



(Bild: Icruci@AdobeStock)

Alles dreht sich um die Batterie

«Ob im Keller oder auf vier Rädern – die Batterie ist ein Schlüsselement der Energiewende. Was darf man heute erwarten, was bringt die Zukunft? Welchen Problemen geht man heute in der Forschung nach und wie setzt man heute Batterien schon optimal ein? »

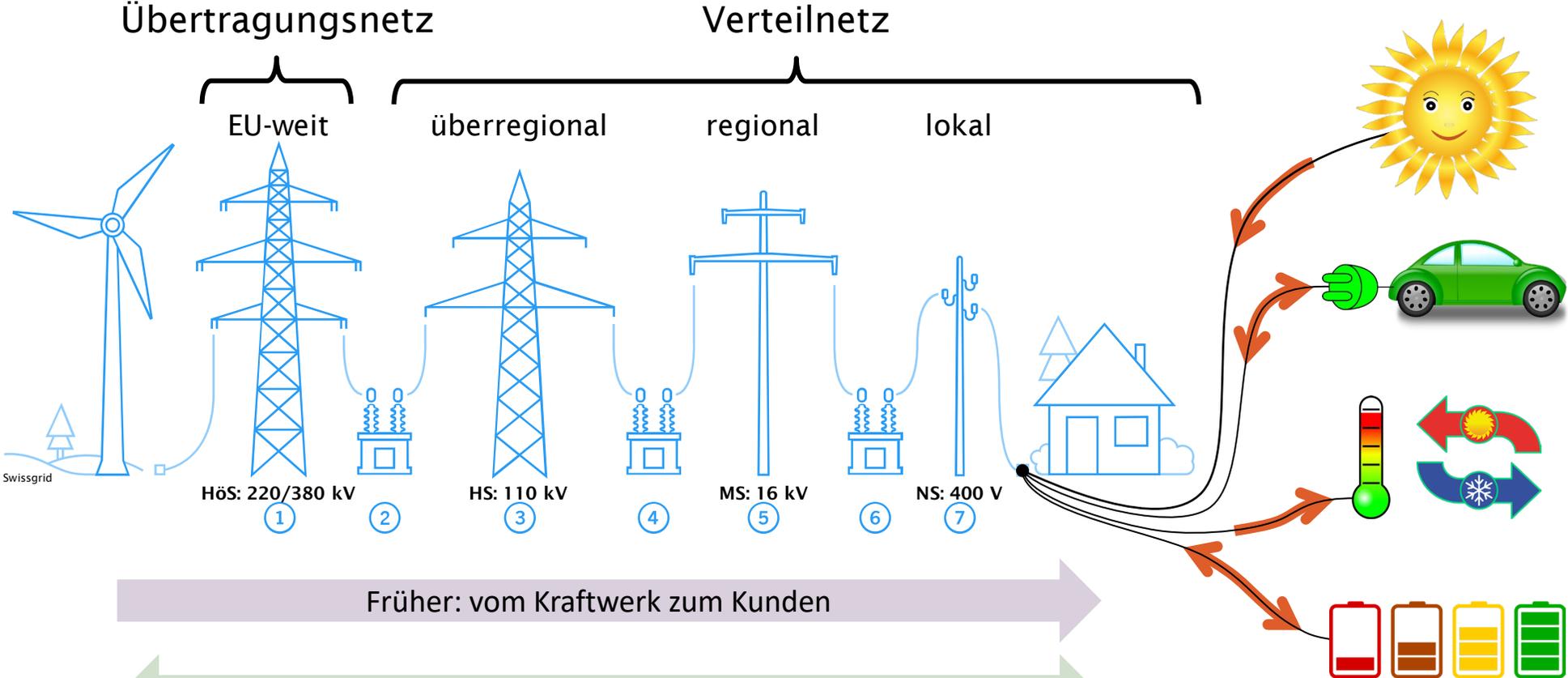
► Prof. Dr. Andrea Vezzini | Berner Fachhochschule | BFH-Zentrum Energiespeicherung

Elektrische Energiespeicher



Quelle: Bild Gerhard Mester

Die Stromversorgung früher und heute

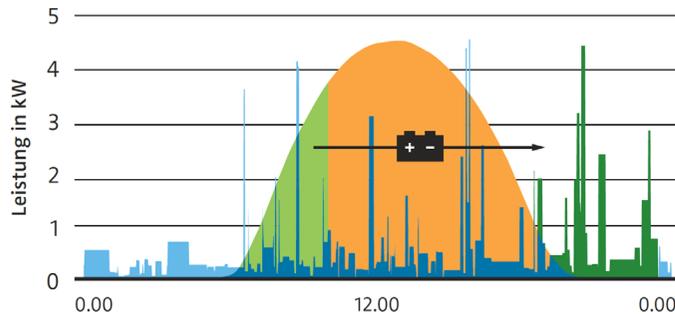


Quelle: pixabay.com

Batterien mit Photovoltaik-Anlagen

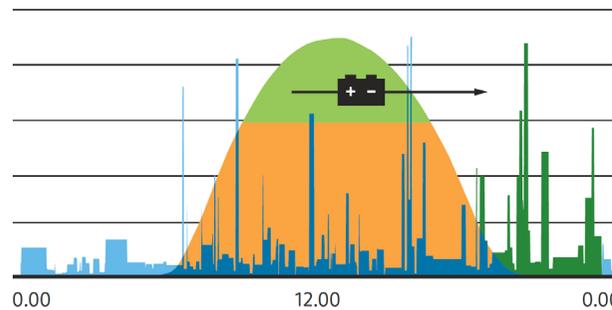
Maximierung Eigenverbrauch

- Besitzer kann einen möglichst hohen Anteil des Solarstroms selbst verbrauchen
- Inaktivität bei der Mittagsspitze
- Leistungsgradient sobald vollgeladen



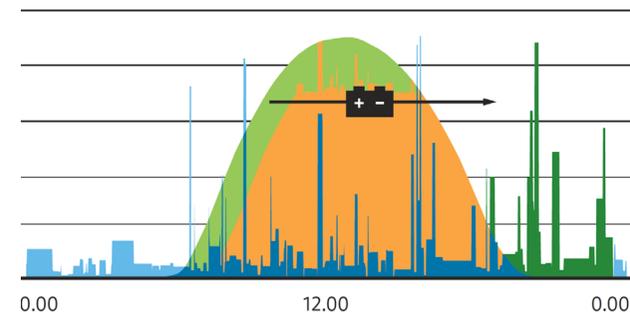
Netzentlastung

- Speicher entlasten das Netz auf intelligente Weise
- Evtl. verringerter Eigenverbrauch



Optimierung Eigenverbrauch und Netz

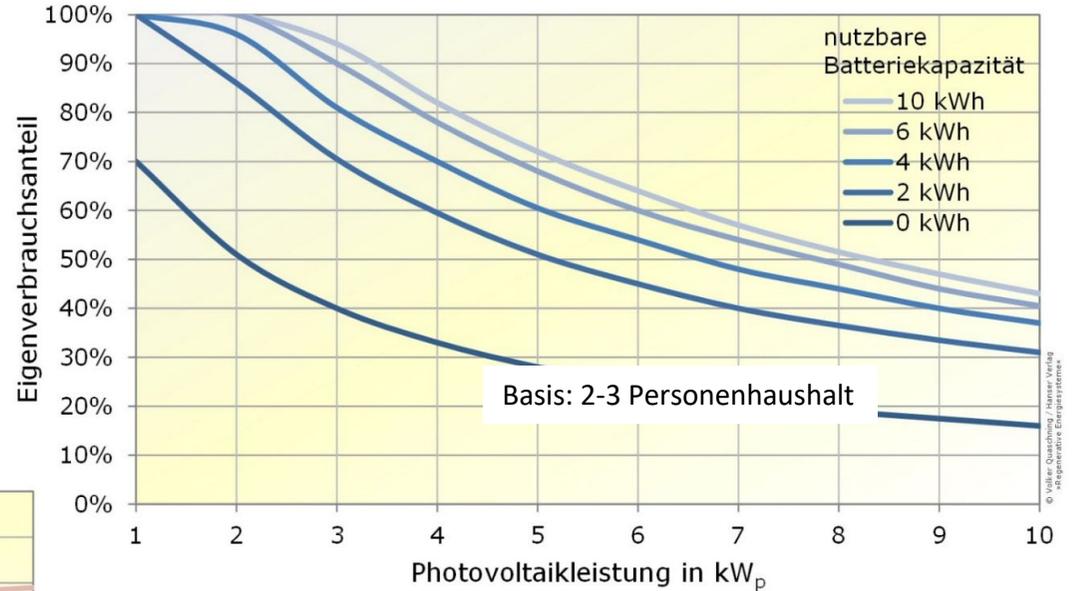
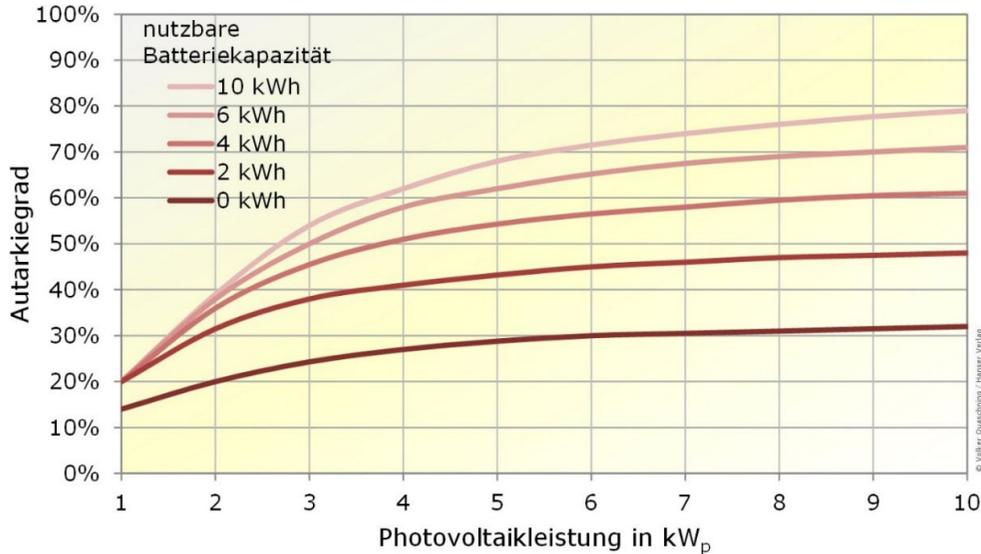
- Kombination der beiden Betriebsarten



Quelle: Merkblatt Photovoltaik Nr. 13; 12/2016/Merkblatt-Nr.21013d;
https://www.swissolar.ch/fileadmin/user_upload/newsletter/NL_16_12/161219_Merkblatt_pv_speicher_def.pdf

PV und Batterie

- Je nach Auslegung der Batterie lässt sich der Eigenverbrauchsanteil stark erhöhen
- Der Autarkiegrad kann bei grossen PV-Anlagen in Kombination mit grosszügig dimensionierten Batteriespeichern bis 80% erreichen.



- Aufgrund der Investitionen in Höhe von 500 – 1000 Fr/kWh sind heute Home-Batteriespeicheranlagen, welche ausschliesslich zur Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils eingesetzt werden, wirtschaftlich nicht darstellbar!

Die EV-Revolution wird zum Mainstream

2021: Die Schweiz drängt in die Zukunft

Neuzulassungen Steckerfahrzeuge 2021

Januar - Dezember 2021



Quelle: IVZ ASTRA, Stand 01.01.2022

- ▶ Update Elektromobilität Schweiz 2021: 32,9% Plug-in-Fahrzeuge im Dezember, womit erstmals die 30%-Marke in der Schweiz überschritten wurde.
- ▶ Positiv: Mehr als 2/3 davon sind reine Elektrofahrzeuge (BEV).
- ▶ Im Jahresdurchschnitt war mehr als jedes fünfte Fahrzeug ein Plug-in-Fahrzeug (insgesamt 22,5%), davon fast 60% BEVs.

Preis für Batterien

Batteriepackpreis (\$/kWh)



Prognose:

94 \$/kWh in 2024

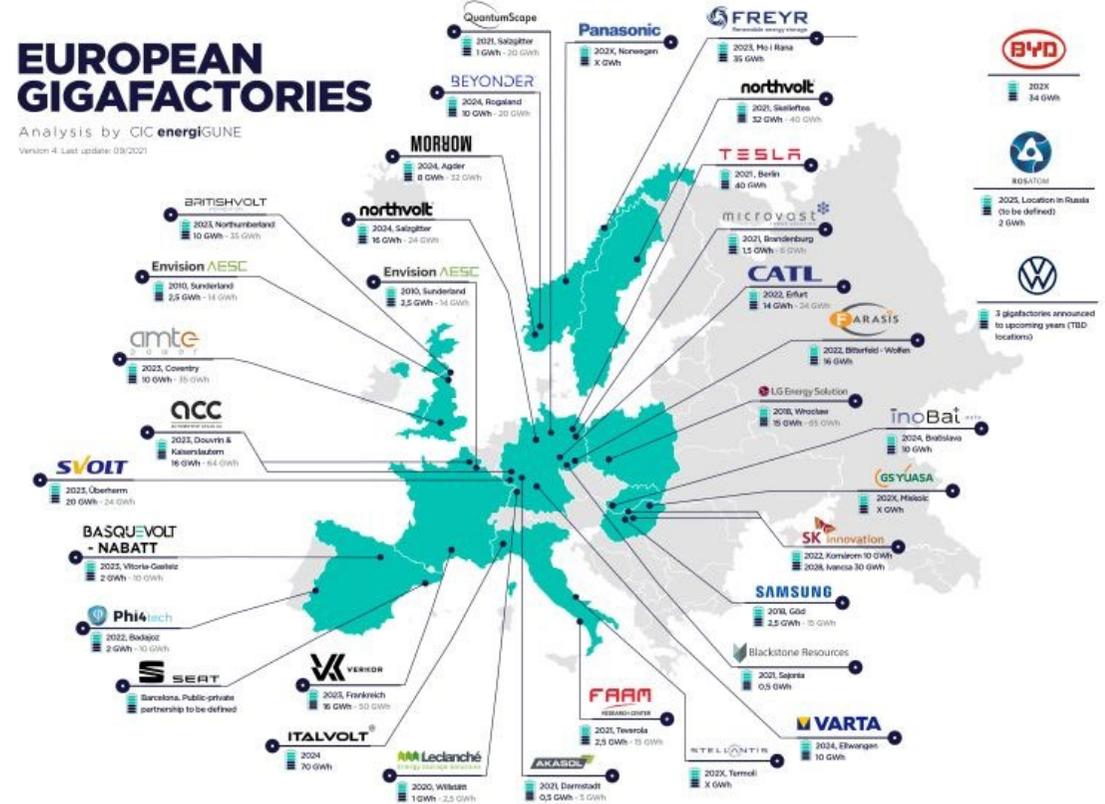
62 \$/kWh in 2030

Quelle: BloombergNEF

Der Aufstieg der Gigafactory

- ▶ Um mit der Nachfrage nach Elektrofahrzeugen Schritt zu halten, sind Batterien erforderlich...
- ▶ Die Tesla Gigafactory 1 in Nevada, USA, soll 35 GWh Batterien pro Jahr produzieren.
- ▶ Bis 2025 sollen die geplanten Gigafactories in Europa auf 25 Werke und eine Produktionskapazität von rund 591 GWh anwachsen und bis 2030 664 GWh erreichen.
- ▶ Die Produktion wird mindestens so viel Gigatonnen an Rohstoffen erfordern und sich auf globale Lieferketten stützen

Sources: CIC energiGUNE, TechCrunch



Vorurteil: EV sind schwer und teuer



Tesla Model 3: Long Range AWD

Range per tank: 500 kilometers | 310 miles

Curb weight: 1,847 kilograms | 4,072 pounds

MPGe: 120 City / 112 Highway / 116 Combined MPGe

Electric Motor Power: 211 kilowatt

Electric Motor Torque: 376 lb-ft

Motor Type: Permanent Magnet AC synchronous

Hydrogen tank capacity: N/A

Battery capacity: 75 kWh

Battery type: Lithium-Ion (NMC811)

Base price: \$47,990



BMW M340i: AWD (2020)

Range per tank: 768 kilometers | 477 miles

Curb weight: 1,800 kilograms | 3,968 pounds

MPG: 22 City / 30 Highway / 25 Combined MPG

Electric Motor Power: 281 kilowatt

Electric Motor Torque: 369 lb-ft

Motor Type: Inline 6 Cylinder Turbo

Fuel tank capacity: 59 liters

Battery capacity: N/A

Battery type: N/A

Base price: \$56,000



Toyota Mirai H2 FC FWD

Range per tank: 502 kilometers | 312 miles

Curb weight: 1,848 kilograms | 4,075 pounds

MPGe: 66 City / 66 Highway / 66 Combined MPGe

Electric Motor Power: 114 kilowatt

Electric Motor Torque: 247 lb-ft

Motor Type: Permanent Magnet AC synchronous

Hydrogen tank capacity: 122.4 liters total

Battery capacity: 1.6 kWh

Battery type: Nickel-Metal Hydride (Ni-MH)

Base price: \$58,365

MERCEDES EQXX: 1.008 + 140 km mit einer Akku-Ladung



- ▶ von Stuttgart an die Côte d'Azur ohne nachzuladen
- ▶ Durchschnittsgeschwindigkeit: 87,4 km/h inklusive aller Staus
- ▶ Batteriekapazität: 100 kWh (CATL Silizium-Anoden)
- ▶ Batteriegewicht: 495 Kilo
- ▶ Gesamtgewicht: 1.755 kg | cW-Wert: 0,17
- ▶ Verbrauch: 8,7 Kilowatt auf 100 Kilometer

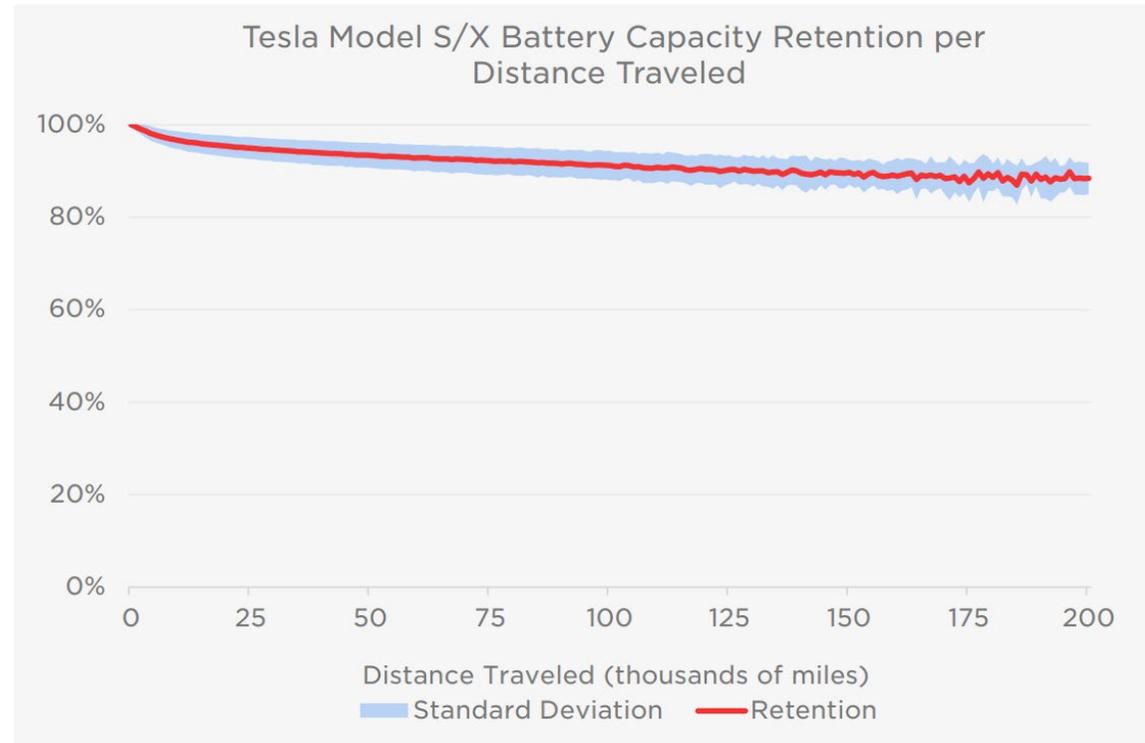
Source: auto motor sport 4/22

Batterien werden die Fahrzeuge überdauern

Source: Tesla 2020 Impact Report

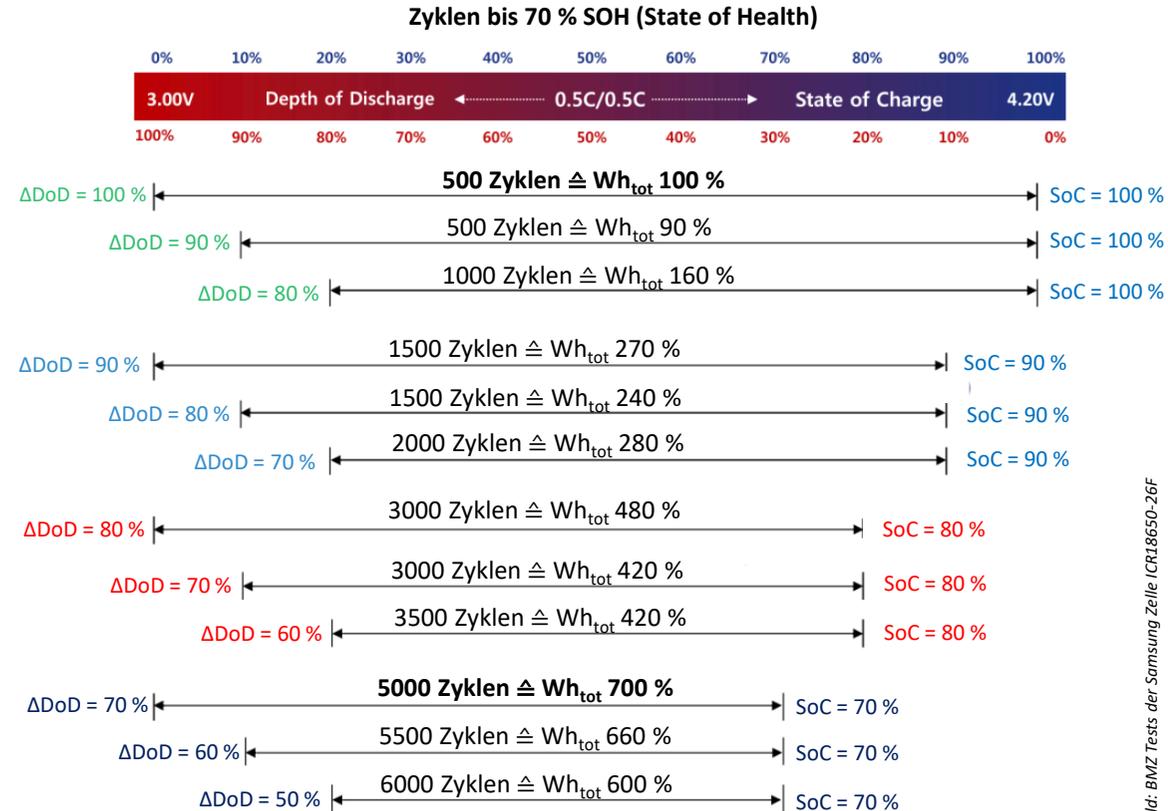
- ▶ Die durchschnittliche Nutzungsdauer privater Personenkraftwagen (ICE) in den USA beträgt 17 Jahre und rund 200.000 Meilen (322.000 km). Die Laufleistung in Europa ist geringer - etwa 130.000 Meilen (209.000 km).
- ▶ Nach dem Verkauf von mehr als 1 Million Elektroautos zeigen die Daten von Tesla zur Batterieabnutzung, dass Fahrzeuge mit einer Laufleistung zwischen 150.000-200.000 Meilen (241.000-322.000 km) im Durchschnitt noch über 88 % der ursprünglichen Batteriekapazität verfügen (rote Linie / die Batterieabnutzung liegt unter 15 %).
- ▶ Die Zukunft bringt sogar noch mehr: Akkus für 100 Jahre - Tesla-Forschungspartner Dahn ist jetzt bei 15.000 Zyklen mit 5% Verlust

Capacity retention of Tesla vehicle batteries averages ~90% after 200,000 miles of usage

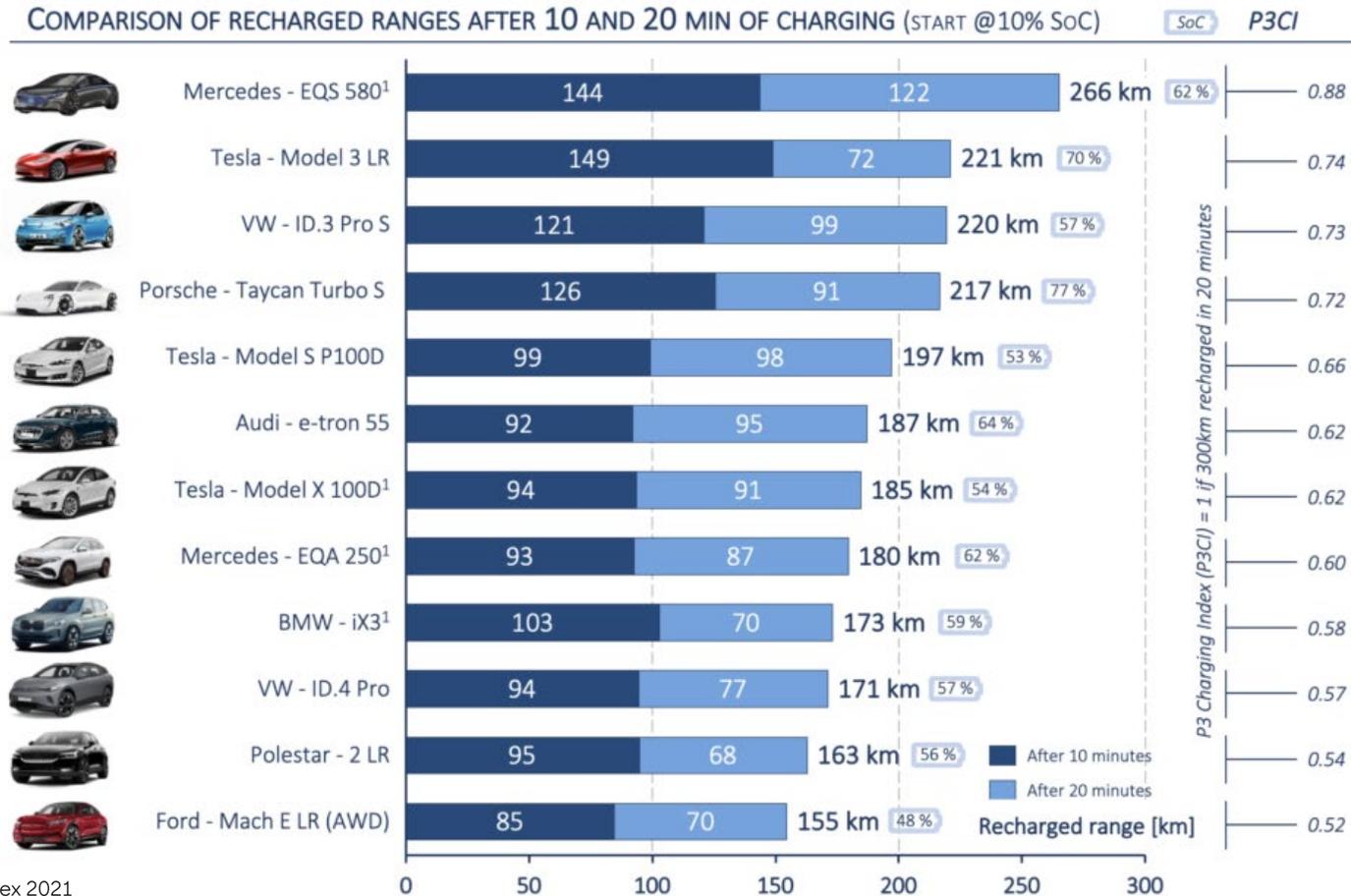


Einfluss der Entladetiefe (DoD) u. Spannung (U) auf SOH

- ▶ Für einige Chemien (z. B. NMC) gibt es einen starken Zusammenhang zwischen der Ladeschlussspannung und der Anzahl Zyklen bis Lebensende.
- ▶ Betriebsstrategien sollen deshalb Spannungslevels berücksichtigen, um die Lebensdauer einer Batterie zu maximieren.
- ▶ Dies erhöht die Komplexität des Gesamtsystems bzw. eines Batteriemanagement- und Energiemanagementsystems.

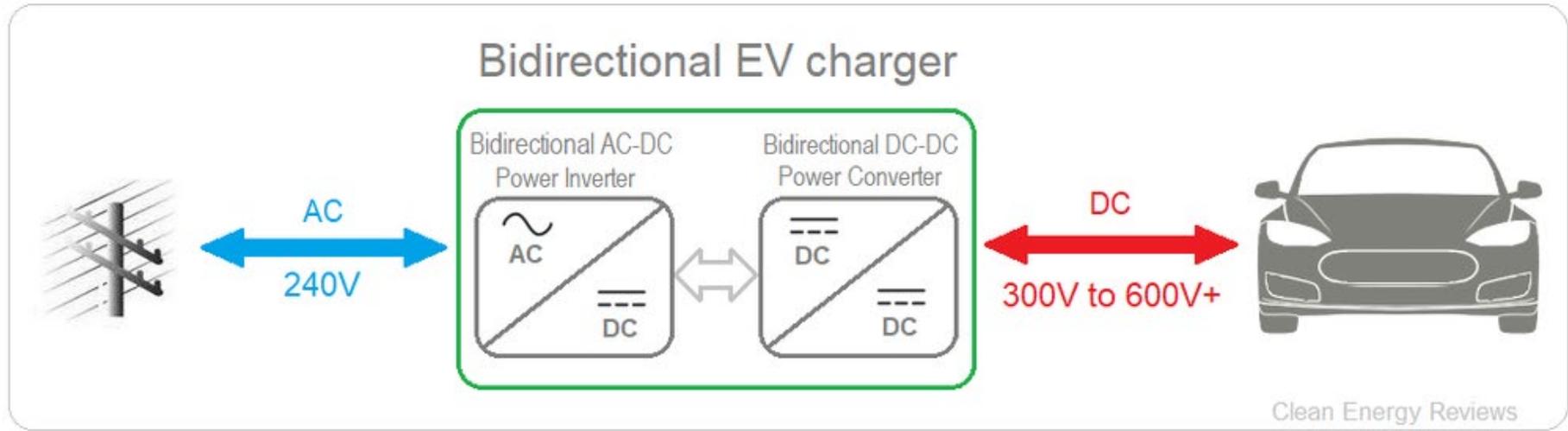


800-Volt-Technik und Ladeleistungen von bis zu 500 kW



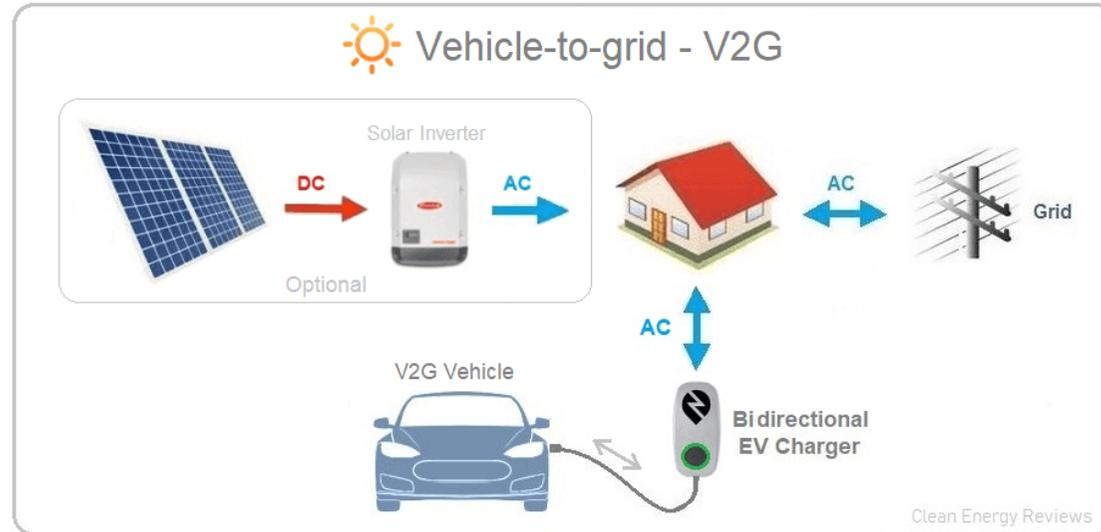
Source: P3 Charging Index 2021

Was ist ein bidirektionales Ladegerät?



- ▶ Ein bidirektionales Ladegerät ist ein fortschrittliches EV-Ladegerät, das in der Lage ist, Energie aus einer Elektrofahrzeugbatterie zu laden und zu entladen.
- ▶ Sie können jedoch nur mit kompatiblen Fahrzeugen betrieben werden, die eine bidirektionale Gleichstromladung zulassen.
- ▶ Bidirektionale Ladegeräte sind weitaus anspruchsvoller und daher teurer als normale EV-Ladegeräte, da sie eine fortschrittliche Leistungsumwandlungselektronik enthalten, um den Energiefluss zum und vom Fahrzeug zu steuern.

Vehicle-to-grid - V2G



- ▶ Bei Vehicle-to-Grid wird ein Teil der Energie aus der Batterie des Elektrofahrzeugs entladen und in das Stromnetz eingespeist, wenn die Nachfrage hoch ist, im Austausch für einen Anreiz oder reduzierte Stromkosten, je nach Servicevertrag.
- ▶ Ein Teil des Problems bei der Einführung der V2G-Technologie sind die regulatorischen Herausforderungen und das Fehlen von standardisierten bidirektionalen Ladeprotokollen und Steckertypen für Elektrofahrzeuge.

BFH Projekt V2X

- ▶ The Nissan LEAF of the PV LAB at Bern University of Applied Sciences BFH parked in the BFH solar carport.

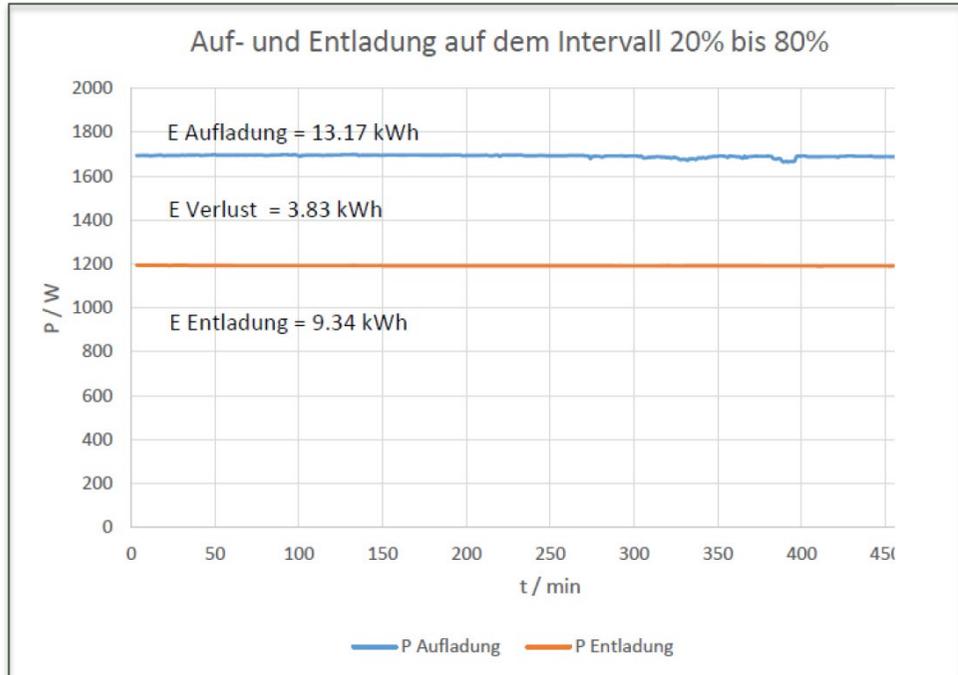
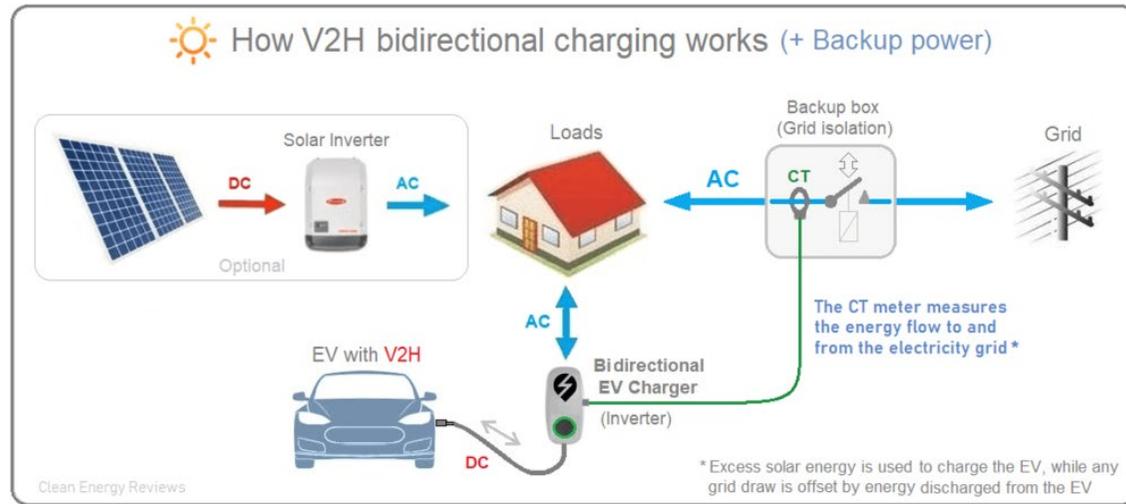


Fig. 12: Charge-/ discharge curves: total efficiency 70.9%



Figure 13: EVTEC bidirectional charging unit with Nissan LEAF.

Vehicle-to-home - V2H



- ▶ Vehicle-to-Home oder V2H ist ähnlich wie V2G, aber die Energie wird lokal für die Stromversorgung eines Hauses genutzt, anstatt in das Stromnetz eingespeist zu werden. Dadurch kann das Elektrofahrzeug ähnlich wie ein normales Haushaltsbatteriesystem funktionieren und die Autarkie erhöhen, insbesondere in Kombination mit einer Solaranlage auf dem Dach.
- ▶ Für den Betrieb von V2H sind ein kompatibles bidirektionales Ladegerät und zusätzliche Geräte erforderlich, darunter ein Energiezähler (CT-Meter), der am Hauptnetzanschlusspunkt installiert werden muss. Der Stromzähler überwacht den Energiefluss zum und vom Netz.

Wie lange kann meine 50kWh Batterie mein Haus versorgen?

- ▶ Der Stromverbrauch in der Tabelle wurde nach Haushaltsgrösse und Wohnobjekt vom Bundesamt für Energie BFE berechnet.
- ▶ Diese Verbrauchszahlen beinhalten allerdings keine Heizenergie, z.B. für die Wärmepumpe (zusätzlich 3'000kWh/Jahr)
- ▶ Ein 58kWh Speicher eines VW ID3 reicht somit zwischen 3 bis 5 Tage.

Gerätekategorie	MFH-Wohnung		Einfamilienhaus	
	zwei Personen kWh/Jahr	+/- eine Person kWh/Jahr ¹	vier Personen kWh/Jahr	+/- eine Person kWh/Jahr ¹
Kochen und Spülen				
Kochen/Backen inkl. Spezialgeräte, z. B. Kaffeemaschine	290	77.5	445	77.5
Geschirrspüler	210	20	250	20
Kühlschrank mit oder ohne Gefrierteil	210	28.5	332	42.5
Separates Gefriergerät	-	-	320	20
Beleuchtung	210	52.5	418	74
Waschen und Trocknen				
Waschmaschine	185	53.5	315	62.5
Wäschetrockner (für ca. 75% der Wäsche)	165	55	287	53.5
Elektronik (Unterhaltung und Büro)				
Unterhaltungselektronik (TV, Video, HiFi etc.)	235	56.5	410	76
Heimbüro (PC, Drucker, Modem etc.)	185	55.5	330	73.5
Div. Kleingeräte, inkl. Staubsauger	215	39.5	381	51.5
Allgemeinstrom (Gebäudetechnik, ohne Wärmepumpe)	285	-	560	42.5
Total, kWh/Jahr	2190	458.5	4048	593.5

Quasar 2: bi-directional charger from Wallbox



More Powerful

11.5kW for faster EV charging and discharging.

Charger: DC

Rated power: 11.5 KW (48 A)

Connector Type: CCS

Target Efficiency: 97%



More Compact

An updated lightweight design for easy installation that fits your life.

Height: 703.5 mm

Width: 338 mm

Depth: 127 mm

Weight: 20kg



More Versatile

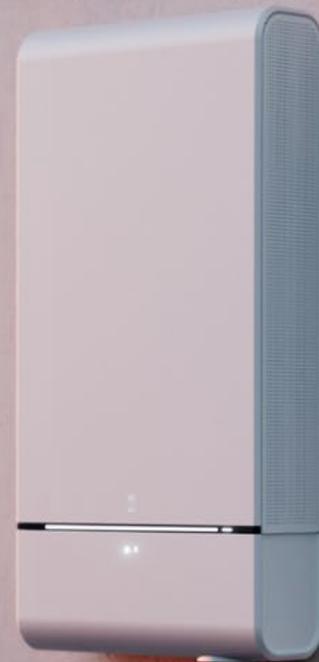
Use your EV to power your home, daily or during a power outage.

Connectivity: Wi-Fi / Ethernet / Bluetooth / 3G/4G

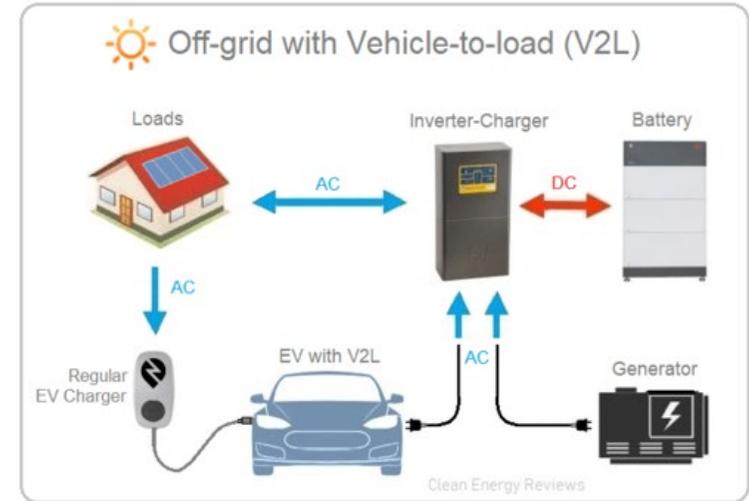
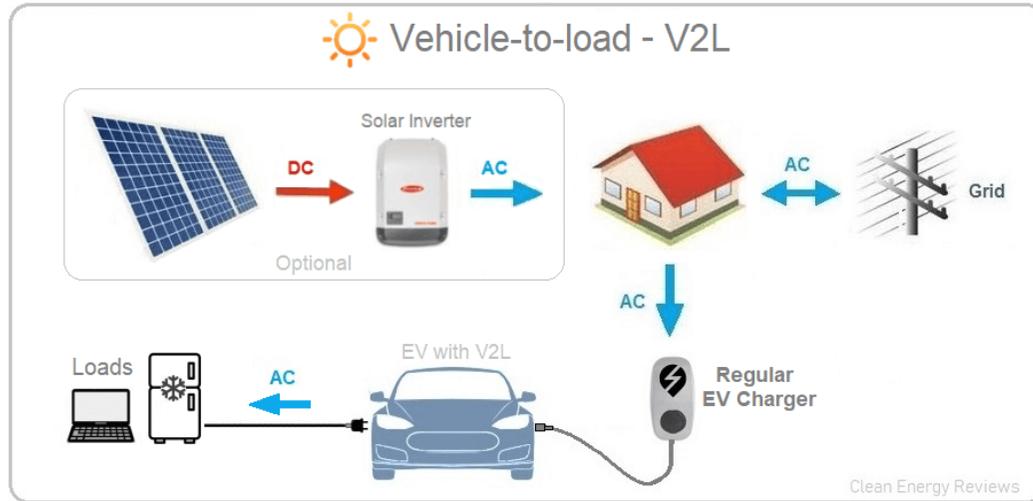
User interface: Wallbox App

Identification: Wallbox App / RFID

Communication Protocol: myWallbox / OCPP

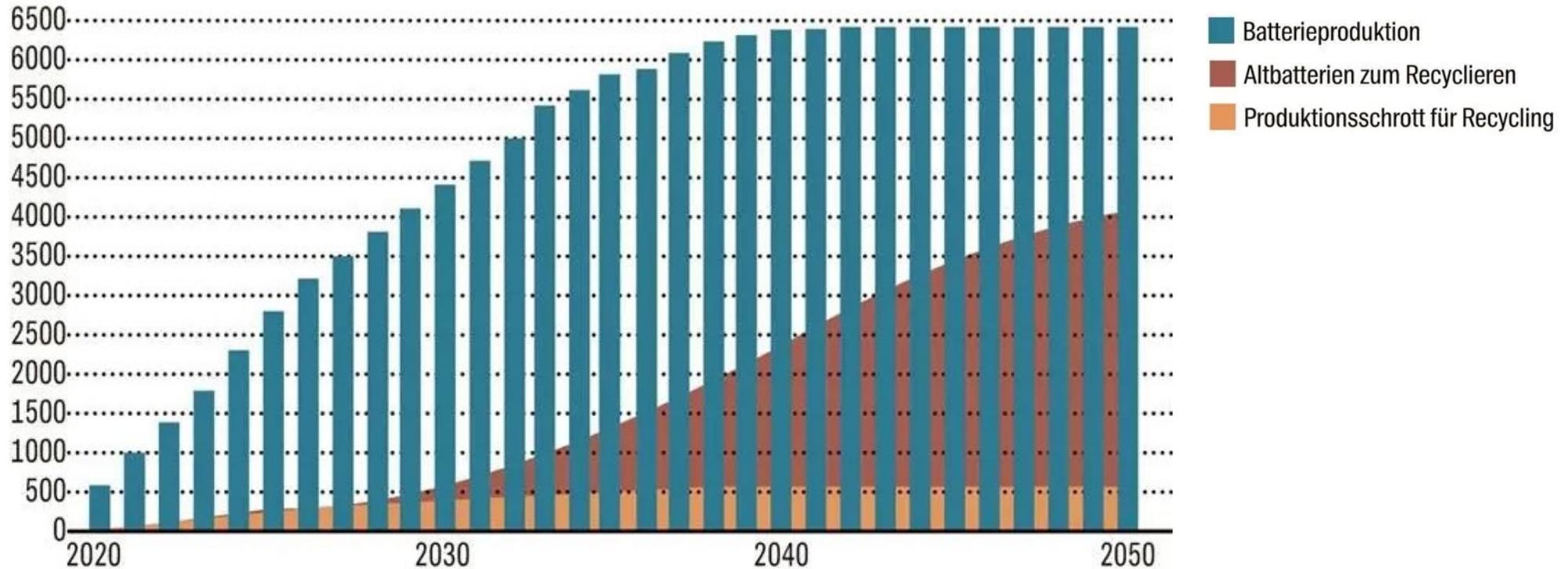


Vehicle-to-load - V2L



- ▶ Die Vehicle-to-Load- oder V2L-Technologie ist sehr viel einfacher, da sie kein bidirektionales Ladegerät benötigt, um zu funktionieren.
- ▶ Fahrzeuge mit V2L verfügen über einen eingebauten Gleichstrom-Wechselstrom-Wechselrichter und Standard-Wechselstrom-Steckdosen, an die alle haushaltsüblichen Wechselstromgeräte angeschlossen werden können.
- ▶ Ein Fahrzeug mit V2L kann auch in ein netzunabhängiges Solarenergiesystem integriert werden, um den Bedarf an einem Notstromaggregat zu verringern oder sogar zu beseitigen.

Batterieproduktion in Europa und steigende Nachfrage nach Batterierecycling in 1 000 Tonnen



Neue EU-Batteriegelgesetzgebung

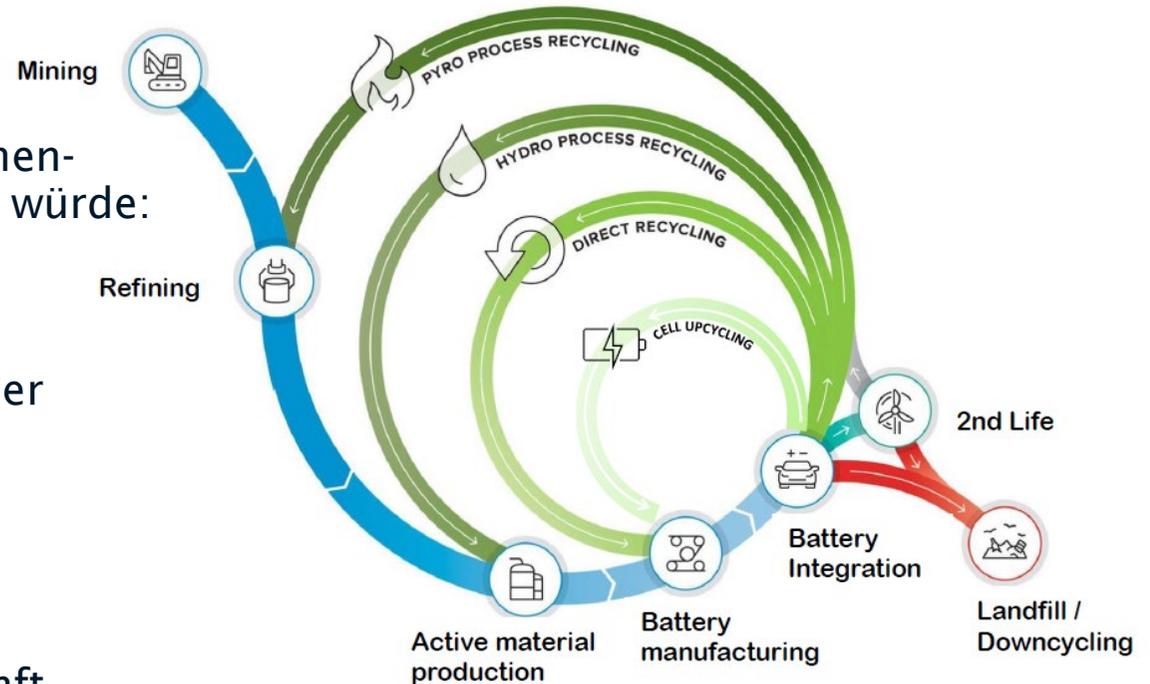
Die EU hat der Entwicklung einer vollständigen Wertschöpfungskette für Lithium-Ionen-Batterien, die vor allem in der Automobilbranche eingesetzt werden, Priorität eingeräumt.



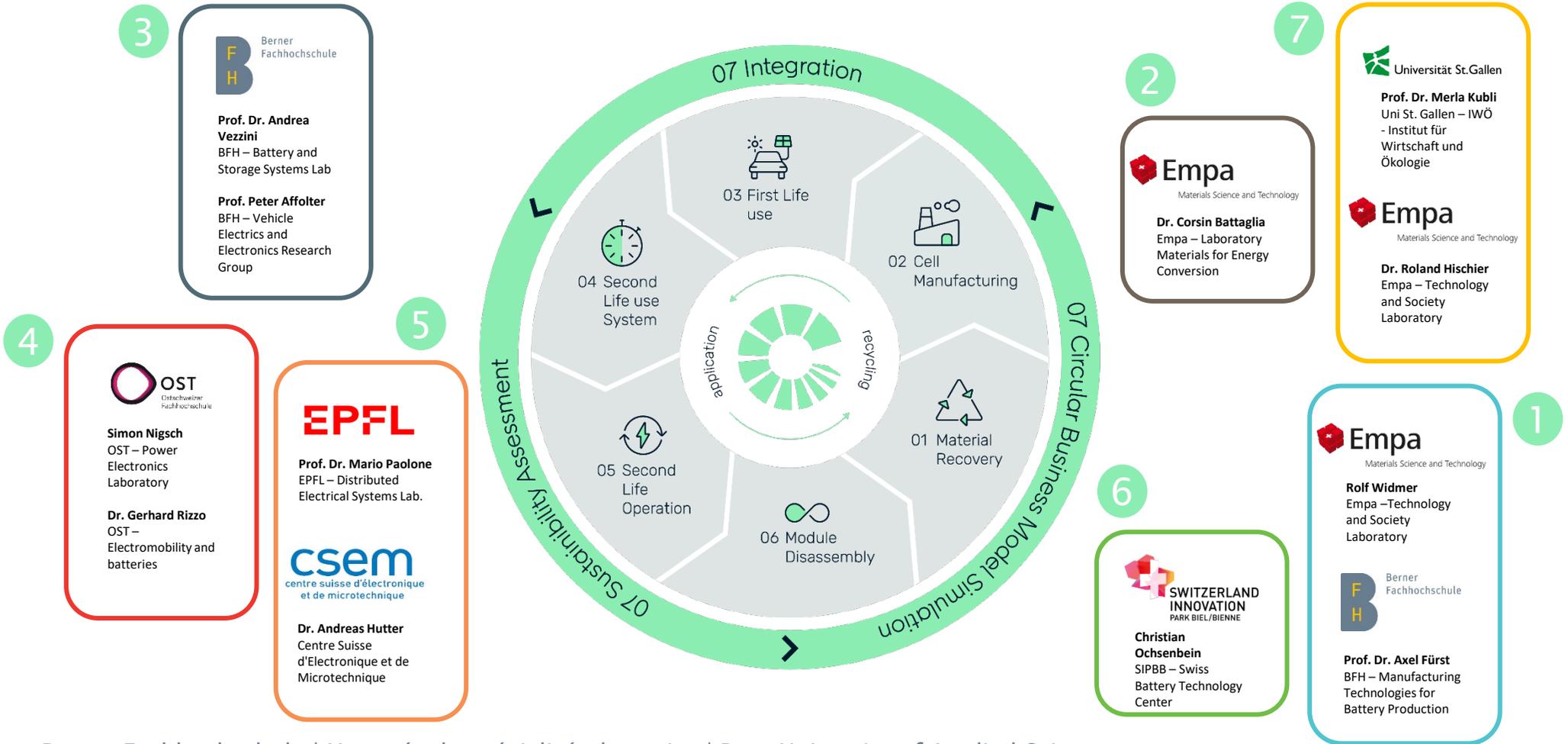
Source: [Green Deal: Sustainable batteries for a circular and climate neutral economy](#)

Ziel: Batteriekreisläufe schließen

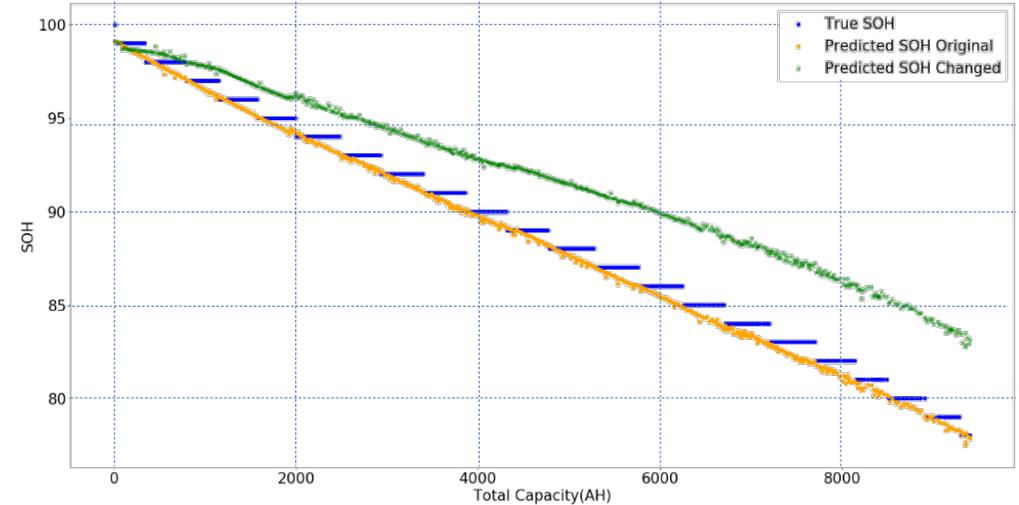
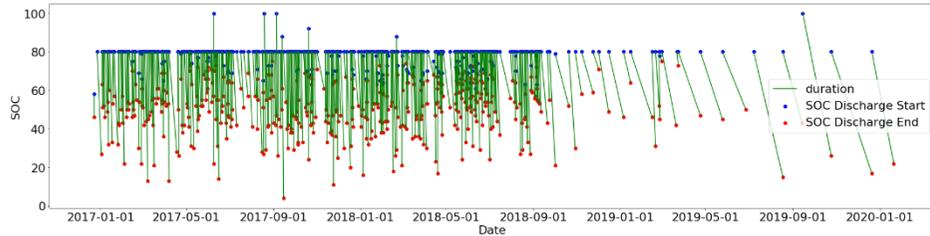
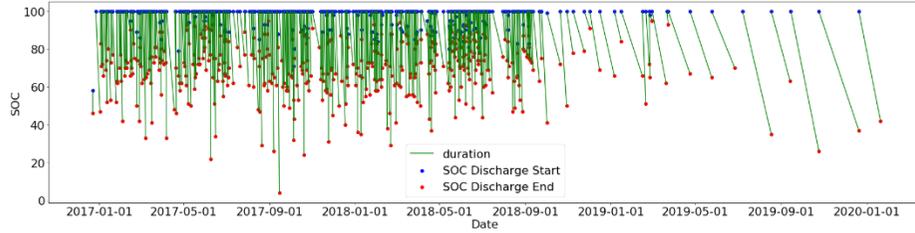
- **Blaue Kette:** Der derzeitige Weg vom Beginn der Lebensdauer bis End-of-Life-Pfad für EV-Batterien
- **Grüne Kreise:** Die Zukunft der EV-Batterieproduktion → Recycling
- Die Etablierung einer regionalen Li-Ionen-Batterie Recycling und Zellherstellung würde:
 - Reduzierung von CO₂e
 - Senkung der Batteriekosten
 - Geringeres Risiko eines Ausfalls der Lieferkette
 - Geringere Umweltauswirkungen
 - Wissen über Batterien ausbauen
 - Stärkung der lokalen Industrie
 - Sicherstellung einer grünen Zukunft



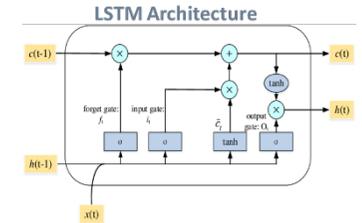
CircuBAT: innosuisse flagship project



Verlängerung Erstanwendung mit Expertensystem



- ▶ Ein rekurrentes neuronales Netzwerk (Long Short-Term Memory (LSTM)) wurde mit einer Teilmenge der Batteriedaten trainiert (hohe Varianz der Betriebsbedingungen und SOH im Datensatz)
- ▶ Einige Datensätze wurden mit einer optimierten Ladestrategie modifiziert, ohne die Leistung zu beeinträchtigen.



E-Mobilität



Die Industrie ist ehrgeiziger als die Politik und treibt Veränderungen in immer schnellerem Tempo an - wir erleben möglicherweise den Beginn einer Entwicklung von einem regulierungsgetriebenen Prozess zu einem marktgesteuerten "Wettlauf an die Spitze", für den die Politik die richtigen Rahmenbedingungen schaffen muss.

Source: www.aveve.org | April 2022
THE END OF THE ICE AGE: European E-mobility Policies and Trends

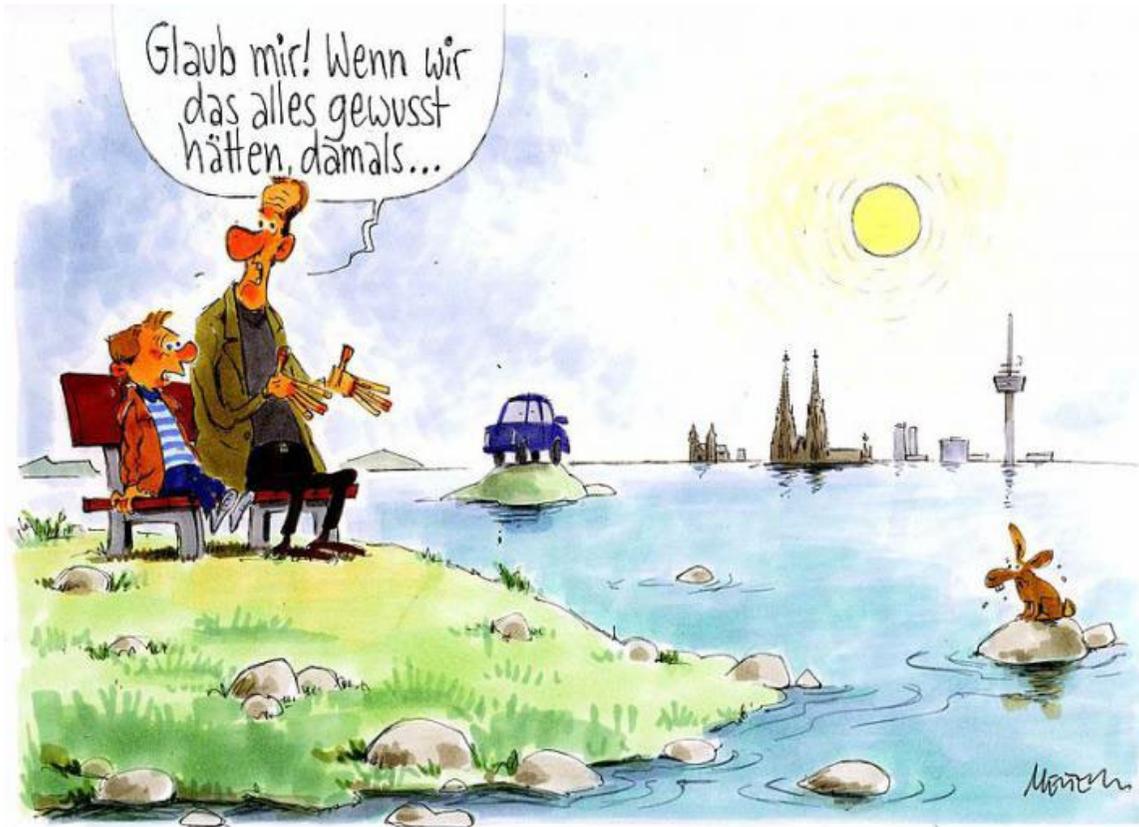


Da die Ziele der Industrie zunehmend vorgezogen werden, sind wichtige wachstumsbegrenzende Faktoren in der unterstützenden Wertschöpfungskette - z.B. die Versorgung mit Rohstoffen, von Schlüsselkomponenten wie Mikrochips, und der damit verbundenen Fertigungskapazitäten.

"in the most likely accelerated scenario, consumer adoption will exceed regulatory targets and Europe will reach around 75 percent EV market share by 2030."

McKinsey & Company: Why the automotive future is electric

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit





Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Prof. Dr. Andrea Vezzini

Fragen: andrea.vezzini@bfh.ch

<http://www.bfh.ch/energy> | <http://www.circubat.ch>

► BFH Energy Storage Research Centre