



Technische
Universität
Braunschweig

BLB BATTERY
LABFACTORY
BRAUNSCHWEIG
EINE EINRICHTUNG DES **NFF**

iPAT
Institut für Partikeltechnik



Elektromobilität im Zeichen von steigenden Energiedichten, fallenden Kosten und Second-Use von LiBs

Fachforum 5: Elektromobilität – Fluch oder Segen für die Stromnetze?

9. Niedersächsische Energietage

Wolfgang Haselrieder, Prof. Arno Kwade, 02. November 2016

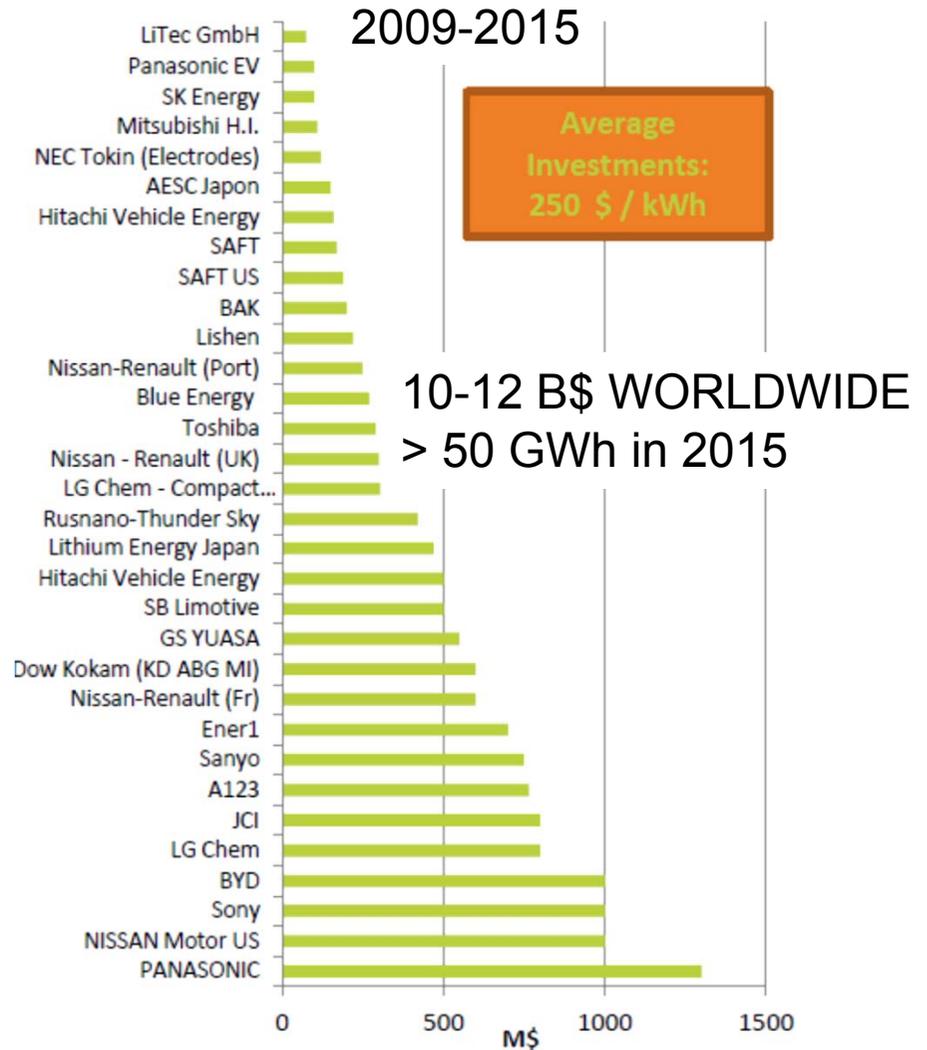
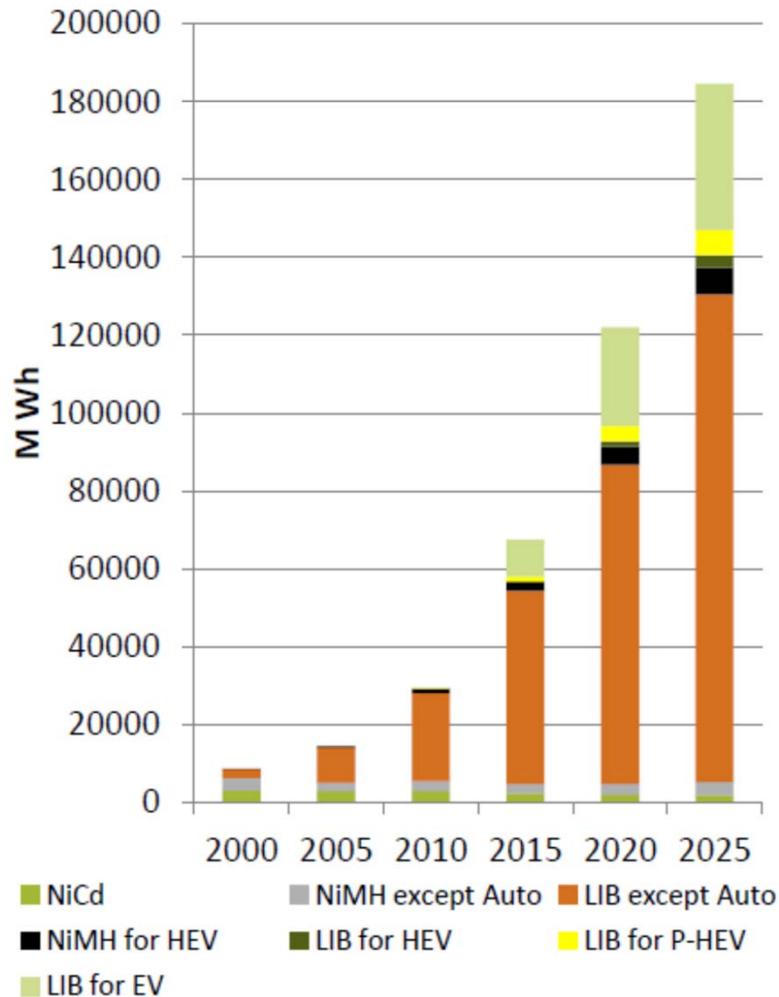
Motivation der Batterieentwicklung

Märkte

- Konventioneller Einsatz in mobiler Elektronik, Werkzeugmaschinen und Gartengeräten
- Neue Anwendungen als Energiespeicher für erneuerbare Energien und Elektromobilität durch:
 - ✓ CO₂- Bilanz
 - ✓ Loslösen von fossilen Brennstoffen
 - ✓ Speicher für erneuerbare Energien



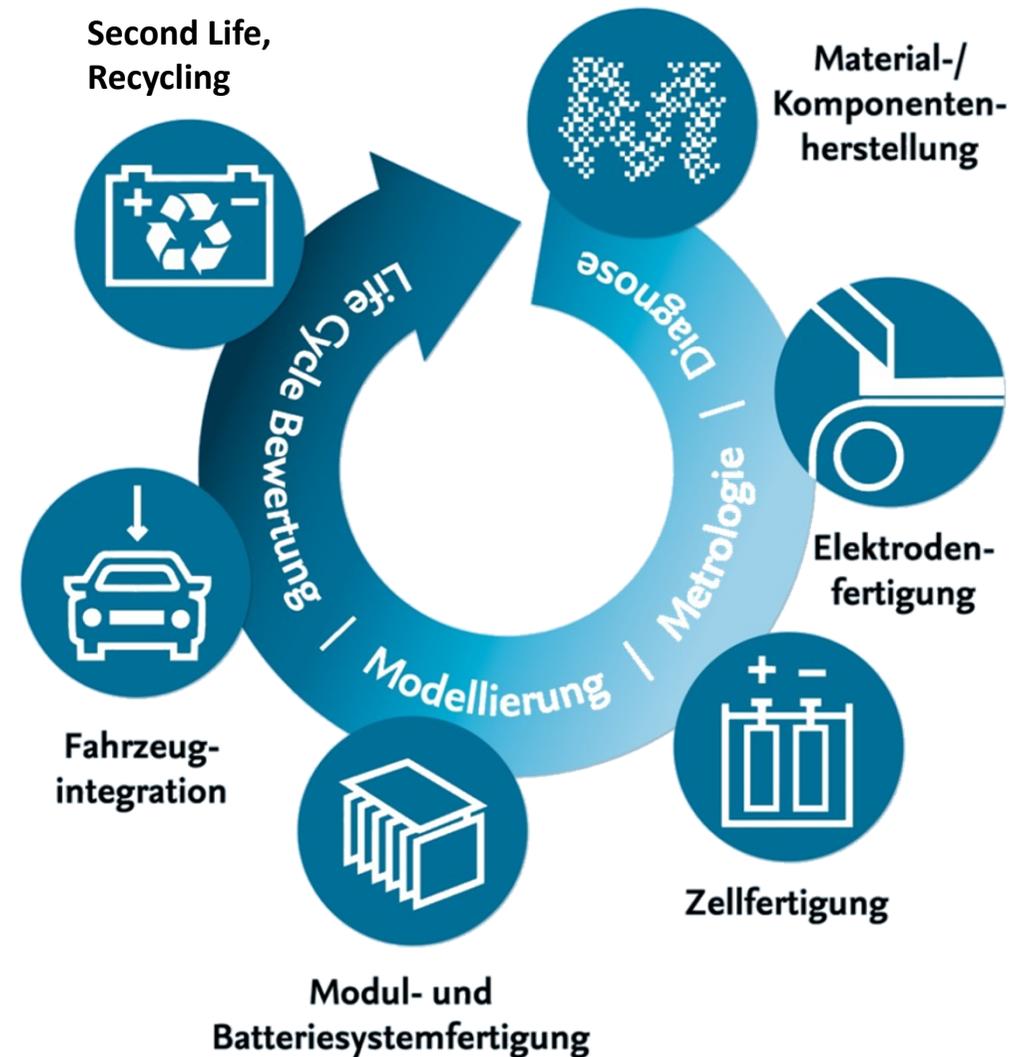
Batteriebedarf und Investitionen in LIB ein dynamischer Markt



Lebenszyklus einer Batterie

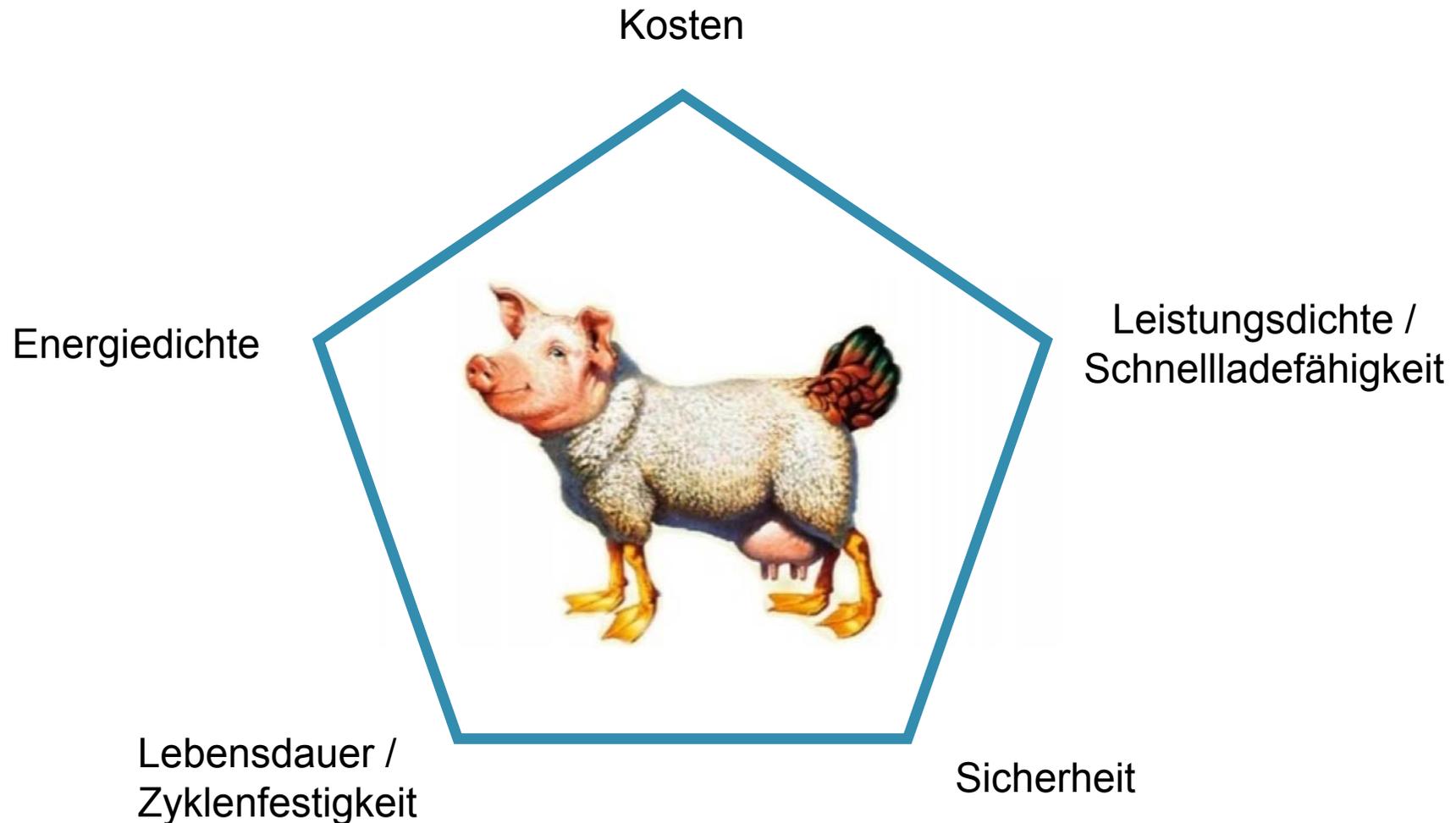
gesamtheitliche Betrachtung als Weg zum Ziel

- Hohe Wertschöpfung in Materialentwicklung und Zellproduktion
- Zellen dominierend die Anwendungseigenschaften
- Modul- und Systemfertigung als Weg zum Leitanbieter?
- Mehr als eine Nutzungsphase für eine bezahlbare Elektromobilität!
- Recycling – Stoffkreise schließen

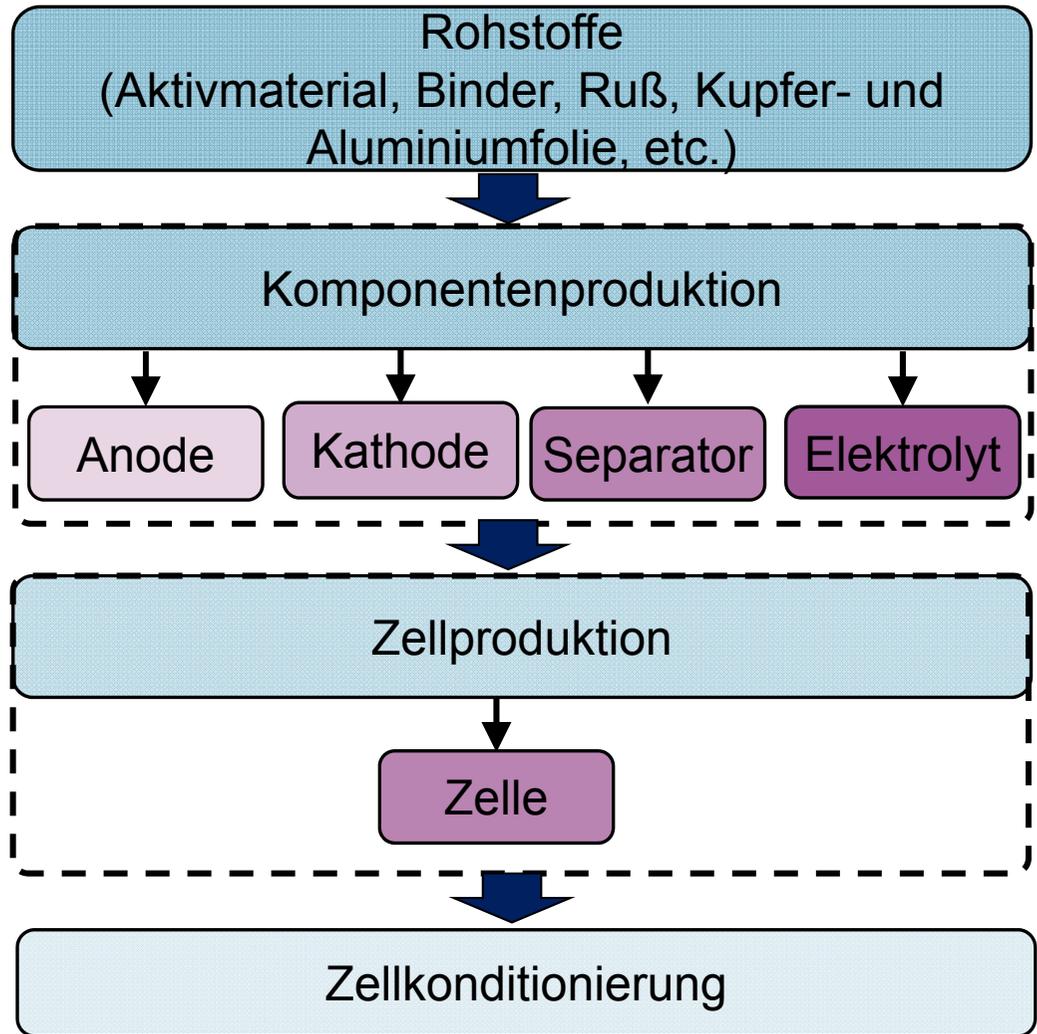


Lithium-Ionen-Batterie

die eierlegende Wollmilchsau?



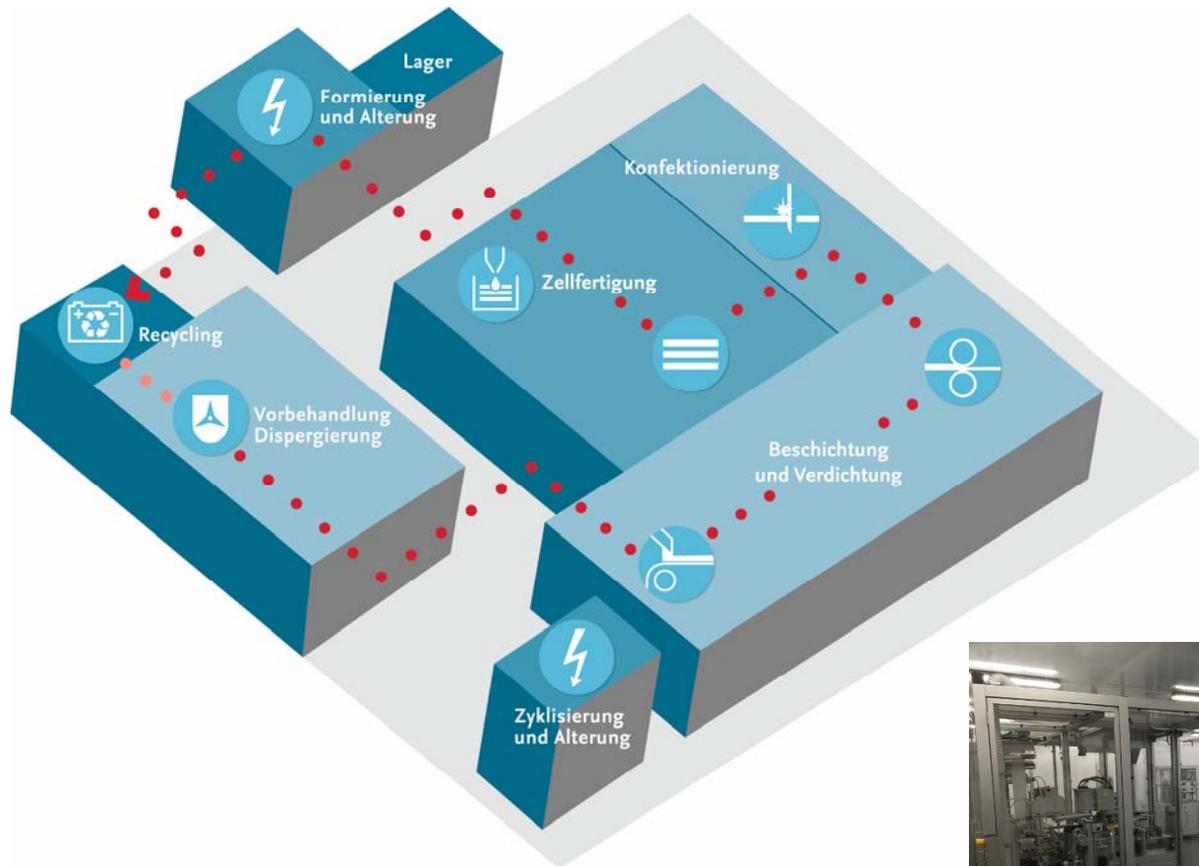
Materialfluss bei der Zellherstellung



Prozesskette



Elektroden- und Zellproduktion am Beispiel der Battery LabFactory Braunschweig



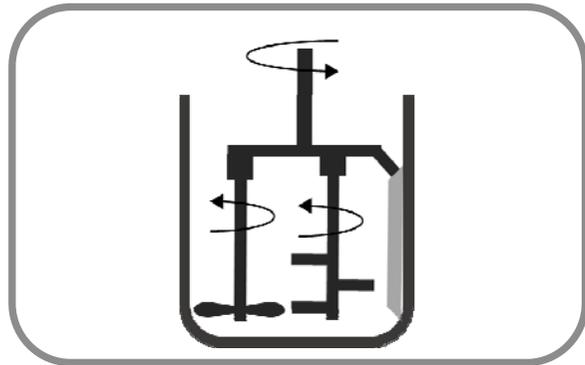
Daten und Fakten

- Batterieforschung seit 2008
- 7 Institute der TU BS und PTB
- 900 m² Prozessbereich (+ 500 m² Laborbereich)
- 160 m² Trockenraum
- ca. 50 Wissenschaftler und Techniker



Elektrodenproduktion

Mischen und Dispergieren



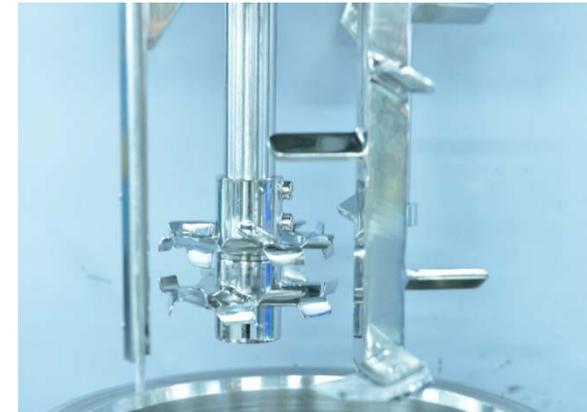
Ausgangsstoffe:

- Aktivmaterial
- Binder
- Leitfähigkeitsadditiv
- Lösemittel



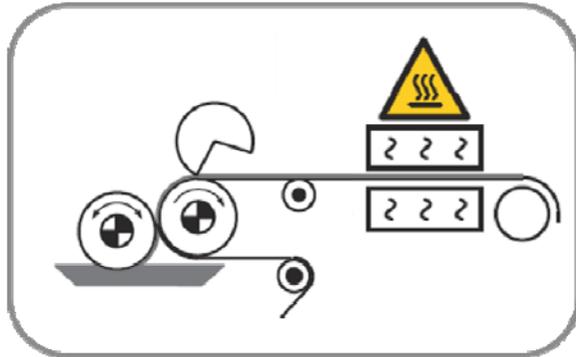
Produkt:

- Elektrodensuspension



Elektrodenproduktion

Beschichten und Trocknen



Ausgangsstoffe:

- Suspension
- Aluminium- bzw. Kupferfolie

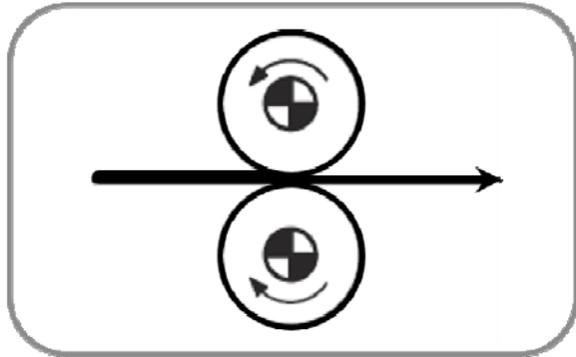
Produkt:

- Elektrodenwickel



Elektrodenproduktion

Kalandrieren



Ausgangsstoffe:

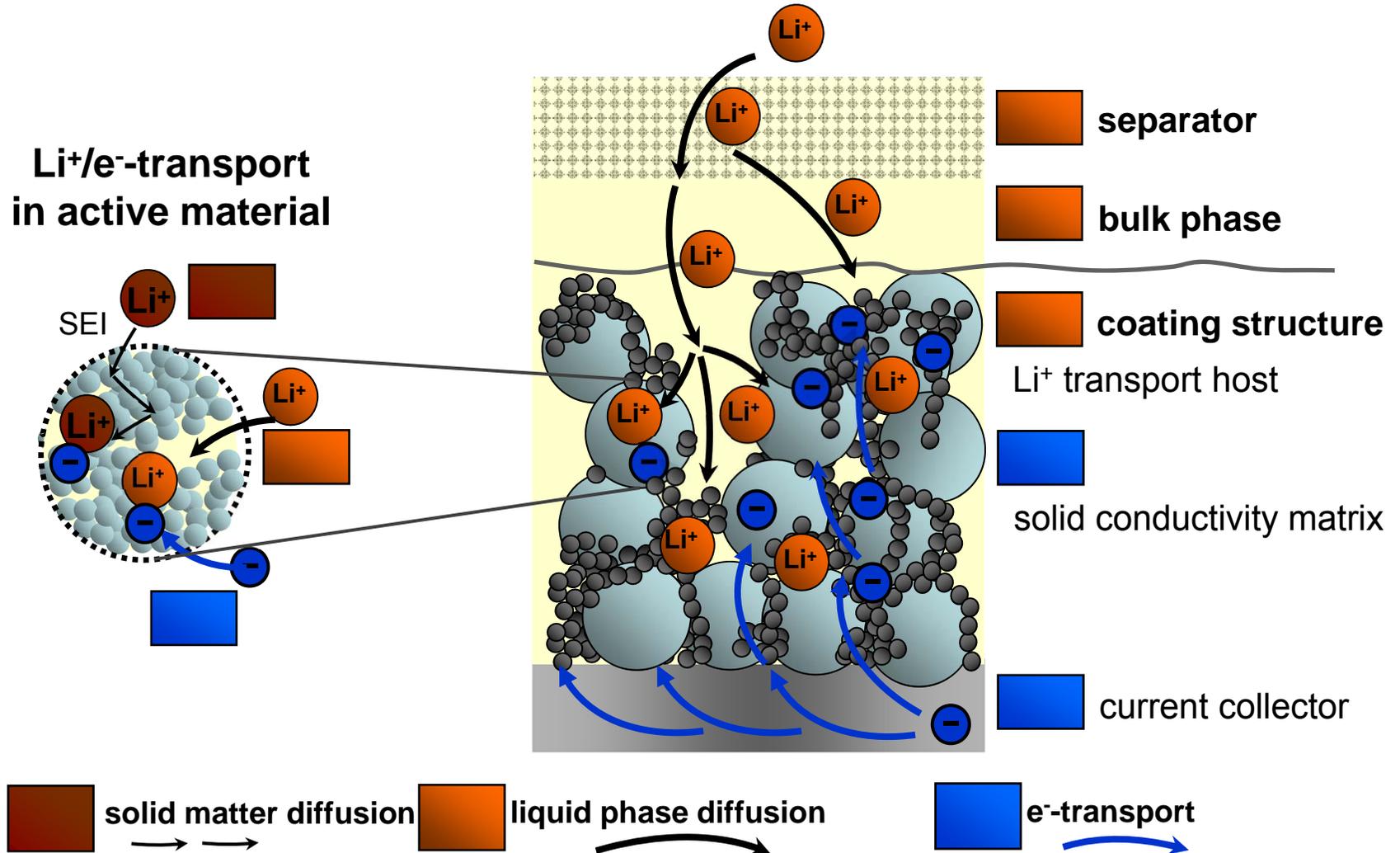
- Elektrodenwickel mit geringer Dichte

Produkt:

- Elektrodenwickel mit Zieldichte



Funktionale Integration des Aktivmaterials im Sinne des Ladungsträgertransportes



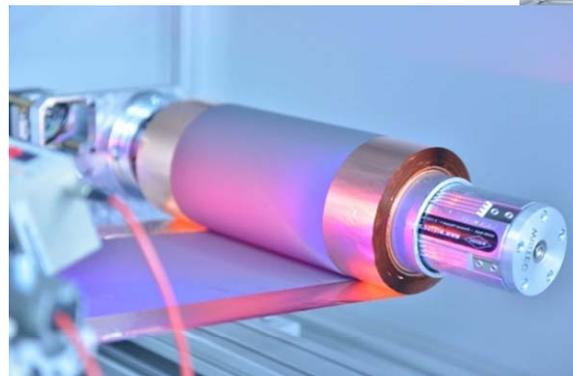
Zellproduktion

Konfektionieren: Laser-Schneiden



Ausgangsstoffe:

- Elektrodenwickel



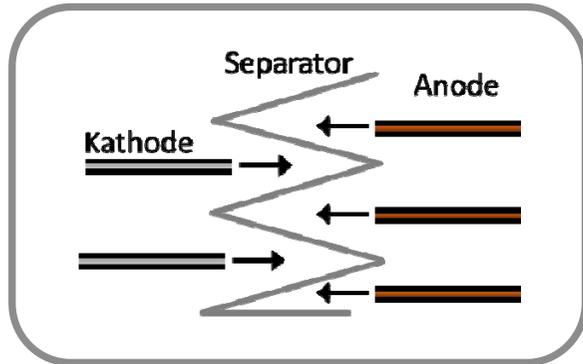
Produkt:

- Ausgeschnittenes Elektrodensheet



Zellproduktion

Assemblieren: Z-Falten und Elektrolytbefüllung



Ausgangsstoffe:

- Elektrodensheets,
- Separatorwickel
- Elektrolyt

Produkt:

- Zelle

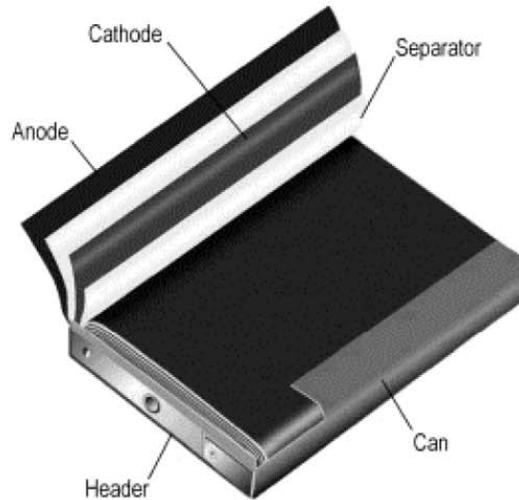


Alternative Zellformate

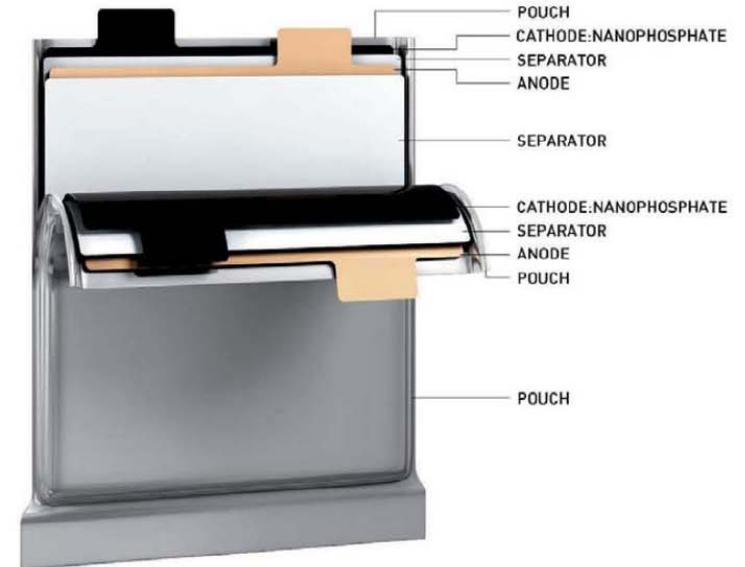
Vor- und Nachteile, sowie eine Systemfrage



Cylindrical Cell



Prismatic Cell



Pouch Cell (Stacked)

Zellkonditionierung

Formierung, Aging und Qualitätskontrolle



Ausgangsstoffe:

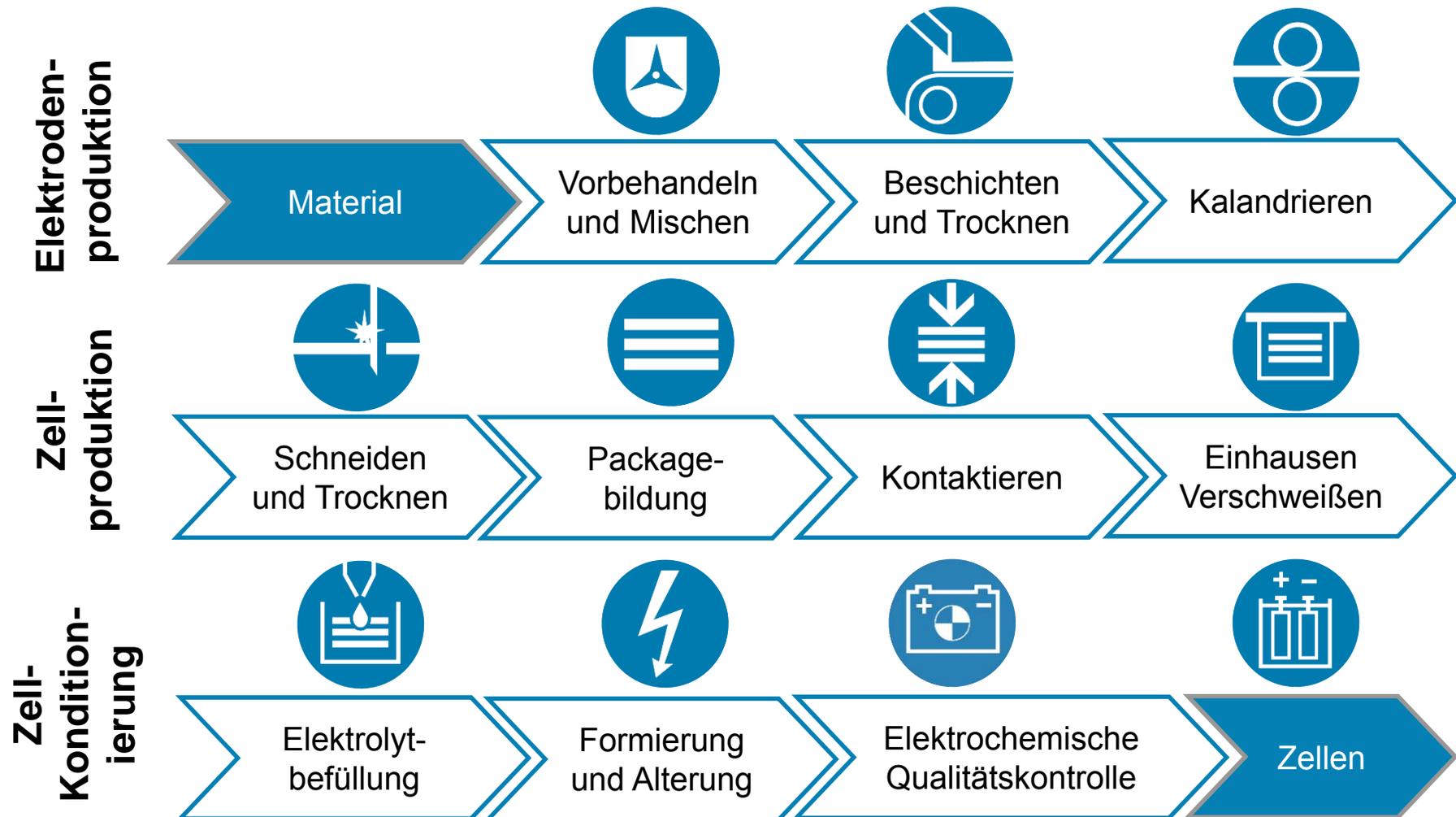
- Frische ungeladene Zelle

Produkt:

- Eingefahrene, d.h. formierte und geladene Zelle



Prozesskette Zellherstellung



Anforderungen an die Prozesskette

Effizienz



1. Prozessschritt

Effizienz pro
Prozessschritt: 97 %

Anzahl an
Prozessschritten: 18
 $(0,97)^{18} = 0,578$

Effizienz der
Prozesskette: 57,8 %



18.
Prozessschritt



1. Prozessschritt

Effizienz pro
Prozessschritt: 99 %

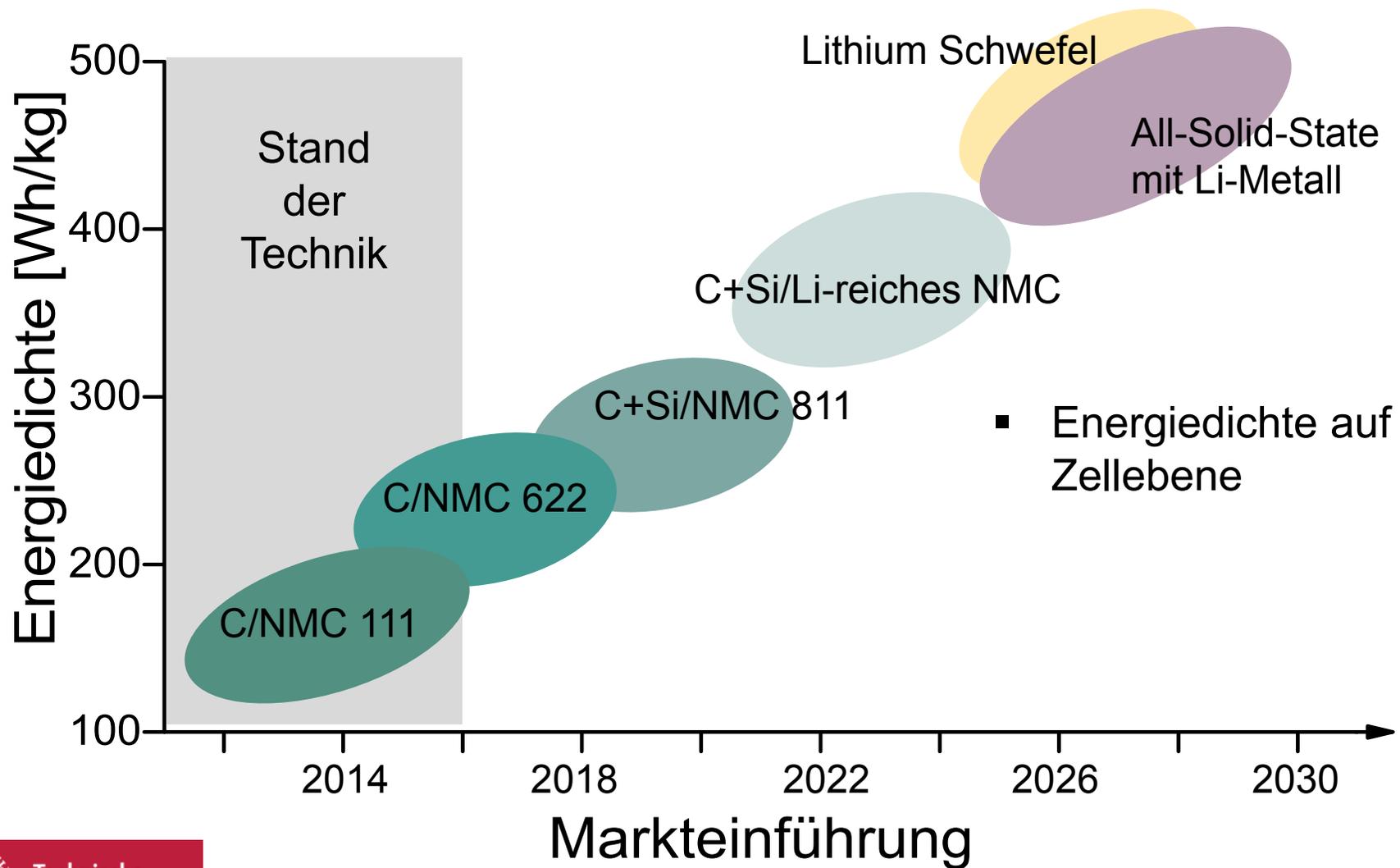
Anzahl an
Prozessschritten: 18
 $(0,99)^{18} = 0,834$

Effizienz der
Prozesskette: 83,4 %



18.
Prozessschritt

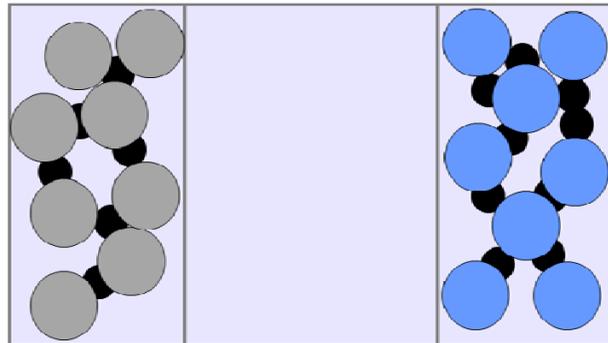
Entwicklungspotential LiB-Zelltechnologien



All-Solid-State Batterien

Was ändert sich?

Klassischer Aufbau

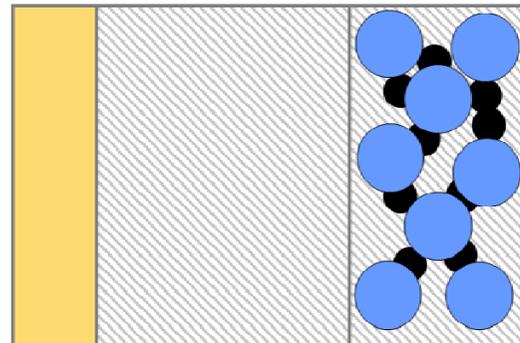


Anode
Elektrolyt
Flüssig

Elektrolyt
Flüssig

Kathode
Elektrolyt
Flüssig

All Solid State



Li-Metall

Elektrolyt
Fest

Kathode
Elektrolyt
Fest

Austausch von

- Flüssiger Elektrolyt durch Feststoffelektrolyt
→ Feststoffelektrolyt in Kathode zu integrieren
- Graphitbasierte Anode durch Lithiummetall
→ Schutz der Li⁺-Folie vs. Dendritenwachstum
→ Anpassung der Prozesskette nötig

Anforderungen an Feststoffelektrolyt

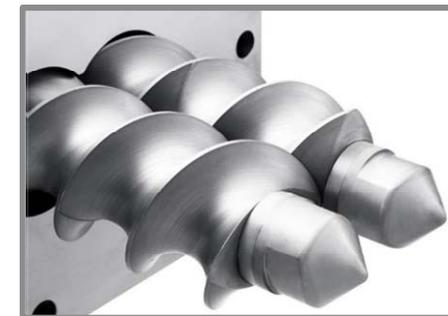
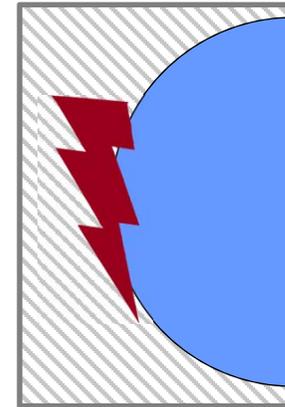
- Ionischer Leiter $\geq 2 \times 10^{-4}$ S/cm (298 K)
- hohe elektrochemische Stabilität: 0 - ≥ 6 V
- keine elektrische Leitfähigkeit
- hohe mechanische Festigkeit (verhindert Dendritenwachstum)

Feststoff-Ionenleiter

Herausforderungen und Eigenschaften

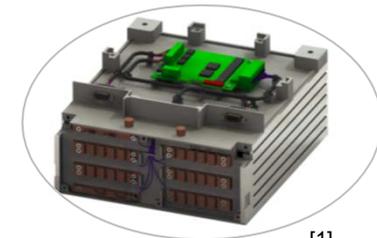
Herausforderungen

- Grenzflächenstabilität
- hohe ionische Leitfähigkeit auch für technisch interessante Materialien
- Verarbeitbarkeit
 - nur Laborprozesse bekannt
 - z.T. komplett neue Produktionstechnologien
 - Notwendige Umgebungsbedingungen?



Chancen vs. LIB

- Synthese zum Teil einfach (v.a. PEO und Oxide)
- intrinsisch sicher
- höhere ionische Leitfähigkeit mit höherer Temperatur
- deutlich gesteigerte Festigkeit schon auf Zellebene
 - ermöglicht Materialeinsparung auf Modulebene



[1]

Chancen bei Beherrschung der Zellfertigung

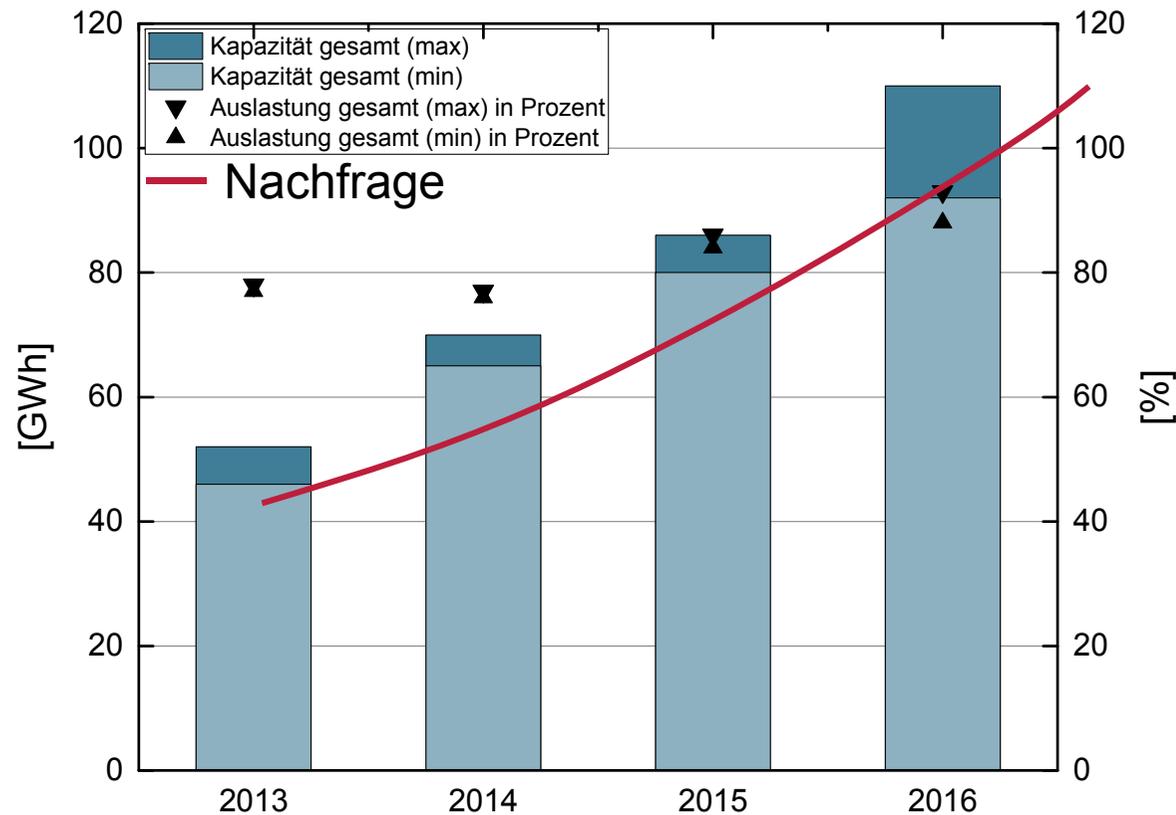
- Für den Nutzer **zentrale Anwendungseigenschaften** werden durch die Batteriezelle, Ihre Elektroden und Materialien bestimmt
→ Reichweite (Energiedichte), Schnellladefähigkeit (Leistungscharakteristik), Lebensdauer (TCO), Sicherheit
- **Kosten** der Batteriezellen bestimmen bis zu 40 % des Wertes eines BEV bzw. 70 % vom Antriebsstrang
- **Wertschöpfungstiefe** ohne eine Batteriezellfertigung ausreichend? Sollte die die Batteriezelle als ein Einkaufsteil angesehen werden?
- **Leitanbieter** und **Leitmarkt** ohne Zelle als Schlüsseltechnologie erreichbar?
- Was ist wenn die Nachfrage die **Fertigungskapazitäten** übersteigt?
Aktuellste (wettbewerbsfähige) Zelltechnologie in hohen Stückzahlen verfügbar?



Zellproduktion

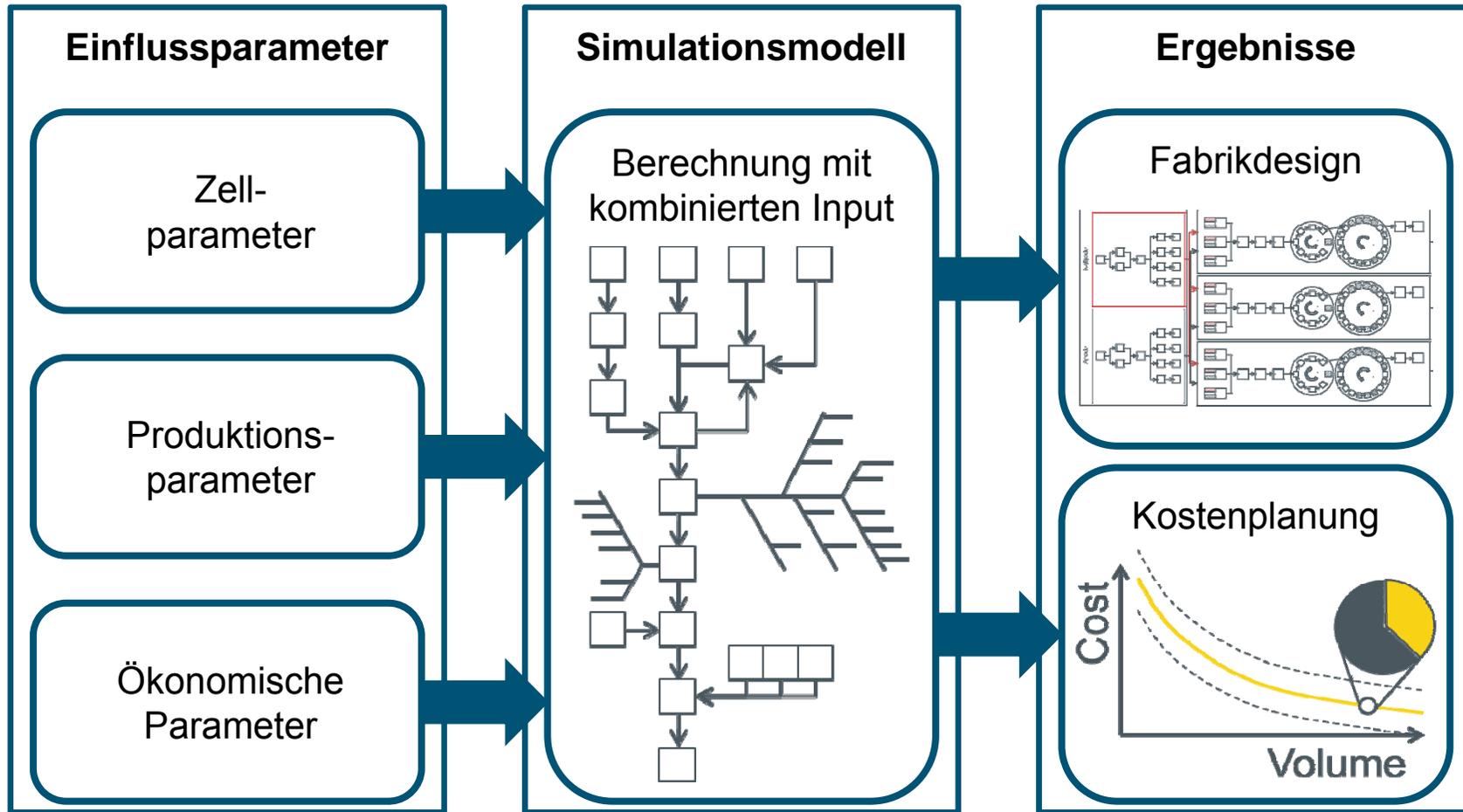
Nachfrage und Auslastung

Globale Zellproduktionskapazitäten zw. 2013 und 2016



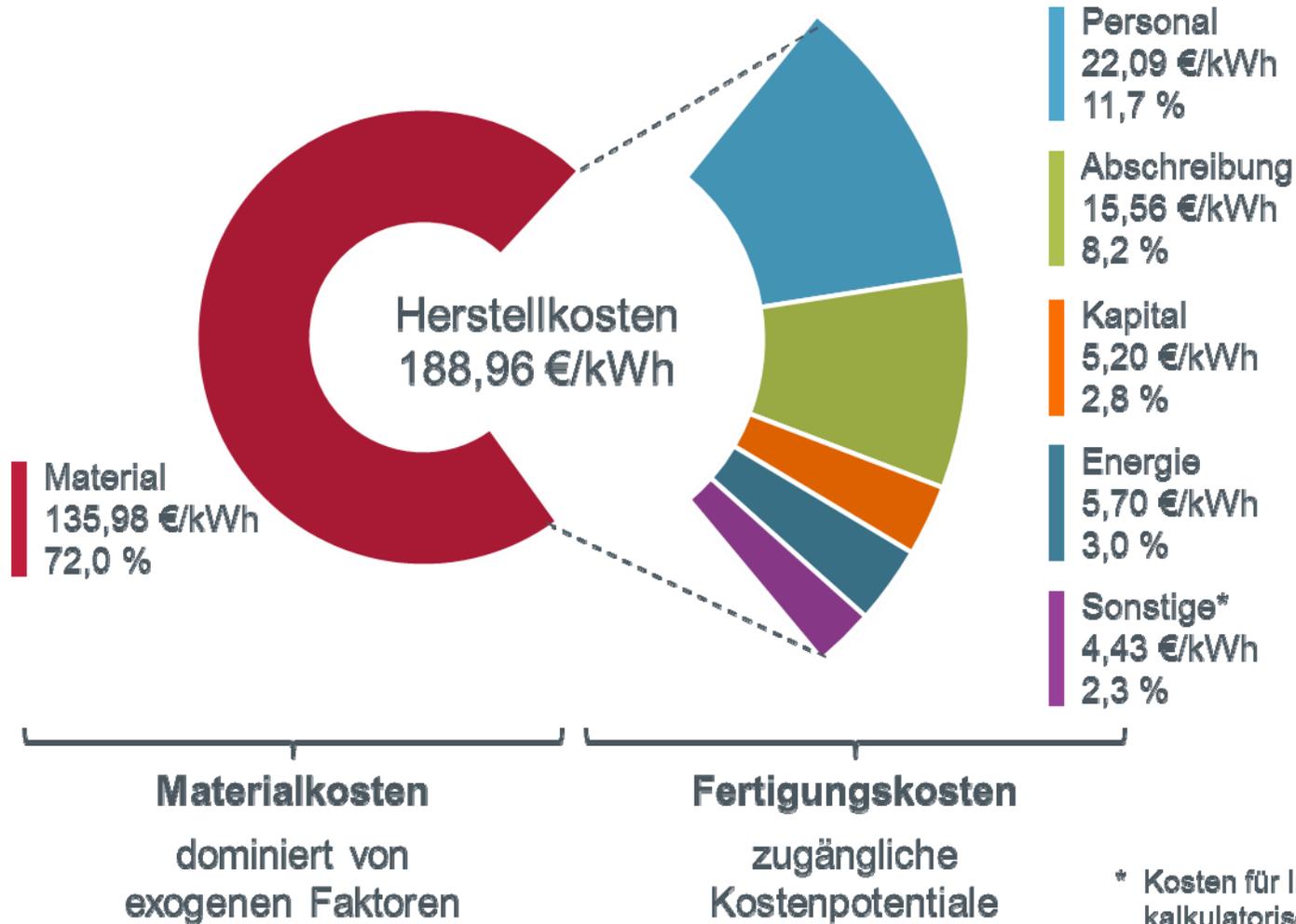
Die vorhandenen Zellfabriken sind praktisch ausgelastet
+
Stark steigender Bedarf an Batteriezellen, Prognose ca. 155 GWh/a in 2025
↓
Starker kontinuierlicher Anstieg der Fabrikkapazitäten erforderlich, um Bedarf zu decken und Engpässe zu vermeiden

Kostenmodell für Zellproduktion



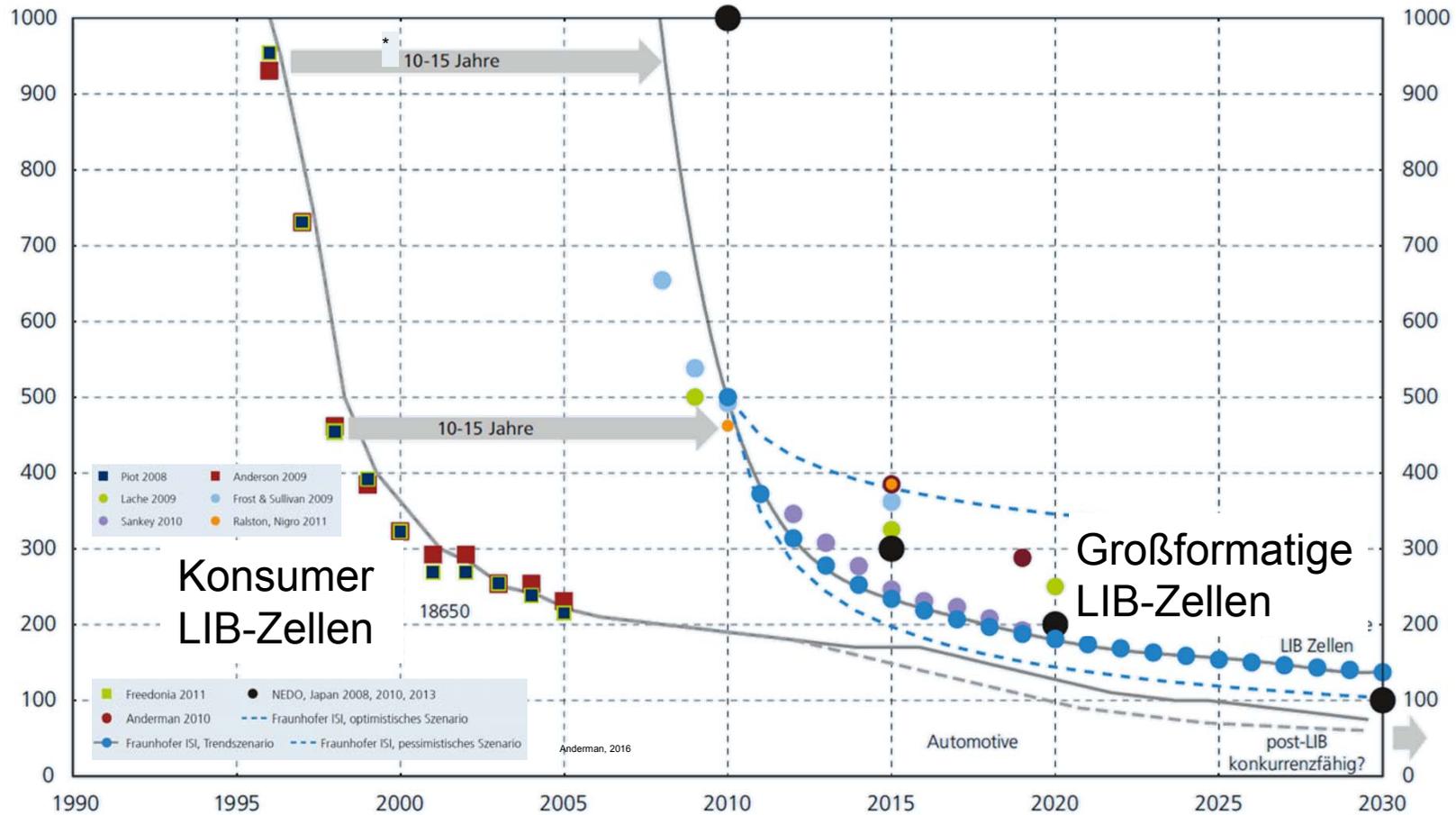
J.-H. Schünemann, Volkswagen VARTA Microbattery,
A. Kwade, TU Braunschweig, Vortrag Kraftwerk Batterie 2014

Kosten auf Batteriezelllevel



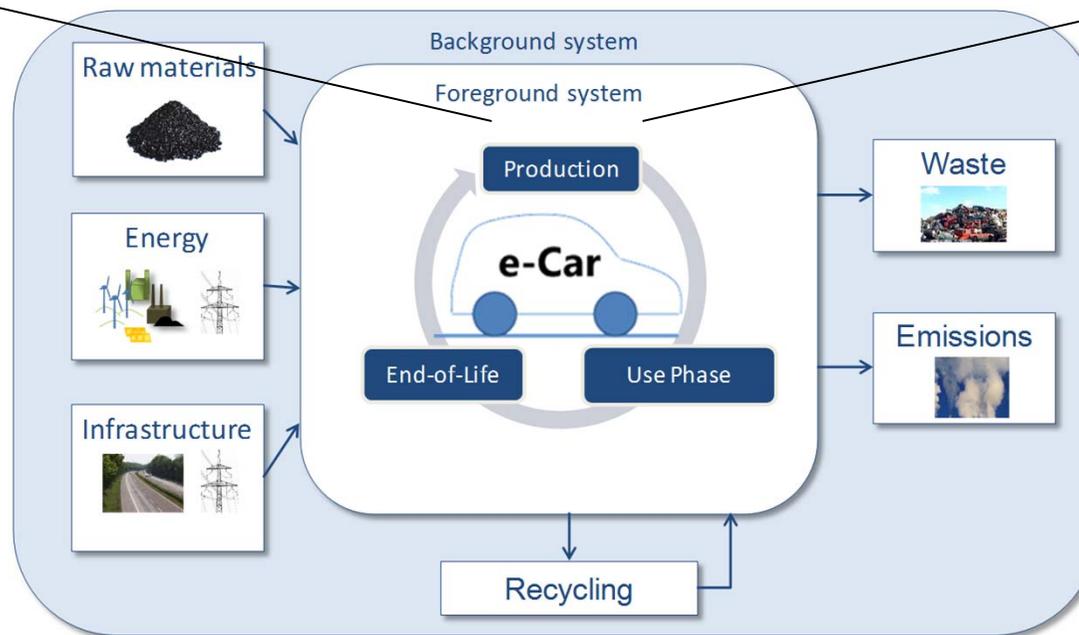
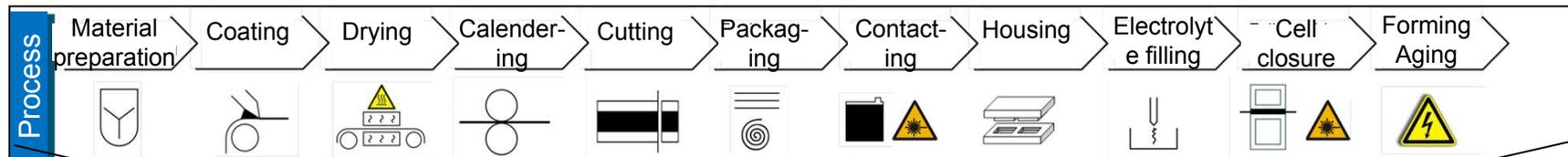
Kostensenkungspotenziale für LiB-Zellen

Entwicklung der Zellkosten in €/kWh⁸



Life Cycle Betrachtung Batterie

- Life Cycle Assessment – Energie- und Stoffstrommonitoring
- Life Cycle Costing
- EoL-Strategy



Second-Use

Anwendungsfelder und Fazit einer Studie

- Bereitstellung von Primärregelleistungen (PRL, Netzstabilität)
 - ✓ Erzeuger, Netzbetreiber (Frequenzerhaltung), Verbraucher
 - ✓ Leistung / Leistungspreis €/MW*h entscheidend
 - ✓ Gewinn = Leistungspreis – Investition – Betriebskosten (*+/- Stromhandel)
- Hausspeichersystem (HSS) / Notstromversorgung
- Leistungspuffer für Schnellladesäulen / Flurförderfahrzeuge

Fazit Studie:

„Second-Use-Konzepte für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen“

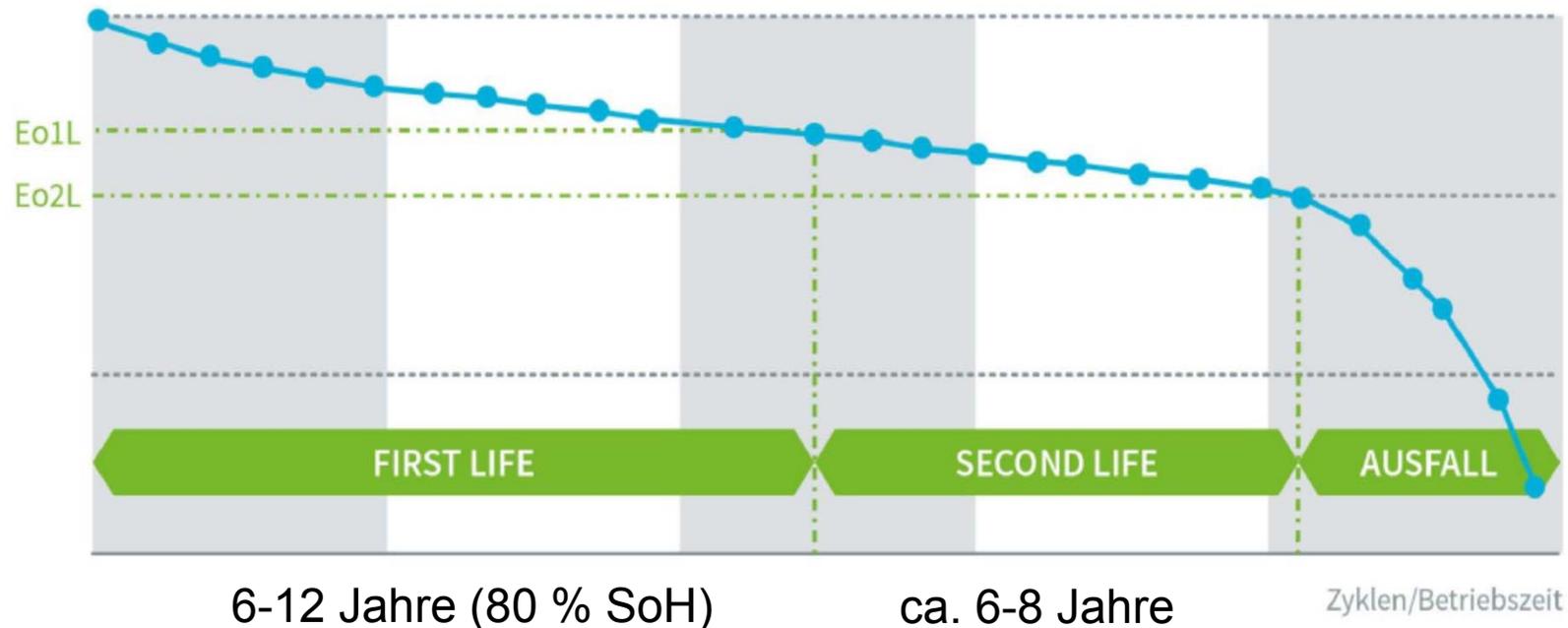
im Vergleich mit der Verwendung neuer Batterien mit gleicher Zellchemie

- Steigerung des Kapitalwerts für PRL um 33 %, für HSS um 26 % prognostiziert
- Einfluss auf den Kaufpreis eines EVs liegt bei nur bei 3 %.

Second-Use EOL-Kriterien

- Kalendarische, zyklische Alterung – bedingen Streuung der Kapazität, Innenwiderstand → Betriebsbedingungen im Second use anzupassen um nicht-lineare Alterung hinauszuzögern (z.B. DoD)

Rel. Kapazität



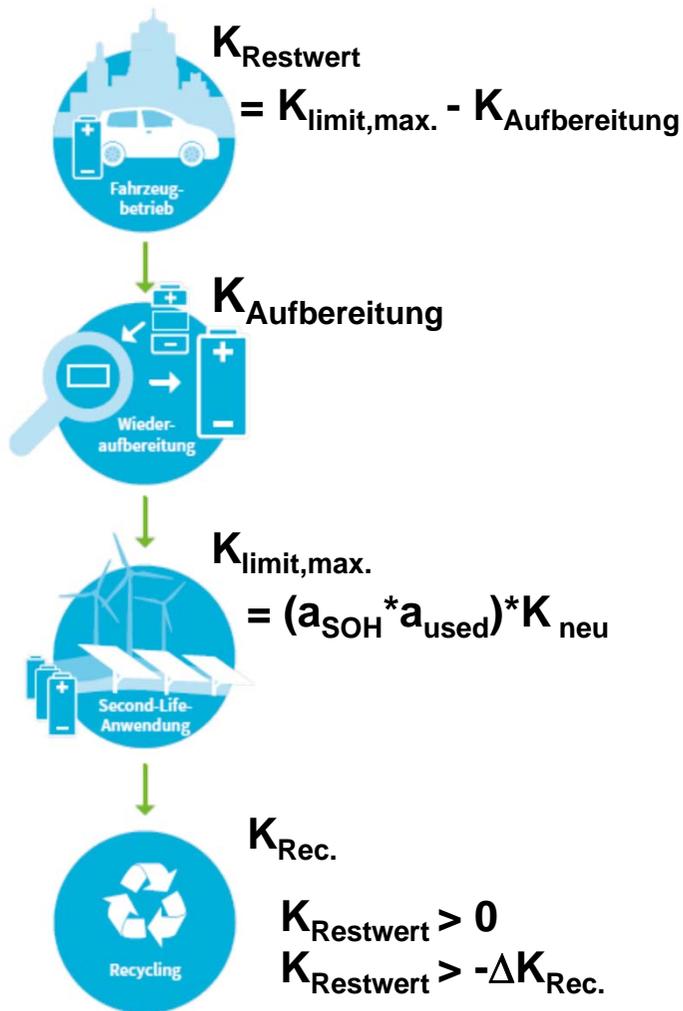
6-12 Jahre (80 % SoH)

ca. 6-8 Jahre
(40 % SoH)

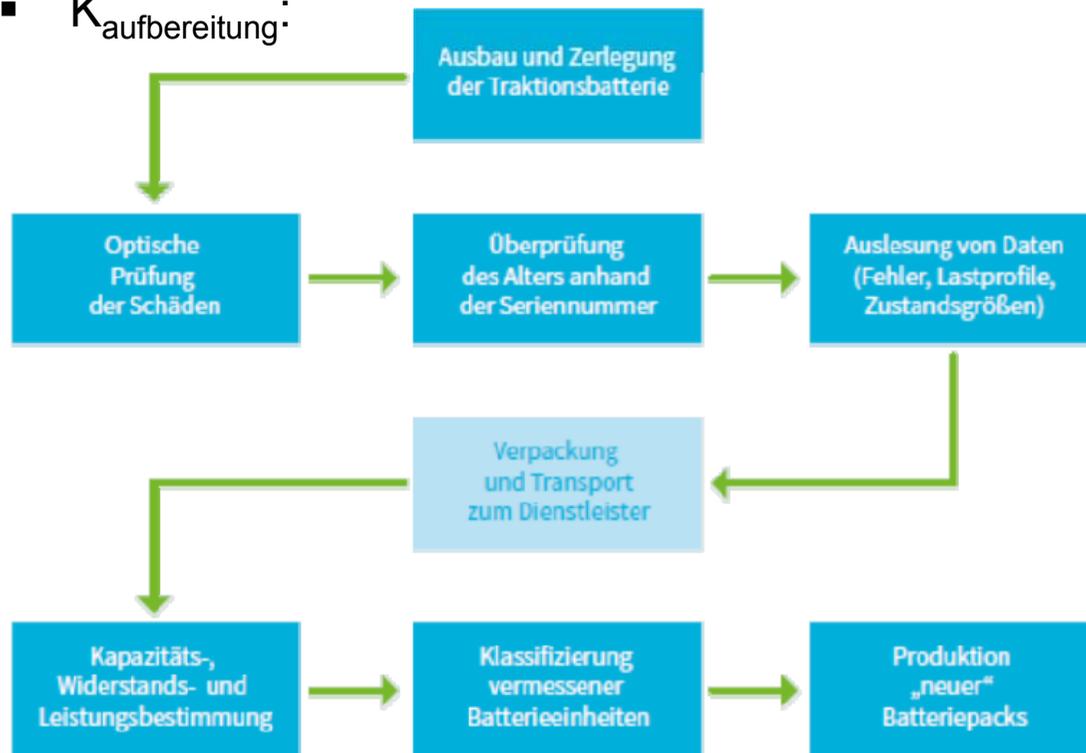
Zyklen/Betriebszeit

Datenbasis nicht vorhanden
Alterungsschnelltests zur Beurteilung

Second-Use Kostenfaktoren



- K_{Restwert} : max. 50% bei 80% SoC
- $K_{\text{limit,max.}}$: Kostengrenze Second-use Betreiber
- $K_{\text{aufbereitung}}$:



- $K_{\text{Restwert}} = f(K_{\text{rec.}})$

Second-Use

Potentiale und Herausforderungen

Potentiale

- Verbesserung der CO₂-Bilanz
- Minderung des TOC über Nutzungsdauererhöhung
- Synergie zwischen Elektromobilität und Energiewende – wirtschaftlich und ökologisch

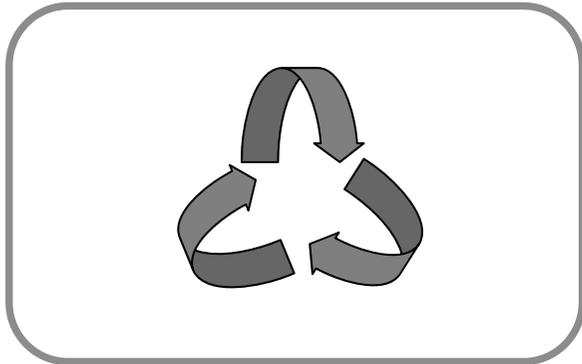
Herausforderungen

- Streuung von Eigenschaftsparametern steigt mit Lebensdauer (externe Einflüsse)
- Welche Module eignen sich? Modulbalancing?
- Lastprofil der Second-Life-Anwendung auf den Alterungszustand der Batterie abzustimmen
- Lebensdauerdaten für SOC < 80 % fehlen, Schnelltests entwickeln
- Unsicherheit für Geschäftsmodelle des Second-use
- Kosten Wiederaufbereitung vs. Gewinn durch Nutzung
- Standardisierung und rechtliche Rahmenbedingungen schaffen



Recycling

Stoffkreisläufe schließen, CO₂-Bilanz, Kosten senken...



Ausgangsstoffe:

- Batteriepack, -module, -zellen

Produkt:

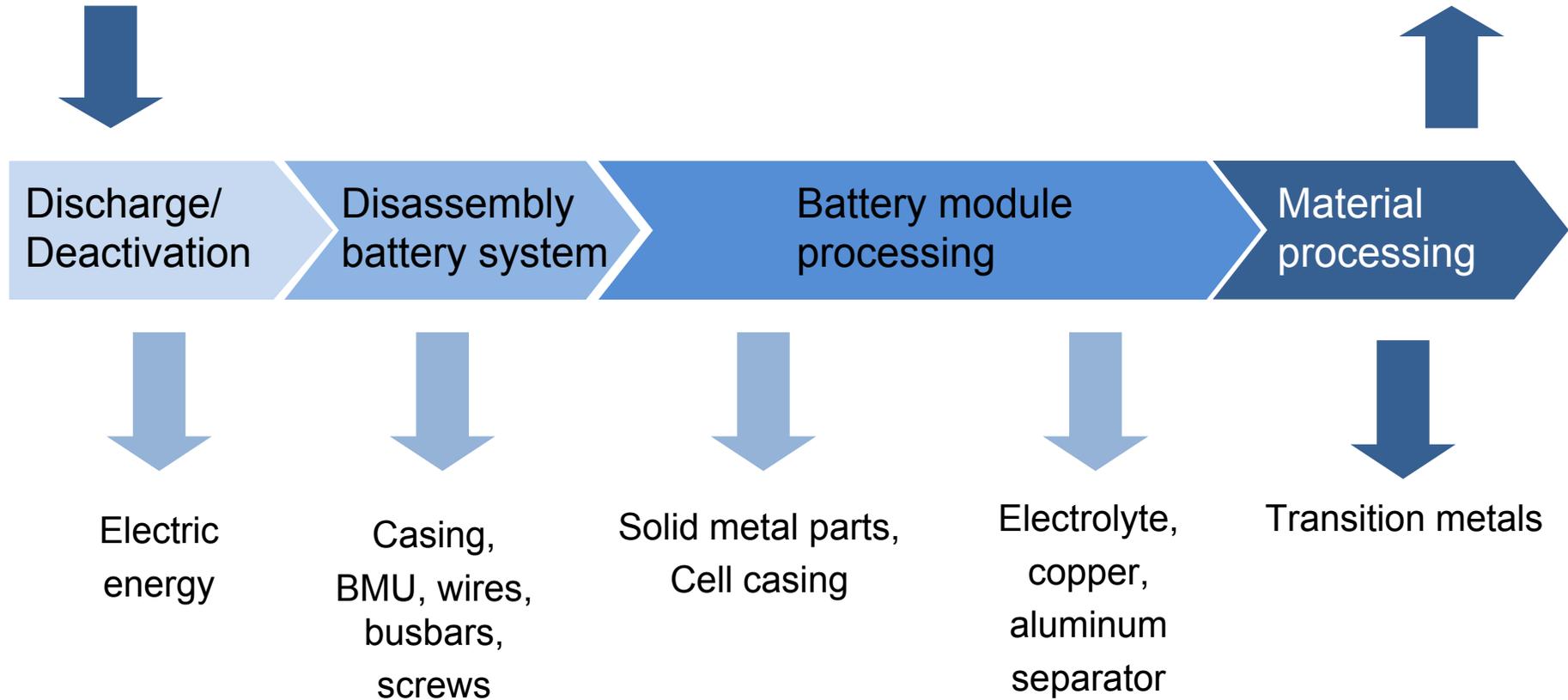
- Rohstoffe



Recycling Pilot Plant Prozess

Battery system

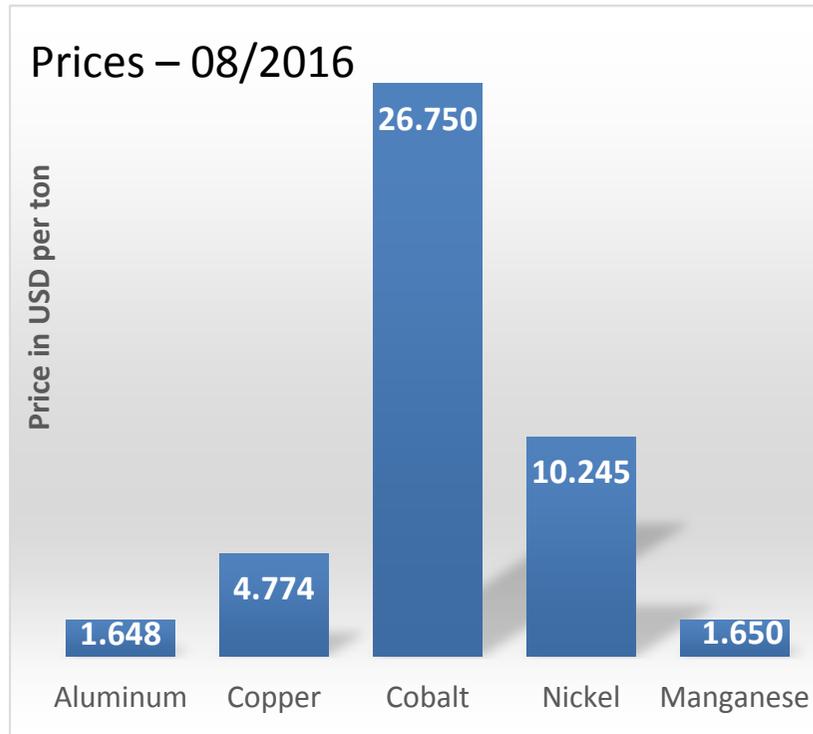
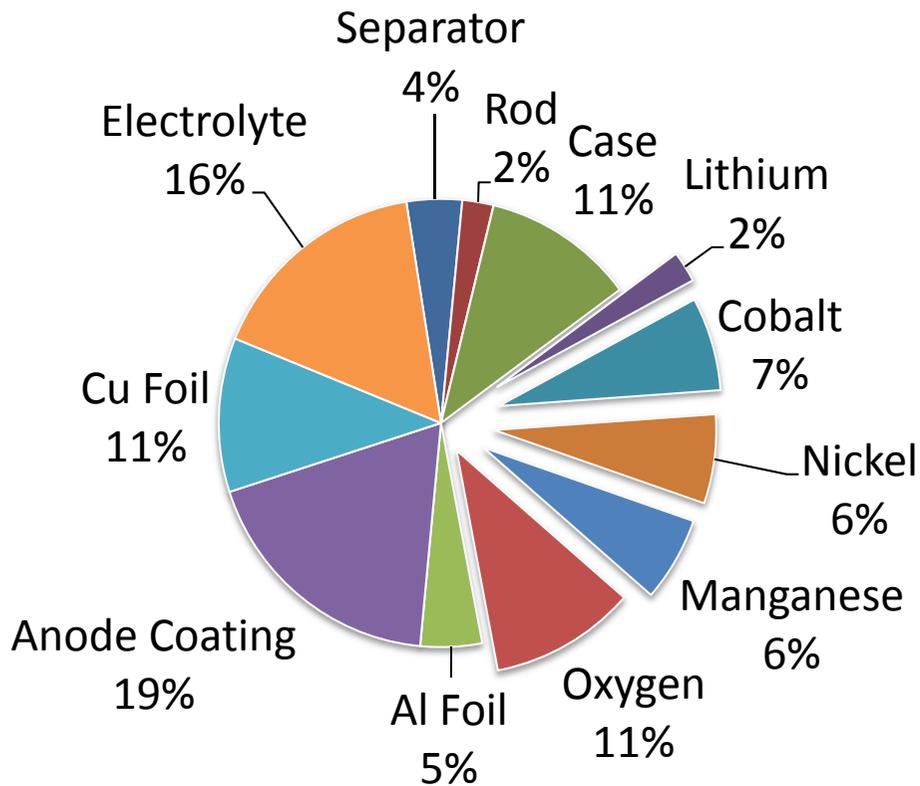
Lithiumsalt with
high purity



Recycling

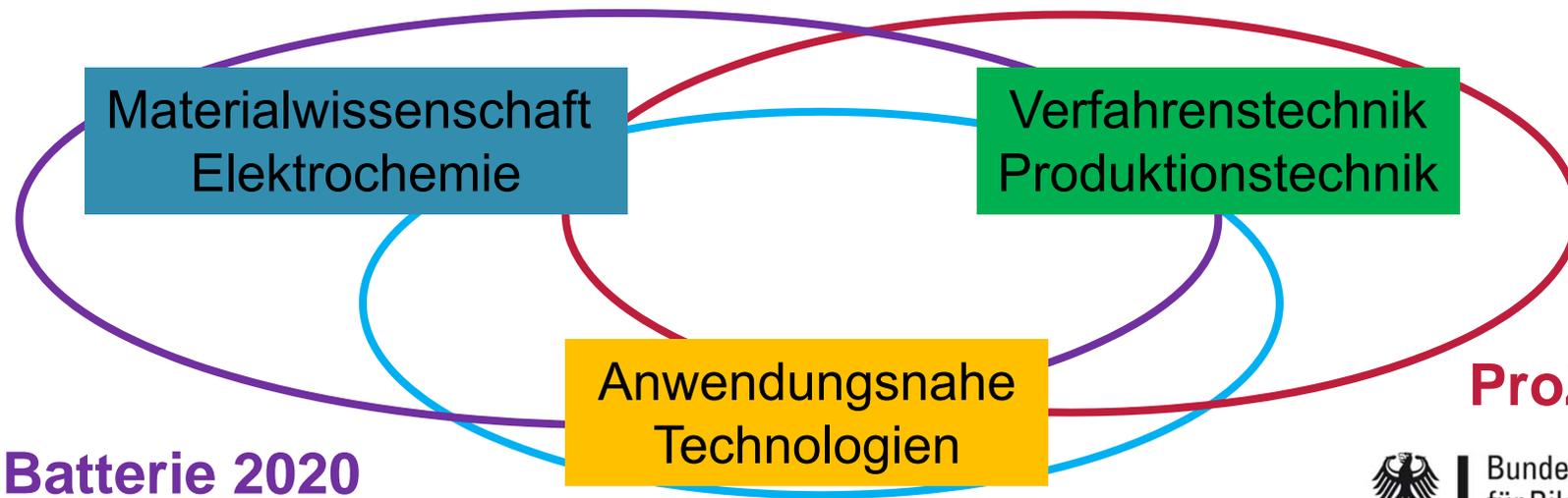
wirtschaftliche Triebfaktoren

Zusammensetzung auf Zelllevel:



- **Zukunft:** weniger Co, Ni (Ni-reiche Aktivmaterialien, Spinnelle, Olivine)
- CO₂-Bilanz
- EU-Gesetzgebung (65 % Recyclingquote)

Wirtschaftlich attraktive Lithium-Ionen-Batteriezelle mit ausgezeichneter Performance



Batterie 2020



Anwendungsnahe Technologien

6. Energie- forschungsprogramm



ProZell



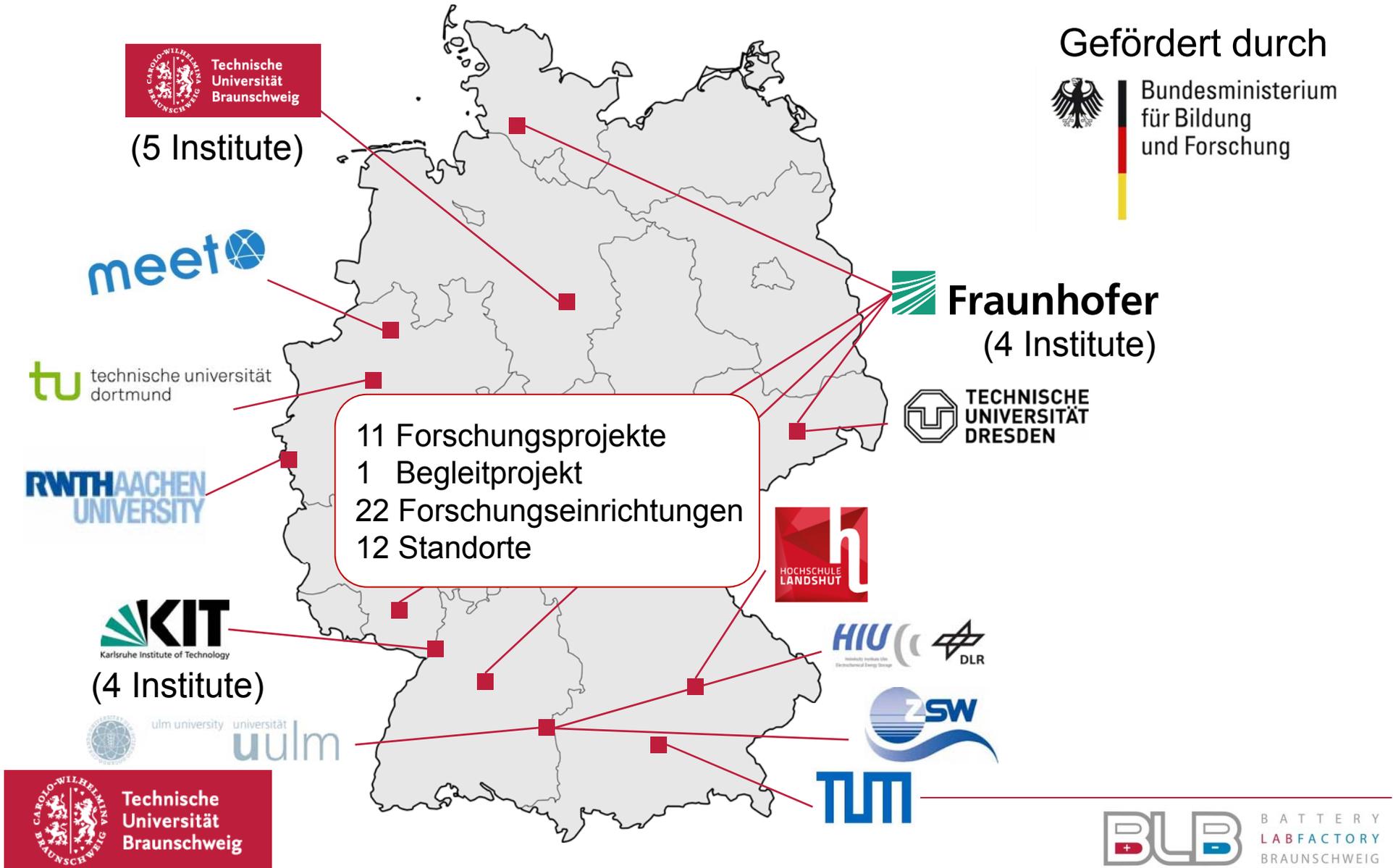
Forschungscluster Zellproduktion – ProZell

Mitglieder

Gefördert durch



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



(5 Institute)



(4 Institute)



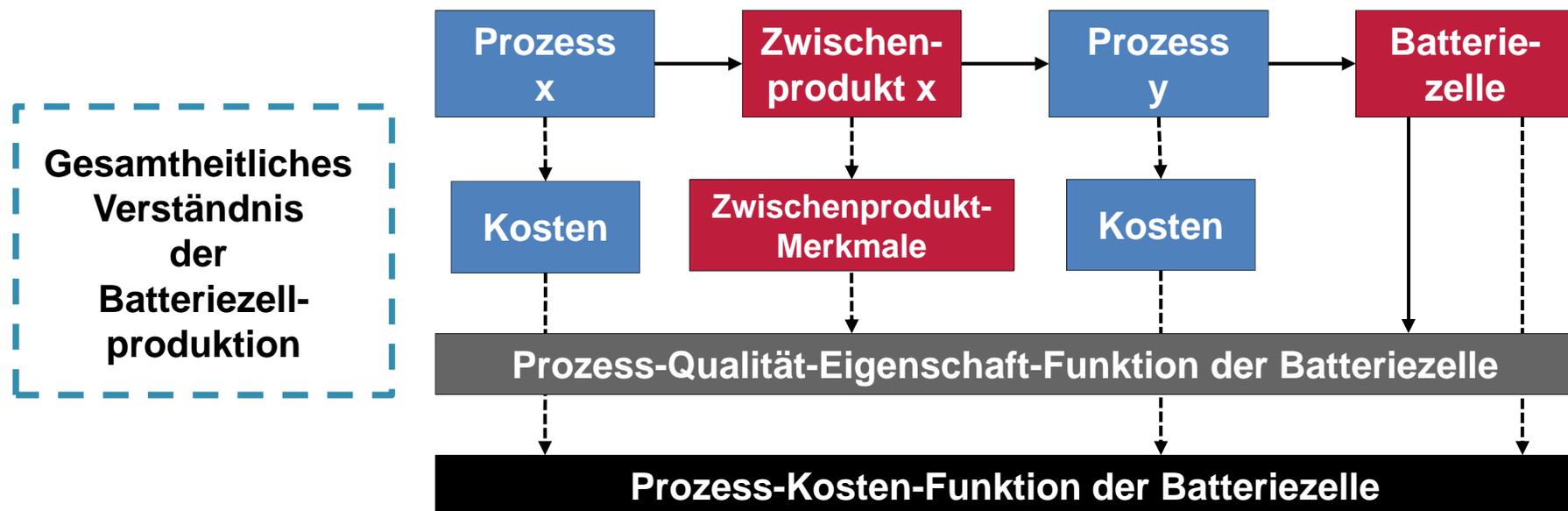
EINE EINRICHTUNG DES **NFF**

Forschungscluster Zellproduktion - ProZell

Ziele des Clusters

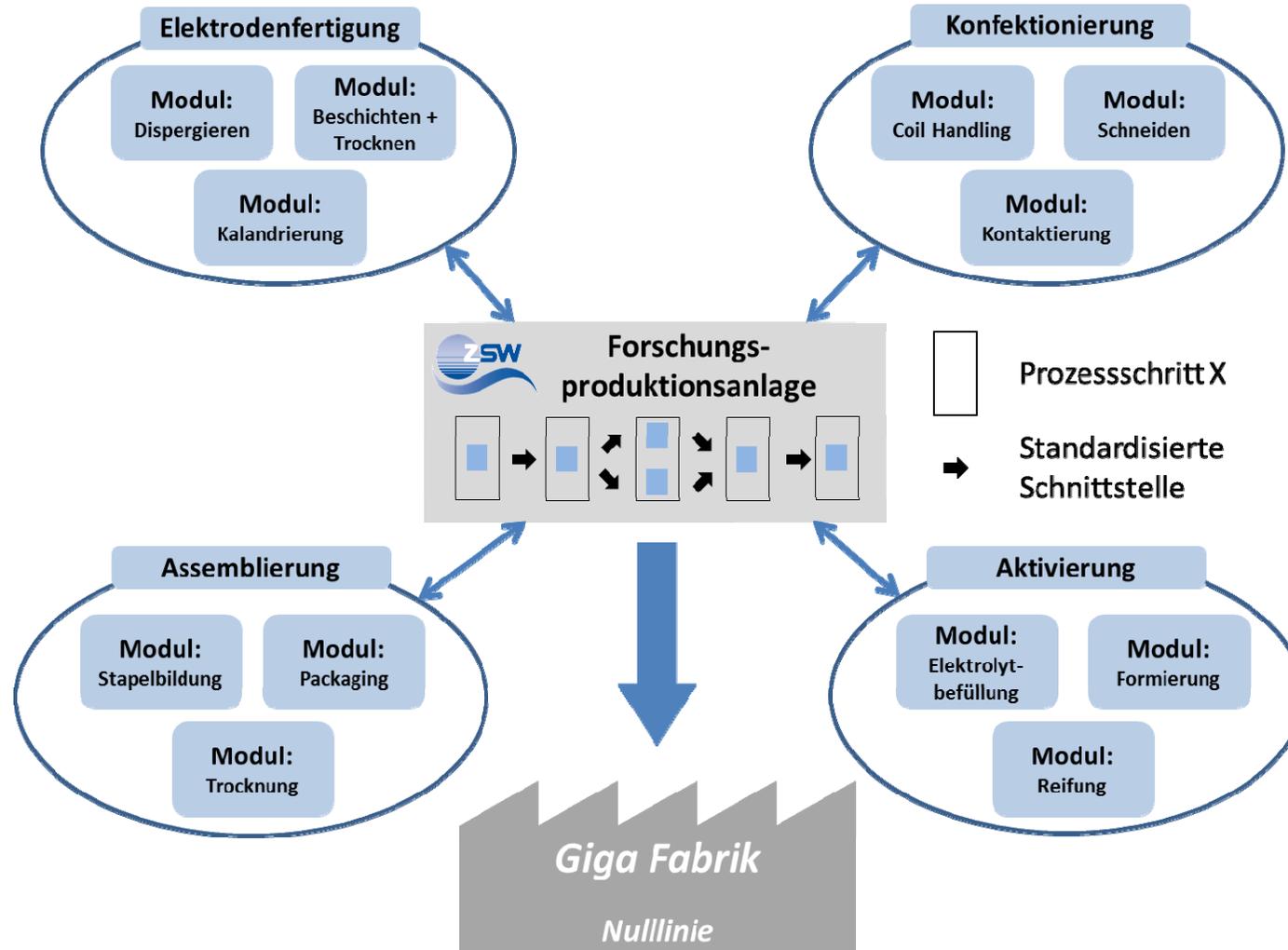
Übergeordnetes Ziel:

Langfristige gesamtheitliche und tiefgehende wissenschaftliche Basis für den Aufbau und die nachhaltige Weiterentwicklung einer international führenden wettbewerbsfähigen Batteriezellproduktion in Deutschland



Forschungscluster Zellproduktion – ProZell

Vernetzung mit Industrie



Gefördert durch

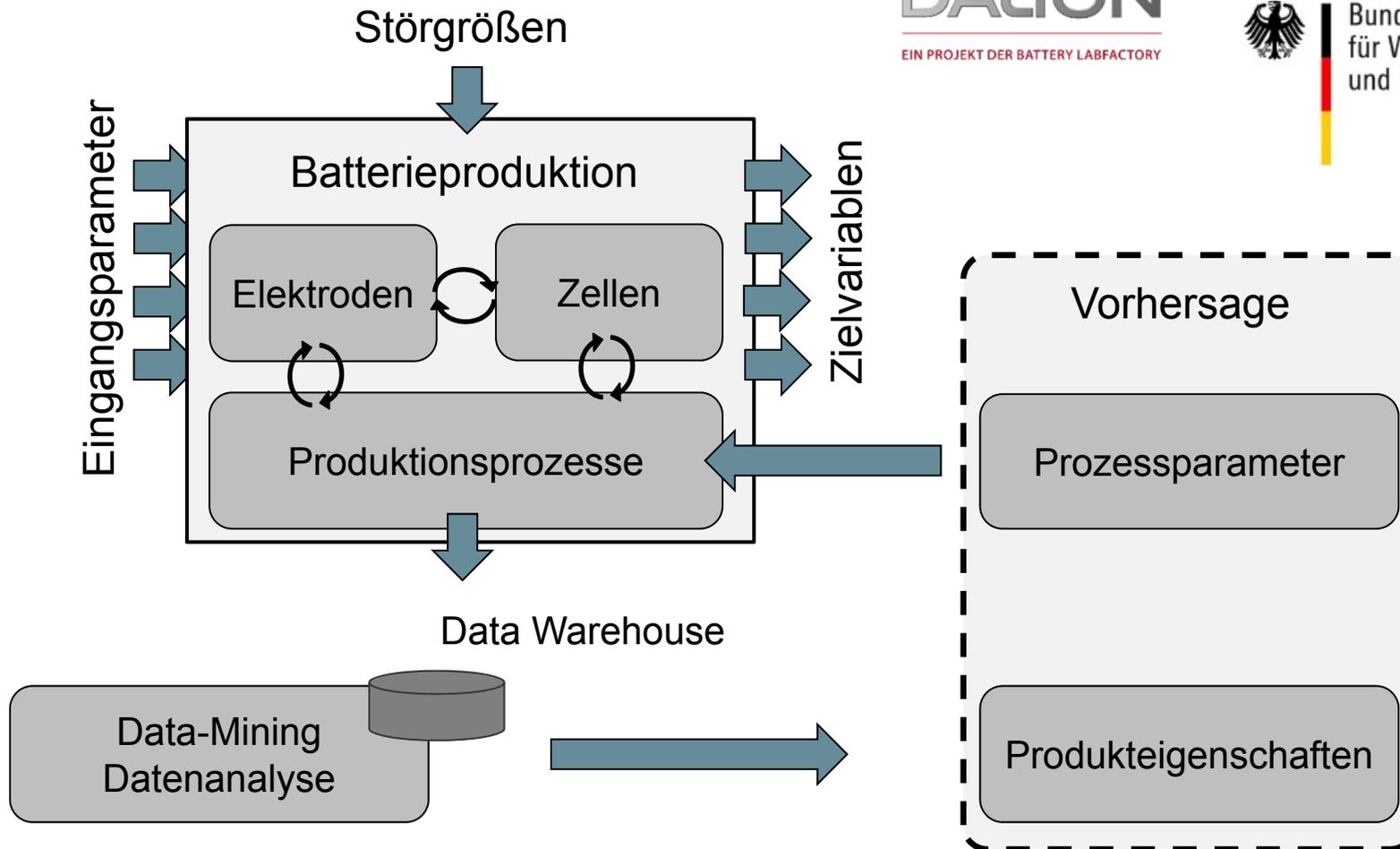


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

ProZell liefert
das Wissen
zum Aufbau
einer Gigafabrik

Start sollte
Nulllinie sein





Wissenschaft/Forschung

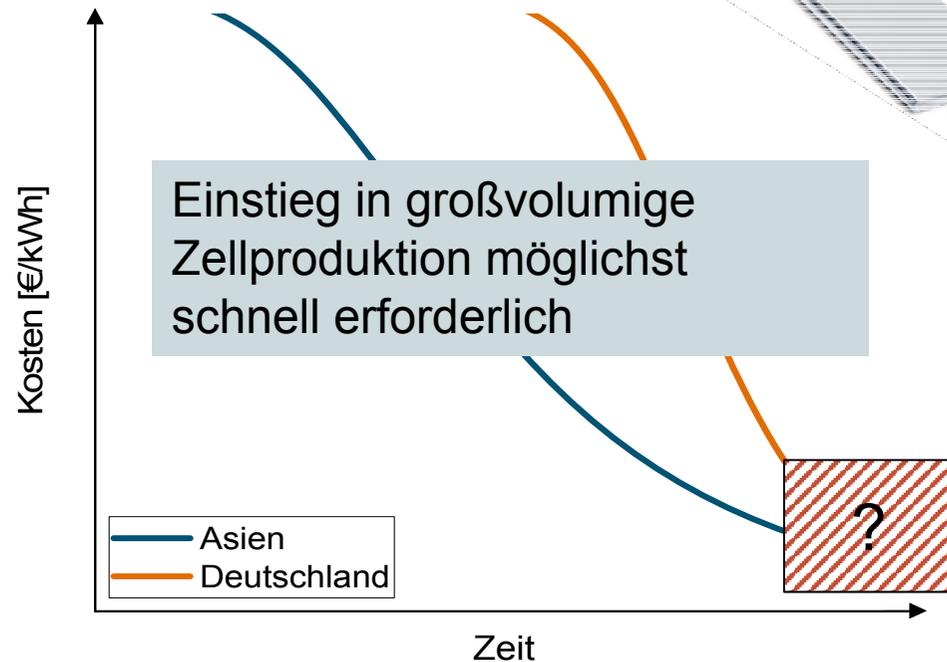
Wissenschaft hat zu anderen führenden Nationen aufgeschlossen

- Forschungspreise für deutsche Wissenschaftler, z.B. Carl Wagner Memorial Award 2015
- Forschungsk Kooperationen mit Japan und USA im Aufbau
- International Meeting on LiBs 2020 in Deutschland

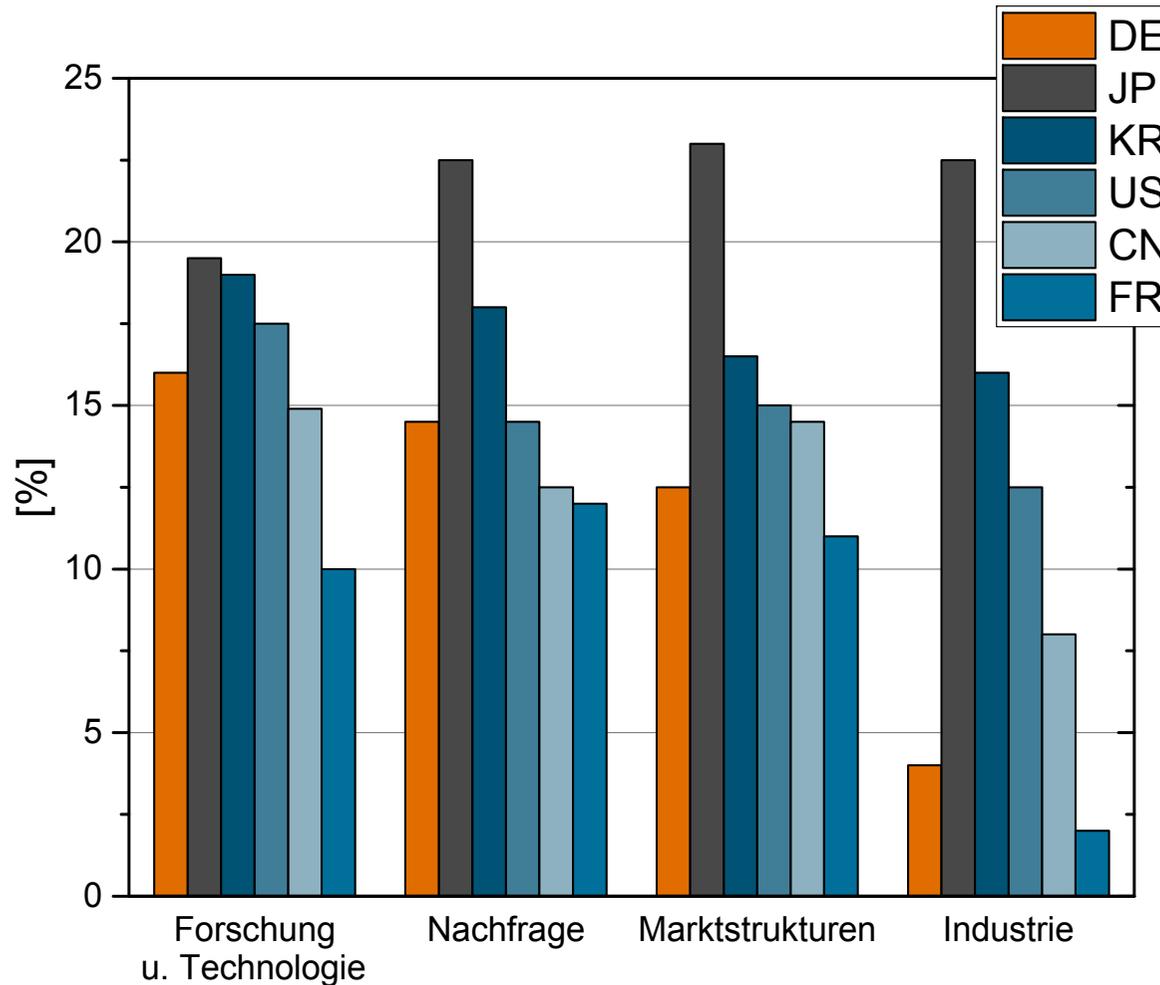
Wirtschaft/Industrie

Mittelständische Zellproduktionen erfolgreich, großvolumige Massenproduktion fehlt

- Zellperformance ✓
- Lernkurve: Kosten vs. Zeit * ?



Deutschland im Kontext Energiespeicher für die Elektromobilität



- Update der Daten und Indikatoren von 2013 auf 2015
- Gesamtindikatoren setzen sich aus 33 Einzelindikatoren zusammen
- Max. 25 Prozent erreichbar

Quelle: nach Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, Energiespeicher für die Elektromobilität

Was eine fehlende großvolumige Zellfertigung für Deutschland bedeuten könnte

Batteriezell- und Elektronikersteller werden zum Autobauer oder Systemzulieferer

- Samsung denkt über Einstieg in Elektroauto-Produktion nach
- LG entwickelt für Chevrolet Bolt wesentliche Fahrzeugkomponenten
- Apple Project Titan



Elektromobilität bietet viele Chancen, aber auch Gefahren für deutsche Industrieunternehmen

Fazit

- Um mittel- und langfristig eine starke Auto- und Zulieferindustrie sicher in Deutschland zu erhalten, ist eine großvolumige Zellfertigung wichtig
- Second use als Mittel zur TOC Senkung
- Mittelständische Firmen gehen voran
- Forschung mittlerweile sehr gut aufgestellt, Industrie ist gefordert
- Außer Elektrofahrzeug viele andere Anwendungen



Stationärer Speicher von Liacon Batteries



Batteriezelle von Electroveya-Litarion



CoinPower von Varta Microbatteries



Einsatzbereich Batteriezellen von EAS



Technische
Universität
Braunschweig

BLB BATTERY
LABFACTORY
BRAUNSCHWEIG
EINE EINRICHTUNG DES **NFF**

iPAT
Institut für Partikeltechnik



Elektromobilität im Zeichen von steigenden Energiedichten, fallenden Kosten und Second-Use von LiBs

Fachforum 5: Elektromobilität – Fluch oder Segen für die Stromnetze?

9. Niedersächsische Energietage

Wolfgang Haselrieder, Prof. Arno Kwade, 02. November 2016