

Der Bus der Zukunft ist elektrisch



Dr. Peter de Haan

EBP Schweiz AG, Partner, Mitglied GL, Leiter Ressourcen, Energie+Klima
ETH Zürich, Dozent MAS/CAS Mobilität der Zukunft

Der Bus der Zukunft ist elektrisch

1. Wie stellt man ganze Busflotten auf Elektroantrieb um?
2. Können Elektrobusse weiterhin einspringen z.B. als Bahnersatz?
3. Energieträger im Vergleich: Strom, Wasserstoff, E-Fuels
4. Ökobilanz: Lebenszyklusbetrachtung von Elektrobussen

5. Batterie-elektrische Langdistanz-Lastwagen, geht das?
6. Die grosse Frage: Wird H₂ eine «global commodity»?
7. Werden wir genug Kobalt und Lithium haben?
8. Wird das Recycling der Batterien klappen?

9. Elektromobilität + Wärmepumpen: Wieviel Strom brauchen wir zusätzlich?
10. Was ist wichtig, damit wir die Energiewende insgesamt «hinkriegen»?

Elektro-
busse

Elektro-
mobilität

Energie-
wende

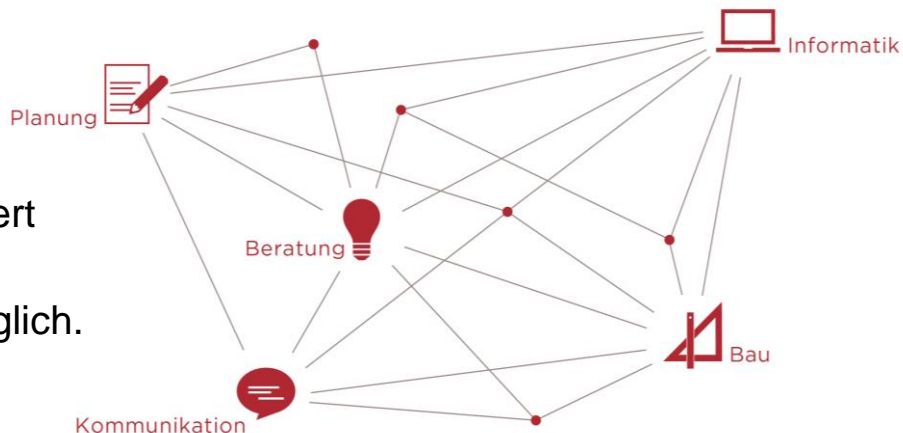
EBP?

- 1981 gegründet als Ernst Basler + Partner AG
- > eine der ersten Nachhaltigkeitsfirmen
- > Vollständig im Besitz der Gründerfamilie
- > Gewinne in Nachhaltigkeitsprojekte reinvestiert

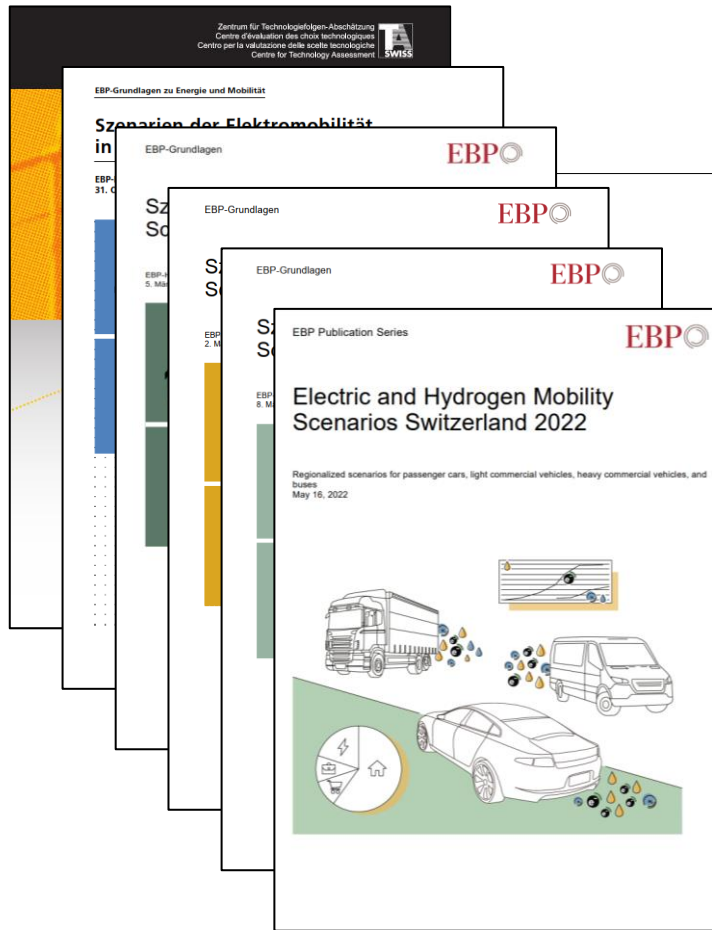
Wir lösen das Problem – so nachhaltig wie möglich.

380 Expertinnen und Experten aus der ganzen Schweiz – Bürostandort Zürich Stadelhofen.
Büros in USA, Deutschland, China, Brasilien, Chile

Die Energie-, Klima- und Ressourcenwende braucht mehrere Generationen:
Wir alle inkl. EBP werden da auch 2050 noch dran sein...



Electric and Hydrogen Mobility Scenarios – seit 2013



Erstmals 2013, Updates 2016, 2018, 2020, 2021, 2022
Öffentliche Kurzversion: www.ebp.ch > Publikationen

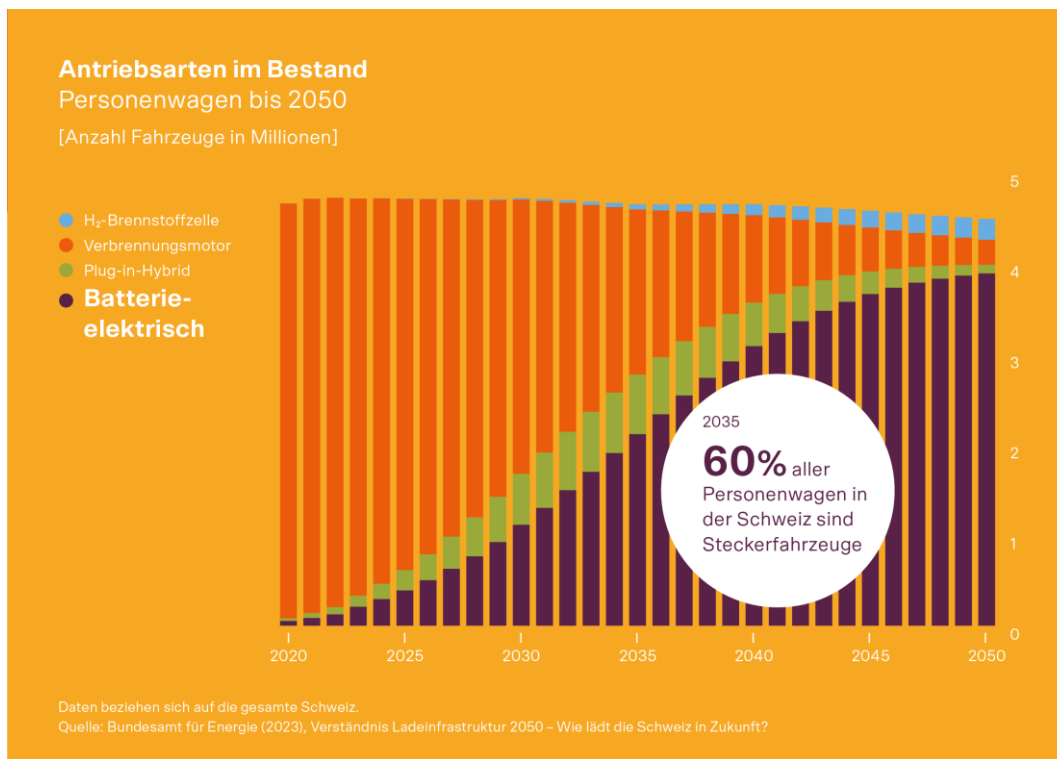
Die Szenarien konkretisieren BFE-Energiestrategie bottom-up berechnet (Neuwagenmarkt + Flottenmodell)

- **Szenario «Business as Usual»**
- **Szenario ZERO - E**
höhere Energieeffizienz, d.h. Strom statt Power-to-X (Mobilität: Wasserstoff, aber keine Power-to-Liquid)
- **Szenario ZERO – Hydrogen focus**
Wasserstoff wird zur «global commodity» und kann preiswert importiert werden.

Szenarien zeigen **Bandbreite** des künftigen Verlaufs

Die Zukunft des Strassenverkehrs ist elektrisch

- BFE-Studie «Verständnis Ladeinfrastruktur»
- Fahrleistung basiert auf ARE Verkehrsperspektiven 2050
- Elektrifizierung von
 - > Personenwagen
 - > Motorräder
 - > Lieferwagen
 - > Lastwagen
 - > Reise- und ÖV-Busse



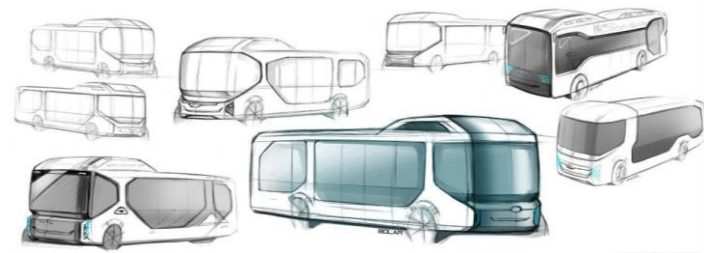
Wie stellt man ganze Busflotten auf Elektroantrieb um?

Strategie und Vision



- Nachhaltige Vision vs. konkrete Abläufe im Busbetrieb (heutige Qualität behalten!)
- Koordinierte Elektrobus-beschaffung (inkl. Beschaffungsplan) und Flottenumstellung bis 2035/2040

Marktentwicklung Elektrobusse



- Forecasting von zukünftig lieferbaren Elektrobussen/Batterien
- Elektrifizierungs- und Beschaffungsstrategie

Wie stellt man ganze Busflotten auf Elektroantrieb um?

Gesamtkostenrechnung (TCO)



- Investitionskosten: Busse, Ladeinfrastruktur, Garage, Netzanschluss, Werkstatt
- Fördermittel auf Stufe Bund + Kantone
- Betriebskosten: Ladeenergie, Wartung Ladeinfrastruktur, Batterieersatz

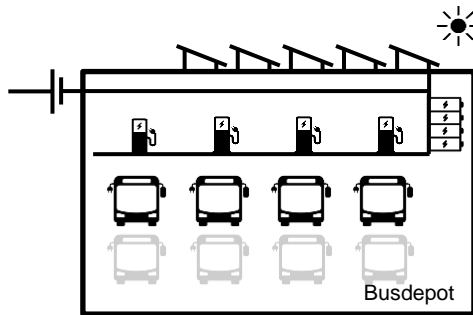
Flotten- und Umlaufanalyse



- Tageseinsätze der Busse (Umläufe und Linien)
- Spezifische Berechnung des Energieverbrauchs (mit Kurslänge, Durchlaufzeiten, Steigung, Beladung, Nebenverbräuche)

Wie stellt man ganze Busflotten auf Elektroantrieb um?

Planung Ladeinfrastruktur: Depots



- Elektrotechnische (Vor-)Projektierung Anschlussvarianten und Ladeszenarien
- Zeitplan für Baubewilligung, Ausschreibung und Ausführung

Planung Ladeinfrastruktur: Strecke



- Elektrotechnische Anschlussvarianten und Ladeszenarien
- Zeitplan für Baubewilligung, Ausschreibung und Ausführung

Können Busse weiterhin einspringen z.B. als Bahnersatz?

Dieselbusse bieten «gratis» viel Flexibilität, können schnell irgendwo einspringen.

Elektrobusse sind gebunden an ihrer Ladeinfrastruktur.

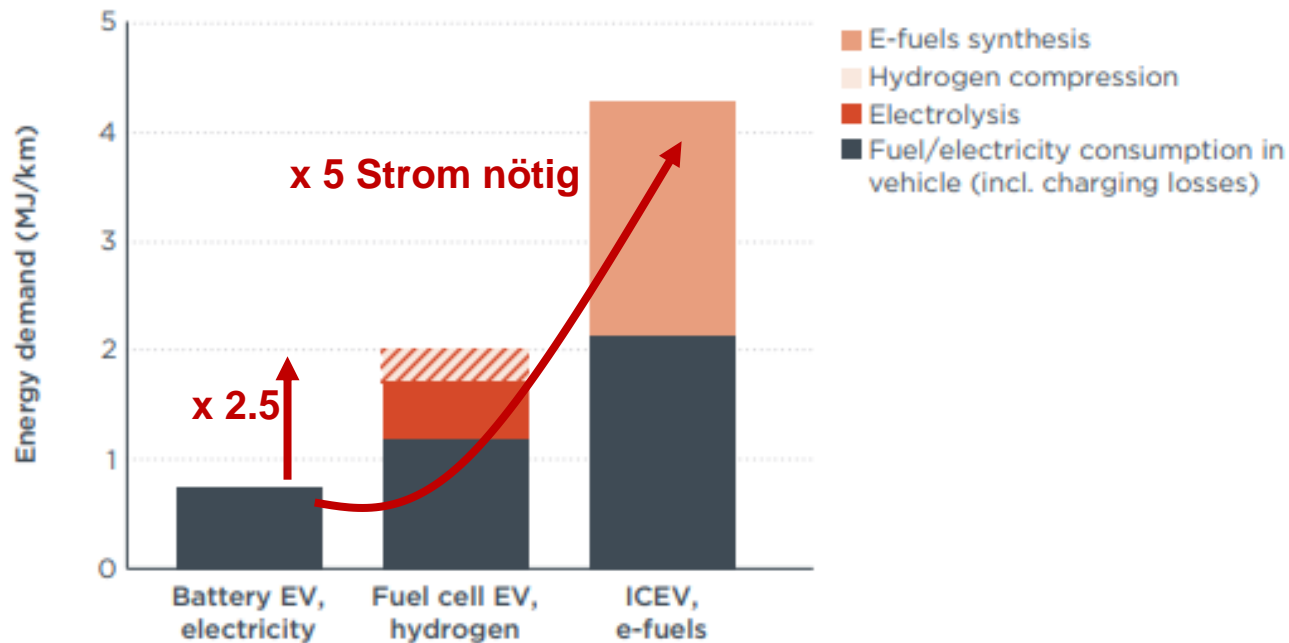
Bei der Umstellung auf E-Busse wird meistens nur der «Fahrplanfall» betrachtet.

Flexibilität für Angebotsänderungen, Bahnersatz, grössere Baustellen, Bevölkerungsschutz sollten «mitgedacht», d.h. «**mitbestellt**» werden.

Zentrale Rolle des ÖV-Bestellers, d.h. des Kantons bzw. sogar mehrerer Nachbarkantone:

- > Genügend Flexibilität für geplanten+ungeplanten Bahnersatz
- > Flexibilität für Umleitungen bei Grossbaustellen, Anlässen usw.
- > Interoperabilität: Der VBZ-Bus muss in Brugg laden können und umgekehrt

Energieträger im Vergleich: Strom, Wasserstoff, E-Fuels



ICCT, 2021. [Link](#).

Busbetriebe als neue Strom-Grossverbraucher

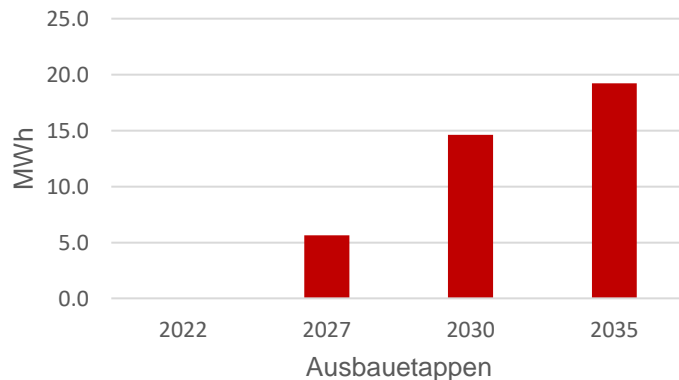
- Erhöhung Elektrizitätsbedarf + neue Leistungsspitzen

Typischer Fall einer ÖV-Busflotte:

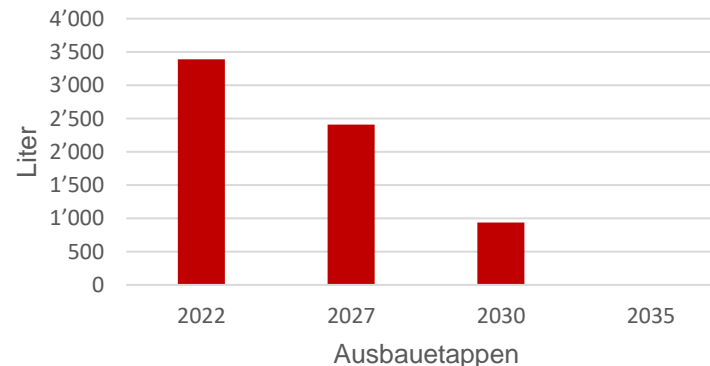
- Täglich 8'300 km, 3'390 Liter Diesel Verbrauch
- Heute 100% Diesel, bis 2035 100% elektrisch



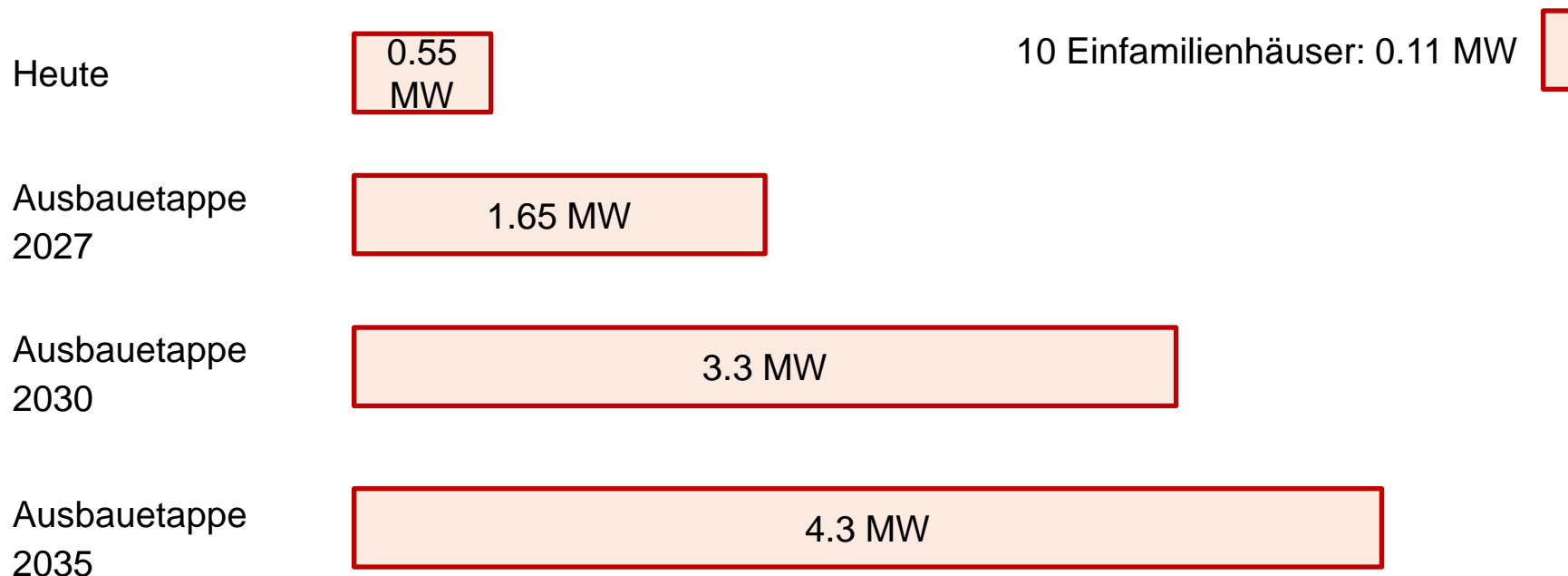
Täglicher Elektrizitätsverbrauch



Täglicher Dieserverbrauch



Benötigte Anschlussleistung einer typischen Bus-Garage



Lebenszyklusbetrachtung von Elektrofahrzeugen

Lebenszyklus = inkl. Herstellung + Entsorgung von Fahrzeug inkl. Batterie

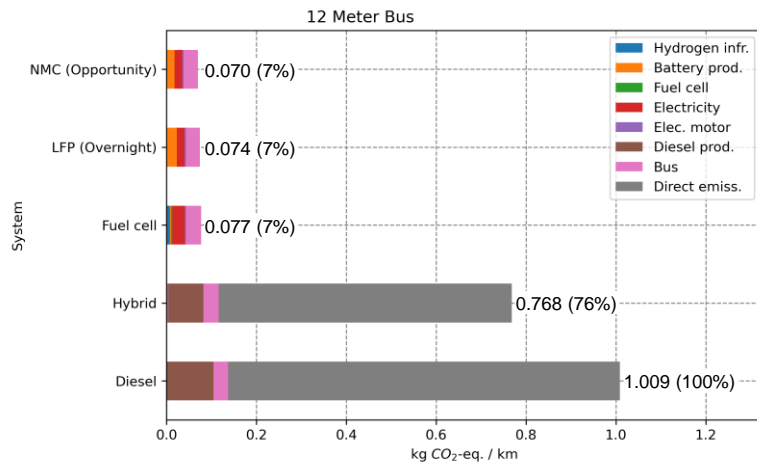
- > Mittlerweile klar, dass Batterien das ganze Fahrzeugleben lang halten
- > Gesamtbetrachtung ist für alle Fahrzeugkategorien positiv, sogar für Personenwagen die 23 von 24h «rumstehen»

- > **Für ÖV-Busse sehr positive Lebenszyklusbilanz von Elektrobussen:**
«Die allererste Batterie» sollte in einem Kehrlichfahrzeug installiert werden, die zweite Batterie in einen ÖV-Bus

- > **Welchen Strommix nimmt man an?**
Die Schweiz produziert fast CO₂-frei (Wasser+AKW).
Nach Export und Import von Strom hat man den «Konsummix».
Der Anteil erneuerbare Energie im «EU-Strom» wird deutlich zunehmen.

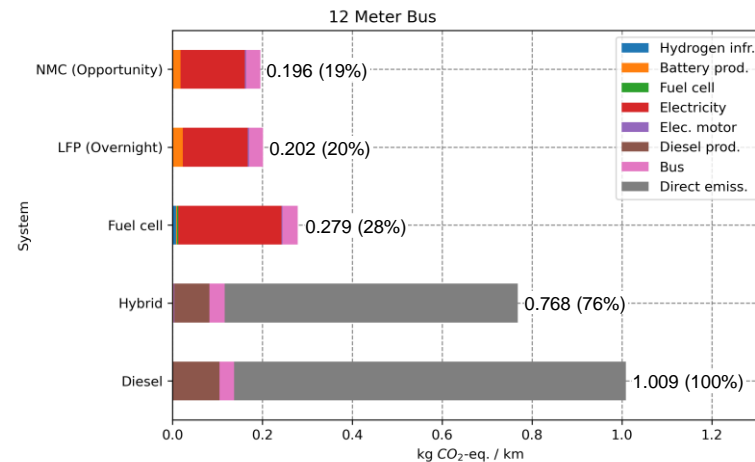
Lebenszyklus CO₂-Emissionen 2020 (verschiedene Strommixe)

Maximal erneuerbarer Strommix



Notiz: Prozentangaben in Klammern geben CO₂-Emissionen relativ zum Diesibus an

Schweizerischer Konsumentenmix 2020



CO₂-Emissionen von Batterie- und Wasserstoff-Bussen mit schweizerischem Strom-Konsummix etwa 3 bis 4x so hoch, dennoch 70 bis 80% besser als Diesibusse.

Batterie-elektrische Langdistanz-Lastwagen, geht das?

- > Für Wasserstoff-LKW braucht es zuerst einen Elektro-LKW...
- > Batterien haben sich enorm weiterentwickelt!
- > Beispiel: Tesla Semi Truck: Ursprünglich für 2019 angekündigt; aber Energiedichte der Batterien noch nicht genügend hoch. Seit Aug. 2023 auf US-Strassen



- > Variante «Batterien innert 30-45 Minuten nachladen» scheint sich durchzusetzen.

Europa: LKW-Hersteller gründen «Milence»:

- > Gestartet wird mit 300 bis 350 kW
- > **Ziel 1000-kW-Ladetechnologie**
- > Grosse Ladestandorte, Nähe Autobahn



Die grosse Frage: Wird Wasserstoff (H₂) eine «global commodity»?

Pfad (A) = H₂-Produktion innerhalb Europas

- «Grüner» H₂ aus Europa bis 2050 teuer
- Nicht nur mit «Überschussstrom»!!! H₂-Elektrolyseure braucht bis zu 4500 h/a für wirtschaftlichen Betrieb

Pfad (B) = Import von H₂, ganzjährig, aus Übersee, d.h. H₂ als «global commodity»

- Erhöht Menge erneuerbarer Energie für Europa
- Ermöglicht grössere Rolle H₂ im Energiesystem
- Hängt zu 100% ab vom Preis (inkl. Distribution)
- Primär für Hochtemperaturprozesse (Stahl, Zement, Grosschemie) und Stromwirtschaft
- Mobilitätssektor: Für Luft- und maritime Schifffahrt
- Braucht Logistik für Import, Lagerung, Distribution ab Häfen zu Grossindustrie, ggf. zu Flughäfen

Bundesregierung schliesst Wasserstoff-Bündnis mit Trudeau



Bundeskanzler Scholz mit dem kanadischen Premierminister Justin Trudeau in Toronto.

Carlos Osorio / Reuters

(dpa) Deutschland und Kanada haben eine langfristige Zusammenarbeit für die Erzeugung und den Transport von Wasserstoff vereinbart.

Bundeswirtschaftsminister Robert Habeck (Grüne) und der kanadische Energieminister Jonathan Wilkinson unterzeichneten am Dienstag in Stephenville in der Provinz Neufundland und Labrador ein Abkommen, das zum Export von Wasserstoff von Kanada nach Deutschland ab dem Jahr 2025 führen soll.

Werden wir genug Kobalt und Lithium haben?

Lithium

- > Reserven von 2010 auf 2022 verdoppelt auf 26 Mt; Vorkommen ca. 90 Mt; + in den Ozeanen 180'000 Mt (Konzentration 0.2 ppm; 60'000 Na : 1 Li)
- > Produktion 2021: 0.11 Mt; davon 50% Australien, 25% Chile; 70% für Batterien, steigend
- > Forschung zu alternativen Batterie-Chemien, aber Energiewende global dürfte grösstenteils mit Lithium-Ionen-Batterien stattfinden

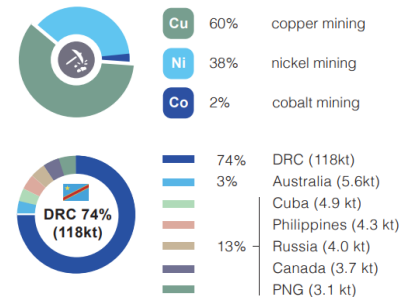


■ LFP
 ■ NMC
 ■ Sodium-ion
 ■ Sodium-sulfur
 ■ Liquid Metal
 ■ Zinc-ion

[Link](#)

Kobalt

- > 2021: Reserven 8.3 Mt, Vorkommen 25 Mt, + bis zu 120 Mt in Manganknollen in der Tiefsee
- > Meistens als Nebenprodukt in Kupfer- & Nickelminen
- > Produktion 2021: 0.18 Mt, 75% Kongo, davon 12% durch Kleinschürfer



- > 34% des Absatzes für Elektromob., steigend
- > Energiewende global bräuchte 2x die heute bekannten Reserven
- > Reduktion / bis zu 100% Substitution durch Eisen, Nickel oder Mangan möglich (z.B. Lithium-iron-phosphate, LFP)

Werden die Batterien dann auch recykliert werden?

EU End-Of-Life-Vehicle Regulation:

- > Verschärfung 2023: Autodesign besser auf Zirkularität ausgerichtet; Recyclingquoten und vorgeschriebene Rezyklatanteile

Geplante EU-Batterieverordnung:

- > ab 2026 Recycling-Quoten für Batterien + Rezyklatanteile für neue Batterien

Batterien halten ein Fahrzeugleben lang:

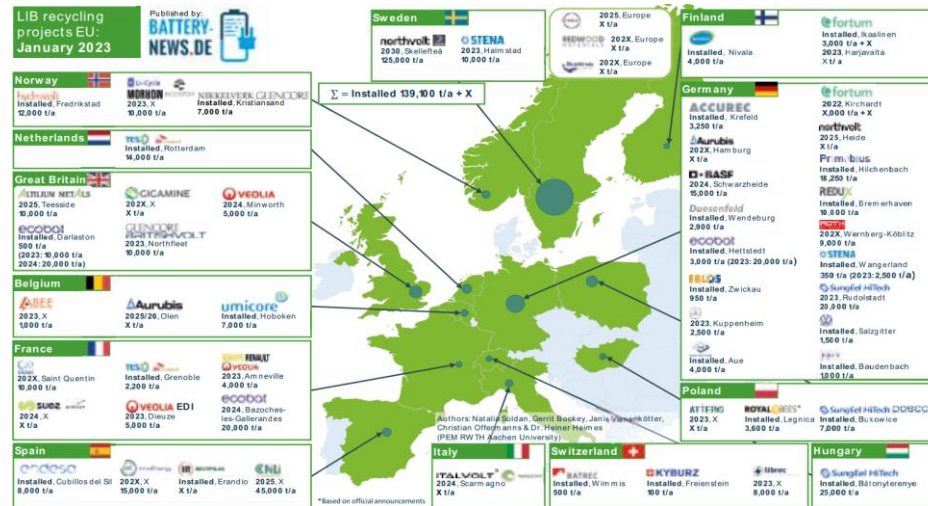
- > Hohe Lebensdauer von Lithium-Ionen-Batterien
- > Es gibt praktisch noch keine Altbatterien

Angestrebte Lösung in der Schweiz:

- > Stiftung Auto-Recycling Schweiz
- > BIN Batterie-Identifikations-Nummer

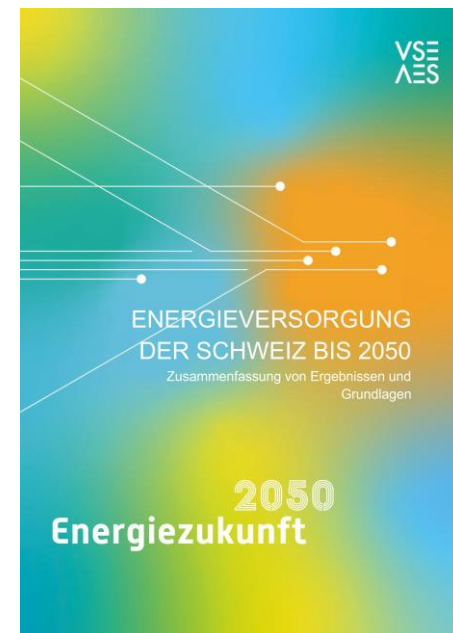
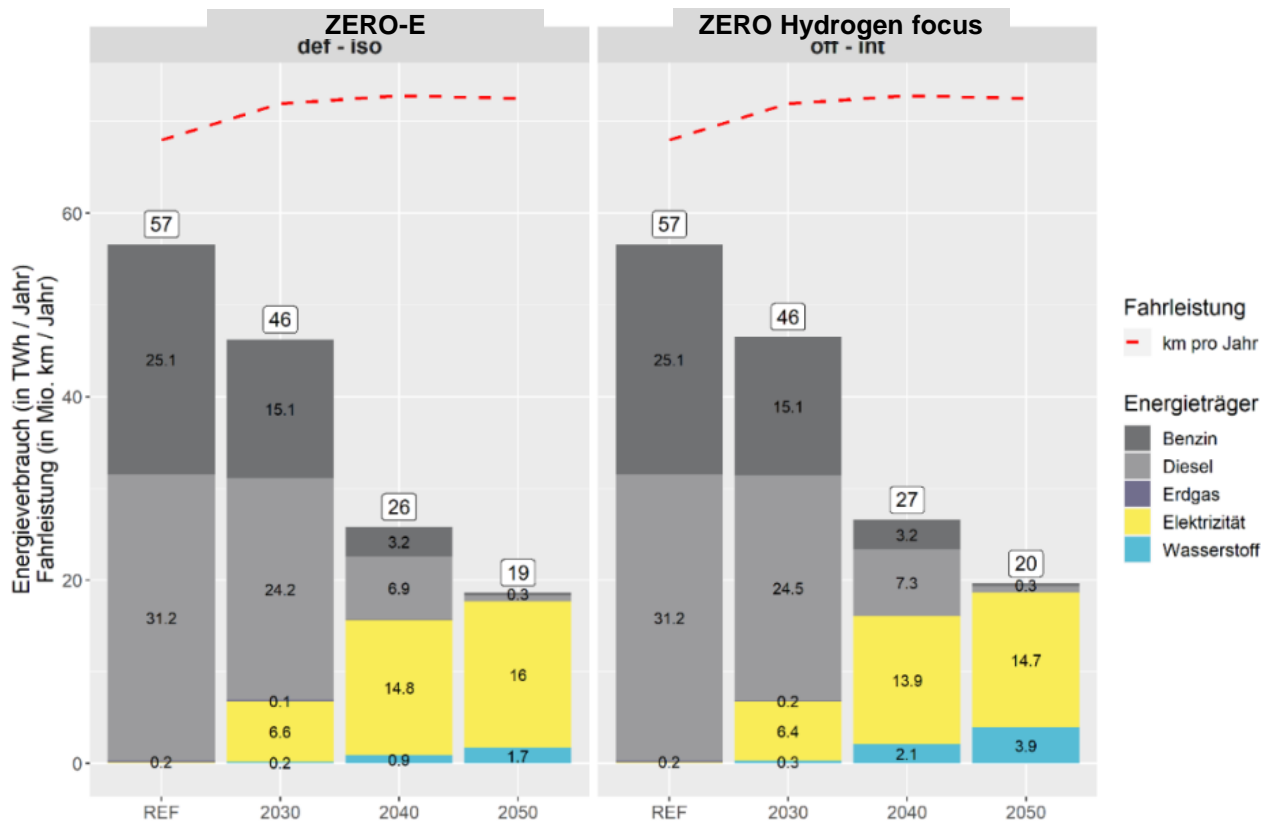
«2nd life» von Batterien:

- > zurzeit nur als Pilotprojekte
- > für grosse Stückzahlen → zurück zum Hersteller
- > Markt wird entscheiden, was sich lohnt...



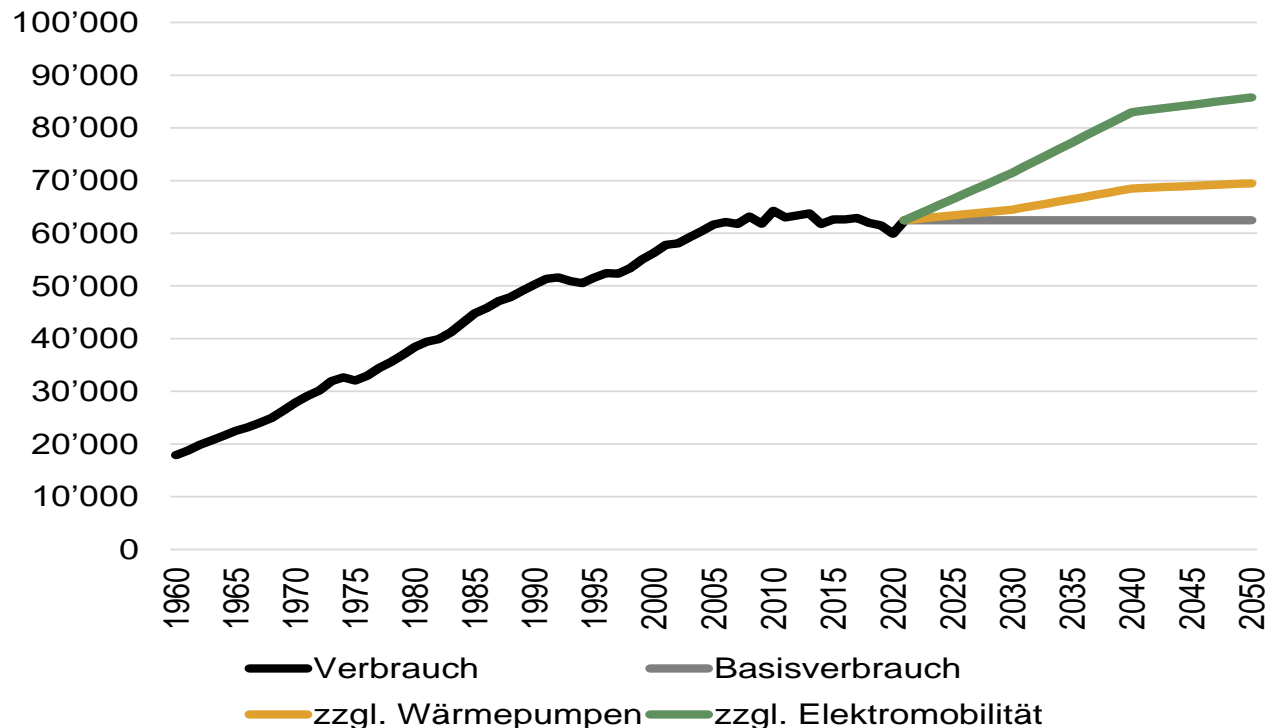
Batterie-Recycling in Europa (Stand: Januar 2023)

Energieverbrauch der Mobilität



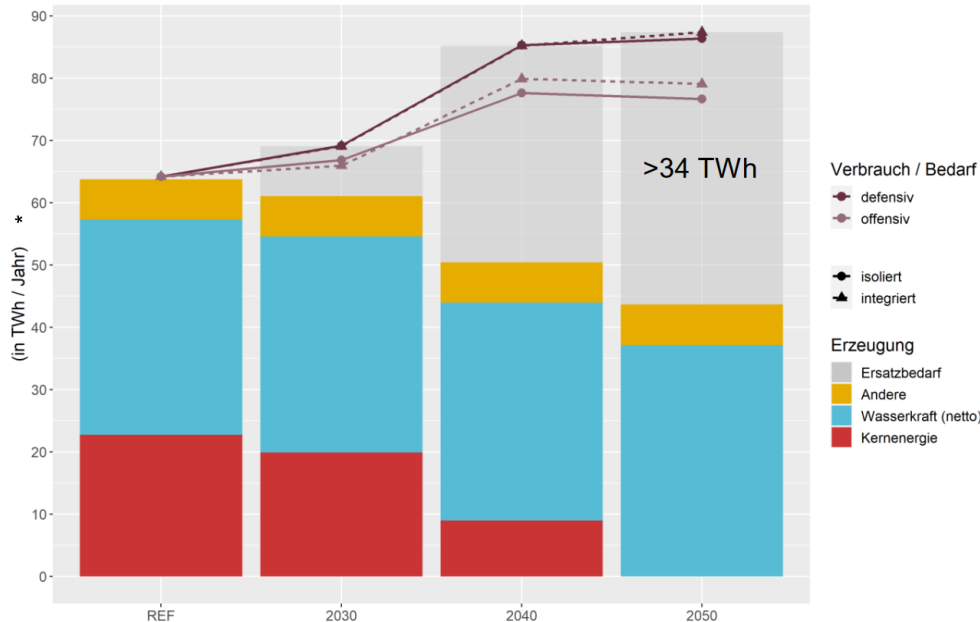
Elektromobilität und Wärmepumpen: Wie viel Strom zusätzlich?

Stromverbrauch in der Schweiz in GWh



Bis 2050 müssen mindestens 34 TWh neue Produktion zugebaut werden

Der Strombedarf in der Schweiz wird zunehmen.

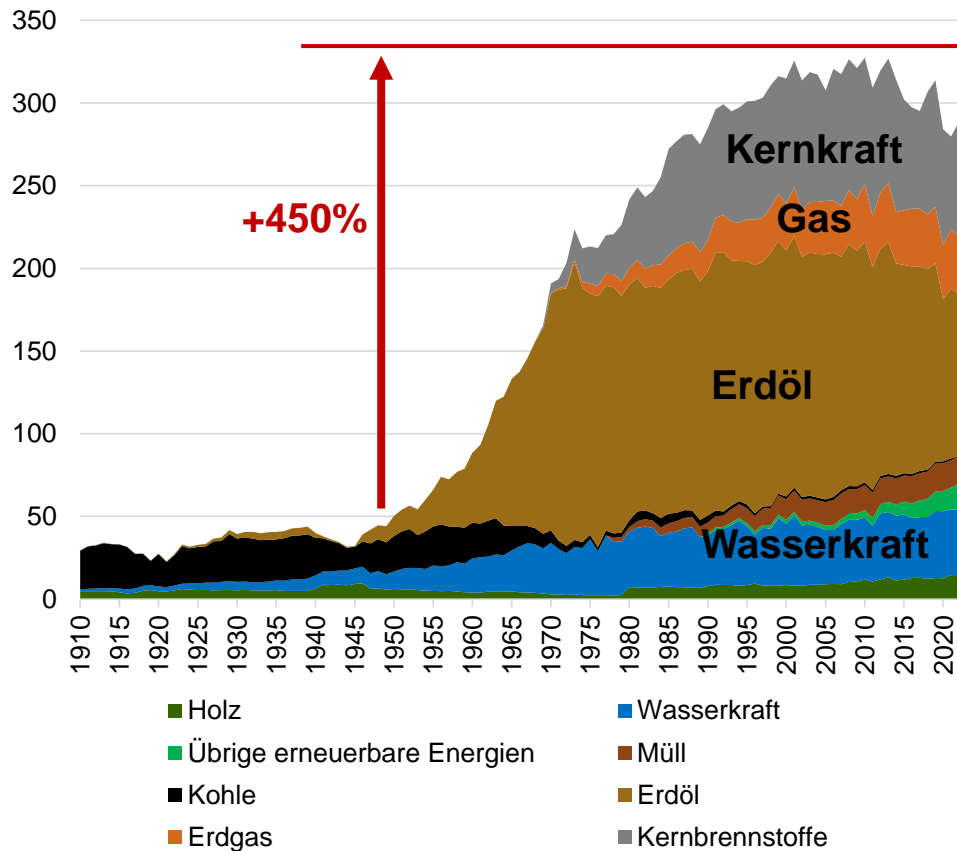


* Landesverbrauch; EP2050+, ZERO Basis 76 TWh (2050), ohne Speicher, inkl. Verluste

- Stromnachfrage wird von heute rund 60 TWh/a auf rund 80-90 TWh/a* ansteigen
- Haupttreiber des Mehrbedarfs sind Mobilität, Wärme und Kälte
- Ersatz für die wegfallende Kernkraft



Bruttoenergieverbrauch der Schweiz in TWh



Was ist wichtig, damit wir die Energiewende hinkriegen?

- Das Netto-Null-Ziel ist dank Energieeffizienz und starker Elektrifizierung möglich.
- Der Energiebedarf sinkt deutlich – der Strombedarf insbesondere im Winter steigt aber deutlich an.
- Im Strassenverkehr ist die Elektrifizierung die beste Option zur Dekarbonisierung und es lässt sich praktisch alles elektrifizieren.

- Der Aufbau der dafür notwendigen Ladeinfrastruktur muss jetzt erfolgen.
- Photovoltaik und Windkraft müssen ambitioniert und rasch ausgebaut werden.
- Es braucht gesicherte Stromimporte im Winter und, je nach Energieabkommen mit der EU, neue Gaskraftwerke, die mit 100% erneuerbarem (importiertem) Gas betrieben werden.
- Der Bedarf nach Laststeuerung und Einspeisemanagement, aber auch der Netzausbaubedarf, ist hoch.

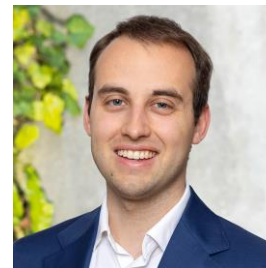
EBP-Team Elektromobilität



Silvan Rosser
MSc. ETH Umweltnaturwissenschaft
Teamleiter Elektromobilität



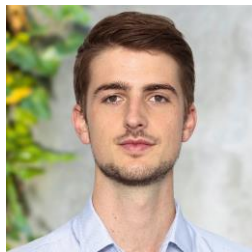
Peter de Haan
Dr. sc ETH Physik
Leiter Bereich Ressourcen, Energie + Klima



Alessio Mina
MSc. ETH Maschinenbauing.
Projektleiter



Julia Maschler
MSc. ETH Umweltnaturwissenschaft
Projektleiterin



Lukas Lanz
MSc. ETH Energy Science and Technology
Projektleiter



Michele Chamberlin
MSc. ETH Energy Science and Technology
Projektleiter



Felix Ribi
Nachdiplom Umweltwissenschaft,
Projektleiter



Hanspeter Abegg
Elektroingenieur und Elektroplaner
Projektleiter

Energieträger im Vergleich: Strom, Wasserstoff, E-Fuels

