35. Seminar

„Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute“

Von der Abfallwirtschaft zur Kreislaufwirtschaft

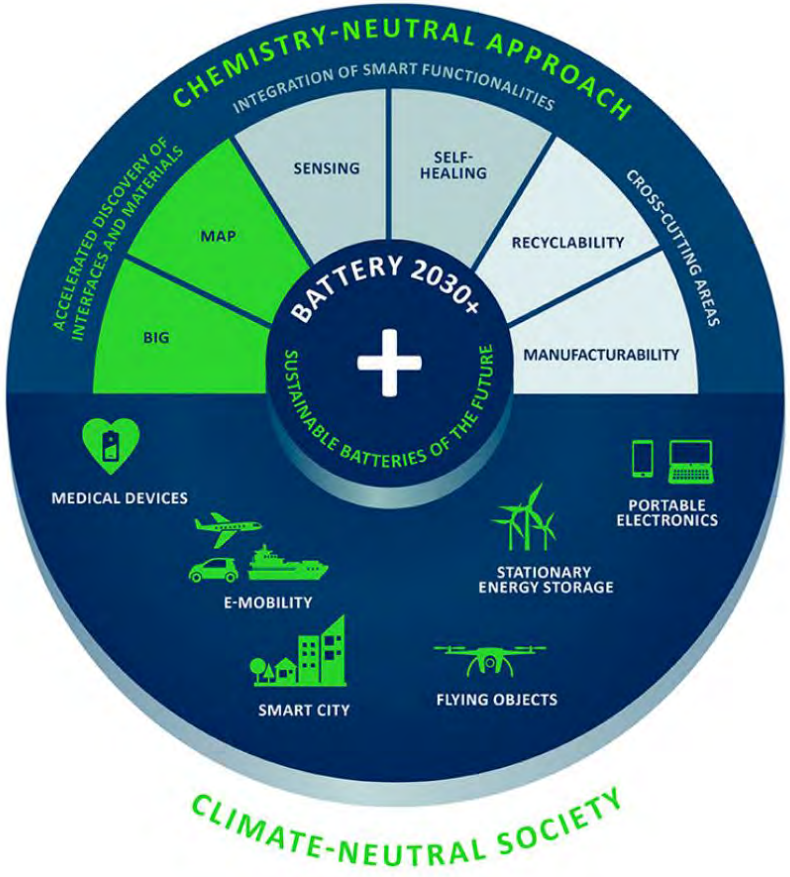
Das Doppelleben der Lithium-Ionen-Batterien

Dipl.-Ing. Dr. Florian Part
Kontakt: florian.part@boku.ac.at

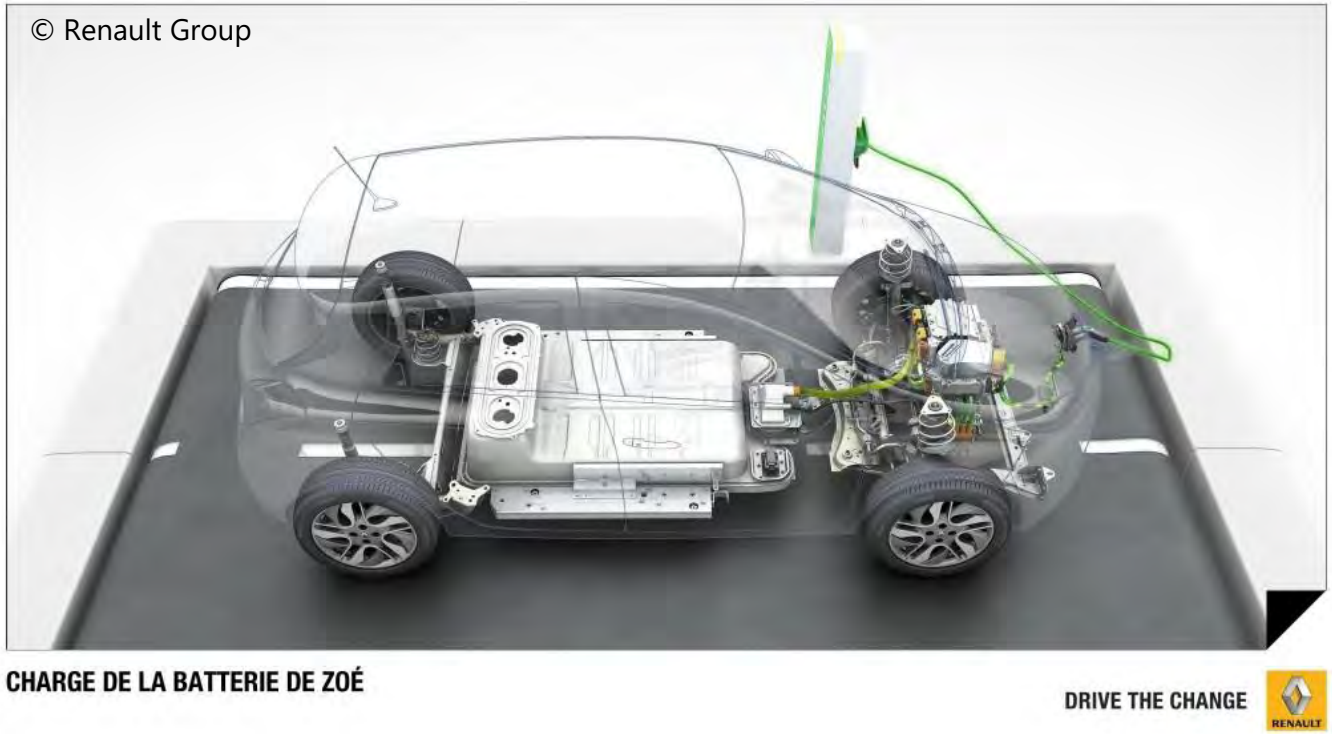
Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt
Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft
Muthgasse 107, A-1190 Wien

Lithium-Ionen-Batterien (LIB): Märkte, Technologien & Mengen

Anwendungsbeispiele für moderne Lithium-Ionen-Batterien (LIB)



BATTERY 2030+ Roadmap: a holistic approach (Source: https://battery2030.eu/wp-content/uploads/2022/07/BATTERY-2030-Roadmap_Revision_FINAL.pdf)



Anwendungsbeispiele für moderne Lithium-Ionen-Batterien (LIB)

Batteriemodul aus Tesla S3

Bildquelle: © Tesla, https://tesla-cdn.thron.com/delivery/public/image/tesla/2f2a1124-e5fb-4148-9693-749b4a3d2d22/bvlatuR/std/462x260/lhd-compare-modal-standard-range

Fotos (beide unten): © F. Part, SafeLiBatt

Systemwirkungsgrade: *Welche Vorteile haben E-Fahrzeuge?*

Vergleich Batterie-Fahrzeug (BEV) mit konventionellen Verbrennungsmotor (ICE) und Brennstoffzelle inkl. Wasserstoffspeicher (FCEV)

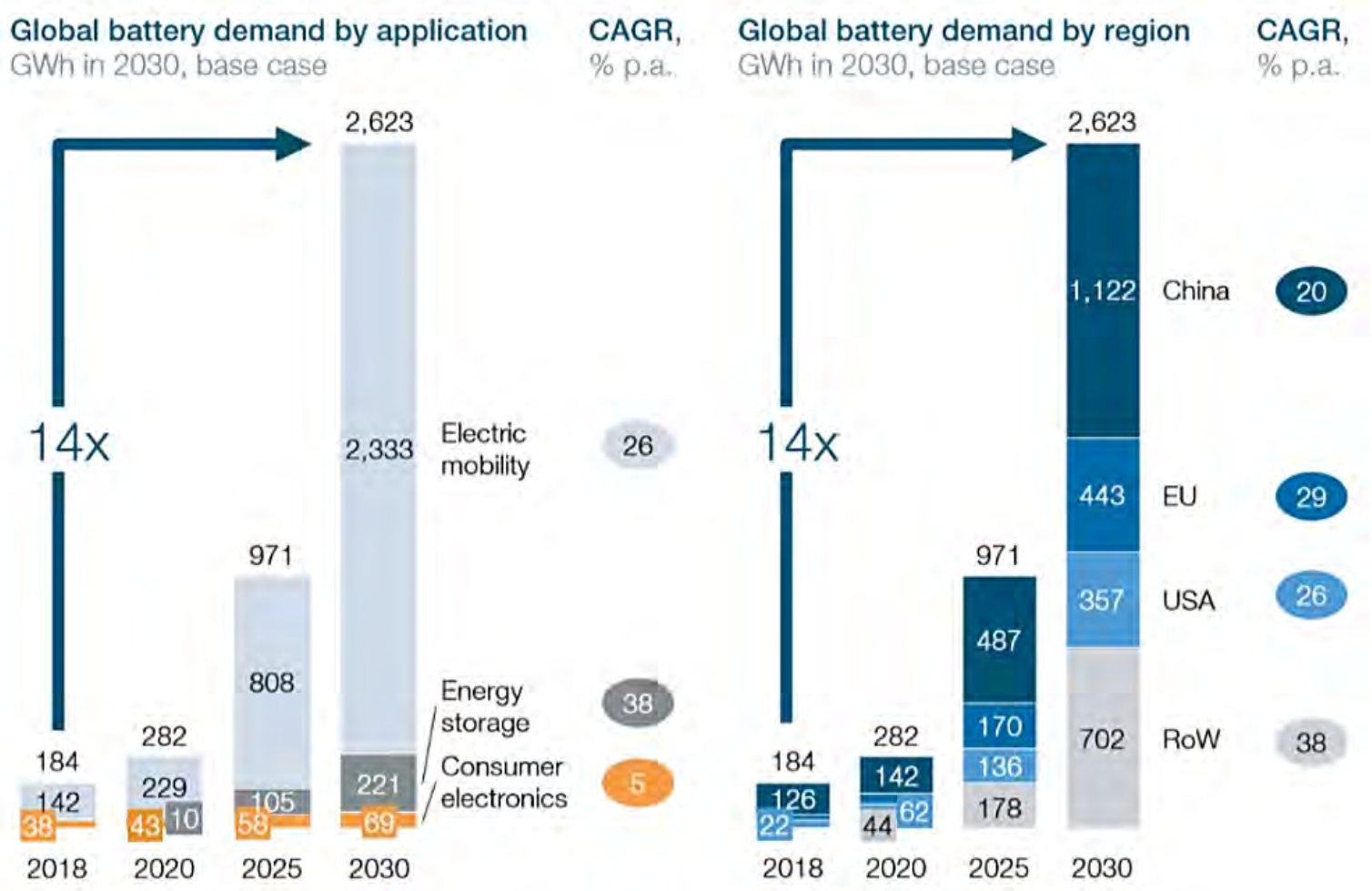
Prozessschritte	BEV	FCEV	ICE	ICE (FTS)
EE-Strom	100 %	100 %		100 %
Transporte/Leitungsverluste/ Aufbereitungsverluste	95 %	90 %	85 %	95 %
Elektrolyse		70 %		70 %
Fischer-Tropsch-Synthese				70 %
Wasserstoffverflüssigung		80 %		
Brennstoffzelle		60 %		
Batterie	95 %	95 %		
Elektromotor	90 %	90 %		
Verbrennungskraftmaschine			30 %	30 %
Systemwirkungsgrad	81 %	26 %	26 %	14 %

Quelle: Umweltbundesamt in Anlehnung an WAGEMANN & AUSFELDER 2017

E-Fuel bzw. „Fischer-Tropsch-Treibstoff“ (aus H_2 + CO_2)

Wie viele LIB werden zukünftig für E-Fahrzeuge benötigt?

- **2030 werden ca. 140 Mio. E-Fahrzeuge** (HEV + BEV) auf der Straße sein
- **Mit steigendem Bedarf, steigen auch Abfallmengen** (zeitverzögert je nach Lebensdauer)



Prognostizierter weltweiter Bedarf an Neubatterien in GWh (Bildquelle: World Economic Forum, 2019)

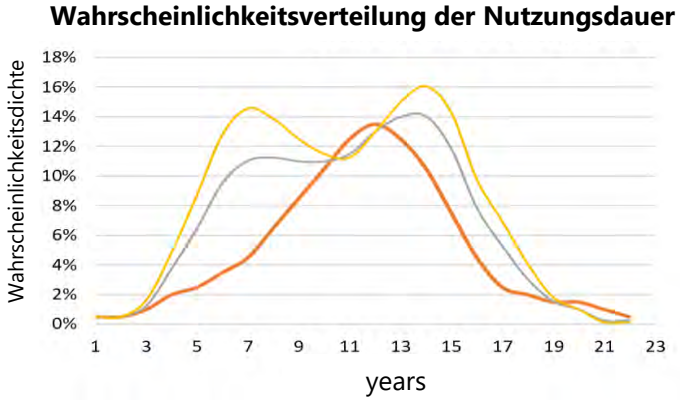
Mit steigendem Bedarf, steigen auch EoL-LIB-Mengen

Picture: © Tesla, https://tesla-cdn.thron.com/delivery/public/image/tesla/2f2a1124-e5fb-4148-9693-749b4a3d2d22/bvlatuR/std/462x260/lhd-compare-modal-standard-range

Benchmarks für Tesla S3 (Carlstedt, 2020)

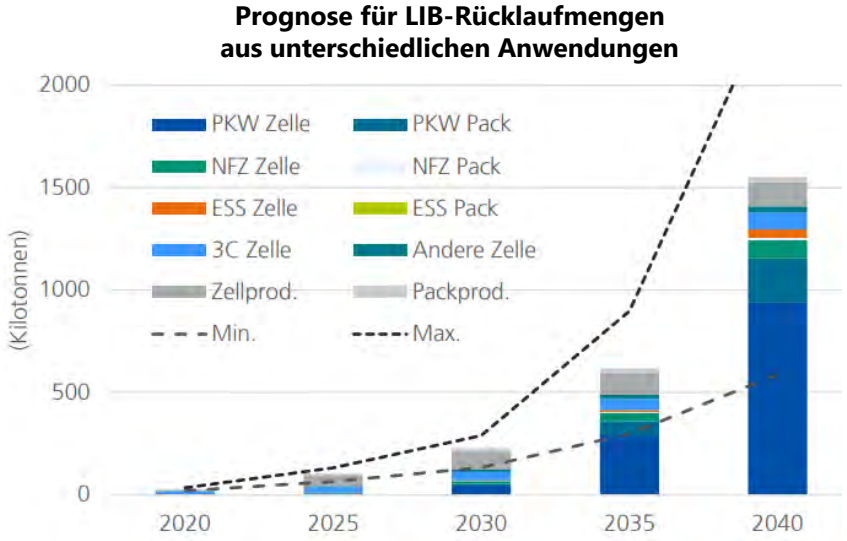
- Speicherkapazität 60 kWh
- Durchschnittliches Packgewicht ~580 kg

"First Life"



Quelle: Beigl et al., 2021, https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/Beigl-et-al_2021_Recycling-von-Lithium-Ionen-Batterien-in-Oesterreich_Endbericht.pdf

End-of-life Lithium-Ionen-Batterien (EoL LIBs):



(Quelle: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2021/VDMA_Kurzstudie_Batterierecycling.pdf)

~1,5 Mio. t in 2040

EoL LIBs

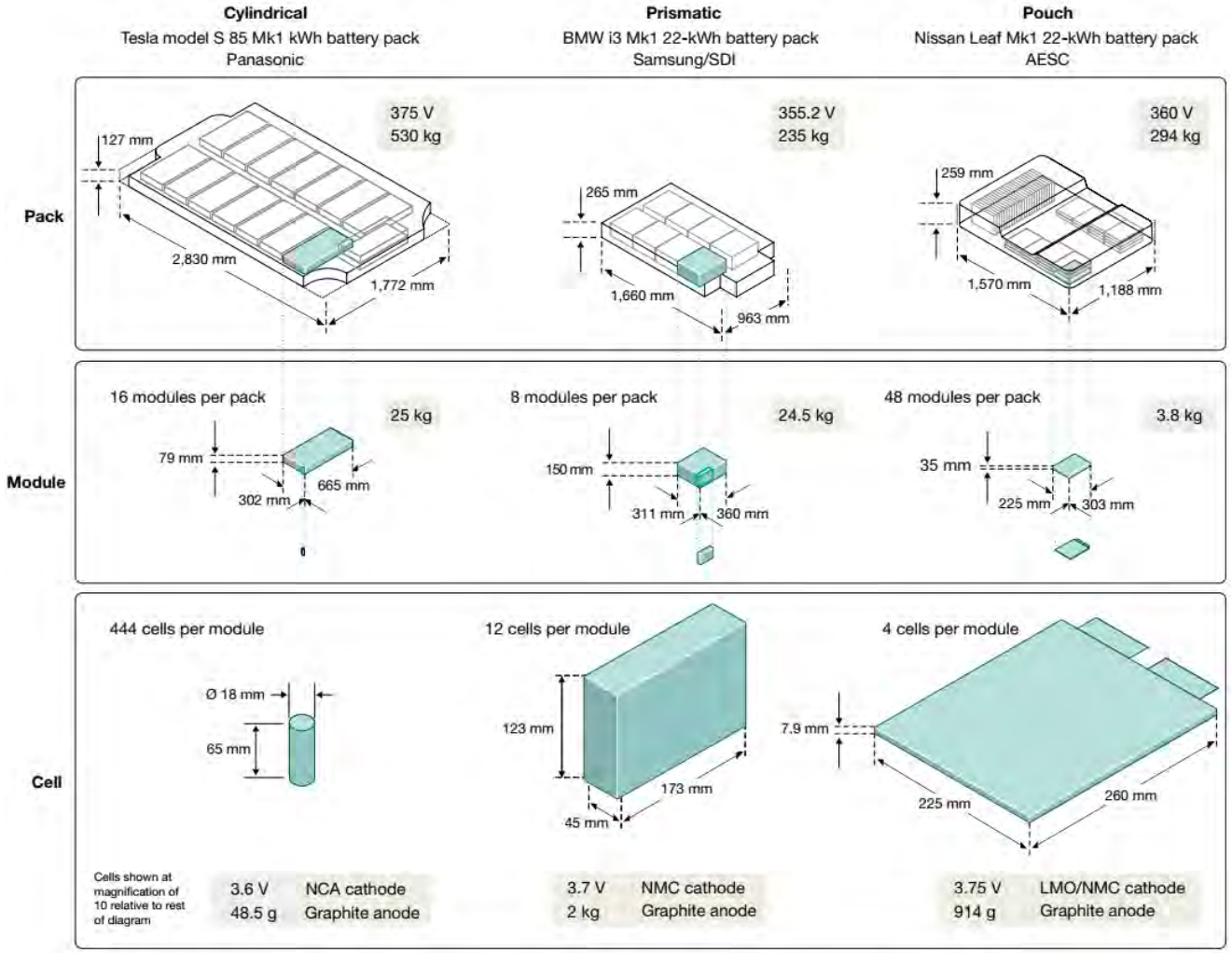
Zeitverzögertes Recycling

Vacuumöfen der Firma ACCUREC Recycling GmbH
(Bildquelle: © ACCUREC, https://eu-recycling.com/Archive/13624)

Aus welchen Materialien besteht eine LIB?

Batterietechnologien im Überblick
(Kathodenchemie):

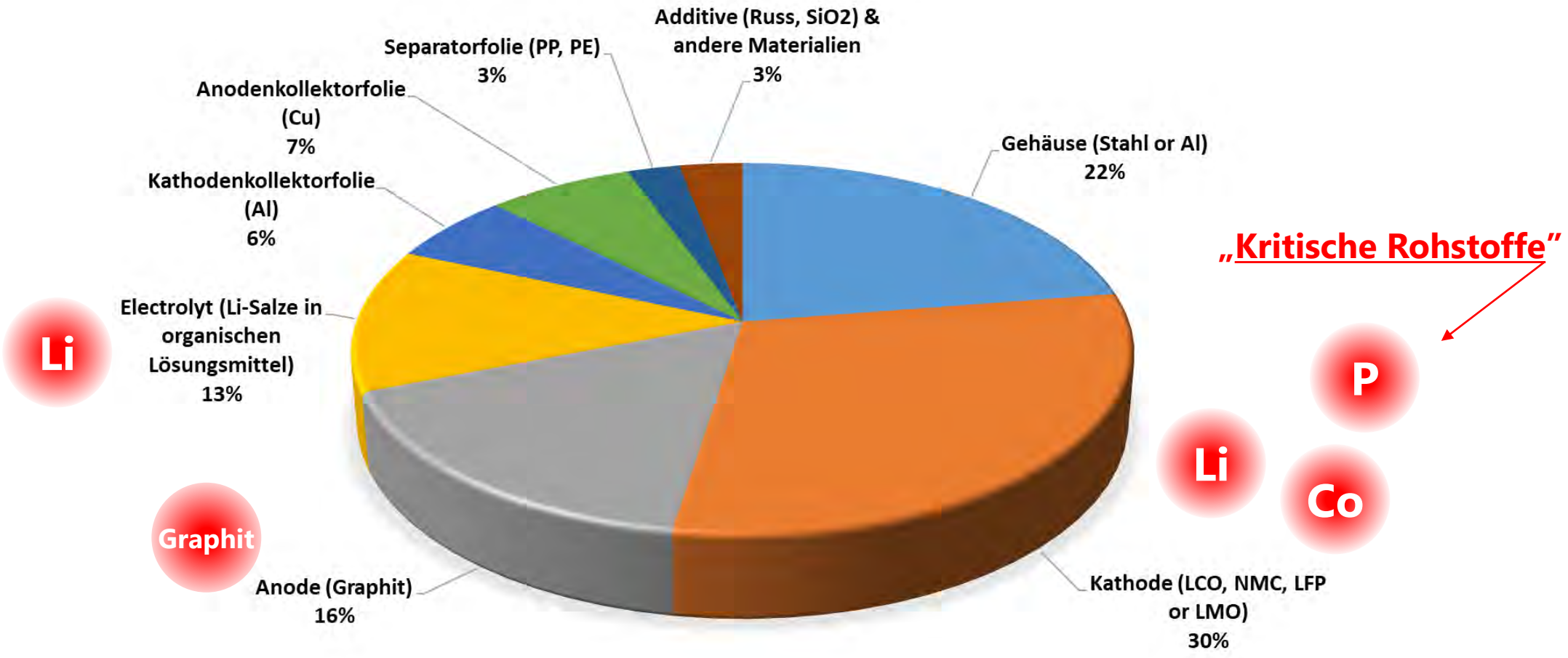
- **Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid (NMC)** ($Li_aNi_xMn_yCo_zO_2$)
  - Renault, BMW, Audi, VW etc.
- **Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium-Oxid (NCA)** ($LiNi_xCo_yAl_zO_2$)
  - Tesla
- **Lithium-Eisen-Phosphat (LFP)** ($LiFePO_4$)
  - Tesla, Nissan, Porsche, BYD etc.
- **Lithium-Mangan-Oxid (LMO)** ($LiNi_xMn_yCo_zO_2$)
  - BMW, Audi, BYD, Chevrolet, Hyundai, Jaguar etc.



Bildquelle: Harper et al. (2019), https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5

Aus welchen Materialien besteht eine LIB?

Materialzusammensetzung eines LIB-Moduls



(Datenquelle: Accurec Recycling GmbH 2020 in DERA, 2021, https://www.bgr.bund.de/DERA/DE/Downloads/DERA%20Booklet%20%E2%80%93%20Battery%20raw%20materials%20for%20E-mobility.pdf;jsessionid=37D4B8E7BB1CF89127A5319314CCA16F.1_cid292?__blob=publicationFile&v=3)

Maßnahmen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit und Erreichung der Klimaziele in der EU

Gesetzesgrundlage

Recyclingziele bis 2030 gemäß EU Battery Directive (novelliert in 2022):

- 70% Sammelrate für alle LIB
- 70% Li
- 95% Ni, Cu und Co

Näheres hier: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_7588

Zusätzliche Maßnahmen

- Einführung eines **Batteriepasses**
- Ermöglichung / Forcierung einer Zweitnutzung („**Second-Life**“)
- Etc…

§§§

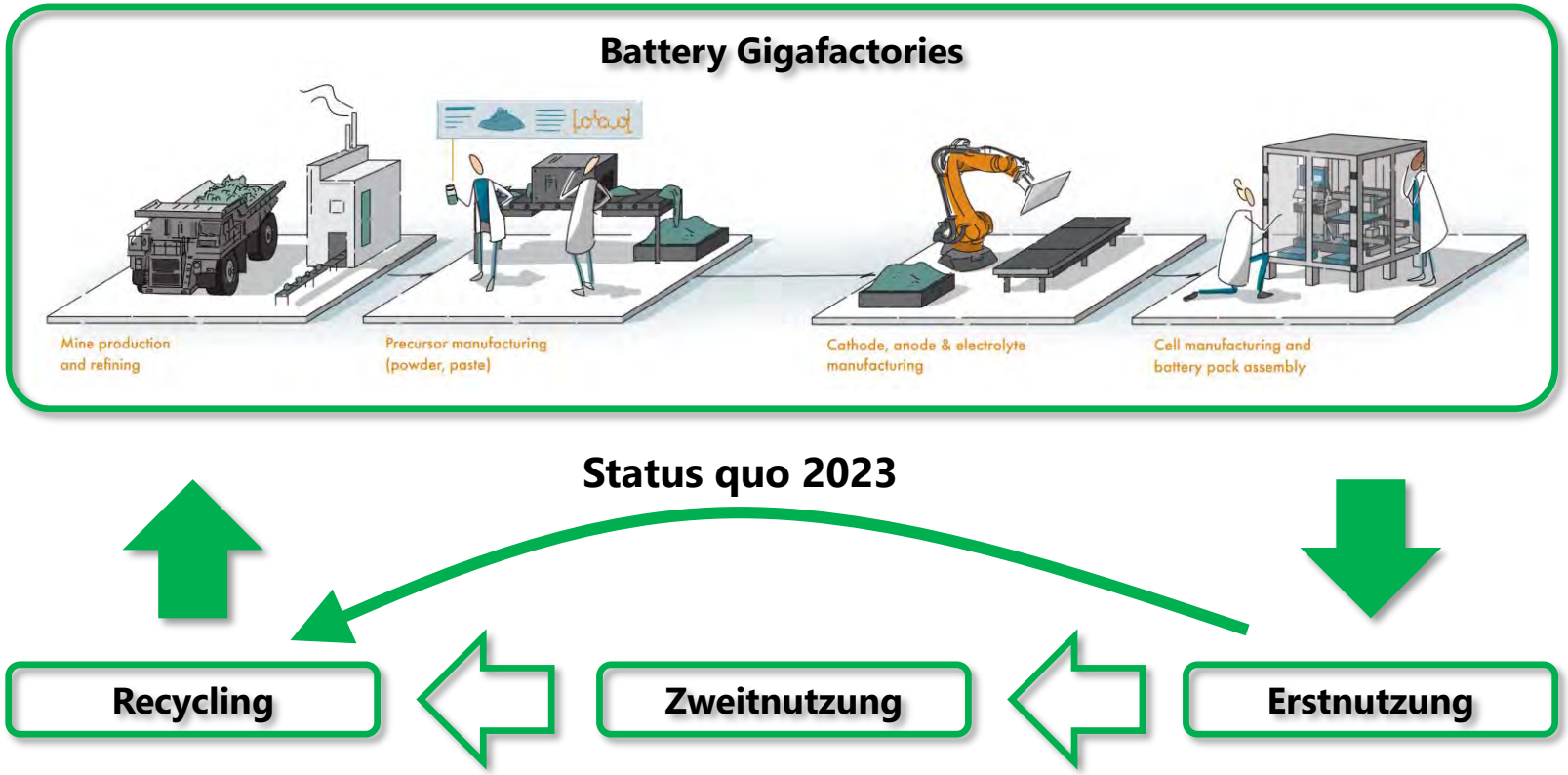
Lebenszyklusanalysen

zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit

Wie sieht die Wertschöpfungskette für LIB aus? Wo entstehen die größten Umweltauswirkungen?

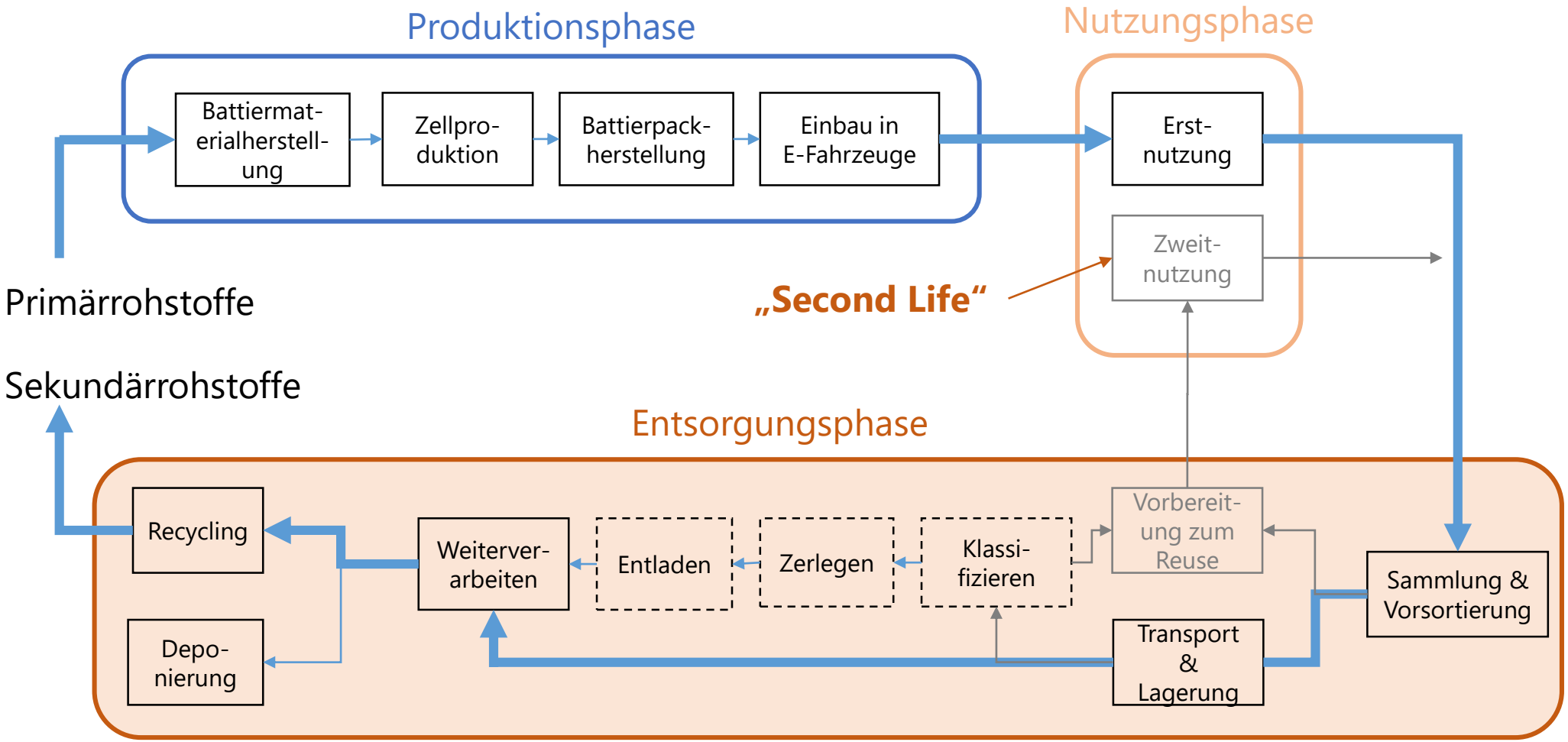
Lithiumproduktion in Chile (Bildquelle: © C. Olivares, Bloomberg, https://www.cnbc.com/2022/05/05/albemarle-lithium-stock-pops-on-ev-battery-demand-.html

Schematische Darstellung des Lebenszyklus



(Bildquellen: https://www.bgr.bund.de/DERA/DE/Downloads/DERA%20Booklet%20%E2%80%93%20Battery%20raw%20materials%20for%20E-mobility.pdf;jsessionid=37D4B8E7BB1CF89127A5319314CCA16F.1_cid292?__blob=publicationFile&v=3)

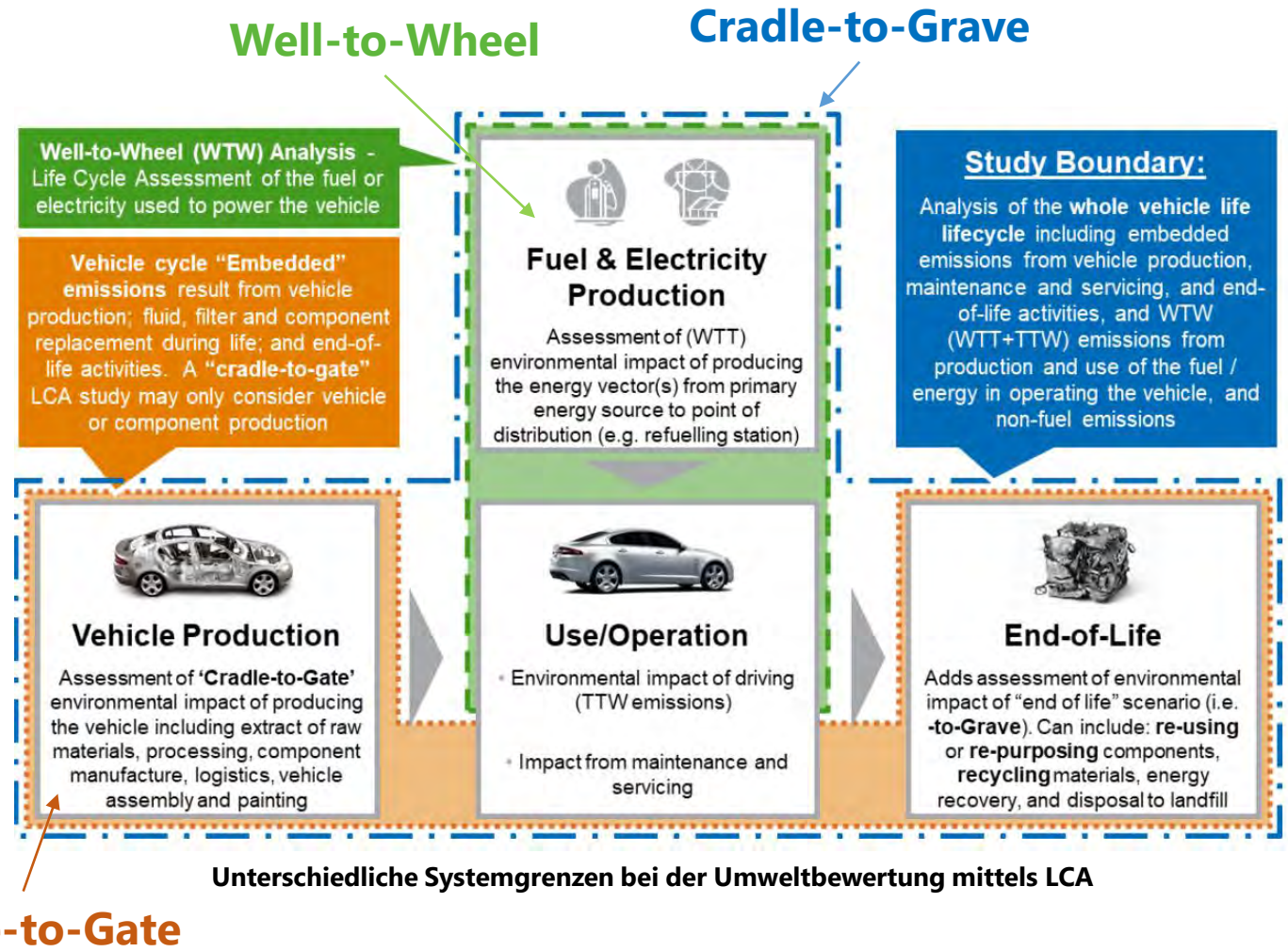
Wie sieht die Wertschöpfungskette für LIB aus? Wo entstehen die größten Umweltauswirkungen?



Quelle: Beigl et al., 2021, https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/Beigl-et-al_2021_Recycling-von-Lithium-Ionen-Batterien-in-Oesterreich_Endbericht.pdf

Welche Kriterien werden zur LCA herangezogen?

- Es gibt mehr als **30 Umweltwirkungskategorien**:
  - am häufigsten verwendet wird das Treibhausgas- bzw. **Klimaerwärmungspotential** (in CO_2-Äquivalente umgerechnet)
  - Weitere Beispiele: Toxizität, Emissionen, Wasser- und Landverbrauch u.a.
- **Ökobilanzen bzw. Lebenszyklusanalysen (LCA)** basieren auf unterschiedlichen **Systemgrenzen** (z.B. „Crade-to-Grave“) und unterschiedlichen **Datengrundlagen** („Ökoinventare“)
- **Funktionelle Einheit** zumeist in „**1 kWh Speicherkapazität**“



Unterschiedliche Systemgrenzen bei der Umweltbewertung mittels LCA

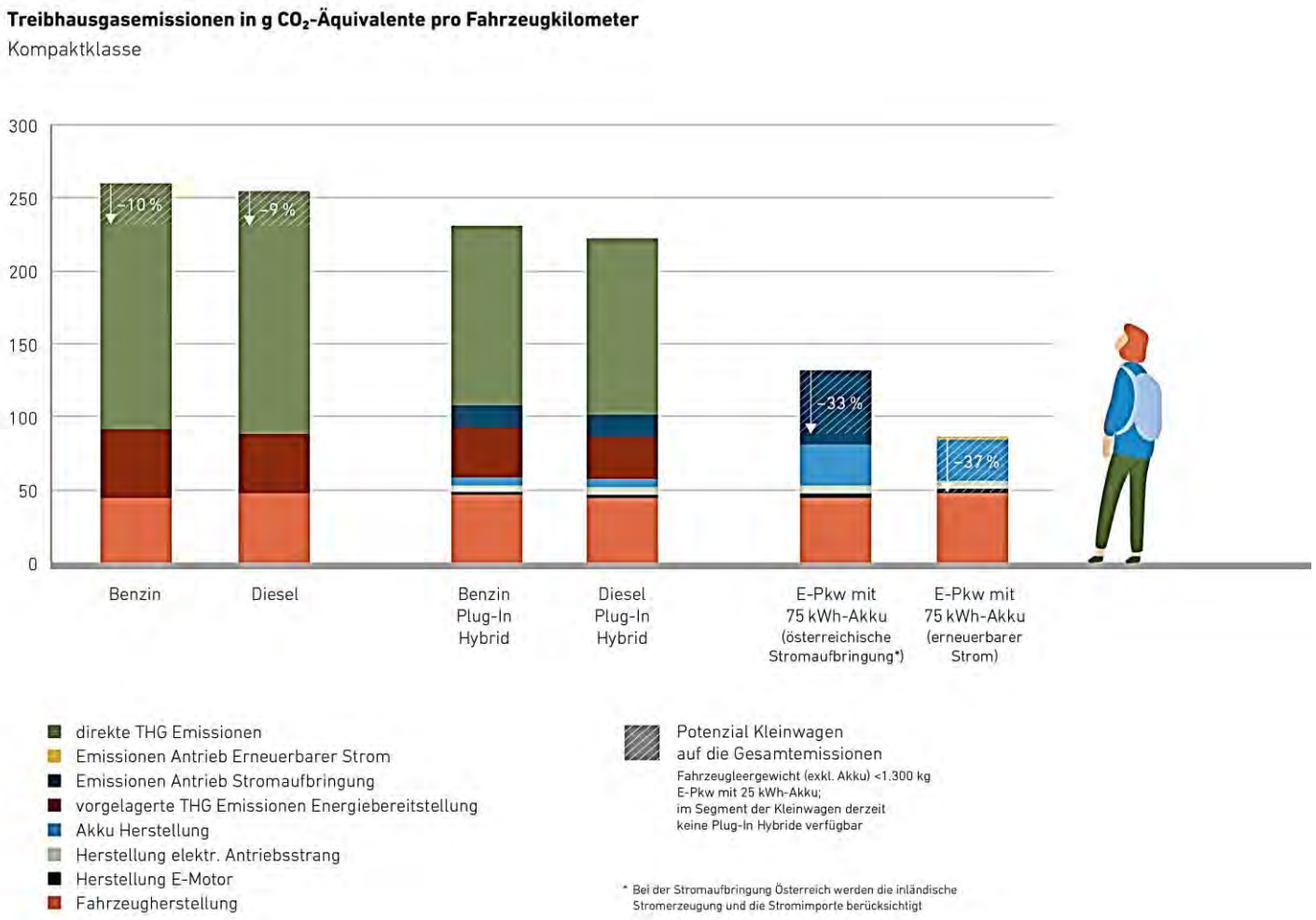
Bildquelle: Hill et al. (2020), https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1f494180-bc0e-11ea-811c-01aa75ed71a1

„Well-to-Tank“ Betrachtung zum Vergleich von Verbrennungsmotoren (ICE) mit E-Fahrzeugen (BEV, PHEV)

LCA-Systemgrenze

„Well-to-Tank“
(von Kraftstoffproduktion bis zum Tank)

Wenn Strom zu 100% aus erneuerbaren Energiequellen stammt, dann wären bis zu **–79% weniger Treibhausgas-Emissionen** als vergleichbare Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor möglich.



Daten- und Bildquelle:
Umweltbundesamt (2021): Die Ökobilanz von Personenkraftwagen, Bewertung alternativer Antriebskonzepte hinsichtlich CO_2-Reduktionspotential und Energieeinsparung, REP0763, ISBN: 978-3-99004-586-2

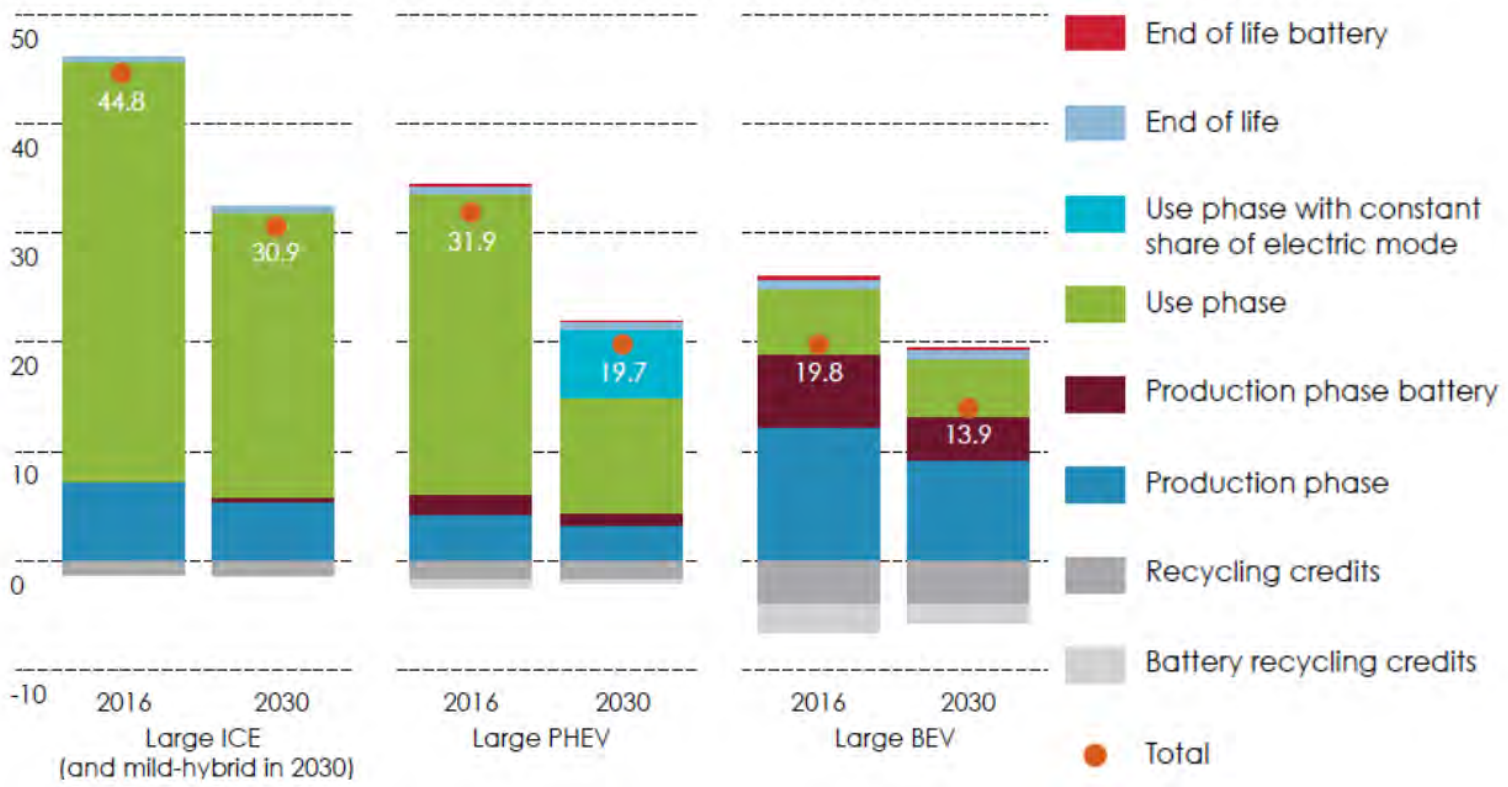
„Crade-to-Grave“ Betrachtung zum Vergleich von Verbrennungsmotoren (ICE) mit E-Fahrzeugen (BEV, PHEV)

LCA-Systemgrenze

„Crade-to-Grave“
(von Rohstoffproduktion bis zur Entsorgung)

Bei Verbrennungs-motoren könnten in der **Nutzungsphase**, **bei BEV** in der **Produktionsphase** die meisten Treibhausgase eingespart werden…

Figure 2.11: Global warming potential: 2016-2030 results compared for the large car sector (tCO_2e)



Bildquelle: Hill et al. (2020), https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1f494180-bc0e-11ea-811c-01aa75ed71a1

Zukunftskonzepte für „Second-Life-Batteriespeicher“ zur Verlängerung der Lebensdauer und somit Verbesserung der Nachhaltigkeit von LIB aus E-Fahrzeugen

Beispiele für Second-Life-Batteriespeicher mit ausrangierten E-Fahrzeugbatterien

Bildquelle: © University of California

Beispiele für Second-Life-Batteriespeicher mit ausrangierten E-Fahrzeugbatterien

Bildquelle: © Renault Group (https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/a-second-life-for-batteries-from-energy-usage-to-industrial-storage/)

Beispiele für Second-Life-Batteriespeicher mit ausrangierten E-Fahrzeugbatterien

Bildquelle: © Saubermacher (https://saubermacher.at/presse/second-life-batterien/)

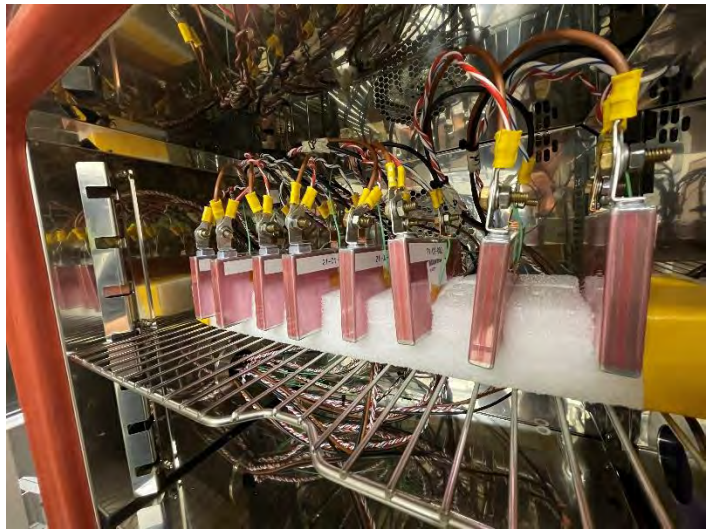
Fazit

- **2030** wird ein **14-facher Bedarf an Neubatterien im Vergleich zu 2018** erwartet
- **2040** werden zeitverzögert ca. **1,5 Mio. Tonnen EoL-LIB in der EU** prognostiziert
- Bestehende / geplante Recyclingkapazitäten sind derzeit nicht ausreichend, um alle EoL-LIB in der EU recyceln zu können

- E-Mobilität bringt klare Umweltvorteile gegenüber Verbrennungsmotoren: **BEV verursachen bis zu 80% weniger CO_2-Emissionen, insofern 100% Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen** stammt
- Bei **Verbrennungsmotoren** hat die **Nutzungsphase** größten CO_2-Fußabdruck; bei **E-Fahrzeugen** die **Produktionsphase** (von der Mine bis zur Zellproduktion und Fahrzeugintegration)
- **Recycling** führt bis zu ca. **10% CO_2-Einsparungen**, ein zusätzliches „**Doppelleben" (als Second-Life-Batteriespeicher)** bringt eine **zusätzliche** CO_2-Einsparung von **25%**
- Für eine **nachhaltige Batterienutzung** sollen **erneuerbare Energiequellen** ausgebaut, **Second-Life-Anwendungen** forciert und **Recyclingkapazitäten** erweitert werden

Ein Dank an das gesamte Projektteam und Danke auch für Ihre Aufmerksamkeit!

Bei weiteren Fragen: florian.part@boku.ac.at



LIBRAT, Projektdauer: 01/2020–08/2021

SafeLiBatt, Projektdauer: 11/2020–10/2023

MoLIBity, Projektdauer: 04/2023–03/2026