu 100 % importiert werden müssen. Inländische Grosswasserkraftwerke lieferten 76 % der Hydroenergie. 91 % der neuen erneuerbaren Energie (PVA, Wind, Kleinwasserkraft usw.) stammten aus Schweizer Produktion, die zu drei Viertel durch das Einspeisevergütungssystem (KEV/EVS/EIV) gefördert wurde.

Elektromobilität ist nur so nachhaltig, wie der benötigte Strom aus erneuerbaren Quellen stammt. Aus diesem Grund sollte ihr Ausbau mit einem Wachstumsschub für die neuen erneuerbaren Energien im Sinne der Energiestrategie 2050 einhergehen. Damit ist hauptsächlich die Förderung der einheimischen PV-Produktion gemeint. Einem weiteren Ausbau der momentan dominierenden Wasserkraft wie auch der marginal genutzten Windkraft stehen Hürden verschiedenster Art, angefangen beim Landschafts- und Umweltschutz usw., im Weg. Gerade der hohe Ausbaugrad der Wasserkraft hat zur Folge, dass sich das Angebot an hydraulischem Strom mit technischen Mitteln nur begrenzt steigern lässt.

Quelle: UVEK. Erstes Massnahmenpaket der Energiestrategie. Faktenblatt «Energieversorgung der Schweiz und internationale Entwicklung», 21. März 2017. BFE. 74 Prozent des Stroms aus Schweizer Steckdosen stammten 2018 aus erneuerbaren Energien, 17.02.2020 | BFE. Gesamtenergiestatistik 2019 | BFE. Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2019

8.4. Fahrkomfort

8.4.1. Ruhe: Keine Motoren- und Getriebegeräusche

Schweizweit sind 110 000 Gebäude oder 1.2 Millionen Personen gesundheitsschädigenden oder stark störenden Lärmbelastungen ausgesetzt. Hauptemittent von Geräuschemissionen ist der Strassenverkehr, der die Gesundheit gefährdet und hohe volkswirtschaftliche Kosten von über CHF 1.1 Mia. verursacht. Die von der Schweiz übernommene Verordnung 540/2014 der EU über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Austauschschalldämpferanlagen ist seit Sommer 2016 in Kraft und sieht einheitliche Grenzwerte für die Geräuschemission von Motorfahrzeugen vor. Diese Werte sollen für neue Fahrzeugmodelle bis 2026 schrittweise auf höchstens 68 für ein Leistung/Masse-Verhältnis von 120 kW/1 000 kg beziehungsweise 72 dB für leistungsstarke Sportwagen (> 200 kW/1 000 kg) gesenkt werden.

Aufgrund der fehlenden Motorengeräusche werden Elektrofahrzeuge von den Insassen als deutlicher leiser als Verbrennerfahrzeuge empfunden, was zu mehr Fahrkomfort beiträgt.

Das Vorbeifahrgeräusch von ICEV setzt sich im innerstädtischen Bereich aus dem Antriebsgeräusch und dem Rollgeräusch zusammen, bei den BEV beschränkt es sich hingegen auf das Rollgeräusch. Das Reifen-Fahrbahngeräusch entsteht somit unabhängig von der Antriebsart und ist sowohl innen wie aussen des Fahrzeugs die dominierende Lärmquelle. Es steht in Relation vom Tempo, d. h., es dominiert das Antriebsgeräusch bei konstanter Fahrt ab ca. 15–25 km/h. Bei beschleunigter Fahrt ab ca. 30–45 km/h dominiert das Reifen-Fahrbahngeräusch. Erst bei höheren Geschwindigkeiten im ausserstädtischen Bereich (ab ca. 80 bis 100 km/h) überlagert das Windgeräusch schliesslich das Reifen-Fahrbahngeräusch. Das Antriebsgeräusch von Verbrennern ist demnach fast nur noch beim Anfahrvorgang relevant.

Ein Elektroantrieb arbeitet wesentlich geräuscharmer als ein konventioneller Antrieb mit Verbrennungsmotor. Lärmmindernd wirken sich elektrische Antriebe vor allem im innerstädtischen Stop-and-Go-Verkehr aus. Vor allem auch das Anfahrgeräusch von grösseren Fahrzeugen wie Bussen oder Kehrrichtlastwagen ist sehr belästigend und kann durch elektrische Antriebe signifikant reduziert werden.

Im Zuge der zunehmenden Elektrifizierung der Mobilität lassen sich die Lärmemissionen vor allem dank eines verminderten Reifen-Fahrbahn-Geräusches weiter reduzieren. Gerade das hohe Drehmoment aus dem Stand führt zu stärkeren, sprich lauteren Gleitvorgängen in der Berührfläche (Latsch) des Reifens. Akustisch optimierte Strassenbeläge tragen etwa auf Autobahnen wesentlich zur Linderung des Strassenverkehrslärms bei und werden vermehrt auch innerorts verwendet.

Bild 8.4: Fahrkomfort

Die Elektrofahrzeuge wurden quasi Opfer ihres eigenen Erfolges, da der praktisch lautlose Antrieb im Langsambereich bis 30 km/h zu gefährlichen Situationen mit dem Langsamverkehr und insbesondere Sehbehinderten führen kann. Um dieses Gefahrenpotenzial zu entschärfen, müssen nach EU-Verordnung Nr. 540/2014 alle neuen Elektro- und Hybridfahrzeuge in der Schweiz ab 2022 mit einem akustischen Warnsystem ausgestattet sein, dem Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS). Letzteres erzeugt ein Warnsignal beim Anfahren des Fahrzeuges bis 20 km/h sowie beim Rückwärtsfahren. Für ältere Modelle gilt jedoch keine Nachrüstungspflicht. Unfallforscher der AXA empfehlen den Besitzern eines lautlosen E-Autos, dieses freiwillig mit einem Geräuschgenerator auszurüsten, damit andere Verkehrsteilnehmer sie hören können.

Quelle: Oliver Krauss. Experimentelle Untersuchungen zum Innengeräusch von Fahrzeugluftreifen, 2018 | Peter Zeller (Hrsg.). Handbuch Fahrzeugakustik: Grundlagen, Auslegung, Berechnung, Versuch. 2012 | Hanspeter Gloor. Linderung für Lärmgeplagte in Umwelt Aargau Nr. 65, 2014.

8.4.2. Handling vereinfacht: «Ein Pedal fahren» und vorausschauendes Fahren

Die Technik des **One-Pedal-Drivings** kommt zunehmend in der Elektromobilität zur Anwendung. Nissan hat es nicht erfunden, aber hat es erstmals konsequent umgesetzt. One-Pedal-Driving bedeutet umgangssprachlich das Fahren mit nur einem Pedal, das mehr Komfort und höhere Effizienz verspricht. Die Fahrgeschwindigkeit wird nur noch über ein E-Pedal gesteuert, mit dem man beschleunigen und bremsen kann. Nimmt der Fahrer den Fuss vom E-Pedal, bremst das Fahrzeug automatisch bis zum Stillstand. Zum Beschleunigen des Autos drückt der Fahrer auf das E-Pedal, das im Grunde genommen ein angepasstes Gaspedal ist. Für den Notfall ist allerdings ein Bremspedal immer noch vorhanden.

Ein Vorteil des One-Pedal-Drivings besteht darin, dass grundsätzlich mit dem E-Pedal gebremst wird. Dies schont die Bremsscheiben und Bremsbeläge, welche deutlich länger halten. Ein zweiter Vorteil besteht in der teilweisen Rekuperation der Bremsenergie, welche Strom und Geld spart. Dabei schaltet der Elektromotor auf Generator-Betrieb um und wandelt den Schwung des Fahrzeugs in Strom um, der später zum Beschleunigen genutzt wird. Elektrofahrzeuge zeichnen sich durch eine effiziente Rückgewinnung der ansonsten als Wärme verpuffenden Bewegungsenergie aus.

Im Zusammenhang mit dem sicheren und energieeffizienten Fahren eines Elektrofahrzeuges fällt oft der Begriff des **vorausschauenden Fahrens**, welches ein zentraler Grundsatz der Verkehrssicherheit im Allgemeinen ist. Ein vorausschauender oder defensiver Fahrer erkennt frühzeitig Gefahren im Strassenverkehr, auf die er angemessen reagieren kann. Er rechnet mit Fehlern von anderen Verkehrsteilnehmern und hält einen entsprechenden Sicherheitsabstand ein.

Vorausschauendes Fahren bedeutet nicht nur sicheres, sondern auch energieeffizientes Fahren. Indem frühzeitig auf gewisse Gefahren reagiert werden kann, wird etwa eine Vollbremsung vermieden. Und mit jedem vermiedenen Tritt auf die Bremse lässt sich Strom sparen. Vorausschauende Techniken wie das Ausrollenlassen vor Kreuzungen, Stopps oder Hindernissen lohnen sich auch beim Elektroauto. Gebremst werden sollte in erster Linie mittels Rekuperation und nicht mit der normalen Bremse. Durch gleichmässiges Bremsen kann etwa 60 % der Bewegungsenergie rekuperiert und in der Batterie abgespeichert werden. Bei sehr starkem Bremsen hingegen wird ein Teil der Energie in Wärme umgewandelt, die verloren geht. Siehe auch Ecodrive.ch.

Quelle: Die Welt. One-Pedal-Driving im E-Auto, 21.03.2018 | Stefan Heimann. Vorausschauend fahren und Sprit sparen. co2online.de

8.4.3. Heizen/kühlen ohne Motor – Auch vor der Abfahrt … überall

Thermomanagement

Unter Thermomanagement wird die Steuerung von Wärmeströmen in Fahrzeugen mittels einer optimalen Abstimmung des HVAC-Systems (Heating, Ventilation, Air Conditioning) verstanden. Ein leistungsfähiges Kälte- und Wärmemanagement ist von grosser Bedeutung für BEV, indem es den Thermohaushalt eines Fahrzeugs ohne grosse Reichweiteneinbusse optimiert unter Berücksichtigung des Innenraumkomforts und der Kühlung und Beheizung aller Komponenten.

Thermische Konditionierung der Elektrofahrzeugkomponenten

Die Traktionsbatterie muss thermisch konditioniert werden, da die wirkungsgradoptimale Betriebstemperatur 20 Grad Celsius betragen soll. Fällt sie unter den Gefrierpunkt, sinkt die Leistungsfähigkeit der Batterie spürbar und mit ihr die Reichweite aufgrund nachlassender chemischer Reaktionen. Temperaturen über 30 Grad Celsius führen zu einer vorzeitigen Alterung. Zu einer irreversiblen Schädigung der Batterie kommt es ab 40 Grad Celsius. Neben der Batterie muss auch die Temperatur des Elektromotors, der Leistungselektronik und der Ladegeräte reguliert werden, damit ein Elektrofahrzeug mit einem besonders hohen Wirkungsgrad betrieben werden kann. Grosse Herausforderung hierbei ist, dass die idealen Temperaturbereiche ebenso zahlreich sind wie die Komponenten.

Innenraumklimatisierung

Das Erzeugen von Heiz- und Kühlleistung für das Fahrzeuginnere und für sicherheitsrelevante Funktionen wie die Beschlagfreihaltung der Scheiben oder die Scheibenenteisung stellt eine weitere Herausforderung bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen dar. Aufgrund des geringen Wirkungsgrades erzeugen Verbrennungsmotoren viel Abwärme, die zum Heizen der Fahrzeugkabine genutzt werden kann. Die energieeffizienten Elektroantriebe hingegen geben nur wenig Verlustwärme an die Umgebung ab und erfordern Zusatzheizungen. Die Heizung und die Klimaanlage können aufgrund ihres hohen Energieverbrauchs die Reichweite eines Fahrzeuges reduzieren. Damit der Fahrer nicht vor die Frage «Frieren resp. schwitzen oder fahren?» gestellt wird, kommen inzwischen energieeffiziente Wärmepumpen zur Anwendung. Sie lassen sich im Sommer auch als Klimaanlage zur Kühlung nutzen. Elektroautos verbringen zudem die Standzeiten oft an Ladestationen. Dort kann das Fahrzeug vor Fahrtbeginn vorgeheizt oder vorgekühlt werden, ohne die Batterie zu belasten. Mittels Smartphone-App lässt sich inzwischen die Heizung oder die Kühlung fernsteuern. Das Heizen oder Kühlen unterwegs verbraucht dann deutlich weniger Strom, was sich positiv auf die Reichweite auswirkt.

Fazit: Thermomanagementsysteme in Elektrofahrzeugen sind in der Regel komplexer als in herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren, da es verschiedene Komponenten mit den unterschiedlichsten Temperaturbedürfnissen zu berücksichtigen gilt. So müssen E-Motor und Leistungselektronik stets gekühlt werden, während die Batterie situationsbedingt entweder gekühlt oder beheizt werden muss. Zudem steht zum Heizen der Kabine keine Abwärme eines Verbrennungsmotors mehr zur Verfügung. Hier werden energieeffiziente Massnahmen wie etwa eine Wärmepumpe eingesetzt.

Quellen: Thermomanagement in Elektro- und Hybridfahrzeugen. hella.com | Malte Westerloh. Analyse des weltweiten Energiebedarfs zum Heizen und Kühlen von Elektrofahrzeugen, 2019

8.5. Sicherheit

Unabhängig von der Antriebsart müssen alle Fahrzeuge die gleichen gesetzlichen Mindeststandards erfüllen, um eine Strassenzulassung zu bekommen. Bei den BEV ergeben sich neue Herausforderungen aus den speziellen Bestandteilen des Elektroantriebs. Insbesondere die Batterien benötigen einen umfangreichen Schutz, um ein Entzünden oder einen Stromschlag zu verhindern.

Elektroautos unterscheiden sich u. a. in folgenden Aspekten von herkömmlichen Autos, die sich auch auf das Unfallgeschehen auswirken können:

– **Schadenhäufigkeit von E-Autos hängt von Fahrzeugklasse ab**
  Die durchschnittliche Schadenfrequenz von Elektrofahrzeugen bewegt sich im Rahmen von Autos mit konventionellem Antrieb. Anders sieht die Schadensbilanz aus, wenn man die Zahlen getrennt nach Fahrzeugklasse betrachtet: Elektro-Kleinwagen verursachen 10 % weniger Schäden als kleine Verbrenner. E-Fahrzeuge der Oberklasse verunfallen häufiger, was gemäss Unfallforschern mit dem Beschleunigungsverhalten dieser E-Fahrzeugklasse zusammenhängt.

– **Fahrzeugspezifische Kenntnisse werden wichtiger**
  Wer eine klassische Fahrausbildung mit einem ICEV absolviert hat, kann problemlos jedes BEV fahren, das neue Anforderungen an die Fahrerinnen und Fahrer stellt.

Damit man ein Elektrofahrzeug sicher beherrscht, sollte man sich Zeit nehmen, um seine speziellen Eigenschaften gerade in Bezug auf das veränderte Beschleunigungs- und Bremsverhalten kennenzulernen. Zu Beginn lohnt sich eine sehr behutsame Beschleunigung. Ein Elektrofahrzeug bremst zudem viel stärker ab, wenn das Gaspedal gelöst wird. Dies setzt die Rekuperation in Gang, wodurch ein Teil der Bewegungsenergie zurückgewonnen wird. Viele E-Autofahrer sehen sich somit gezwungen, ihre Fahrweise aufgrund des Wechsels zu einem Elektroauto anzupassen.

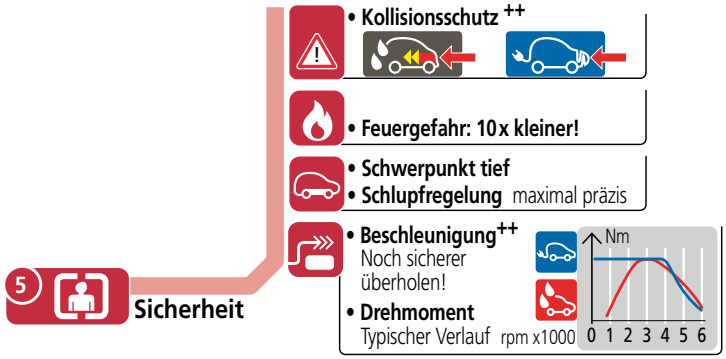
Lautloses Anfahren bedingt mehr Aufmerksamkeit aller Verkehrsteilnehmer

– Als BEV-Fahrerin oder Fahrer muss man sich bewusst sein, dass der kaum hörbare Elektroantrieb für Fussgänger oder andere Verkehrsteilnehmer gefährlich sein kann, die sich auf das Hören eines Motorengeräusches verlassen.
– Der richtige Umgang mit Fahrassistenzsystemen (FAS) muss gelernt sein
– FAS sind keine Spezialität von Elektrofahrzeugen, die in sämtlichen neueren Modellen gleich welcher Antriebsart zu finden sind. Allerdings werden sie von den technikbegeisterten E-Autofahrern häufiger angewendet.

FAS wie der Notbremsassistent und das elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) tragen nachweislich zwar zur Unfallprävention bei. Dies entbindet jedoch den Fahrer nicht von der gesetzlichen Pflicht, sich stets auf den Verkehr zu konzentrieren, denn alle heute verfügbaren Assistenzsysteme müssen ständig überwacht werden. Das blinde Vertrauen in die Technik (Over-Reliance) führt hin und wieder zu Unfällen.

Quelle: Anna Ehrensperger. E-Crash – Verkehr unter Strom. axa.ch, 22.08.2019 | ADAC. Wie sicher sind Elektroautos bei Brand, Unfall oder Panne?, 08.05.2020

Bild 8.5: Sicherheit



8.5.1. Kollisionsschutz

Bei den E-Crashtests des Prüfinstituts Euro NCAP ist bisher noch kein Elektrofahrzeug negativ aufgefallen. Aufgrund der optimierten Crasharchitektur weisen die BEV eine oft bessere Sicherheitsperformance als ICEV auf. Unfälle mit einem Elektroauto sind grundsätzlich nicht gefährlicher für die Fahrzeuginsassen als solche, in die ein Verbrennerfahrzeug verwickelt ist. Beide Antriebsarten müssen die gleichen Sicherheitsmindeststandards wie Airbags und steife Fahrgastzelle erfüllen und sie durchlaufen dieselben Sicherheitsprüfungen wie den Euro-NCAP-Crashtest.

Da von einer Beschädigung der Batterie die grösste Gefahr ausgeht, betreiben die Hersteller einen grossen technischen Aufwand, um die Batteriepacks im Unterboden der Fahrzeuge vor Deformation zu schützen. Ausserdem müssen die elektrischen Komponenten «eigensicher» ausgelegt sein. Dies bedeutet, dass sich die Hochvoltanlage bei einer heftigen Kollision automatisch abschaltet, indem die Batterie von den anderen Hochvoltkomponenten und den Hochvoltkabeln getrennt wird. Informationen über das elektrische Antriebssystem gehören zu den Schlüsselinformationen für Rettungsorganisationen und sollten in der Rettungskarte (z.B. via QR-Code) aufgeführt sein, welche fahrerseitig unter der Sonnenblende platziert werden kann.

8.5.2. Feuergefahr: 10x kleiner

Während bei den Verbrennungsmotoren vor allem austretende Treibstoffe eine Brandgefahr darstellen, kann es beim E-Mobil zur Selbstentzündung der Lithium-Ionen-Batterie bei einem Unfall kommen. Sehr selten ist hingegen eine Selbstentzündung der Batterie ohne externe Einwirkung, zu der es während der Fahrt, im Stand oder beim Laden aufgrund eines technischen Defektes kommt. Selbst das Laden eines Elektrofahrzeuges in einer Tiefgarage ist bezüglich Brandgefahr unbedenklich, dies bedingt natürlich eine Installation der Ladeinfrastruktur durch eine Fachperson.

Kritisch kann eine Deformation der Batterie werden, denn diese kann einen Thermal Runaway verursachen, d. h., die Batterie beginnt zu brennen. Ein Batteriebrand kann direkt am Unfallort ausbrechen oder auch verzögert in den Tagen nach dem Ereignis. Bis jetzt gibt es noch keine gesetzlichen Bestimmungen, welche den Transport und die Lagerung eines E-Unfallfahrzeugs regeln würden.

Tipp: Nicht in der Nähe von Gebäuden oder anderen Fahrzeugen abstellen.

Dass eine brennende Lithium-Ionen-Batterie gar nicht gelöscht werden kann, stimmt so nicht. Mit enormem Wassereinsatz (Fluten) lässt sich der Brandherd so weit kühlen, dass die Weitergabe des Feuers von Batteriezelle zu Batteriezelle eventuell unterbrochen werden kann. Angesichts der gut gekapselten Batterien ist es in der Praxis sehr schwierig, Wasser nah genug an die Zelle heranzubringen, um möglichst schnell genügend Kühlwirkung zu erzielen. BEV brennen weniger häufig als andere Fahrzeuge.

Quelle: Martin Schatzmann. Wenn ein Elektroauto brennt. NZZ, 18.04.2018

8.5.3. Schwerpunkt tief – Schlupfregelung maximal präzis

Die Batterien, welche den Elektromotor mit Strom versorgen, sind schwer und werden im Boden des Fahrzeuges eingebaut. Dadurch

liegt der Schwerpunkt des Autos sehr tief resp. nahe an der Strasse und es wirken weniger Fliehkräfte. Dies führt zu einer guten Strassenlage der BEV, die sich vor allem bei hohen Geschwindigkeiten und in Kurven bemerkbar machen.

Die Antriebsschlupfregelung (ASR) oder Traktionskontrolle sorgt als Fahrerassistenzsystem dafür, dass die Räder beim Beschleunigen nicht durchdrehen, wenn die Fahrbahn nass oder eisig ist. Es basiert auf den Raddrehzahlen gemäss Sensoren des Antiblockiersystems (ABS), welche erkennen ob ein Antriebsrad noch Grip hat oder durchdreht. Tritt Schlupf auf, drosselt das ASR die Motorleistung, bis die Räder wieder maximale Kraft übertragen. Die Traktionskontrolle gewährleistet Fahrstabilität beim Anfahren, wo die träge Fahrzeugmasse in Bewegung gesetzt wird, bei Kurvenfahrten und allgemein in kritischen Fahrsituationen. Da der Elektromotor viel schneller auf Signale des ASR mittels Leistungsanpassung reagiert als der Verbrennermotor, nutzen sich die Reifen eines modernen BEV wesentlich langsamer ab als beim ICEV.

8.5.4. Beschleunigung (noch sicherer überholen) – Drehmoment (typischer Verlauf)

Die Grafik zeigt es deutlich: Elektrofahrzeuge erreichen das maximale Drehmoment beim Beschleunigen aus dem Stand, denn sie benötigen dafür nur eine kleine Drehzahl. Da der Grossteil nur einen Gang hat, können sie zudem ohne Schaltunterbrechung beschleunigen. Die BEV können sehr schnell und immer gleich stark beschleunigen, unabhängig von der Drehzahl. Deshalb sind auch ihre Überholmanöver tendenziell sicherer. PS-starke ICEV Fahrzeuge sind bezüglich Drehmoment im Nachteil.

9. Elektrizität / Versorgung

Quellen: Stellungnahme des Bundesrates, 16.05.2018. Interpellation 18.3329 Doris Fiala. Spannungsfeld Elektromobilität und Energiestrategie 2050 | Urs W. Muntwyler. Elektromobile machen das Autofahren günstiger. NZZ, 03.09.2020 | sccer mobility. Auf dem Weg zu einem energieeffizienten und klimafreundlichen Schweizer Mobilitätssystem. White Paper, 2017 | BFE. Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2018 nach Verwendungszwecken, 2019 | BFE. Programmstrategie EnergieSchweiz 2021 bis 2030, 16.12.2019 | Helmut Stalder. Warum neue Atomkraftwerke in der Schweiz als Lösung für die Klimafrage ungeeignet wären. NZZ, 23.06.2019 | Jürg Rohrer. Ausbau der Stromproduktion aus Photovoltaik in der Schweiz. Bedarf, Potential und Umsetzung, Juli 2020

9.1. Energiebedarf e-mobile CH

Alle Zukunftsszenarien gehen von einer zunehmenden Marktdurchdringung durch Elektrofahrzeuge aus, was sich in einem steigenden Strombedarf niederschlägt (siehe Grafik). Das BFE etwa geht in seinen Energieperspektiven davon aus, dass zwischen 2029 und 2033 jedes zehnte Fahrzeug in der Schweiz ein BEV oder ein PHEV sein wird. Für das Jahr 2050 rechnet McKinsey etwa mit einem E-Pkw Anteil von 40 %.

Momentan verbraucht die Elektromobilität hierzulande schätzungsweise 140 GWh pro Jahr, was 0.2 % des Gesamtstromverbrauchs entspricht. Bis 2025 wird sich der Energiebedarf um den Faktor 6–7 erhöhen, 10 Jahre später werden voraussichtlich bereits 3.5 TWh Strom nachgefragt. Je nach Szenario beträgt der längerfristige Strombedarf für die Elektromobilität im Jahr 2050 bis zu 6.3 TWh.

Falls gemäss BFE-Prognose 10 % aller Fahrzeuge auf Batterieantrieb umstellen würden,

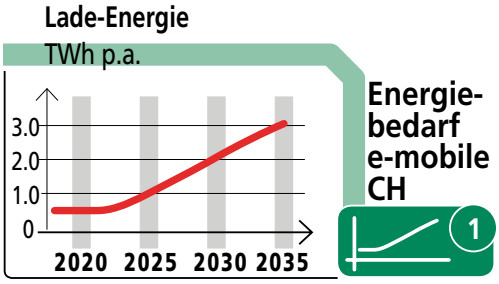


Bild 9.1: Energiebedarf e-mobile Schweiz

würden sie 1–2 % der momentanen Schweizer Stromproduktion benötigen. Gleichzeitig würden 360 Mio. l fossile Treibstoffe und 830 000 Tonnen CO_2 eingespart. Wären sämtliche momentan in der Schweiz registrierten 4.7 Mio. Autos Elektrofahrzeuge, entspräche die dafür erforderliche Elektrizität einem Fünftel des aktuellen Gesamtstromverbrauches. Gleichzeitig würde der Gesamtenergieverbrauch stark abnehmen und 3 Mio. t Diesel und Sprit eingespart werden, da BEV verglichen mit ICEV nur einen Drittel der Energie zum Fahren benötigen. Nur schon der Well-to-Tank-Energieverbrauch, der nötig ist, um die fossilen Treibstoffe zu den Schweizer Tankstellen zu transportieren, ist sehr hoch – schliesslich stammt unser Erdöl aus Kasachstan, Nigeria und Libyen. Gemäss dem Physiker Axel Krause würden die tieferen Ölimporte in 10 Jahren die Investitionen von CHF 20 Mia. amortisieren, die nötig wären, um den ganzen Strommehrbedarf der Elektromobilität mit Photovoltaikanlagen auf Gebäuden zu decken. Zudem würde so ein grosser Teil des für Erdöl eingesparten Geldes in die heimische Wirtschaft fliessen, um die Solaranlagen zu installieren.

9.2. Energiestrategie 2050 / MUKEN

Für die Klimapolitik der Schweiz auf internationaler und nationaler Ebene sind die Emissionsziele des Kyoto-Protokolls von 1997, des CO_2-Gesetzes (seit 2000) und des Pariser Übereinkommens von 2015 sowie die Energie-

strategie 2050 von zentraler Bedeutung. Das Kyoto-Protokoll von 1997 sieht vor, dass die Schweiz ihre Treibhausgasemissionen bis 2030 gegenüber 1990 halbieren muss. Das totalrevidierte CO_2-Gesetz soll diesen Wandel auch in der Schweiz beschleunigen. Es wurde im September 2020 vom Schweizer Parlament angenommen, und es wird im Jahre 2021 darüber abgestimmt. Die Gesetzesrevision sieht Massnahmen zur Senkung des CO_2-Ausstosses vor wie eine Flugticketabgabe, Abgaben auf Benzin und Heizöl und einen Klimafonds, der den Einwohnern der Schweiz wieder zurückerstattet wird. Dies zeigt, die Abkehr von Öl, Gas und Kohle respektive das Ende des fossilen Zeitalters hat auch in der Schweiz begonnen. Das CO_2 ist gemäss neusten Forschungsergebnissen ein Schritt in die richtige Richtung, denn eine auf Lenkungsmassnahmen basierte Politik gegenüber Subventionen sei deutlich kostengünstiger.

Gemäss neuem CO_2-Gesetz sollen die CO_2-Zielwerte für den Durchschnitt neuer Fahrzeuge weiter verschärft werden, analog zur EU. Die Vorgaben gelten neu nicht nur für Autos, Lieferwagen und leichte Sattelschlepper, sondern auch für schwere Lastwagen. Importeure müssen eine CO_2-Lenkungsabgabe zahlen, wenn ihre Neuwagenflotte über den Zielvorgaben liegt. Künftig müssen Hersteller und Importeure fossiler Treibstoffe mehr CO_2-Ausstoss kompensieren – und einen grösseren Anteil im Inland. Somit dürfte sich der Liter Benzin und Diesel um bis zu 12 Rappen verteuern ab 2025.

Ziel ist eine Mobilität, die in Einklang steht mit den Klimaabkommen von Kyoto und Paris, die durch die Schweizer Energiestrategie 2050 umgesetzt werden. Um das vereinbarte CO_2-Budget für die Einhaltung des 2-Grad-Ziels der Schweiz einhalten zu können (Erderwärmung <+2 °C), müssten nach Berechnungen des SCCER Mobility die jährlichen CO_2-Emissionen des motorisierten Individualverkehrs (MIV) bis 2050 um 80 % gesenkt werden. Ab 2060 dürfte der MIV kein CO_2 mehr ausstossen. Gemäss Urs W. Muntwyler, Professor für Photovoltaik an der Berner Fachhochschule BFH, sei die Energiestrategie 2050 ein erster Schritt zur Dekarbonisierung der Energiewirtschaft in der Schweiz. Diese sei möglich bis 2050, bedinge jedoch unter anderem den Ersatz der fossil angetriebenen Fahrzeuge durch Elektrofahrzeuge sowie eine Eindämmung der Nachfrage und eine Erhöhung der Antriebs- und Fahrzeugeffizienz dank technologischem Fortschritt.

Aufgrund der neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse des Weltklimarates hat der Bundesrat im August 2019 entschieden, dieses Ziel zu verschärfen: Ab dem Jahr 2050 soll die Schweiz unter dem Strich keine Treibhausgasemissionen mehr ausstossen. Die fortschreitende Elektrifizierung, die Substitution von fossilen Treib- und Brennstoffen im Verkehr und in der Wärmeproduktion bewirken eine Dekarbonisierung des Energieverbrauchs.

MuKEn 2014 (Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich)

Ziel der MuKEn ist die Harmonisierung der 26 kantonalen Gesetzgebungen im Gebäudebereich. Mit den aktuellen Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEn 2014) wird eine deutliche Senkung des Anteils fossiler Heizungen, der immer noch bei 60 % liegt, angestrebt. Dabei ist zu bedenken, dass die Raumwärme die zweitgrösste Endenergieverbrauchsgruppe nach der Mobilität ist. 2019 wurden 29.8 % des Schweizer Energieverbrauchs zum Heizen und Klimatisieren (mit

Warmwasseraufbereitung 40 %) aufgewendet, 37.7 % für die Mobilität. Verbindlich werden die MuKEn 2014 aber erst, wenn die Kantone ihre Energiegesetze entsprechend angepasst haben. Allerdings ist dies erst in einem Drittel der Kantone der Fall und der angestrebte Termin vom 1. Januar 2020 konnte nicht eingehalten werden. Die aktuellen MuKEn sind politisch umstritten, vor allem aufgrund der Pflicht zur Installation von Solaranlagen bei Neubauten und zu Heizungssanierungen. Weitere Module wurden in über 80 % der Kantone bereits eingeführt.

Neubauten müssen nach Art. 1.27 (Basismodul Teil E, MuKEn 2014) folgende Mindestanforderung bezüglich Eigenstromerzeugung erfüllen: Die im, auf oder am Gebäude installierte Elektrizitätserzeugungsanlage bei Neubauten muss mindestens 10 W pro m^2 EBF betragen, wobei nie 30 kW oder mehr verlangt werden.

Die Energiebezugsfläche EBF ist die Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen, die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für die ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist.

Ob der Strom mit einer Photovoltaikanlage, einer Wärme-Kraftkoppelung (WKK) oder einer anderen Technik erzeugt wird, kann der Gebäudeeigentümer grundsätzlich selbst entscheiden, d. h., es gibt diesbezüglich keine Technologieeinschränkung.

9.2.1. Bedarf 2020 … 2035

Der Schweizer Mobilitätssektor ist mit einem Anteil von 37.7 % am gesamten Endenergiebedarf der grösste Energieverbraucher in unserem Land. Innerhalb des Mobilitätssektors gehen 70 % des Energiebedarfs auf das Konto des motorisierten Individualverkehrs, während 16 % der Energie für den Strassengüterverkehr aufgewendet wird.

Skeptiker glauben, in der Schweiz gingen quasi die Lichter aus, sobald alle Autos mit Strom fahren. Der Strombedarf, den die Elektromobilität verursache, sei zu hoch, zumal die drei verbleibenden Atomkraftwerke aller Wahrscheinlichkeit nach nicht ersetzt werden und sich so eine KKW-Lücke in der Stromerzeugung abzeichne. Faktisch belasten die Elektrofahrzeuge das Stromnetz in einem viel geringeren Ausmass, als mancher denken mag. Experten setzen grosse Hoffnungen in die technische Weiterentwicklung der Elektroantriebe und insbesondere der Batterie, der dafür sorgen dürfte, dass der Stromverbrauch in Elektroautos weiter sinkt und die Energierückgewinnung durch Rekuperation besser ausfällt. Wenn alle Autos elektrisch fahren, können wir auf einen Grossteil der bisherigen Infrastruktur für fossile Kraftstoffe verzichten. Der Stromverbrauch der meisten Raffinerien – hierzulande gibt es nur die Raffinerie Cressier, welche noch in Betrieb ist – und aktuell 3 362 Tankstellen in der Schweiz entfällt.

Das Ziel der Schweizer Energiepolitik ist es, mit einem Massnahmenmix regulatorischer, finanzieller und freiwilliger Art die Energieeffizienz und den Anteil erneuerbarer Energien zu erhöhen und so den Verfassungsauftrag im Energie- und Klimabereich, die Energiestrategie 2050 und das Energiegesetz EnG SR 730.0 umzusetzen. Die Grafik zeigt es deutlich: Nur schon der Ersatz der reinen Elektroboiler durch die viel effizienteren Wärmepumpenboiler, welche die Heizenergie aus der Umwelt beziehen, würde den allfälligen Mehrbedarf an Strom durch die Elektromobilität mehr als wettmachen. Das damit erreichte Einsparungspotenzial könnte bis zu 3.5 TWh p. a. aus-

machen und darin ist der Stromminderbedarf dank weiterer Effizienzmassnahmen in den Unternehmen, Gebäuden sowie im öffentlichen Sektor von bis zu 9 TWh p. a. noch gar nicht miteingerechnet. Auch im Bereich der Mobilität könnte die dafür aufgewendete Energie effizienter genutzt werden, und dies nicht nur durch den Ersatz von ICEV durch BEV, sondern in einer verstärkten Verlagerung vom MIV zum ÖV, dessen energetischer Wirkungsgrad höher ist.

Etwas skeptischer beurteilt die sccer mobility-Studie die steigende Nachfrage nach Strom für individuelle Mobilitätszwecke. Sie kommt zum Schluss, dass der zusätzliche Strombedarf einer reinen BEV-Flotte erheblich sei und ihre Gesamtemissionen stark vom CO_2-Fussabdruck des verwendeten Stroms abhängen würden. Die Verfasser der Studie betonen, dass der Verkehr als einziger Sektor in der Schweiz während den letzten dreissig Jahren anteilmässig immer mehr Energie verbrauchte. Dieser Trend habe sich erst in den letzten Jahren abgeflacht. Sccer mobility geht mit den aktuellen Prognosen des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE) einig, die weiterhin von einer steigenden Nachfrage nach Fahrzeugkilometern in der Schweiz ausgehen. Die Bandbreite der Schätzungen ist allerdings gross und bewegt sich zwischen 0 und 40 % Zuwachs.

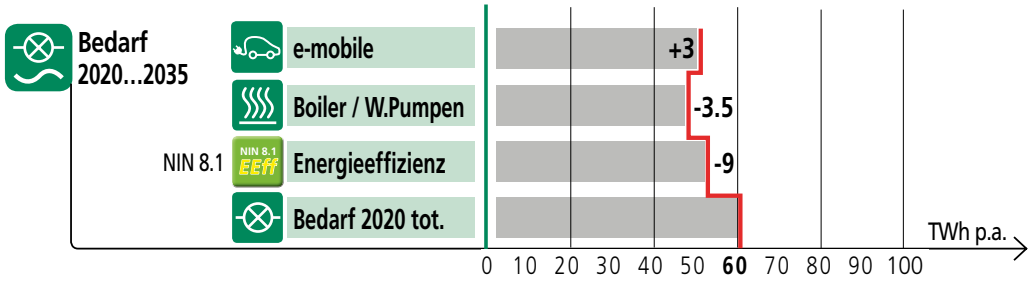
9.2.2. Erzeugung 2020 … 2035

Elektrisch betriebene Fahrzeuge sind ein Schlüssel zur Dekarbonisierung der Energieversorgung, indem sie dazu beitragen, dass die Verbrennung fossiler Treibstoffe reduziert und der CO_2-Ausstoss vermindert wird. Allerdings brauchen auch Elektrofahrzeuge Energie für den Antrieb. Von welchen Energieträgern der Strom für ihr Auto stammen soll, können die Besitzer jedoch durch den Kauf des Stromprodukts Stichwort Strommix selbst wählen.

Der für die Elektromobilität benötigte Strom kann längerfristig primär durch Effizienzsteigerungen in anderen Sektoren und durch den Zubau neuer erneuerbarer Energien sowie technische Innovationen auf diesem Gebiet sichergestellt werden. In der Schweiz setzt man grosse Hoffnungen in den PV-Ausbau, welcher die KKW-Lücke mehr als ausfüllen wird (siehe Grafik). Eine 20 m² grosse Photovoltaikanlage etwa kann Solarstrom für eine Reichweite von bis zu 18 000 km p. a. produzieren.

Die Anzahl Sonnenstunden ist immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet und Produktion und Verbrauch des Solarstromes sind selten zeitlich kongruent. Dank dem Vehicle-to-Grid-Prinzip (V2G) können Elektrofahrzeuge Teil der Lösung sein, indem ihre Batte-

Bild 9.2: Energiebedarf



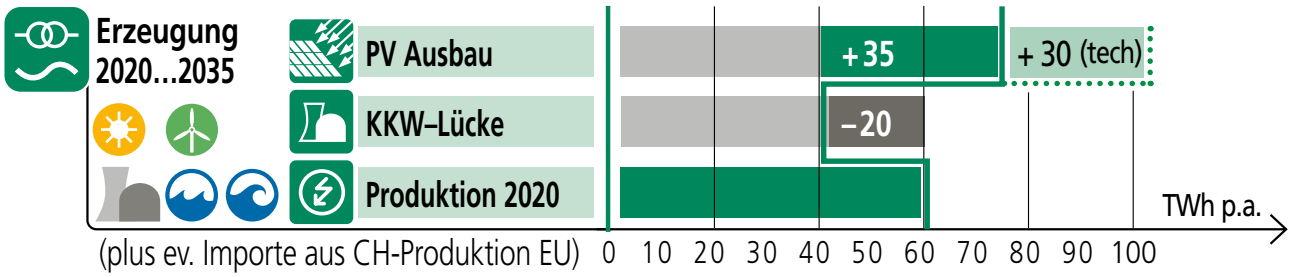


Bild 9.3: Prognose Energieerzeugung

rien den Strom speichern resp. ins Netz zurückspeisen und so das Netz regeln helfen. Ebenso können sie im Sinne eines Vehicle-to-Home (V2H) die lokale Produktion von erneuerbarer Energie steuern. Dafür ist das Elektroauto sehr geeignet. Ein Pkw steht im Durchschnitt während 90 % des Tages. Ist er an eine Ladesäule oder Steckdose angeschlossen, kann während des Tages Überschussenergie aus einer PV-Anlage in die Batterie fliessen, die später wieder ans Stromnetz abgegeben wird. «Künftig werden E-Autos Teil des Ökosystems von Mobilitäts- und Energiedienstleistungen sein. Sie können mit den Solarzellen auf dem Hausdach geladen werden und die Batterien werden als intelligenter Puffer für das Energienetz eingesetzt. » (Prof. Dr. Stefan Bratzel, Direktor des Center of Automotive Management (CAM) in Bergisch Gladbach).

Je mehr Elektrofahrzeuge auch als Stromspeicher dienen und bidirektional arbeiten, desto besser funktioniert die Verknüpfung der Mobilität mit den Elektrizitätswerken, welche nun auch Energie für die individuelle Mobilität liefern. Sie können diese Geschäftsmodelle gewinnbringend verknüpfen, um die neuen erneuerbaren Energien noch besser ins Netz zu integrieren. Das verbessert die Netzintegration und die Wirtschaftlichkeit der E-Mobilität weiter. Die Bidirektionalität beim Laden ist jedoch noch kaum verbreitet, d. h. das Entwicklungspotenzial in dieser Hinsicht ist gross.

Wächst die Elektromobilität, so nimmt auch die Belastung der Verteilnetze zu, aufgrund des steigenden Stromverbrauchs und höherer Lastspitzen. Grundsätzlich geht man davon aus, dass die Netze kurz- und mittelfristig die zusätzliche Nachfrage decken können. Ein gezielter Netzausbau, intelligente Ladesteuerungen und Smart Grids sind allenfalls notwendig, um mögliche Netzengpässe durch Nachfragespitzen zu beseitigen. Mittels intelligenter Steuerung kann die Elektromobilität Lastspitzen glätten und die Flexibilität im System verbessern (siehe auch 10.1). Dank der gesetzlichen Förderung intelligenter Lösungen (Smart-Meter-, Regel- und Steuersysteme) durch die Energiestrategie 2050 kann die Netzbelastung so gesteuert werden, dass ein teurerer, konventioneller Netzausbau vermieden werden kann. Der wichtigste Punkt ist aber, dass die Entwicklung zu mehr Elektrofahrzeugen auf Schweizer Strassen natürlich nicht über Nacht kommen wird. Das Erzeugen der dafür benötigen elektrischen Energie und deren Verteilung über das Netz können also nach und nach an die neue Nachfrage angepasst werden.

KKW-Lücke

Mit dem altersbedingten Auslaufen der Schweizer AKW werden ca. 25 TWh in den nächsten zwanzig Jahren wegfallen, was 40 % der Produktionskapazität entspricht. Vor allem im Winter stammt ein substanzieller Teil des Stromes aus nuklearen Quellen.

In der Schweizer Klimadebatte erklingt verstärkt der Ruf nach Aufhebung des Neubauverbots von neuen Atomkraftwerken als Mittel zur Dekarbonisierung der Energieversorgung und zur Behebung von Strommangellagen im Winter. Um in der Schweiz ein neues AKW zu bauen, müsste das im Rahmen der Energiestrategie beschlossene und vom Volk im Mai 2017 angenommene Neubauverbot aufgehoben werden. Zudem haben die AKW-Betreiber die Gesuche für neue AKW 2016 zurückgezogen und scheinen aus finanziellen und realpolitischen Gründen nicht gewillt zu sein, auf diesen Entscheid zurückzukommen.

Gemäss BFE sei die Stromversorgung bis 2035 gesichert, unter der Voraussetzung aber, dass die Integration in den europäischen Strommarkt dank dem Stromabkommen gelinge, die Energieeffizienz gesteigert werde und der Anteil an erneuerbaren Energien wachse. Das Stromabkommen würde der Schweiz einen gleichberechtigten Zugang zum Strombinnenmarkt, d. h. zum Handel mit Strom und Leitungskapazitäten ermöglichen. Dank einer solchen Marktliberalisierung könnten die Stromproduktion und die Stromnachfrage besser koordiniert werden. Allerdings muss zuerst das Rahmenabkommen zwischen der Schweiz und der EU unterzeichnet werden, bevor das Stromabkommen auf den Verhandlungstisch kommt.

PV-Ausbau

75 % der Schweizer Treibhausgasemissionen sind gemäss BFE energiebedingt und stammen hauptsächlich aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern. Die Schweiz kann somit ihre Klimaziele nur erreichen dank einer möglichst fossilfreien (dekarbonisierten) Energieversorgung. Der dadurch wachsende Strombedarf sollte durch eine Erhöhung der inländischen Stromproduktion und nicht durch mehr Stromimporte gedeckt werden, da auch die Nachbarländer eine Dekarbonisierung ihrer Energieversorgung anstreben. Photovoltaikanlagen besitzen nach Ansicht der Energieforschung das mit Abstand grösste Potenzial zur Strom-Mehrproduktion und zu einem möglichst hohen Selbstversorgungsgrad der Schweiz mit inländischem Strom. Die Schweiz hat allerdings ihre ursprüngliche Spitzenposition in Bezug auf die Solarenergie eingebüsst. Inzwischen sind Solarpanels mit einer Leistung von fast 4.6 GW verbaut, was Ein % des Strombedarfes der Schweiz entspricht. In Deutschland stammt das Doppelte, nämlich 8 % aus Photovoltaikanlagen.

Das BFE beziffert das brachliegende Solarstrompotenzial von Schweizer Gebäuden auf 67 TWh p. a. (Dächer: 50 TWh, Fassaden: 17 TWh), was 110 Prozent des Stromverbrauchs der Schweiz entspricht. Ein zusätzliches Potenzial von 15 TWh p. a. sieht Swissolar ausserhalb von Gebäuden (Parkplatz-, Lagerflächen- oder Kläranlagenüberdachungen, Strassenflächen, Autobahnböschungen etc.). Gemäss BFE eignen sich dafür vor allem Bereiche, wo es zu keinen Flächenkonflikten kommt. Eher problematisch sei der Bau von Solar-Freiflächenanlagen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen in der Schweiz aufgrund der dichten Besiedelung. Nach diesen Berechnungen könnte die Schweiz bis zu 82 TWh p. a. Solarstrom produzierten. Photovoltaik kann somit den grössten Teil des Stroms liefern, um die Energiewende Realität werden zu lassen, sprich, die Atomkraft zu ersetzen. Um dieses Ziel erreichen zu können, müsste der Zubau von PVA um den Faktor 4 beschleunigt werden. Dies bedingt einen erheblichen Zusatzef-

fort der verschiedenen Energieakteure in der Schweiz. Denkbar sind zusätzliche regulatorische Massnahmen seitens der Politik, wie zum Beispiel eine Solarpflicht für bestehende Gebäude oder Vorgaben an die Kantone für die Produktion von erneuerbaren Energien. Eine Mehrproduktion von Solarstrom ist auch möglich dank Innovationen in der Photovoltaiktechnik (höherer Wirkungsgrad und längere Lebensdauer der Solarzellen, verbesserte Stromspeicherung). Eine Besteuerung des CO_2-Ausstosses könnte auch zu mehr finanziellen Mitteln in der Forschung und Entwicklung von leistungskräftigeren PVA führen.

Stromproduktion 2020 … 2035 (60TWh p. a.)

Die in der Grafik aufgeführten Symbole zeigen den aktuellen Strommix der Schweiz aus erneuerbaren und nichterneuerbaren Quellen, der auch im Falle eines kompletten Ausstieges aus der Atomkraft resp. eines Ausbaus der Photovoltaik auf die flexibel einsetzbaren Wasserkraftwerke angewiesen wäre.

10. Laden

Da unser Stromnetz mit Wechselstrom (AC) funktioniert, die Fahrzeugbatterien nur mit Gleichstrom (DC) geladen werden können, braucht es immer eine Umwandlung von AC zu DC. Es gibt zwei Möglichkeiten, um das Elektrofahrzeug mit elektrischer Energie aus dem Wechselstromnetz zu versorgen:

1. AC-Laden (On-Board-Ladegerät)
Beim Laden mit Wechselstrom wird die elektrische Energie in einem ersten Schritt aus dem Stromnetz in das Fahrzeug übertragen, indem eine, zwei oder drei Phasen verwendet werden. Die Umwandlung von AC zu DC findet in einem zweiten Schritt im Fahrzeug selbst statt. Das im Fahrzeug eingebaute Ladegerät, welches in der Regel über eine Stromversorgungseinrichtung (z. B. AC-Ladestation oder Wallbox) mit dem Wechselstromnetz verbunden ist, übernimmt die Gleichrichtung. Die Energieübertragung zwischen dem Wechselstromnetz und dem Batteriefahrzeug erfolgt kabelgebunden (konduktiv). Die Ladeelektronik (Battery Management System, BMS) steuert und überwacht den Ladevorgang in Abhängigkeit von Temperatur, Ladezustand und Spannung der Batterien.

Theoretisch ist das AC-Laden auf maximal 43 kW begrenzt. In der Praxis bewährt sich eine Limitierung des AC-Ladevorganges auf 11 kW, damit die AC-DC-Wandler nicht zu schwer und zu teuer ausfallen. Der Vorteil der AC-Ladestationen sind ihre im Vergleich zu den DC-Ladestationen geringen Kosten. AC-Ladestationen eignen sich in erster Linie für das Home und Work Charging, sie sind jedoch auch in öffentlich zugänglichen POI-Orten anzutreffen.

2. DC-Laden (Off-Board-Ladegerät)
In der DC-Ladestation erfolgt die AC-DC Umwandlung bereits in der Station selbst, in die das Ladegerät integriert ist. DC-Ladungen benötigen dementsprechend keinen Wandler im Auto, sondern ein Ladekabel, welches das Fahrzeug mit der Ladestation verbindet. Eine spezielle Kommunikationsschnittstelle zwischen Auto und Ladestation steuert den Ladevorgang. Im Vergleich zum AC-Laden lassen sich damit höhere Ladeleistungen von derzeit bis zu 150 kW generieren. Ein Teil der DC-Ladestationen kann bis zu 350 kW liefern. DC-Ladestationen sind jedoch vergleichsweise teuer in der Anschaffung, zudem fallen höhere Initialkosten für den Anschluss an das Stromnetz und höhere Betriebskosten etwa für die Kühlung der Ladestation an. Damit eine DC-Ladeinfrastruktur rentabel betrieben werden kann, wird sie auch in Zukunft hauptsächlich an öffentlichen, gut frequentierten Orten anzutreffen sein.

Es ist damit zu rechnen, dass in Zukunft immer mehr BEV sowohl AC- wie auch DC-Ladungen aufnehmen können.

Konduktives/Induktives Laden/ Batteriewechsel
Das leitungsgebundene (konduktive) Laden ist momentan die Norm in der Elektromobilität.

Möglich ist auch ein induktiver (kabelloser) Ladevorgang analog zum Energietransfer bei elektrischen Zahnbürsten, Kochfeldern oder Smartphones. Induktives Laden nutzt das Prinzip der elektromagnetischen Induktion zur berührungslosen Übertragung elektrischer Energie von der Ladeinfrastruktur in das Elektrofahrzeug. Das induktive Laden von BEV ist allerdings noch in der Entwicklung und weist ge-

genüber einer direkten Kabelverbindung Nachteile auf, indem die Ladeverluste grösser und die geladene Leistung bescheidener ausfallen. Die Ladeinfrastruktur besteht aus einem Netzanschluss, einer Ladeeinrichtung mit einem Wechselrichter und einer stationären Ladeplatte mit einer Primärspule, über die ein magnetisches Wechselfeld aufgebaut wird. Im Elektrofahrzeug befinden sich eine Sekundärspule (Pick-up) und ein Gleichrichter . In der Sekundärspule wird durch das Wechselfeld eine elektrische Spannung induziert, welche der Gleichrichter in den für das Laden der Hochvoltbatterie des Fahrzeugs benötigten Gleichstrom umwandelt.

Der Vollständigkeit halber sei hier noch der Batteriewechsel erwähnt, wo die entladene Batterie aus dem Fahrzeug entfernt und durch eine geladene Batterie ersetzt wird. Diese Möglichkeit der Energieversorgung von Batteriefahrzeugen ist allerdings bisher nur eine Randerscheinung.

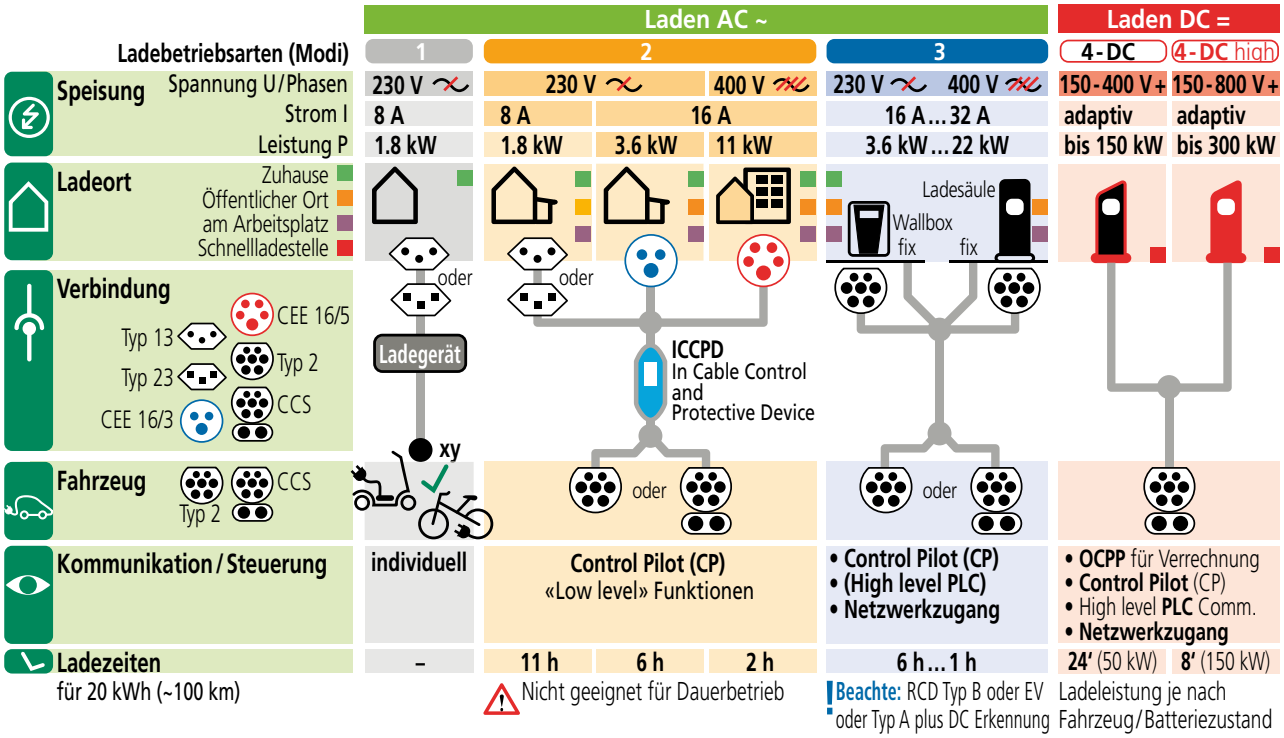
10.1. Anschluss

Ganz allgemein kann gesagt werden, dass «eine Steckdose» zum Laden von Elektrofahrzeugen grundsätzlich überall vorhanden ist. Die vier gängigen Ladebetriebsarten (Modi) werden in der Broschüre «Anschluss finden» ausführlich beschrieben. In den USA und anderen Ländern werden die Begriffe Level 1 bis 3 anstatt Mode 1 bis 4 verwendet. Der Stand der Technik einer Ladeinstallation ist in der NIN Teil 7.22 «Stromversorgung von Elektrofahrzeugen» erläutert. Der Einbau wird im ET 03/2016-Artikel von Thomas Hausherr «Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD) nachrüsten» mit Empfehlungen und Beschrieb der Pflichten bei Altbauten besprochen (S. 56–60).

Die Tabelle veranschaulicht die Zusammenhänge zwischen Anschluss- und Ladetechnologie, potenzieller Ladeleistung sowie Ladedauer. Je nach Batteriekapazität variieren die Ladezeiten sehr stark. Durchschnittlich beträgt die Ladedauer zwischen 6 bis 8 Stunden vom «leeren» Zustand bis zur vollständigen Ladung. Generell ist eine komplette Ladung des BEV eine Ausnahme: In den meisten Fällen wird nur die Energie geladen, die für die tägliche Durchschnittsstrecke benötigt wird. Bei durchschnittlichen Fahrleistungen von ca. 40 km pro Tag dürften deshalb Ladezeiten zwischen 3 und 4 Stunden täglich bei einphasigem Laden ausreichen. Gerade bei Elektrofahrzeugen mit grösseren Batteriekapazitäten oder schnellladefähigen Batterien reduziert sich die Ladedauer deutlich durch dreiphasiges AC-Laden oder DC-Laden mit einer grösseren Leistung.
Die verschiedenen Arten der Aufladung von Elektrofahrzeugen (Lademodi) unterscheiden sich hinsichtlich Stromquelle, maximaler Ladeleistung und Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Fahrzeug und Ladestation. Die EN 61851-1 (Kap. 7.22.2.4 NIN) unterscheidet zwischen vier Ladebetriebsarten:

Mode 1 (Wechselstrom)

- Anschluss des Elektrofahrzeugs unter Verwendung genormter (freizügiger) 1-Phasen- oder 3-Phasen-Steckdosen auf der Netzseite.
- Ladestrom: ≤ 16 A (CEE Industiesteckdose)/ ≤ 8 A (Typ 13 Haushaltssteckdose)
- Spannung: 1-phasig ≤ 250 V / 3-phasig ≤ 480 V
- Das Ladegerät für diese Ladebetriebsart befindet sich im Fahrzeug (On-Board-Ladegerät).



Redaktion: Peter Bryner / Christian Frei / Beat Keller / Hansruedi Würsch | Version 01d_011122
Realisation: ergocom® Michael Kuhn | © Electrosuisse 11_2022

Bild 10.1: Merkmale e-mobile Ladebetriebsarten (Modi)

Mode 2 (Wechselstrom)
- Anschluss des Elektrofahrzeugs unter Verwendung genormter (freizügiger) 1-Phasen- oder 3-Phasen-Steckdosen auf der Netzseite. Steuergerät (In-Cable-Control-box) mit Führungsfunktion (Pilotfunktion) und Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) zwischen Elektrofahrzeug und Stecker.
- Ladestrom: ≤ 32 A (CEE Industiesteckdose)/ ≤ 8 A (Typ 13 Haushaltssteckdose)
- Achtung: Werkvorschriften beachten. Diese sehen 1-phasige Ströme bis max. 16 A vor!
- Spannung: 1-phasig ≤ 250 V / 3-phasig ≤ 480 V
- Das Ladegerät für diese Ladebetriebsart befindet sich im Fahrzeug (On-Board-Ladegerät).

Mode 3 (Wechselstrom)
- Anschluss des Elektrofahrzeugs unter Verwendung einer hierfür vorgesehenen Ladeeinrichtung, bei dem eine Steuerungs-Führungsfunktion (Pilotfunktion) bis zur Ladeeinrichtung mitgeführt wird. Die Ladeeinrichtung muss fest mit dem Wechselstromnetz verbunden sein.
- Das Ladegerät für diese Ladebetriebsart befindet sich im Fahrzeug (On-Board-Ladegerät).

Mode 4 (Gleichstrom)
- Anschluss des Elektrofahrzeugs unter Nutzung eines externen Ladegeräts, bei dem eine Steuerungs-Führungsfunktion (Pilotfunktion) bis zur Ladeeinrichtung mitgeführt wird. Die Ladeeinrichtung muss fest mit dem Wechselstromnetz verbunden sein.
- Das Ladegerät für diese Ladebetriebsart befindet sich in der Ladesäule (Off-Board-Ladegerät).

Mit «Kommunikation» sind in der Elektromobilität zwei getrennte Vorgänge gemeint:
1. Die Kommunikation im Mode 2, 3 oder 4 bezieht sich auf energieübertragungsbezogene, sicherheitsrelevanten Informationen wie z. B. Stromstärke oder Überwachung des Erdleiters zwischen Fahrzeug und Steckdose.
2. Die dem Mode-Signal überlagerte High Level Communication kann z. B. Benutzerinformationen, Identifikation, Abrechnungsdaten und vieles mehr enthalten.

Haushaltsteckvorrichtungen sind mechanisch und thermisch nicht ausreichend belastbar. Demgegenüber bieten die Industriesteckdosen, die sogenannten CEE-Steckdosen, eine erhöhte Belastbarkeit. Sie sind für den mehrstündigen Dauerbetrieb geeignet und werden vor allem für das Laden von Elektroautos und Elektromotorrädern empfohlen.

Batteriefahrzeuge werden standardmässig mittels Ladebetriebsart (Mode) 3 oder 4 geladen. Die Ladebetriebsarten 3 und 4 basieren auf einer speziell für Elektrofahrzeuge errichteten Infrastruktur und bieten ein hohes Mass an elektrischer Sicherheit und Schutz der Installation vor Überlastung (Brandschutz). Bei allen Ladebetriebsarten ist die Verriegelung der Ladesteckverbinder gegeben. Dies bietet einen zusätzlichen Schutz vor Berührung und Manipulationen durch Dritte. Für die Schnellladung mit Gleichstrom werden hauptsächlich die Systeme CHAdeMo (asiatische Fahrzeuge) und Combo CCS (europäische Fahrzeuge) verwendet. CHAdeMo kommt vom Englischen «Charge de Move» (Bewegung durch Laden) und vom Japanischen «eine Tasse Tee», was darauf anspielt, dass das Laden nicht länger dauern soll, als eine Tasse Tee trinken. Die neu zu kaufenden Fahrzeuge mit CHAdeMo Standard wurden in den letzten 2 Jahren immer weniger. Neue Entwicklungen wie kabelloses (induktives) Laden sind bereits in Kleinserien im Einsatz.

Quellen: Electrosuisse, e-mobile und VSE (Hrsg.). Anschluss finden. Elektromobilität und Infrastruktur, 2015 | Thomas Hausherr. Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD) nachrüsten – Empfehlungen und Pflichten bei Altbauten. ET 04/2016

10.2. Lademanagement

Grundsätzlich können Elektrofahrzeuge zu jeder Tageszeit geladen werden. Es kann aber kostengünstiger sein, den Hauptenergiebezug mit geeigneten Steuerungsmassnamen in Form des Lademanagements in die Nachtstunden zu verlegen. Dann gibt es ein Überangebot an Strom, da ein Grossteil der Verbraucher ausgeschaltet ist. Langsames Laden während der Nacht belastet das Stromnetz weniger, hilft Lastspitzen zu vermeiden und schont das Budget dank der Niedertarif-Energie.

Der erhöhte Strombedarf der Elektromobilität lässt sich durch den Ausbau erneuerbarer Energien und einer guten europäischen Vernetzung bewerkstelligen (siehe 9 Energieversorgung). Fast noch entscheidender als der Strombedarf ist ihr Leistungsbedarf, indem während den Ladevorgängen kurzzeitig sehr hohe Ladeleistungen abgerufen werden, welche die unteren Netzebenen des Stromnetzes sprich das Verteilnetz belasten. Mit der Bereitstellung einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur geht eine Beeinflussung der Netzlasten der Stromnetze einher. Wenn an einer Ortsnetzstation viele BEV gleichzeitig geladen werden, kann es bei ungesteuertem Laden zu lokalen Überlastungen im Niederspannungsnetz kommen. Um dem entgegenzuwirken, könnten EVUs in Zukunft Ladevorgänge zu Spitzenlastzeiten sperren.

Wenige Anschlüsse für BEV können bereits zu einer Überlastung des bestehenden Hausanschlusses führen. Alternativ oder ergänzend zu einer Verstärkung des Netzanschlusses kann das Lastmanagement hier Abhilfe schaffen. Es legt verschiedene Parameter der Ladevorgänge wie die Maximalleistung oder die Priorisierung von Ladevorgängen fest. Je nach Anzahl und Leistungsbedarf der Elektroautos kann es sinnvoll sein, dass nicht alle Fahrzeuge zeitgleich laden und gemeinsam eine hohe Lastspitze ausprägen (siehe Grafik). Bei der Planung sind deshalb die Leistungsgrenzen des Hausanschlusses zu beachten wie auch die Laststeuerung durch das EVU, Stichwort Smart Grid, um Lastspitzen zu vermeiden. Sind zwei oder mehrere Ladepunkte am gleichen Punkt angeschlossen wie z. B. in Mehrfamilienhäusern, privaten oder öffentlichen Parkplätzen, empfehlen die «Technischen Anschlussbedingungen (TAB)» des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE, ein intelligentes Lastmanagementsystem für die Ladestationen zu installieren. Ein solches Smart-Charging- oder Load-Management-System wird eingesetzt, um Verbrauchsspitzen im Verteilnetz zu vermeiden.

An Ladestationen zuhause und am Arbeitsplatz dominiert auch mittel- und langfristig das schrittweise und kurze Nachladen kleiner Strommengen. Das Potenzial für Smart Charging, die zeitliche Verschiebung von Ladevor-

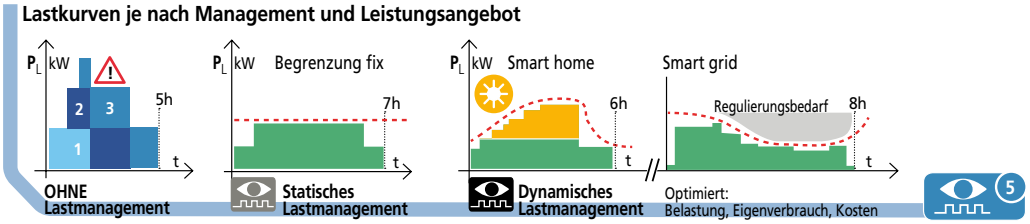


Bild 10.2: Lademanagement

gängen, ist entsprechend gross. Ein Home Charge Device (HCD) bietet erhöhten Komfort für den E-Fahrzeuglenker und ist zusätzlich an die Leistungsgrenzen der vorhandenen Netzinfrastruktur angepasst. Ein optional eingebauter Energiezähler liefert Informationen zum Energieverbrauch. Weitere Steuergeräte wie Schaltuhr, Tarifsteuerung, kombiniert mit einem Override Push-Button für die Tagesfreischaltung, erlauben das zeitlich gesteuerte Aufladen der Batterie mit Schwerpunkt in den Niedertarifzeiten (Offpeak). Es können mehrere HCD an eine gemeinsame Zuleitung angeschlossen werden.

Grundlegende Aspekte eines Lademanagementsystems:
Die **verfügbare Leistung für den Ladevorgang** ergibt sich aus der Differenz zwischen der vom Netz abnehmbaren Höchstleistung und der Leistung der anderen am gemeinschaftlichen Netz angeschlossenen Lasten. Bei Nichtvorhandensein eines Lademanagementsystems würden die Fahrzeuge, unabhängig von der vorhandenen Leistungsreserve, die von den Ladestationen maximal erlaubte Leistung beziehen.

Anhand der verfügbaren Leistung basieren die **Lademanagementmethoden** auf der Leistungskontrolle (On/Off oder Regulierung des Leistungsniveaus) und/oder auf der Programmierung der Ladung. Möglich ist auch eine zyklische Regulierung, wenn die verfügbare Ladung nicht ausreicht, um mehrere Autos gleichzeitig zu laden. Das erste Auto wird mit einer gewissen Leistung für eine bestimmte Zeit geladen. Wenn die Zeit abgelaufen ist, setzt die Ladung des zweiten Fahrzeugs ein. Nach der Ladung des letzten Fahrzeuges startet man wieder beim ersten, bis alle Fahrzeuge komplett geladen sind.

Statisches oder dynamisches Lademanagement bei mehreren Ladestationen
Beim statischen Lademanagement wird ein festes Stromkontingent für das Laden der Elektrofahrzeuge festgelegt, das dann gleichmässig auf alle zu ladenden Autos verteilt wird. Die verfügbare Leistung ist unabhängig von den anderen Verbrauchern (Rest des Mehrfamilienhauses) oder von der produzierten erneuerbaren Energie.

Von intelligent-dynamischem Lademanagement spricht man, wenn sich die verfügbare Leistung laufend an den Verbrauch der anderen Benutzer und/oder an die Menge lokal produzierter erneuerbarer Energie anpasst. Dabei wird der Stromverbrauch der gesamten Immobilie in real-time gemessen. Erste Priorität der Verbraucher hat immer das Gebäude – also Wohnungen, Waschmaschinen, Licht, Lift usw. Der «Reststrom» kann dann auf die Elektrofahrzeuge verteilt werden. Das dynamische Lademanagement ist zwar kostspieliger als ein statisches, jedoch ist es flexibler, indem es die verfügbare Leistung besser nutzen und auf unvorhergesehene Lastsitutationen oder Energieengpässe reagieren kann.

Nutzen des Lastmanagements
Gerade in grösseren Liegenschaften hilft das Lastmanagement, Lastenspitzen und eine Überlastung der Elektroinstallation zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren. Dies wirkt kostensenkend, da dadurch eine teure Auslegung des Netzanschlusses und der Elektroinstallation auf eine selten benötigte Leistungsspitze vermieden wird.

Das Lastmanagement trägt zur verbesserten Nutzung erneuerbarer Energien bei. Allenfalls lohnt sich eine Einbindung in ein Heim-Energie-Management-System zur Eigennutzung

von Solarstrom aus der eigenen Photovoltaikanlage. Dank stationärer Batteriespeicher bei der PVA kann die Sonnenenergie im Keller gespeichert werden, bis diese zum Laden der Batterie benötigt wird. Die Elektromobilität trägt somit zur Eigenverbrauchsoptimierung bei, indem der Anteil an selbst genutztem Solarstrom erhöht wird (siehe auch 9.2.2).

Quelle: Der Technische Leitfaden. Ladeinfrastruktur Elektromobilität. Version 3. Januar 2020 | Protoscar, Ifec. Ratgeber für die Installation von Ladesystemen für eFahrzeuge, 2019

10.3. Laden

Ladeverluste

Beim Stromverbrauch ist nicht nur entscheidend, wie effizient der Elektromotor mit der Energie umgeht. Denn beim «Tanken» fallen auch Ladeverluste an, das heisst, man verbraucht mehr Energie als letztlich in der Batterie ankommt. Energie geht verloren in der vorgelagerten Elektroinstallation und der Ladestation, im Bordladegerät des Fahrzeuges und in der Antriebsbatterie. Aufgrund der Ladeverluste weist die Anzeige der Ladesäule mehr Kilowattstunden aus, als sich aus den Bordcomputerangaben zu Reichweite und Durchschnitts-Stromverbrauch errechnen lässt.

Die Verluste entstehen vor allem beim Laden, sowohl auf dem Weg vom Anschlusspunkt der Wallbox zum Stecker am Batteriegehäuse als auch innerhalb der Batterie. Dass sich Strom nicht verlustfrei transportieren lässt, hat mit dem spezifischen elektrischen Widerstand der Materialien in Kabeln und Leitungen wie Kupferdraht zu tun. In der Batterie selbst entstehen Ladeverluste beim Umwandeln von Wechselstrom in Gleichstrom im Gleichrichter, der allerdings mit einem Wirkungsgrad von mehr als 98 % arbeitet. Hinzu kommt der Innenwiderstand des Lithium-Ionen-Batterie, aufgrund dessen ebenfalls Energie verloren geht und der im Lauf des Batterielebens zunimmt.

10 bis 20 % der Ausgangsenergie werden in Form von Wärme ins Kühlsystem des Fahrzeugs oder in die Umgebungsluft abgegeben oder anders gesagt, 80 bis 90 % der Ausgangsenergie stehen dem Elektromotor als Nutzenergie zur Verfügung. Kaum höhere Verluste generiert das Schnellladen mit Gleichstrom und hohen Ladeleistungen. Es entsteht dabei zwar eine grössere Wärmemenge, aufgrund derer die Ladekabel zum Teil flüssiggekühlt werden müssen. Sie ist jedoch darauf zurückzuführen, dass wesentlich mehr Energie in kürzerer Zeit durch die Leiter fliesst.

Ganz vermeiden lassen sich Ladeverluste beim Elektrofahrzeug nicht. Wie hoch sie ausfallen, hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie etwa von der Kabellänge und vom Kabelquerschnitt, der Temperatur und dem Batteriefüllstand. Der Normverbrauch von E-Fahrzeugen gemäss ECE-Richtlinie berücksichtigt die Ladeverluste, denn gemessen wird der zugeführte Strom vor dem Ladegerät.

Quelle: Johannes Winterhagen, Bisschen Verlust ist immer, FAZ, 26.03.2020

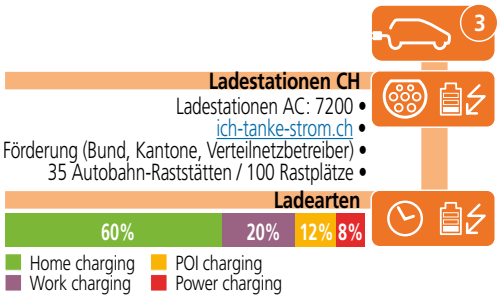


Bild 10.3: Laden

10.3.1. Ladefelder

Stellflächen mit Ladeinfrastruktur für Elektroautos werden dann genutzt, wenn sie gut zugänglich, verfügbar und klar als solche gekennzeichnet sind. Eine gute Erkennbarkeit und die ausschliessliche Nutzung durch Elektrofahrzeuge sorgen für eine entsprechend hohe Auslastung des Ladefeldes. Fehlt eine klare Beschilderung, besteht die Gefahr, dass die Ladeplätze als Parkplätze gebraucht werden. Zudem könnten Falschparker nicht sanktioniert werden.

Die empfohlene Signalisation setzt sich aus vertikaler Beschilderung und horizontaler Markierung zusammen.

Vertikale Beschilderung

- **Vor Ort**: Parkplatzschild/Verbotsschild mit ergänzender Tafel, die mit einem schwarzen E-Auto-Logo und allenfalls der maximalen Parkzeit eindeutig zu erkennen gibt, dass nur E-Fahrzeuge während der Ladephase auf der Stellfläche zulässig sind.
- **Wegweiser** zu öffentlichen Ladestationen entlang der Nationalstrassen enthalten internationale Symbole, d. h. zwei Ladestationen und die Bezeichnung EV.

Horizontale Markierung

Es wird empfohlen, die Parkplatzfläche auszumalen, um einen starken Wiedererkennungseffekt zu erzielen und das illegale Parkieren von konventionellen Fahrzeugen zu vermeiden.

Quelle: Protoscar, Ifec. Ratgeber für die Installation von Ladesystemen für eFahrzeuge, 2019 | BFE Markttrends 2020

Bild 10.4: Ladefelder

10.3.2. Ladestationen CH (siehe dazu auch 4.3.3.)

Elektrofahrzeuge werden häufig an Ladestationen (Electric Vehicle Supply Equiment EVSE) mit Strom versorgt. Damit sind Vorrichtungen gemeint, welche in einem Gehäuse alle AC- oder DC-Komponenten enthalten und mit speziellen Steckdosen/Steckerverbindungen ausgestattet sind. Ladestationen können frei zugänglich (öffentlich) sein oder bestimmten Regelungen (privat) unterworfen sein

Bei den momentan erhältlichen Ladestationen werden drei Hauptkategorien unterschieden:

1. Wallbox
Die an der Wand montierte Ladestation ist in der Regel mit nur einem Steckverbindertyp ausgestattet und wird vor allem im privaten Umfeld verwendet.

2. Säule
Die am Boden montierte, öffentlich zugängliche Ladestation ist meistens mit verschiedenen Steckverbindern ausgestattet, um möglichst viele E-Fahrzeugklassen versorgen zu können.

3. Kandelaber
Die an einem Lichtmast montierte, private oder öffentliche Ladestation verfügt im Allgemeinen über einen Steckverbindertyp.

Neben der Batteriekapazität von E-Fahrzeugen ist ein engmaschiges Netz aus Ladestationen das beste Mittel gegen die Reichweitenangst und somit einer der Schlüsselfaktoren für den Erfolg der BEV. Die Schweiz verfügt inzwischen über eine im internationalen Vergleich sehr gut ausgebaute Ladeinfrastruktur. Trotzdem nehmen viele Konsumenten die Ladeinfrastruktur als lückenhaft wahr und unterschätzen die Anzahl der in der Schweiz vorhandenen Ladestationen. Dies führt oft dazu, dass auf den Kauf eines Elektrofahrzeugs verzichtet wird. Verbesserungspotenzial bezüglich Ladestationen gibt es sicherlich noch, aber in den kommenden Jahren könnte ein stark beschleunigter Ausbau auf diesem Gebiet stattfinden.

Mit rund 3'300 (Stand Februar 2021) öffentlichen Ladestandorten, die mit 9'000 (Stand Februar 2021) Ladepunkten ausgestattet sind, hat die Schweiz eines der dichtesten Ladenetze für Elektroautos in Europa. Dies ist auf das Engagement überwiegend privater Akteure zurückzuführen, die öffentlich zugängliche Ladestationen in Einkaufszentren, Restaurants, Firmen etc. errichtet haben. Hierzulande teilen sich neun Elektrofahrzeuge einen öffentlichen Ladepunkt. Dies ist vergleichbar mit dem europäischen Durchschnitt von sieben Fahrzeugen pro Ladepunkt. Allerdings ist das Schweizer Ladenetzt deutlich dichter, wenn man die Grössenverhältnisse der Schweiz mit der EU vergleicht.

Eine Übersicht der öffentlichen Ladestationen für E-Fahrzeuge und Informationen zur Ladeleistung und zu den vorhandenen Steckertypen sind auf www.ich-tanke-strom.ch (BFE, swisstopo) zu finden. Dabei ist in Echtzeit ersichtlich, ob eine Ladestation gerade frei ist. Unter e-mobile.ch respektive lemnet.org ist die komplette Übersicht der Ladestationen in der Schweiz respektive in ganz Europa abrufbar.

Ladearten

Grundsätzlich werden vier Ladearten je nach Örtlichkeit des Ladevorganges unterschieden:
Grün = Privates Laden
Der Ladepunkt ist auf privatem Grund installiert und steht nur dem Eigentümer des Grundstücks oder Drittpersonen zur Verfügung, denen der Eigentümer Zugang gewährt.

Blau = öffentliches Laden

Home Charging/Work Charging

Üblicherweise wird ein Elektroauto zu Hause oder beim Arbeitsort aufgeladen. Dies ist komfortabel, da das Laden über Nacht bzw. während der Arbeitszeit ohne zusätzlichen Zeitaufwand erledigt werden kann. Auch die Anforderungen an die Ladeleistung sind geringer, da das Fahrzeug über eine längere Zeitdauer an das Stromnetz angeschlossen ist. Öffentliche langsame bis mittelschnelle Stationen werden oftmals auf Kundenparkplätzen angeboten, z. B. bei Einkaufszentren, Restaurants und vor Firmensitzen.

Elektroautos werden dort geladen, wo sie über längere Zeit stehen. Im Moment entfallen 80 % aller Ladevorgänge auf private Ladestationen (Home Charging und Work Charging).

Typ Ladestation	Ort	AC / DC	Leistung	Durchschnittliche Ladedauer	Anteil Gesamtladebedarf
Home Charging	Wohnort oder in unmittelbarer Nähe	AC	3.7–11 kW	1–4 Std.	60 %
Work Charging	Arbeitsplatz	AC	11–22 kW	1–4 Std.	20 %
Point of Interest (POI) Charging	Öffentliche Ladestation (Einkaufen, Sport, Hotel, Kultur)	AC/DC	22–50 kW	1–2 Std.	12 %
Power / Fast Charging	Autobahnraststätten	AC/DC	43–150 kW (DC) 43 kW (AC)	Max. 20 Min.	8 %

Tabelle 10.1: Ladebetriebsarten

Aufgrund steigender Reichweiten und höherer Ladeleistungen resp. steigender Aufnahmeleistung müssen zukünftige BEV weniger häufig geladen werden. Dementsprechend werden sie auch für Lenker attraktiv werden, die über keinen festen Parkplatz verfügen. Es ist somit davon auszugehen, dass das öffentliche Laden mittel- und längerfristig an Bedeutung zunehmen wird.

POI Charging

Der Einsatz von öffentlichen Ladestationen kann dann angebracht sein, wenn mit Publikumsverkehr zu rechnen ist. Der Zugang zu diesen Systemen wird z. B. über Schlüssel, Karten oder App gewährt. Für öffentliche Ladestationen auf grösseren Gebäudearealen, Einkaufszentren, öffentlichen Plätzen etc. sind mindestens Kabelschutzrohre Ø 80 mm zu verwenden.

Während an privaten Ladestationen kleine Strommengen während 1–4 Stunden geladen werden, sind sie an öffentlich zugänglichen Ladestationen (POI Charging) grösser und die Ladezeit ist dementsprechend kürzer (1–2 Std.).

Fast Charging

Im Gegensatz zu den drei übrigen Ladestationstypen steht bei den öffentlich zugänglichen Schnellladestationen (Fast Charging) das Laden – analog zum Tanken eines Verbrenners an einer Tanksäule – und nicht das Parkieren im Vordergrund. Die durchschnittliche geladene Strommenge ergibt sich aus einem Kompromiss zwischen einer durchschnittlichen Ladezeit von 15–20 Min. und der individuellen Aufnahmeleistung des Elektrofahrzeugtyps.

Gemäss der EU-Richtlinie 2014/94/EU «Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe» werden Ladevorgänge bis zu einer Leistung von 22 kW als Normalladen bezeichnet, Ladevorgänge > 22 kW werden als Schnellladen (Power oder Fast Charging) klassifiziert.

Quellen: Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeuge. Bedeutung für die Elektromobilität. VDI/VDE, 2019 | Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2020. EBP-Hintergrundbericht, 02.03.2020 | Der Technische Leitfaden. Ladeinfrastruktur Elektromobilität. Version 3. Januar 2020 | Protoscar, Ifec. Ratgeber für die Installation von Ladesystemen für eFahrzeuge, 2019

11. Batterie

Dass die Elektromobilität den Durchbruch geschafft hat, ist der Lithiumtechnologie für Batterien zu verdanken, die seit etwa zehn Jahren für Elektrofahrzeuge verfügbar sind. Die Batterie ist die wichtigste Komponente von BEV bezogen auf die Energiespeicherung, ihren Anteil an den gesamten Fahrzeugkosten, am Fahrzeuggewicht und an der Produktion. Lithium-Ionen-Batterien besitzen mehrere Vorteile gegenüber anderen Batterietypen. Sie können etwa tiefer entladen werden und haben eine höhere Energiedichte als Bleibatterien. Die Elektrofahrzeugindustrie hat sich denn auch zur grössten Abnehmerin von Lithium-Ionen-Batterien entwickelt.

Quelle: Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeuge. Bedeutung für die Elektromobilität. VDI/VDE, 2019 | Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf, Januar 2020

11.1. Produktion

Bei den Batterien von Elektrofahrzeugen gibt es noch ein erhebliches Verbesserungspotenzial, was ihre Klima- und Umweltbelastung anbelangt. Im Produktionsprozess wird namentlich eine effizientere Energienutzung aus erneuerbaren Quellen, eine erhöhte Lebensdauer der Batterien und die Steigerung des Anteils an Rohstoffen angestrebt, die weniger mit ökologischen und sozialen Risiken in den Herkunftsländern behaftet sind.

11.1.1. Materialmix

Die Lithium-Ionen-Batterien sind das bis zu mehrere hundert Kilo schwere Herzstück eines Elektroautos, welches wertvolle und teilweise auch versorgungskritische Bestandteile enthält. Für die E-Fahrzeugbatterien relevante Rohstoffe sind Kobalt, Lithium, Nickel, Mangan und Grafit. In der Forschung ist man sich einig, dass die Batterierohstoffe global gesehen ausreichend vorhanden sind. Die Rohstoffgewinnung zur Batterienherstellung hat jedoch grossen Einfluss auf die ökologische Gesamtbilanz der Elektromobilität.

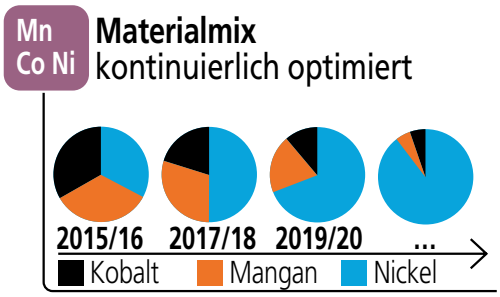


Bild 11.1: Materialmix

Als kritische Rohstoffe in Bezug auf die Umweltbelastung und/oder ihre Herkunftsländer gelten bei der Batterie Lithium, Nickel und Kobalt. 60 % des weltweit abgebauten Kobalts stammen bspw. aus der von Krisen geschüttelten Demokratischen Republik Kongo, wo kein Arbeitsschutz herrscht und Kinderarbeit verbreitet ist. Weitere namhafte Kobaltvorkommen finden sich in Australien und auf Kuba. Kobalt wird vor allem als Nebenprodukt beim Nickel- und Kupferabbau gefördert. Um die Rohstoffsituation für Kobalt zu entschärfen, wurden Nickel-reiche und gleichzeitig Kobalt-reduzierte Hochenergie-Batterien entwickelt (siehe Grafik). Nickel ähnelt in seinem chemischen Verhalten Kobalt und Eisen. Nickel gehört zu den relativ häufigen Elementen auf der Erde, seine Hauptvorkommen sind in Kuba, Neukaledonien, Kanada, Indonesien, Südafrika, Norwegen etc. Noch im Entwicklungsstadium sind hingegen Hochenergie-Batterien aus Lithium-reichen Materialien mit hohem Mangan-Anteil.

Aufgrund der steigenden Nachfrage nach BEV müssen die Förderkapazitäten dieser problematischen Rohstoffe ausgebaut werden. Aus ökologischer Sicht sollte dies vor allem mittels Recycling erfolgen. Nickel und Kobalt können zu über 90 Prozent aus gesammelten Batterien zurückgewonnen werden. Das Recycling würde somit einen namhaften Beitrag zur sicheren Rohstoffversorgung beitragen.

Quelle: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf, Januar 2020

11.1.2. Lithiumvorräte

Das Fraunhofer Institut geht in seiner aktuellen Studie von 2020 davon aus, dass sich der Gewichtsanteil von Lithium in Hochenergie-Batterien auf absehbare Zeit nicht deutlich verringern lässt (ca. 72 g Lithium/kg Zelle).

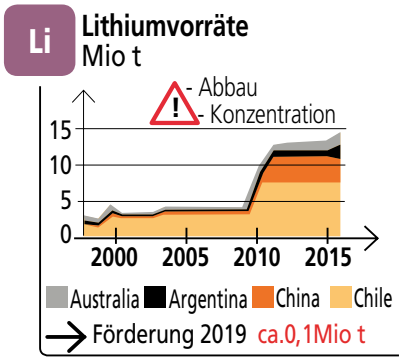


Bild 11.2: Lithiumvorräte

Der grösste Teil des weltweiten Lithiums ist in Südamerika, Australien, China und den USA zu finden. Lithium kommt in Salaren (Salzwüsten) vor, in Australien stammt es hingegen aus dem Erzbergbau. 25 % der weltweiten Lithiumvorräte sind in der chilenischen Atacama-Wüste zu finden. In den Salaren wird lithiumhaltiges Salzwasser (Sole) aus unterirdischen Seen an die Oberfläche gefördert und in grossen Becken verdunstet. Die verbleibende Salzlösung wird über mehrere Stufen weiterverarbeitet, bis das Lithium zum Einsatz in Batterien geeignet ist. Kritisiert wird immer wieder, dass für die Lithium-Produktion in Salaren sehr viel Wasser benötigt wird – rund 70 000 l/t.

Wie viel Lithium tatsächlich vorhanden ist, wissen die Forscher nicht. Allerdings gehen sie zum jetzigen Zeitpunkt nicht davon aus, dass die Lithiumvorräte nicht ausreichen werden. Viel wahrscheinlicher sei es, dass die Lithium-Gewinnung nicht Schritt halten könne mit der steigenden Nachfrage auf dem Gebiet der Elektromobilität. Das industrielle Recycling von Lithium wird künftig an Bedeutung gewinnen, da man davon ausgeht, dass 10–30 % des jährlichen Bedarfs bis 2050 dank der Rückgewinnung aus Altbatterien gedeckt werden könnten.

Quellen: Kyle Pennell. Gibt es genug Lithium, um den Bedarf für Batterien zu decken? Energy Brainpool, 26.03.2018 | Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf, Januar 2020

11.1.3. Produktionswerte

Im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen ist die Herstellung von Elektrofahrzeugen deutlich energieintensiver. Aufgrund der Batterieproduktion fallen je nach Energiequelle, Energieeffizienz und Batteriegrösse 70–130 % höhere Treibhausgasemissionen an als bei der Herstellung von Diesel- oder Benzinfahrzeugen.

Forscher sind sich einig, dass die Klimabilanz der Batterieherstellung stärker durch den Energieaufwand (Primär-Energie) während der Pro-

duktion beeinflusst wird als durch die Rohstoffkomponenten. Die Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien ist in den letzten Jahren energieeffizienter und klimafreundlicher geworden. Die Ökobilanz eines Elektroautos hängt wesentlich davon ab, wie sich der für die Batterieproduktion benötigte Strommix zusammensetzt. Der Einsatz erneuerbarer Energien bei der Batterieproduktion sowie die Steigerung der Energieeffizienz werden die Treibhausgasbilanz der Elektromobilität weiter verbessern.

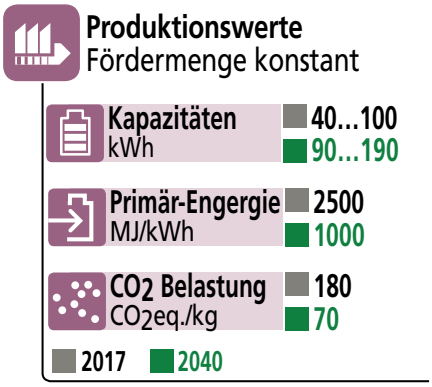


Bild 11.3: Produktionswerte

Quelle: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf, Januar 2020

11.1.4. Energiedichte/Batteriekosten

Während die Batteriekosten pro kWh sinken, nimmt die durchschnittliche Energiedichte pro kg von E-Fahrzeugen weiter zu (siehe Grafik). Dies führt zu einem geringeren Batterie- bzw. Fahrzeuggewicht, tieferen E-Fahrzeug-Anschaffungskosten, höheren Reichweiten sowie einer verbesserten Alltagstauglichkeit und Akzeptanz der Elektromobilität.

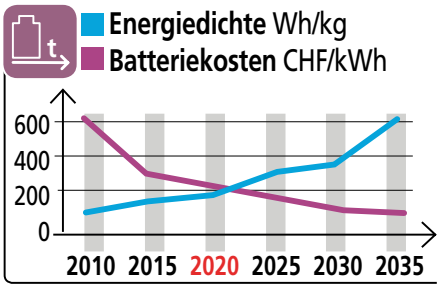


Bild 11.4: Energiedichte/Batteriekosten

Die gravimetrische resp. volumetrische Energiedichte entspricht der speicherbaren Energiemenge bezogen auf das Tankgewicht resp. Tankvolumen. Die durchschnittliche Energiedichte von Batteriezellen für Elektroautos hat sich in den letzten zehn Jahren fast verdoppelt auf heute 200 Wh/kg respektive 400 Wh/l. Eine noch höhere Energiedichte von 350 Wh/kg erhofft man sich zukünftig neuen Materialzusammensetzungen.

Die höheren Anschaffungskosten von BEV verglichen mit ICEV sind auf die relativ hohen Kosten der Traktionsbatterie zurückzuführen, die noch vor wenigen Jahren 30-50% der Fahrzeuggesamtkosten ausmachten. Kostensenkende Massnahmen setzen somit bei der Batterieherstellung an.

Sinkende Batteriepreise haben in den letzten Jahren die Anschaffungskosten von Elektrofahrzeugen stark reduziert. Dieser Trend dürfte sich fortsetzen, sodass schon bald Batterienherstellungskosten von unter 100 CHF pro kWh erreicht werden könnten.

Gemäss Untersuchungen von BloombergNEF liegt der Preis für 1 kWh Lithium Ionen Batterie im Jahr 2020 bei USD 102, wenn man den

gesamten Batteriepack betrachtet bei USD 137. Ebenso wird erwartet, dass sich parallel dazu die Anschaffungspreise von Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb und elektrischem Antrieb angleichen werden.

11.2. Betrieb

11.2.1. Nutzungen / Kapazitätsverlauf

First Life (e-mobile)
Batterien sind so lange im Elektrofahrzeug im Einsatz, bis die Kapazität (und damit auch die Reichweite des Fahrzeugs) auf etwa 70–80 % des ursprünglichen Werts gesunken ist. Zu diesem Zeitpunkt, d. h. im Durchschnitt nach 10 Jahren resp. 1 500–2 500 Ladezyklen, wird die Batterie gewöhnlich ersetzt.

Second Life (2. Nutzung)
Batterien, die für die Verwendung im Fahrzeug nicht mehr leistungsfähig genug sind, sind keinesfalls wertlos, da sie immer noch einen Energieinhalt von 70 bis 80 Prozent ihrer ursprünglichen Kapazität aufweisen. Es ist deshalb weder ökonomisch noch ökologisch sinnvoll, sie in diesem Zustand zu entsorgen. Ganz im Gegenteil: Die Batterien können im sogenannten «Second Life» als stationärer Zwischenspeicher weiterverwendet werden. Gebrauchte Batterien von E-Fahrzeugen können als Speicher in einem Gebäude genutzt werden, beispielsweise in Kombination mit einer Photovoltaik-Anlage. Der während des Tages nicht selbst genutzte Solarstrom würde darin gespeichert und am Abend und in der Nacht bezogen werden, wenn die PVA keinen Strom mehr produziert. Dies erhöht den Selbstnutzungsgrad des Solarstroms. Des Weiteren können gebrauchte Batterien in Speichersystemen zum Einsatz kommen, die Regelenergie für den Netzausgleich bereitstellen. Wenn im Vergleich zur Nachfrage zu viel Strom produziert wird, lädt man mit der überschüssigen Energie die Batterie, welche Nachfragespitzen decken oder als Notstrom-Aggregat dienen.

Aufgrund des langsamen Ladens und Entladens verläuft diese zweite Nutzung für die Batterien gleichmässiger sprich schonender als die Verwendung im E-Fahrzeug mit seinen stetigen Beschleunigungs- und Rekuperationsphasen. Gegenüber neuen Batterien sind aber höhere Ausfallraten und allenfalls auch eine höhere Brandgefahr zu erwarten. Ein Second Life ist nur möglich, wenn gebrauchte Batterien die Anforderungen an Sicherheit, Zuverlässigkeit und Restlebensdauer der Zweitanwendungen erfüllen.

Die Zweitnutzung von Traktionsbatterien befindet sich noch in der Entwicklung und könnte ab ca. 2030 realisiert werden, wenn mit einem ausreichenden Rücklauf ausgedienten Batterien zu rechnen ist. Wie viele der gebrauchten Batterien für eine Zweitnutzung in Frage kommen werden, ist momentan noch unklar. Messungen im Labor, die den Alterungsprozess

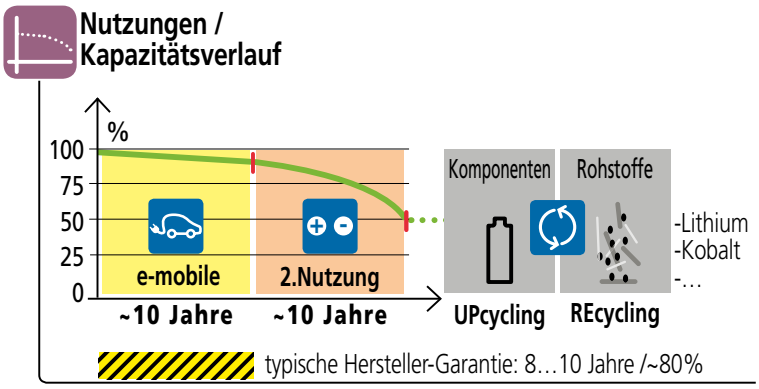


Bild 11.5: Nutzungen/ Kapazitätsverlauf

untersuchten, lieferten vielversprechende Resultate. Gebrauchte Batterien können während weiteren 10 Jahren gebraucht werden. Eine Traktionsbatterie wird bei einer durchschnittlichen Beanspruchung voraussichtlich erst nach 20 Jahren ein Fall für die Entsorgung sein.

UPcycling und REcyling

Ist die Traktionsbatterie nach der Erst- und Zweitnutzung wirklich erschöpft, dann ist sie nicht einfach «Abfall». Die in einer Batterie enthaltenen Rohstoffe – die bekanntesten sind Lithium und Kobalt – sind viel zu wertvoll, um sie ungenutzt zu lassen. Das Recycling von kleinen Lithium-Ionen-Batterien hat sich in Europa bereits etabliert.

Fahrzeugbatterien sind grösser und schwerer und haben viel mehr Energie gespeichert als kleine Gerätebatterien. Das sichere und ökologische Recycling von Traktionsbatterien ist technisch machbar, aber mit grösserem Aufwand verbunden, wie dies erste Pilotanlagen zeigen. Wiedergewonnen werden dabei die wertvollen Komponenten wie Kobalt, Nickel und Kupfer. Das Recycling von Lithium lohnt sich derzeit nicht.

Im recht jungen Markt der Elektromobilität spielen ausgediente Fahrzeugbatterien bis jetzt keine grosse Rolle, weil es praktische keine Batterien gibt, die zum Recyceln anstehen. Dies wird sich in etwa 10–15 Jahren ändern. UPcycling bedeutet die Umwandlung in neuwertige Produkte.

Quellen: Wolfgang Rudschies. Elektroauto-Akkus: So funktioniert das Recycling, ADAC, 13.12.2019 | Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf, Januar 2020

11.2.2. Besondere Merkmale

Batteriealterung

Die Mindestanforderungen an die Lebensdauer der Traktionsbatterien liegen bei 150 000–200 000 km Laufleistung, was ca. 1 000 Vollladezyklen entspricht. Die Ermüdung der Batterie geht vor allem auf die Häufigkeit der Lade-/Entlade-Zyklen – insbesondere Komplettentladung oder Vollladung – und auf hohe und niedrige Umgebungstemperaturen zurück. Dank höheren Batteriekapazitäten und Ladeleistungen sowie einem Batterie-Thermomanagement an Bord wird sich die Lebensdauer der Batterie verlängern.

Bild 11.6: Besondere Merkmale

12. Glossar

Glossar

BEV	Battery Electric Vehicle	Batterie-Elektrofahrzeug
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle	Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug
ICEV	Internal Combustion Engine Vehicle (petrol/diesel/gas)	Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel/Gas)
PHEV	Plug in Hybrid Electric Vehicle	Plug-in-Hybrid-Elektrofahrzeug
ZEV	Zusammenschluss zum Eigenverbrauch	
HEV	Hybrid Electric Vehicle	Hybrid-Elektrofahrzeug
POI	Point of interest (Zielort)	Sehenswürdigkeit
CO_2eq	Kohlendioxyd-Equivalent	
SIA 2060	Infrastruktur für Elektrofahrzeuge in Gebäuden	
SN EN 61851	El. Ausrüstung von Elektro-Strassen-fahrzeugen	
WVCH 2021	Werkvorschriften der Elektrizitätsun-ternehmungen	
MUKEN 2014	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich	
NIN 7.22	Stromversorgung von Elektrofahrzeu-gen	

Organisationen

	Auto Schweiz
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
BFH	Berner Fachhochschule
ETH	Eidg. Tech. Hochschule Zürich
	Electrosuisse
	Fachgesellschaft e-mobile.ch
IEA	Internat. Energie Agentur
ISI	Fraunhoferinstitut
NFPA	National Fire Protection Association
PSI	Paul Scherrer Institut
SIA	Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein
TCS	Touring Club Schweiz
VCS	Verkehrs-Club der Schweiz

13. Spezifikationen

Laden

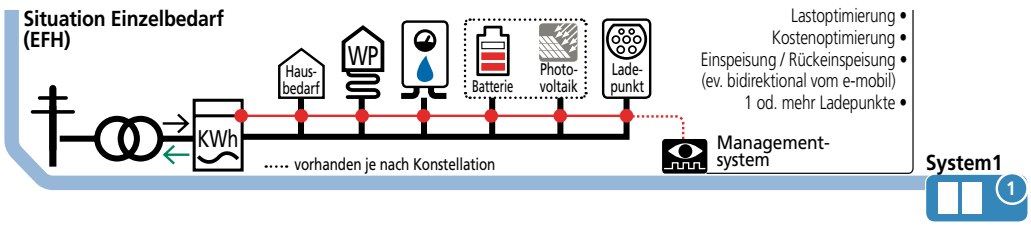


Bild 13.1: Laden Einzelbedarf (EFH)

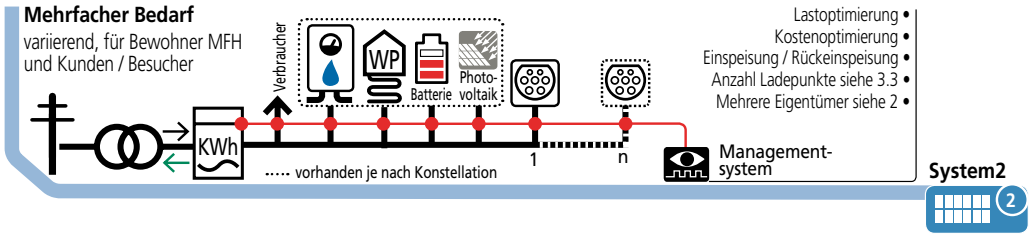


Bild 13.2: Mehrfacher Bedarf (MFH, Firma, öffentliche Einrichtung)

Für den Betrieb einer komplexen Ladeinfrastruktur wird empfohlen, bereits bei der Planung entsprechende Massnahmen zur Verbrauchserfassung vorzusehen.

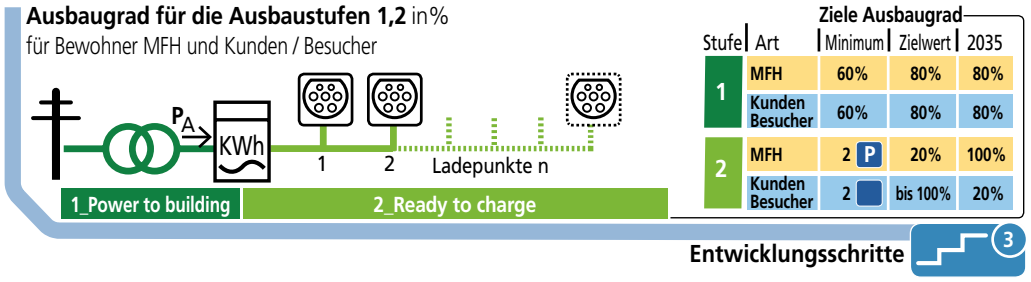


Bild 13.3: Entwicklungsschritte

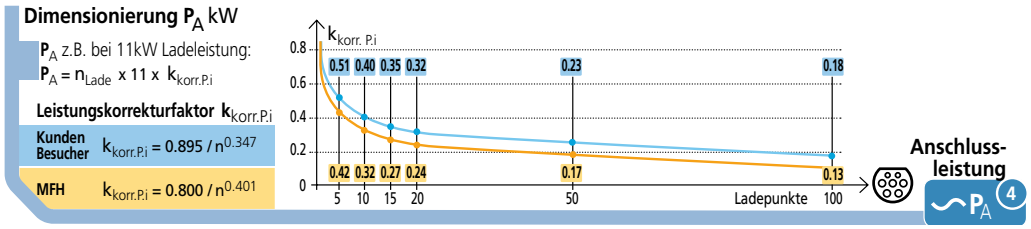
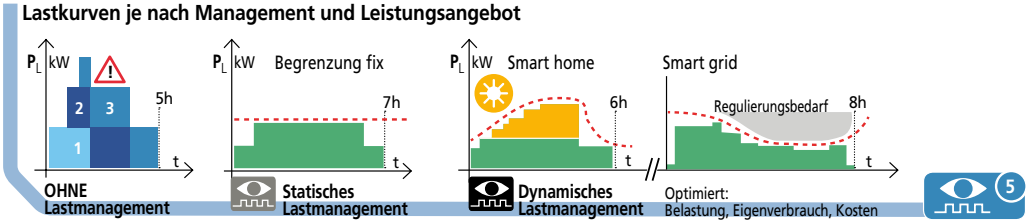


Bild 13.4: Anschlussleistung

Bild 13.5: Lastkurven je nach Management und Leistungsangebot



Planungswerte

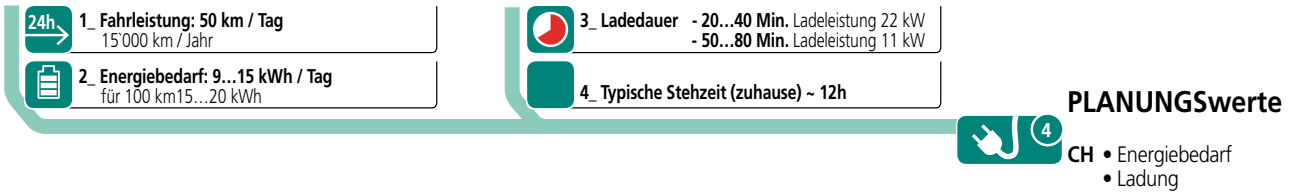
Es gibt zwar immer mehr öffentliche Ladestationen, trotzdem werden 80 % der E-Fahrzeuge an privaten Ladestationen zu Hause oder am Arbeitsplatz geladen. Daran wird sich auf absehbare Zeit auch nichts ändern, handelt es sich doch um die günstigste Ladevariante. Der Aufbau der privaten Ladeinfrastruktur stellt die momentan «grösste Herausforderung für die Elektromobilität» dar, gerade angesichts der Tatsache, dass 75 % der Schweizer Wohnbevölkerung Mieter oder Stockwerkeigentümer sind.

Besitzern, Betreibern oder Vermietern von Liegenschaften stellen sich grundlegende Fragen: Welche Infrastruktur soll angeboten werden? Welche Investitionen sind nötig? Für wen soll diese gebaut werden? Wie ist die Nutzung der Installation? Muss schnell geladen werden? Wie hoch sind die Unterhalts- und Betriebskosten? Wie soll die Zählung und Abrechnung erfolgen?

Wächst die Elektromobilität, so steigt auch die Nachfrage nach Lademöglichkeiten. Die batteriebetriebene Zukunft der Autoindustrie birgt somit ein grosses Wachstumspotenzial für die Installationsbranche und beschert ihr Aufträge im Bereich der Planung, der Installation und des Unterhalts der Ladeinfrastruktur. Je vorausschauender die Elektroplanung ist, desto kostengünstiger lässt sich eine Ladeinfrastruktur für batteriebetriebene Fahrzeuge realisieren. Für Neubauten sollte schon zu Beginn der Realisation der zukünftige Ausbaustandard der Ladeinfrastruktur definiert und mit Massnahmen wie dem Verlegen von Leerrohren und dem Anlegen von Kabelschächten und Fundamenten vorweggenommen werden. Ebenso lohnt es sich, ein Lademanagement für die Zukunft in Betracht zu ziehen.

Die Zuleitung zu den Anschlüssen der Elektrofahrzeuge soll möglichst kurz und so dimensioniert werden, dass bei maximaler Belastung kein wesentlicher Spannungsabfall auf der Leitung entsteht. Bei Leitungen von über 50 m Länge empfiehlt es sich, den Leitungsquerschnitt zu erhöhen. Es ist davon auszugehen, dass der Gleichzeitigkeitsfaktor eines Anschlusses für ein einzelnes Elektrofahrzeug bei 1 festgelegt werden kann.

Bild 13.6: Planungswerte



Private oder öffentliche Ladestation
Je nach Installationsort und Nutzungsart ist zu spezifizieren, ob die Ladestation nur einer geschlossenen Benutzergruppe oder der Öffentlichkeit zugänglich sein soll. Für den Betrieb einer komplexen Infrastruktur wird empfohlen, bereits bei der Planung entsprechende Massnahmen zur Überwachung, Auswertung und Abrechnung der Ladevorgänge vorzusehen.

Anzahl Ladepunkte
Eine vorausschauende Planung und Errichtung von Ladepunkten in ausreichender Zahl kann verhindern, dass Fahrzeugbesitzer ihre Fahrzeuge unter Verwendung von Verlängerungsleitungen, Kabeltrommeln, Mehrfachsteckdosen, Reiseadaptern etc. über vorhandene Steckdosen in Wohn- oder Kellerräumen bzw. Fluren mit Strom versorgen und damit vermeidbare Gefahren verursachen.

Bedarf an Anschlussleistung
Ladegeräte für Elektrofahrzeuge können die Netzqualität negativ beeinflussen, unerwünschte Unsymmetrien erzeugen und zu höheren Strömen im Neutralleiter führen (Oberschwingungen). Deshalb ist bereits bei kleinen Leistungen ein Anschlussgesuch an die Verteilnetzbetreiberin erforderlich, um frühzeitig Massnahmen in die Wege leiten zu können, damit die Netzqualität erhalten bleibt. Vor allem in Netzen mit hohen Impedanzen (grosse Distanzen zum Verteiltransformator, geringe Kabelquerschnitte usw.) ist die Gefahr einer schlechten Netzqualität durch unsymmetrische Verbraucher erheblich. Es ist möglich, dass das Verteilnetz ausgebaut werden muss, wenn grössere Ladeleistungen erforderlich sind.

Hausanschlüsse und die Zuleitungen aus dem Versorgungsnetz des EVU werden mehrheitlich mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 0.2 bis 0.3, d. h. 20 % bis 30 % der angeschlossenen Leistung, berechnet und ausgelegt. Die gesamte angeschlossene Leistung in einem Haus ist somit wesentlich höher als die vom Netz zur Verfügung gestellte. Es ist dadurch notwendig bei grösseren Anlagen ein Lademanagement einzubauen und auch den Strom am Hausanschluss zu überwachen und die Ladeinfrastruktur zu regeln. In einigen Fällen kann es auch notwendig werden die Anschlussleistung des Gebäudes zu erhöhen.

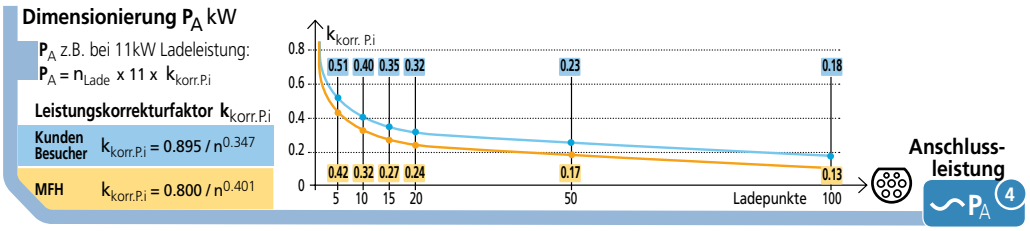
Die korrekte Dimensionierung der Anschlussleistung hat aktuell typische Werte beim Laden von Elektrofahrzeugen, welche maßgeblichen Einfluss auf den sicheren und zuverlässigen Ladebetrieb haben. Bei der Planung muss folglich die Art und Anzahl der Fahrzeuge, die für diesen Standort zu erwarten sind, die Ladeleistung der anzuschließenden Fahrzeuge, die erwartete durchschnittliche Parkdauer und das Ladeverhalten der Fahrzeugbesitzer berücksichtigt werden.

Zudem kann mit einem Lastmanagement der Bedarf an Anschlussleistung reduziert werden. Die Variabilität dieser Einflussfaktoren ist sehr hoch und erschwert eine Vorgabe von Richtwerten für die Zahl der Ladepunkte und der zu installierenden Leistung.

Hinweise für die zu installierende Ladeleistung können die zu erwartenden durchschnittlichen täglichen Fahrleistungen geben. Für jede Ladestation muss festgelegt werden, wie viele Ladepunkte zur Verfügung gestellt werden, und ob diese gleichzeitig mit voller Leistung betrieben werden sollen.

Der Gleichzeitigkeitsfaktor bildet ab, wie viele elektrische Verbraucher in einem Haushalt oder Stromkreis gleichzeitig mit voller Leistung betrieben werden. Er wird mit der Leistungssumme aller zu berücksichtigenden Verbraucher verrechnet und lässt eine Aussage über die einzuplanende Gesamtanschlussleistung zu. Einen guten Hinweis dazu gibt es im Kapitel Laden/Anschlussleistung, welcher die Werte von SIA 2060 darstellt. Diese basieren auf der Verwendung einene Lademanagementsystems.

Bild 13.7:
Anschlussleistung



Meldepflicht

Für alle Geräte und Anlagen sind gemäss NIV Art. 23 und gemäss Werkvorschriften (TAB 2021) ab einer Anschlussleistung von 3,6 kVA (Scheinleistung) ein Anschlussgesuch und eine Installationsanzeige erforderlich. Gemäss Werkvorschriften der Netzbetreiber (TAB 2021) muss immer eine Installationsanzeige erfolgen, unabhängig von der Leistung der Elektro-Ladestation.

Die Installation einer Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge untersteht der Meldepflicht an die Verteilnetzbetreiberin (VNB). Pro Elektrofahrzeug sind ein separater Überstromunterbrecher (Sicherung, LS) und ein separater Fehlerstrom-Schutzschalter(RCD)vorgeschrieben. Konkret sind beim Verteilnetzbetreiber einzureichen: Anschlussgesuch und Installationsanzeige sowie nach Abschluss der Arbeiten der Sicherheitsnachweis.

Installationsort

Die Auswahl der Örtlichkeit hat so zu erfolgen, dass alle Handhabungen rund um das Laden immer sicher möglich sind. Das Fahrzeug muss ohne Verwendung von Verlängerungsleitungen oder Kabeltrommeln angeschlossen werden können. Die Ladestation muss folglich in unmittelbarer Nähe der zu versorgenden Stellflächen montiert werden, ohne aber selbst eine Gefährdung für Personen oder Fahrzeuge darzustellen.

Ausführung und Abmessungen der Ladestation sind dem Umfeld entsprechend zu wählen. Für eine ausreichende Beleuchtung am Betriebsort ist Sorge zu tragen. Je nach Aufstellungsort und Art der Nutzung muss die Ladestation Anforderungen gegenüber umweltbedingten Einflussfaktoren erfüllen: mechanische Festigkeit (Rammschutz, Vandalismus, Graffiti), Wetterfestigkeit (geeignete Schutzart, Betriebstemperaturbereich), UV-Lichtbeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Vibrationen.

Elektroinstallation

Beim Aufladen von Elektrofahrzeugen stösst man teilweise an die physikalischen Belastungsgrenzen einer Steckdose. Besonders Haushaltsteckdosen sind nicht für den dauernden Bezug ihres Nennstroms geeignet. Da der Ladevorgang eines Elektrofahrzeuges 6 bis 8 Stunden betragen kann, ist es naheliegend,

dass dies bei der Wahl der Steckdosen und der Erstellung der Installation beachtet werden muss.

Zwischen klassischen elektrischen Verbrauchern im Haushalt und der Versorgung eines Elektrofahrzeuges mit elektrischer Energie bestehen trotz gleichen Grundprinzips wichtige Unterschiede, die sehr schnell den Bedarf nach gründlicher Planung und großzügiger Auslegung verdeutlichen. Während beispielsweise beim Betrieb einer Waschmaschine keine besonderen Vorkehrungen zu treffen sind, müssen beim Laden eines Elektrofahrzeuges die speziellen Anforderungen des Ladevorgangs beachtet werden. Die Waschmaschine hat zwar eine ebenfalls hohe Leistungsaufnahme, ruft dieses Potential jedoch nur für eine vergleichsweise kurze Dauer – zum Aufheizen des Wassers – ab. Beim Elektrofahrzeug wird über die Dauer des Ladevorgangs – u. U. mehrere Stunden – eine sehr hohe elektrische Leistung abgerufen. Folglich muss die Ladeinfrastruktur entsprechend ausgelegt sein. Nicht nur im privaten, sondern auch im öffentlich zugänglichen Bereich muss eine sichere, über mehrere Stunden andauernde, unbeaufsichtigte Aufladung gewährleistet sein.

Ladegeräte von Elektrofahrzeugen sind frequenzverändernde Geräte (WV 8.31) und können mehr Leistung beziehen als ein durchschnittliches Haushaltgerät. Deshalb sind Anschlussgesuche für Anschlüsse ≥ 2 kVA ≈ 2 kW zwingend. Für grössere Leistungen als ≥ 3.6 kVA ≈ 3.7 kW sind nur 3-phasige Anschlüsse zugelassen (WV 8.13).

Es sollen thermisch und mechanisch belastbare Kabel und Steckdosen, z.B. CEE-Steckdosen oder Home-Charge-Devices, an Stelle von landesüblichen Steckdosen verwendet werden.

Steckdosenmontage

Die Anschlüsse müssen so nahe wie möglich beim zu ladenden Fahrzeug montiert werden. Durchgänge oder passierbare Bereiche zwischen dem Anschluss und Elektrofahrzeug müssen vermieden werden. Die ideale Montagehöhe liegt zwischen 1 m und 1.5 m über dem Fussboden. Die übliche Länge der von den Autoherstellern mitgelieferten Anschlusskabel beträgt ca. 5 bis 7 m. Jede Steckdose (Connecting Point) muss einzeln abgesichert (LS) und mit einem eigenen Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) oder einer Kombination der beiden geschützt werden. Damit ein ausgelöster Schutzschalter (LS/RCD) ohne fremde Hilfe wieder eingeschaltet werden kann, ist es sinnvoll, ihn möglichst nahe bei der Steckdose anzubringen. Auf Stecker dürfen nur geringe Zug- und Torsionskräfte wirken (Materialermüdung und Kontaktprobleme). Es sollte mindestens der Schutzgrad IP44 zur Anwendung kommen.

Netzanschluss

Das Potential des Hausanschlusses kann schon bei mehreren gleichzeitig ladenden Elektrofahrzeugen erschöpft sein. Daher ist bereits bei Anschluss einer Ladestation der Hausanschluss auf die neue gleichzeitig benötigte Leistung zu überprüfen. Auch Trotz Einsatz eines Lademanagementsystem kann es notwendig werden, für die Versorgung der Elektrofahrzeuge den Hausanschluss zu verstärken oder zu erweitern. Eine von vornherein großzügiger Dimensionierung der entsprechenden Zuleitungen, Verteiler und sonstiger Bauteile kann hohe Folgekosten einer späteren Nach- bzw. Umrüstung vermeiden.

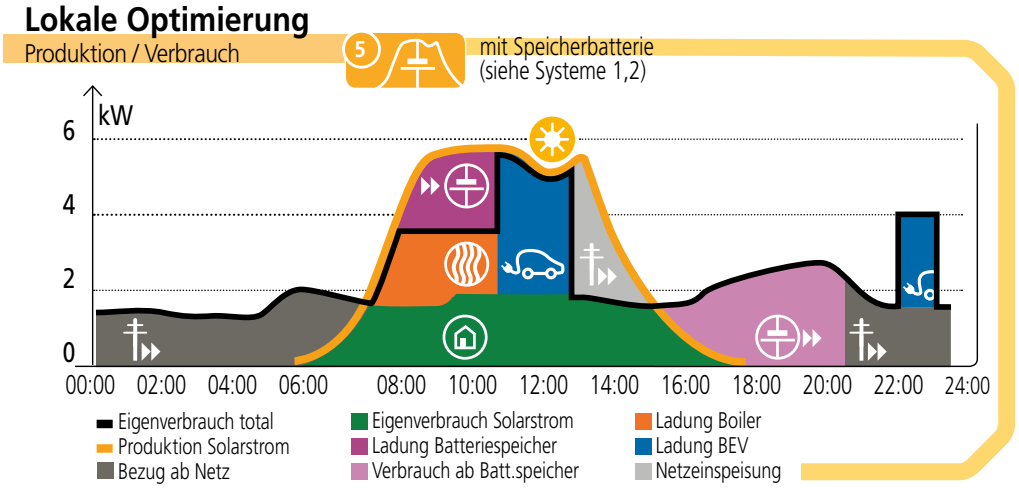


Bild 13.8:
Lokale Optimierung

Ladestrom und Netzsymmetrie
In grösseren Gebäuden/Liegenschaften mit mehreren Anschlüssen für Elektrofahrzeuge ist zwingend auf eine symmetrische Netzbelastung zu achten (Phasendrehung konsequent umsetzen). Allfällige Massnahmen sind mit dem EVU zu koordinieren.

Energieverbraucher sind so anzuschliessen, dass die Belastung möglichst symmetrisch auf alle Polleiter verteilt wird, siehe Werkvorschriften (WV 8.12).

Neuinstallation und Nachrüstung
Bei der Planung von Neu- oder Umbauten ist zu berücksichtigen, dass bereits heute eine deutlich wachsende Verkaufszahl von Elektrofahrzeugen erwartet wird. Je nach Lage und Nutzergruppe einer Liegenschaft kann es dann sehr schnell zu einer deutlichen Häufung der Nachfrage nach Ladeinfrastruktur kommen.

Anders als bei Neuinstallationen wurden bestehende Elektroinstallationen in der Regel nicht für das Laden von Elektrofahrzeugen ausgelegt. Aus diesem Grund kann das Laden an ungeprüften Installationen gefährlich sein. Dies gilt nicht nur für den Ladevorgang ab der Ladeeinrichtung, sondern auch für die vorgelagerte Installation. Hier gilt es, Überlastungen und damit das Risiko von Bränden oder die Beeinträchtigung der Funktion vorhandener Fehlerstrom- Schutzeinrichtungen zu vermeiden.

Es wird empfohlen, Ladestationen der Betriebsarten 3 oder 4 zu installieren. Diese bieten Anwendungs- und Investitionssicherheit sowie Komfort.

Die Ladeinfrastruktur für Elektromobilität gehört zu den Energieanlagen bzw. elektrischen Anlagen. Energieanlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass die technische Sicherheit gewährleistet ist. Der Einbau einer am Netz fest installierten Ladestation für die Ladebetriebsarten 3 und 4 oder der Einbau einer Schutzkontakt- oder Industriesteckdose für die Ladebetriebsarten 1 und 2 in eine bestehende Infrastruktur stellt eine Erweiterung der elektrischen Anlage dar. Bei Neuinstallationen und Erweiterungen sind die entsprechenden Teile der NIN, insbesondere Abschnitt 7.22, zu berücksichtigen. Weiterhin ist die Verfügbarkeit der Anschlussleistung mit dem Netzbetreiber zu klären.

Quellen: DerTechnische Leitfaden. Ladeinfrastruktur Elektromobilität. Version 3. Januar 2020 | Electrosuisse, e'mobile und VSE (Hrsg.). Anschluss finden. Elektromobilität und Infrastruktur, 2015

Emissionen 2018/2040
Aktuelle Ökobilanzen zeigen, dass in Bezug auf die CO_2-Emissionen Elektrofahrzeuge heute unter Berücksichtigung der Herstellung der Fahrzeuge (inkl. Batterie) sowie der Verwendung des Schweizer Strommix konventionellen Verbrennungsmotoren deutlich überlegen sind.

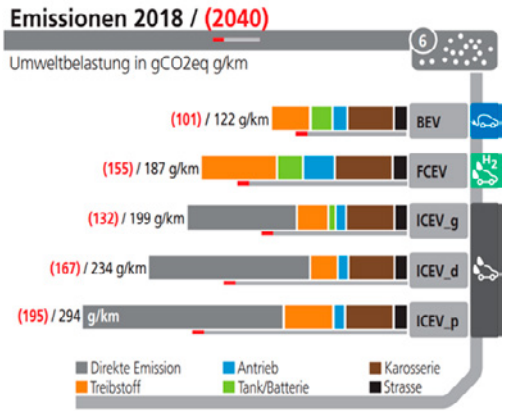


Bild 13.9: Ökobilanz Vergleich 2018/2040

Typische Entwicklung

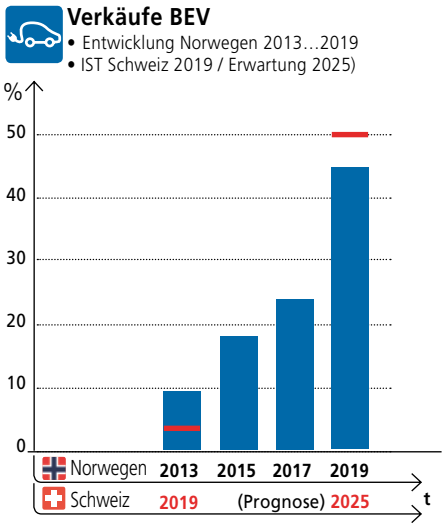


Bild 13.10: Vergleich BEV Verkäufe Norwegen Schweiz

Schutz durch RCD

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD) Die NIN 2020 fordern für alle Endstromkreise ≤32 A eine Abschaltzeit von 0.4 Sekunden (4.1.3.2). Zusätzlich ist für jeden Anschlusspunkt eines Elektrofahrzeugs ein RCD von max. 30 mA zu installieren (NIN 2020, 7.22.5.3.1).

Falls die EV-Ladestation mit einer Steckdose oder Fahrzeugkupplung ausgestattet ist, müssen Schutzvorkehrungen gegen Gleichfehlerströme vorgesehen werden, es sei denn, diese sind in die EV-Ladestation integriert. Geeignete Einrichtungen für jeden Anschlusspunkt sind Folgende:

– Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) Typ B oder
– Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) Typ EV

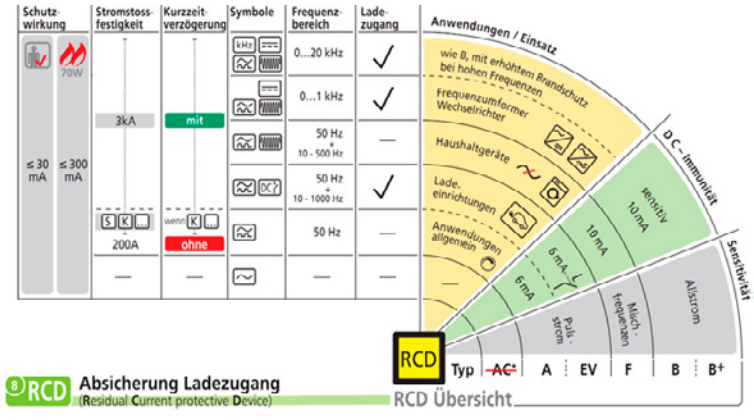


Bild 13.11: Absicherung Ladezugang

Notizen

Notizen

1015/0223d