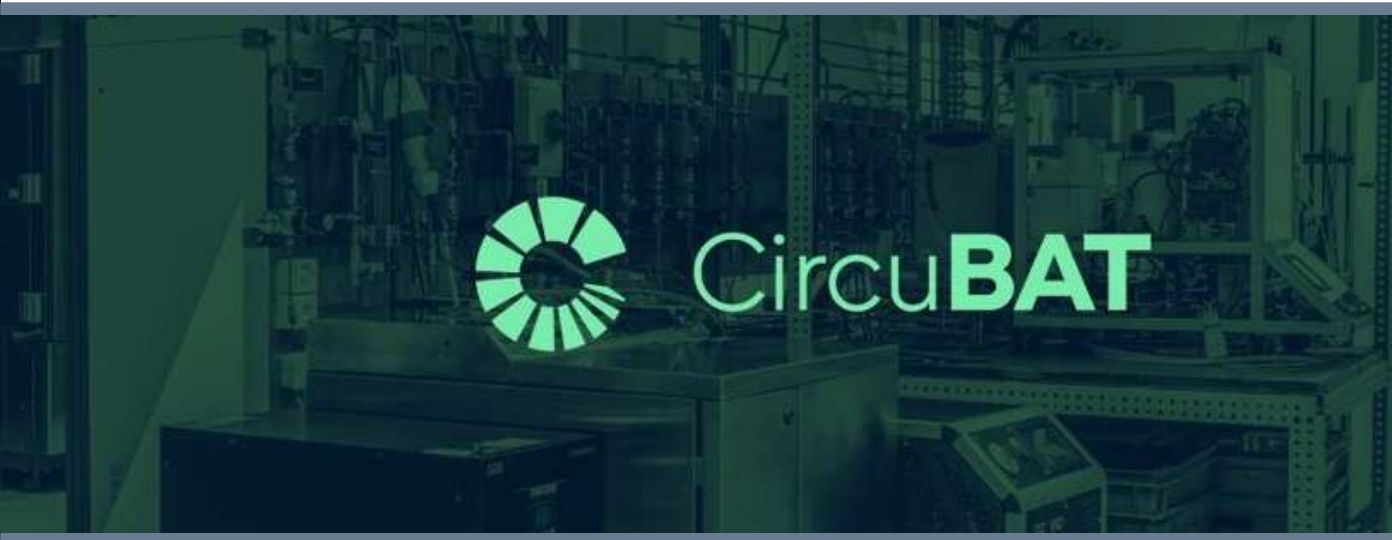




Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences



CircuBAT

Schweizer Kreislaufwirtschaftsmodell
für Lithium-Ionen-Batterien

► 2022-06-10; Prof. Dr. Andrea Vezzini | Berner Fachhochschule | BFH-Zentrum Energiespeicherung

Und jetzt?

Wo liegen derzeit noch die Probleme der Elektromobilität?

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.

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

Vergleich mit am Markt erhältlichen Fahrzeugen



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

Source: Toyota, Tesla, BMW



BMW M340ix: 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

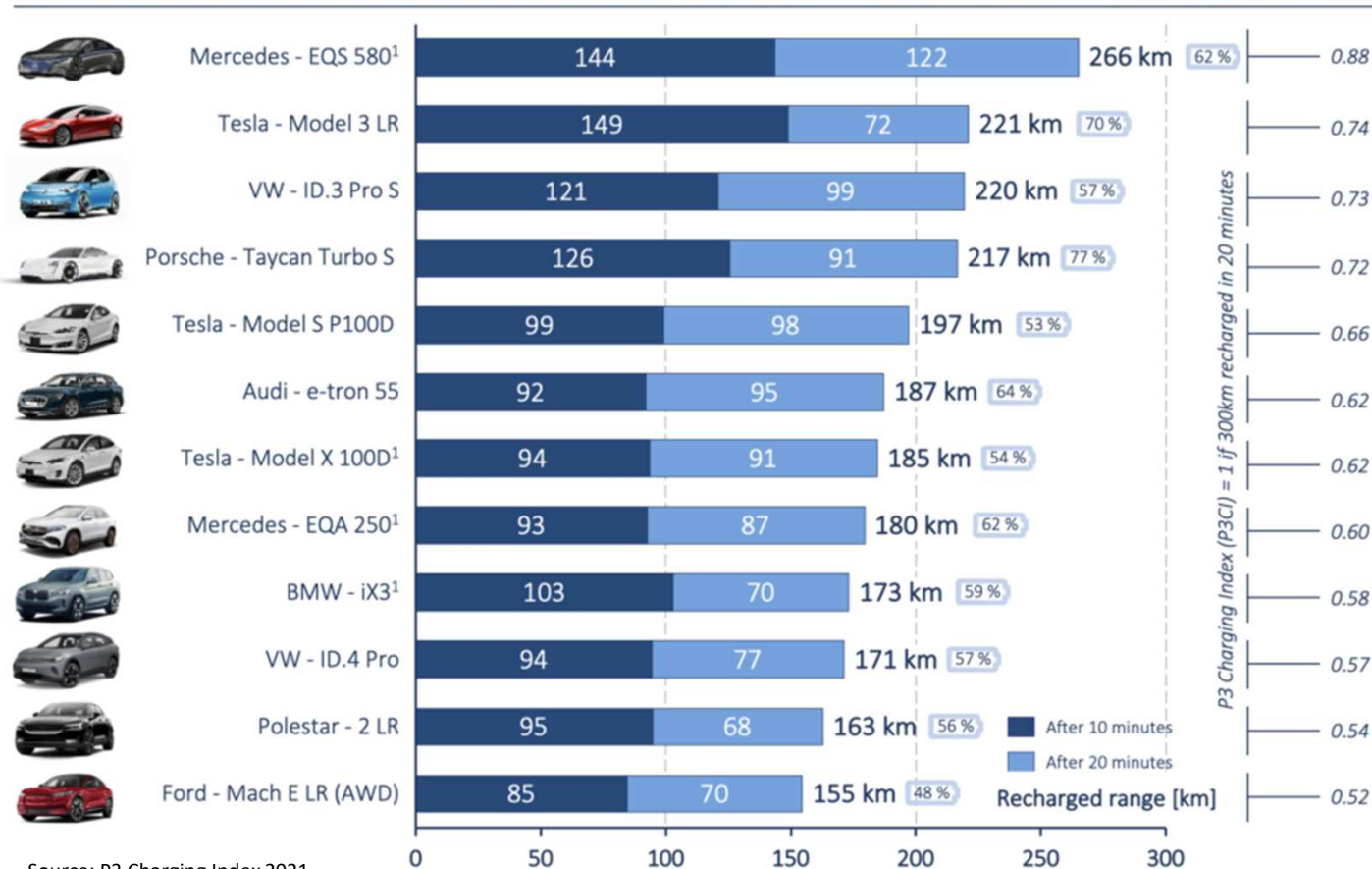
Battery capacity: 1.6 kWh

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

Base price: \$58,365

800-Volt-Technik und eine maximale Ladeleistung von 500 kW

COMPARISON OF RECHARGED RANGES AFTER 10 AND 20 MIN OF CHARGING (START @10% SoC)



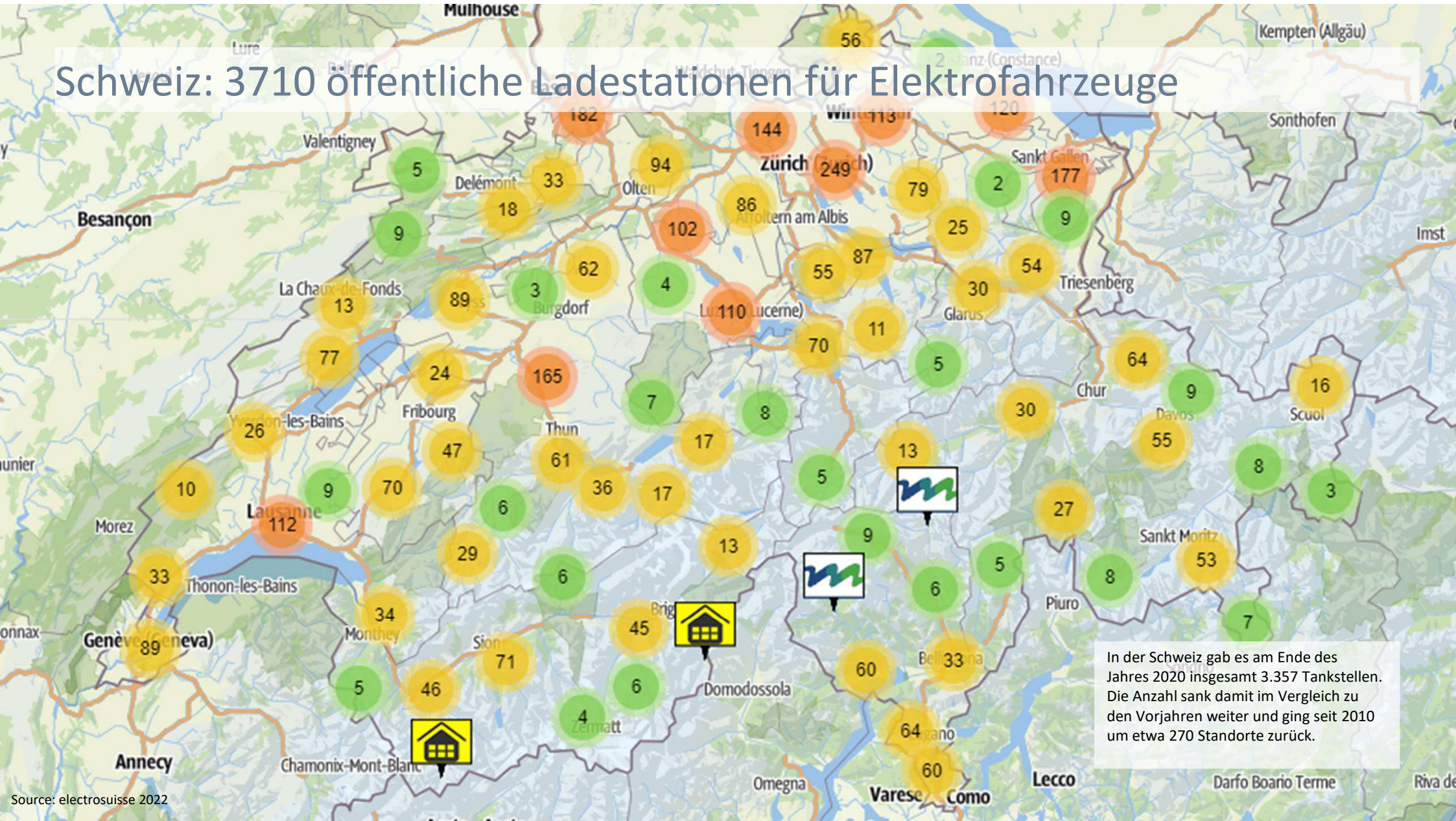
Source: P3 Charging Index 2021

Mate Rimac
vor etwa 4 Monaten

Nevera charging at 300+kW at public fast charging station in Croatia (Ionity). The car can actually take 500 kW, once charging stations catch up. 10-80% in 21 minutes in the real world. Now, waiting for 500 kW...

2.936 likes, 31 comments, 75 shares

Schweiz: 3710 öffentliche Ladestationen für Elektrofahrzeuge

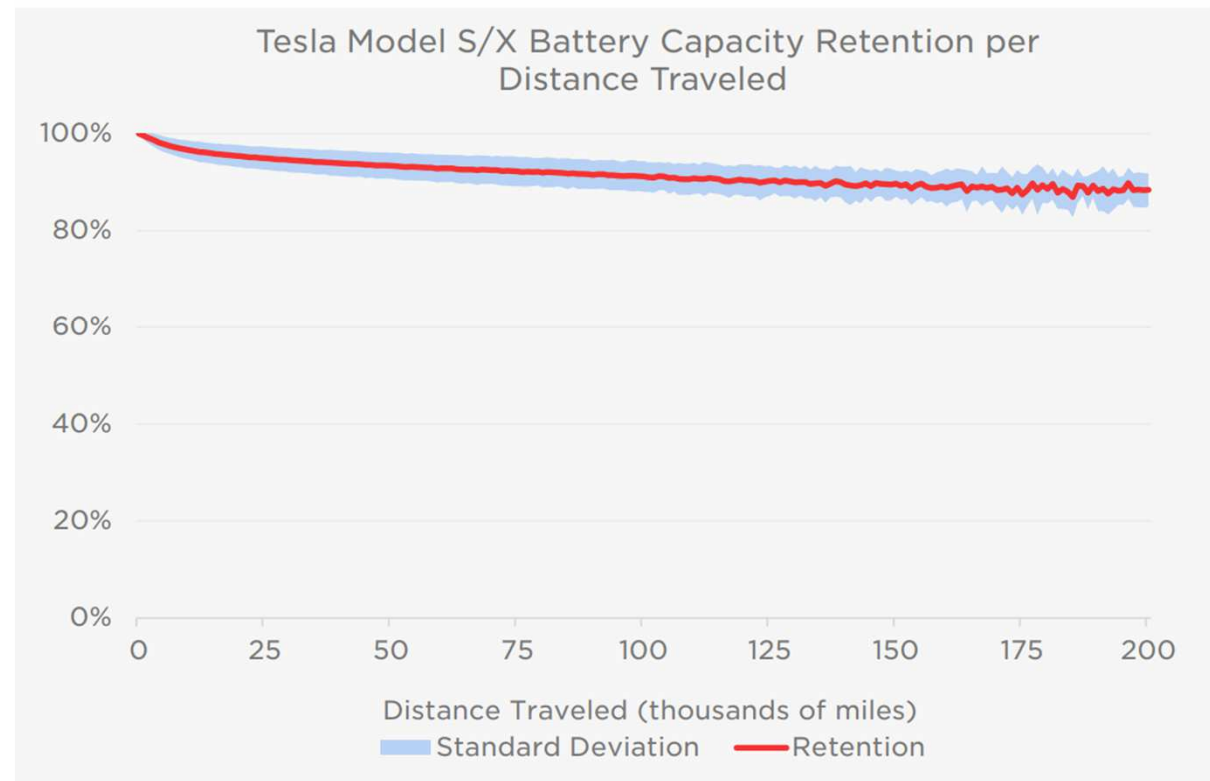


Batterien werden die Fahrzeuge überdauern

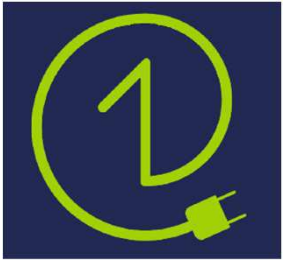
Source: Tesla 2020 Impact Report

- 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 %).

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



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 «Wettkampf an die Spitze», für den die Politik die richtigen Rahmenbedingungen schaffen muss.



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.”

Source: www.aveve.org | April 2022

THE END OF THE ICE AGE: European E-mobility Policies and Trends

Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

McKinsey & Company: Why the automotive future is electric

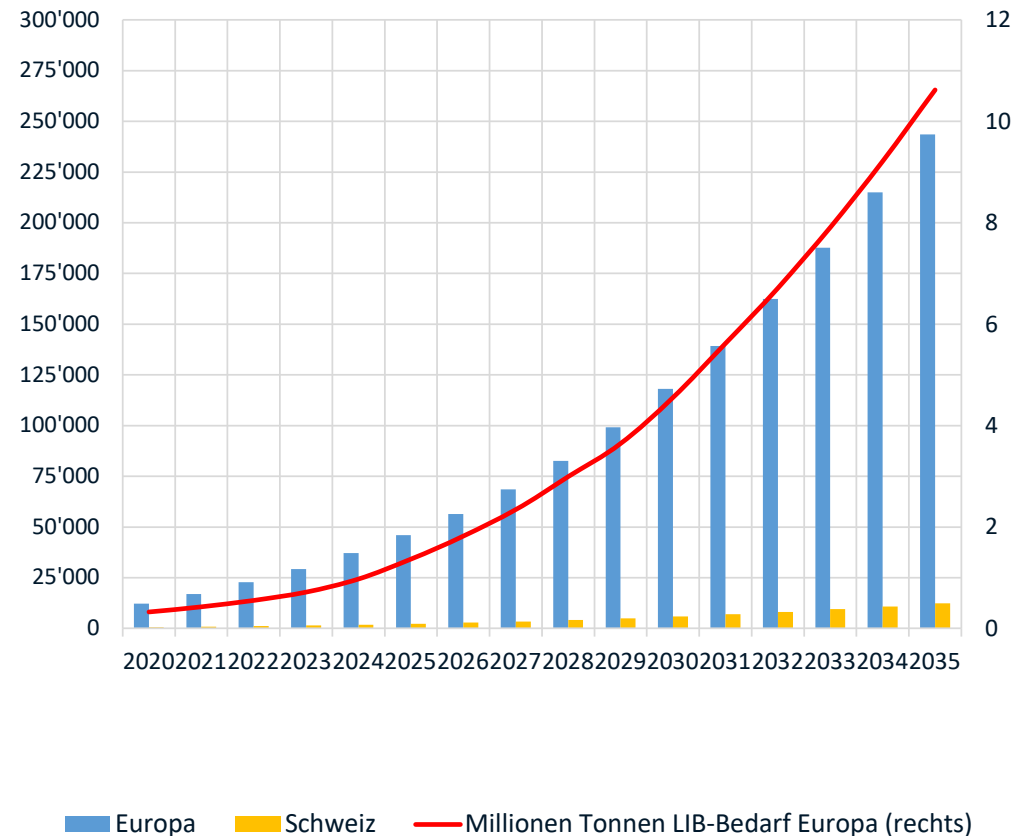
Und trotzdem!

Wo liegen derzeit noch die Probleme der Elektromobilität?

End-of-Life Batterien in Europa

- 2035: 250.000 Tonnen ausgedienter Lithium-Ionen-Antriebsbatterien.
- Aus Gründen der Nachhaltigkeit und Energieeffizienz fördert die EU nachdrücklich die Kreislaufwirtschaft.
- Für recyceltes Elektrodenmaterial wird sich ein geregelter Markt entwickeln:
 - staatliche Recyclingquoten
 - Umweltvorschriften
 - Exportbeschränkungen
 - Recyclinggebühren und Subventionen
- Die EU möchte das vorhandene Elektrodenmaterial (Lithium, Nickel, Mangan, Kobalt, Kupfer) in der EU halten und denkt laut über Exportbeschränkungen nach China nach.

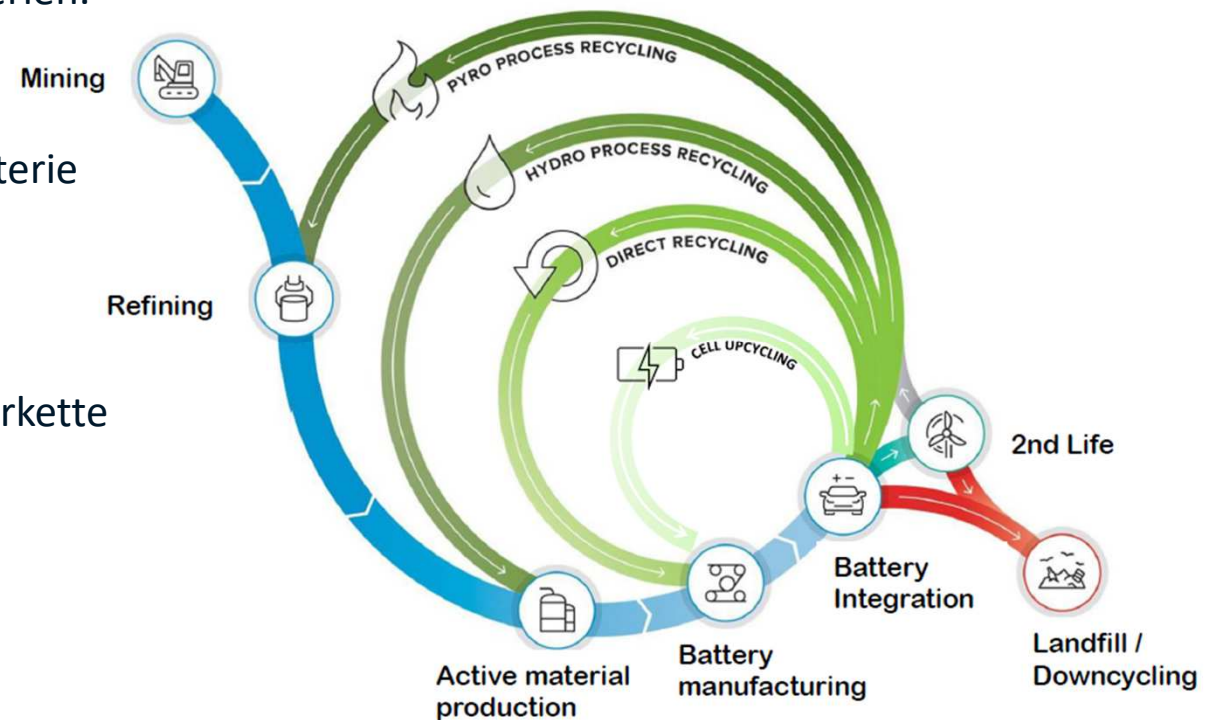
End-of-Life Lithium-Ionen Antriebs-Batterien für Recycling (Anzahl / Tonnen)



Quellen: Roland Berger, McKinsey, EU, Strategy Analytics, IEA, de.statista.com, ZSW, Auto-Schweiz, Center of Automotive Management, Inobat, ReLieVe, all-electronics.com, Tesla, Stiftung Autorecycling Schweiz

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





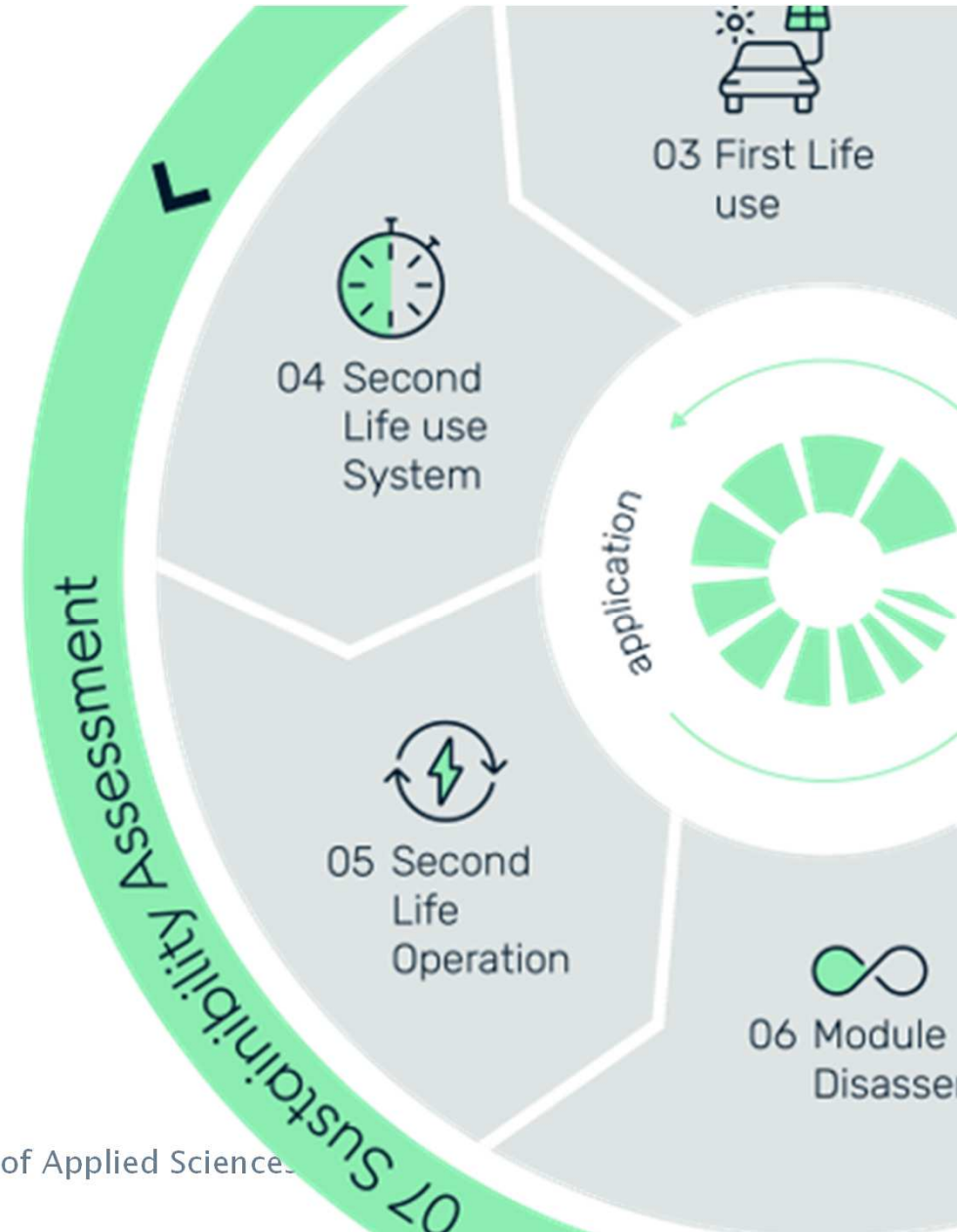
CircuBAT

Schweizer Kreislaufwirtschaftsmodell für Lithium-Autobatterien



Das Projekt CircuBAT

- entwickelt für die Schweiz ein Kreislaufwirtschaftsmodell für Lithium-Ionen-Batterien aus der Mobilität.
- erarbeitet Lösungen für die Verbesserung der Ökobilanz von Fahrzeugbatterien.
- schafft Energiespeicher für die Energiewende.
- schont wertvolle Ressourcen.

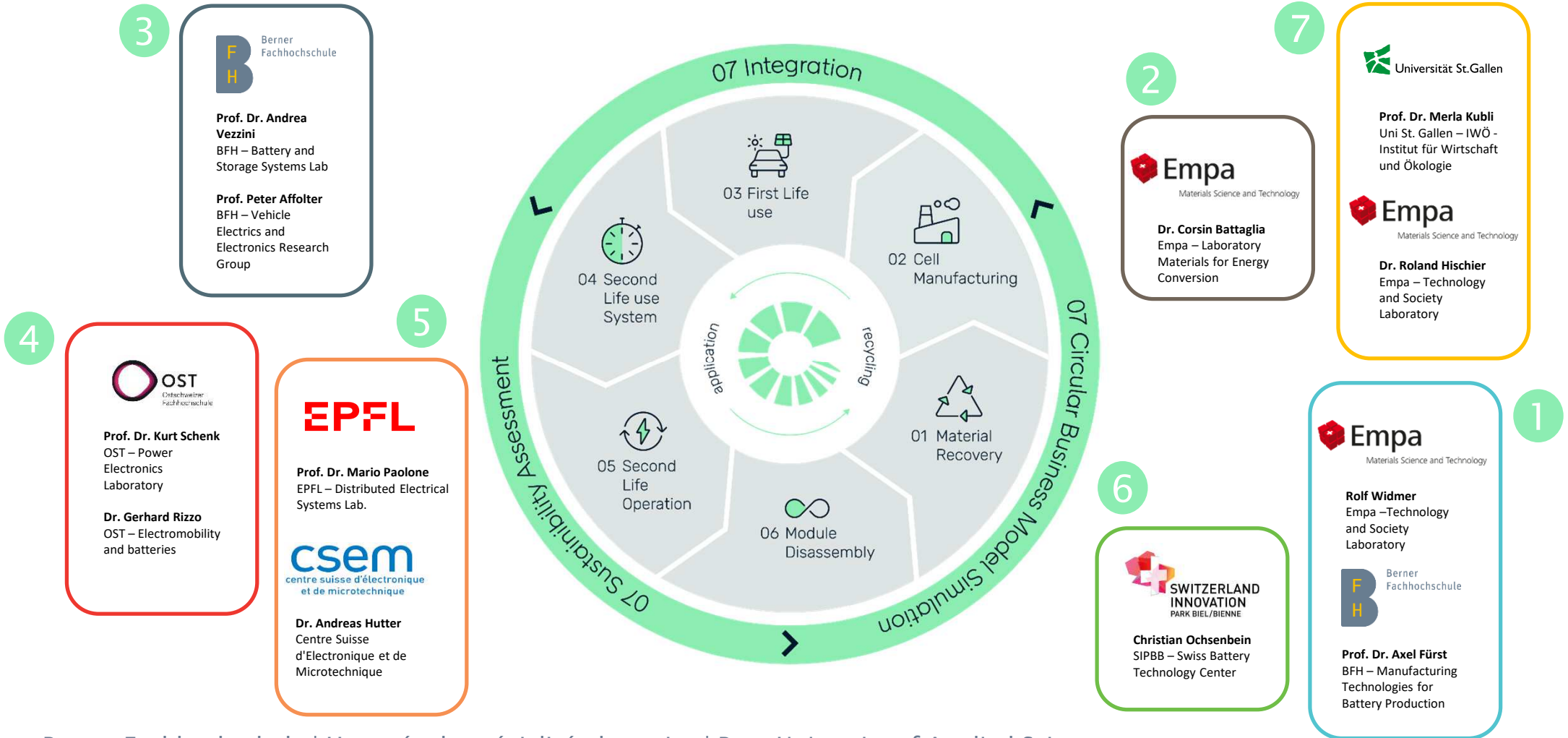


Schweizer Kreislaufwirtschaftsmodell für Lithium-Ionen-Batterien

- erarbeitet innovative Lösungen während vier Jahren von Beginn 2022 bis Ende 2025.
- verbindet 11 Forschungsgruppen aus 7 Institutionen und wird durch die Berner Fachhochschule BFH als Leading House koordiniert.
- wird von 24 Partnern und Innosuisse – schweizerische Agentur für Innovationsförderung – mit einem Projektbudget von 7.54 Mio. CHF gemeinsam finanziert.

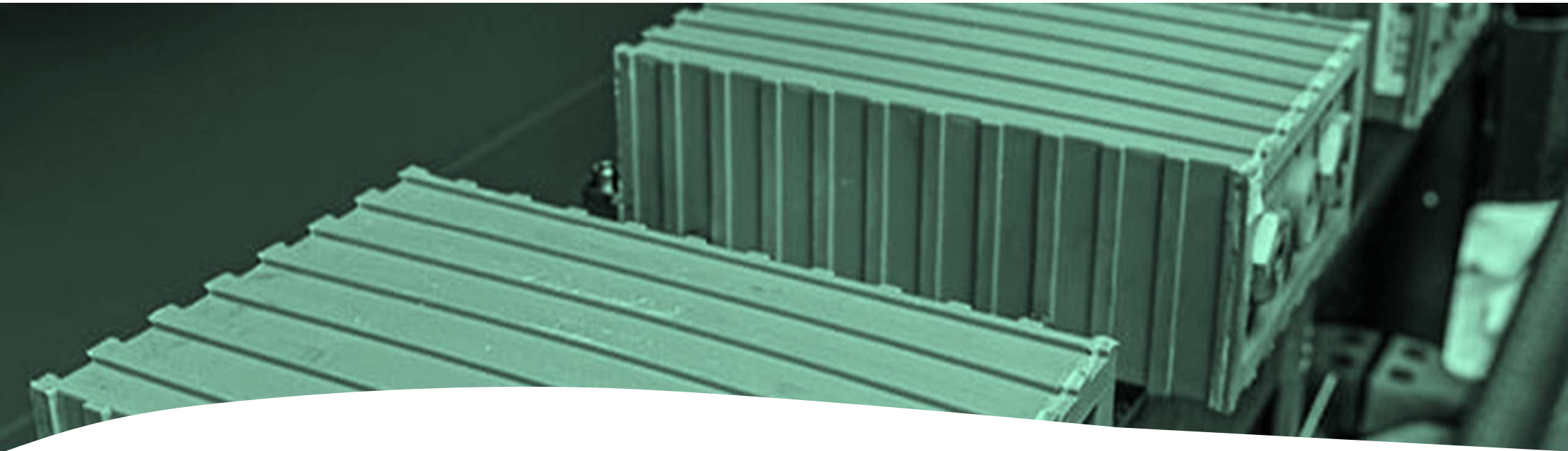


CircuBAT: innosuisse flagship project



CircuBAT: Industriepartner

03 First Life Use	04 Second Life Use Systems	05 Second Life Operation	06 Module Disassembly & Component Recovery:	01 Cell Disassembly & Materials Recovery:	02 Materials Refurbish. & Cell Re-manufacturing:	07 Sustainable Business Model
 <p>Thömus upVOLT Second Life Batteries</p> <p>KYBURZ</p> <p>GREEN CUBES TECHNOLOGY</p> <p>mobility</p> <p>TCS LIDL</p> <p>FPT POWERTRAIN TECHNOLOGIES</p> <p>EFORCE</p> <p>Fleet Operators with large Electric Fleet</p>	 <p>INDRIVETEC Innovative Drive Technologies AG High-performance storage inverters</p> <p>GREEN CUBES TECHNOLOGY Leading US Forklift Battery Manufacturer</p> <p>EV companies and Mobility Provider</p>	 <p>SWISS ENERGYPARK</p> <p>Innovation, research and demonstration platform</p> <p>BKW LA GOULE</p> <p>Safe and reliable integration of fluctuating renewable energy</p> <p>sun2wheel Second Life Storage System Startup</p> <p>Energy Providers, Grid Operators and Storage System Manufacturers</p>	 <p>Leclanché Energy Storage Solutions Lithium-ion battery cell manufacturer</p> <p>librec Closed-loop Battery Recycling LitoRec processes – LIBREC AG</p> <p>upVOLT Second Life Batteries Battery upcycling - upVOLT GmbH</p> <p>STIFTUNG AUTO RECYCLING SCHWEIZ Stiftung Auto Recycling Schweiz</p> <p>Recycling Companies</p>	 <p>KYBURZ Electric vehicle manufacturer</p> <p>IMERYS TRANSFORM TO PERFORM Supplier of carbon materials for lithium-ion batteries</p> <p>Leclanché Energy Storage Solutions Lithium-ion battery cell manufacturer</p> <p>BUHLER Innovative production of lithium-ion batteries</p> <p>Material Companies</p>	 <p>Leclanché Energy Storage Solutions Lithium-ion battery cell manufacturer</p> <p>BUHLER Slurry processing equipment manufacturer</p> <p>Battery Manufacturers</p>	 <p>Bern Economic Development Agency</p> <p>SNV standards connect the world</p> <p>es m ENTWICKLUNGSFONDS SELTENE METALLE</p> <p>TCS</p> <p>STIFTUNG AUTO RECYCLING SCHWEIZ</p> <p>IBATT</p> <p>Associations, Regulators, Society</p>



01 Material Recovery

- Schweiz, Pionierin bei systemischen Lösungen für komplizierte Abfallströme, z. B. Elektroschrott.
- Die meisten, vor allem auch kritische Rohstoffe können heute aus Lithium Batterien (LIB) zu 90% zurück gewonnen werden.
- Projektziele sind: höchste Qualität der Rezyklate (battery grade), umweltfreundliche Behandlungsprozesse (wasserbasiert), Anlagentechnik KMU-tauglich.

Industriepartner, ihre Projektbeiträge

- **Kyburz** (Hersteller von Elektroleichtfahrzeugen) stellt ihre P&D-Recyclinganlage für Experimente zur Verfügung und liefert Recyclate an die Beteiligten.
- **Imerys** (Spezialist für Kohlenstoff - z.B. Graphit) optimiert die Materialqualität (Zusammensetzung, Morphologie, elektrochemische Eigenschaften, usw.), um verschiedene Rohstoffmärkte anzusprechen.
- **Leclanché** (Spezialist für LIB basierte Energiespeicherlösungen) erweitert ihre Palette der LIB Elektroden, um wasserbasiert rezyklierbar zu werden.

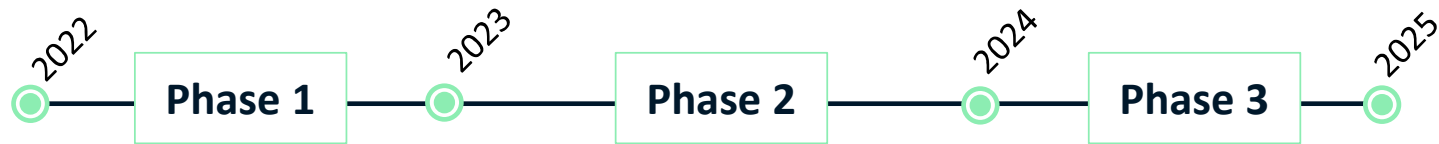


Forschungspartner, ihre Beiträge

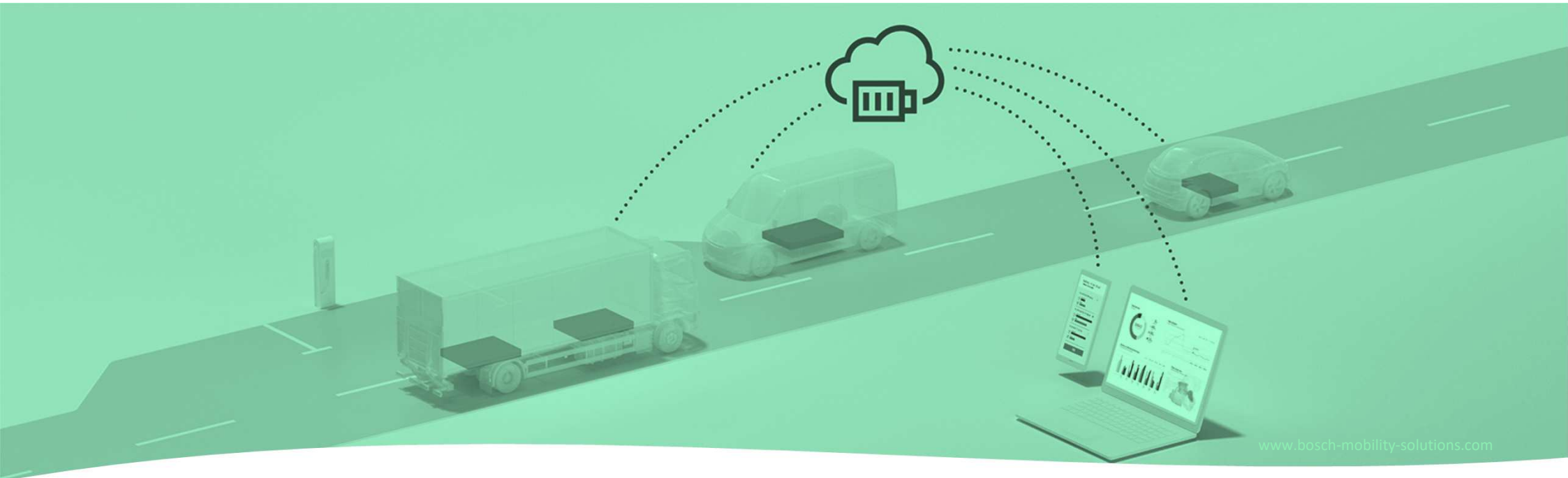
- **Empa** - Technology & Society Lab - leitet Subprojekt 1 - macht Laboruntersuchungen, analysiert rückgewonnene Rohstoffe wie Graphit, Metalloxide und Lithiumsalze.
- **BFH** - Forschungsgruppe Optimierung industrieller Prozesse und Mechatronik - simuliert in Computermodellen die Übertragung der Laborexperimente auf eine Umsetzung im industriellen Massstab.



Zeitstrahl der Aktivitäten



- Phase 1
 - Laborversionen der wasserbasierten Behandlungen.
 - Untersuchungen zu Sicherheit und Hygiene.
 - Qualitätssicherung (Probennahme und Analytik).
- Phase 2
 - Versuche auf P&D Anlage, v.a. zur Erweiterung auf andere LIB Technolgien.
- Phase 3
 - Standartisierung der Prozesse und Anlage.



03 Erstanwendung im Fahrzeug | Ziel

- Verlängern der Nutzungsdauer von Lithium-Ionen-Batterien in der Erstanwendung durch datengestützte Expertensysteme.
- Entwickeln von Metriken zur zuverlässigen Bewertung und Gewährleistung für die weitere Verwendung der Batterie in einer Zweitanwendung oder dem direkten Recycling.

03 Erstanwendung | Modelle für die Batteriealterung

- Dezentral auf der Batterie gespeicherte statistische Datenmodelle für die Batterienutzung in der Erstanwendung.
- Modelle der Alterungsgeschwindigkeit basierend auf den gesammelten Daten der Elektrofahrzeugen der Projektpartner.
- Optimierungsvorschläge für Flottenbesitzer und Endkunden zur Verlängerung der Nutzungsdauer mittels künstlicher Intelligenz.
- Validierung des Expertensystems auf verschiedenen Pilot- und Demonstrationsfahrzeugen und –flotten.

Vorstudie auf Basis von Big Data aus E-Bike-Batterien

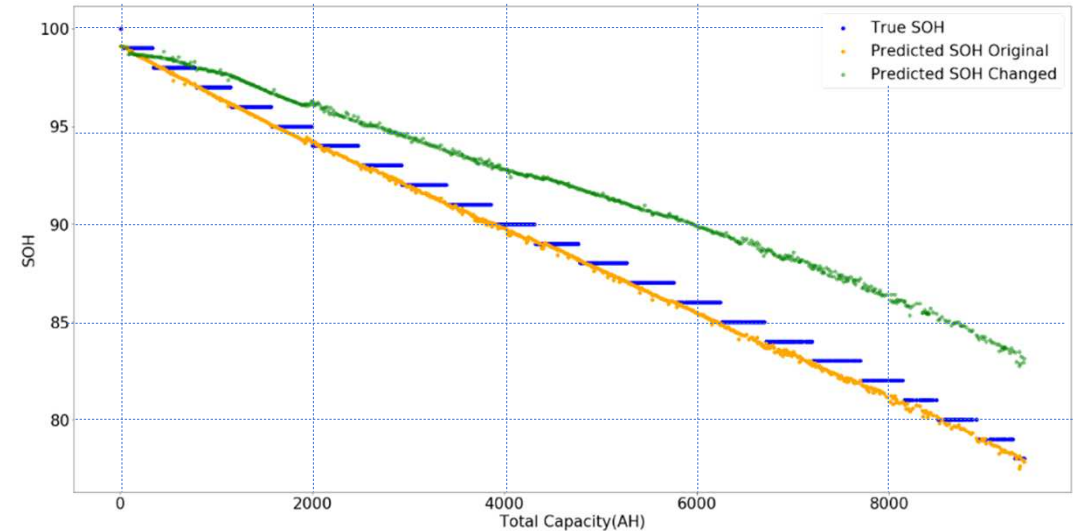
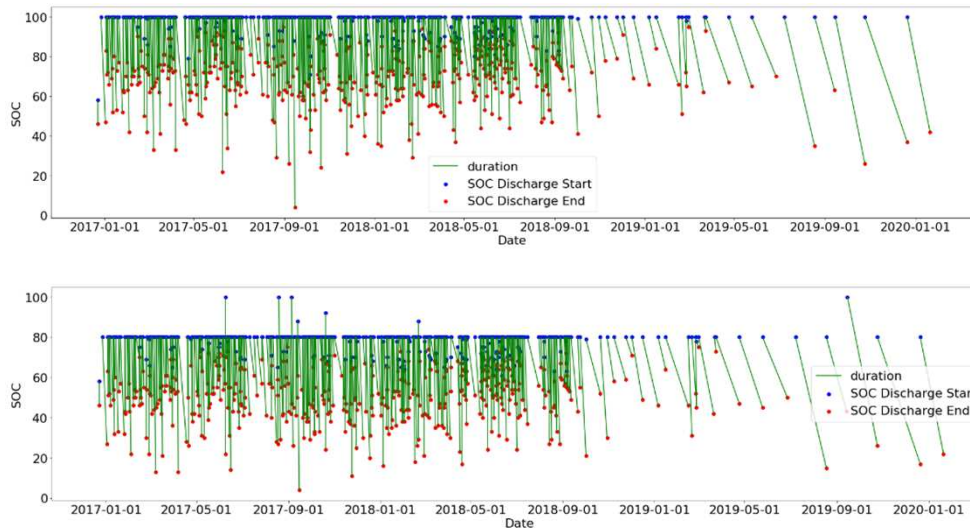
- ▶ Akkus vom Marktführer im Nischenmarkt der schnellen E-Bikes
- ▶ Batterie BQ983: Li-Ionen-Akku
 - ▶ 983Wh/48.9V/4,8 kg
 - ▶ Industry Standard 18650 cells (13s6p), 20.1Ah



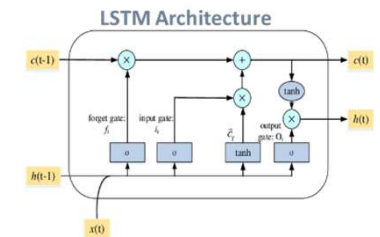
Battery Type	No# of batteries	No# of cycles
A	12'778	1'201'717



Verlängerung Erstanwendung mit Expertensystem

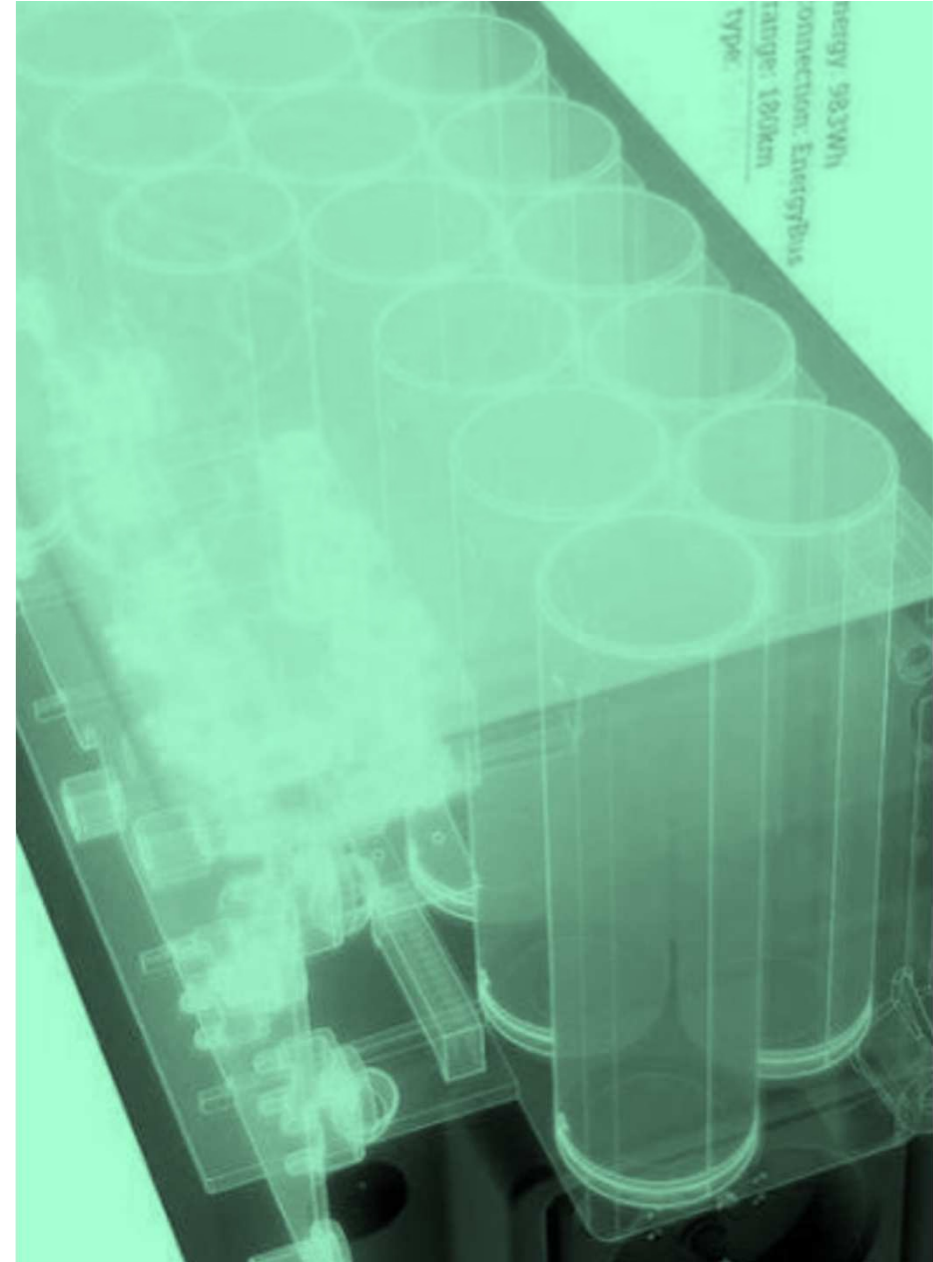


- ▶ Ein rekurrentes neuronales Netzwerk (Long Short-Term Memory (LSTM)) wurde mit einer Teilmenge der Batteriedaten trainiert (hohe Varianz der Betriebsbedingungen und SOH im Datensatz).
- ▶ Einige Datensätze wurden mit einer optimierten Ladestrategie modifiziert, ohne die Leistung zu beeinträchtigen.



03 Erstanwendung | Nutzen der Modelle

- Reduktion des ökologischen Fussabdrucks von Batterien durch längere Nutzung in der Erstanwendung.
- Schaffen von Anreizen für innovative Ansätze für Second-Life-Anwendungen durch belastbare Leistungsstandards und Garantien.



Management Team Battery and Storage Systems Lab



Prof. Andrea Vezzini
Head

- ▶ Professor for Industrial Electronics since 1996 at Bern University of Applied Sciences
- ▶ President iBAT.swiss – Battery Research and Industry Association Switzerland
- ▶ Member of the Federal Energy Research Commission (CORE) since 2015
- ▶ Head of the BFH Energy Storage Research Centre since 2014
- ▶ Deputy Head of the Swiss Competence Center for Energy Research “Mobility” 2013 - 2020



Dr. Priscilla Caliandro
Co-Managing Director

- ▶ Managing Co-Director of BFH Energy Storage Research Center since April 2019 at Bern University of Applied Sciences
- ▶ Responsible of electrochemical characterization and testing of Li-ion batteries and batteries modelling
- ▶ Postdoctoral research at École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) from 2018 to 2019
- ▶ PhD at École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) from 2013 to 2018



Christian Ochsenbein
Co-Managing Director

- ▶ Managing Co-Director of BFH Energy Storage Research Center since November 2018 at Bern UAS
- ▶ Successfully completed the first circumnavigation of the world in a solar boat
- ▶ 10 years in the field of electric mobility and battery research and development at start-ups such as Designwerk in Winterthur
- ▶ Head of the Swiss Battery Technology Center at the Switzerland Innovation Park Biel/Bienne



Bruno Lemoine
Project Manager

- ▶ Joined BFH – Energy Storage Research Center in May 2021
- ▶ Master in Materials science and engineering with a minor in energy at EPFL from 2019 to 2021
- ▶ Data scientist intern at Mercury systems in 2020
- ▶ Master thesis at RUAG Space in 2021
- ▶ Deputy during the Maternity Leave of Priscilla Caliandro



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