



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

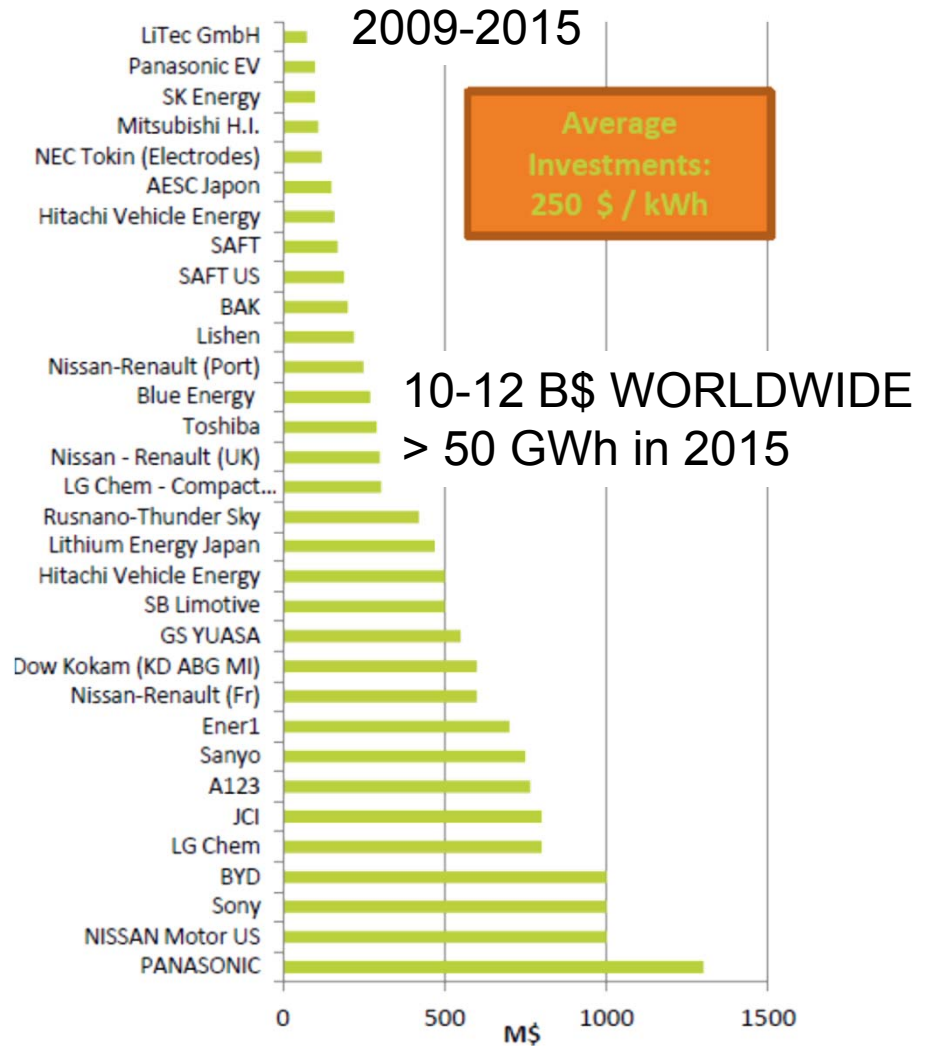
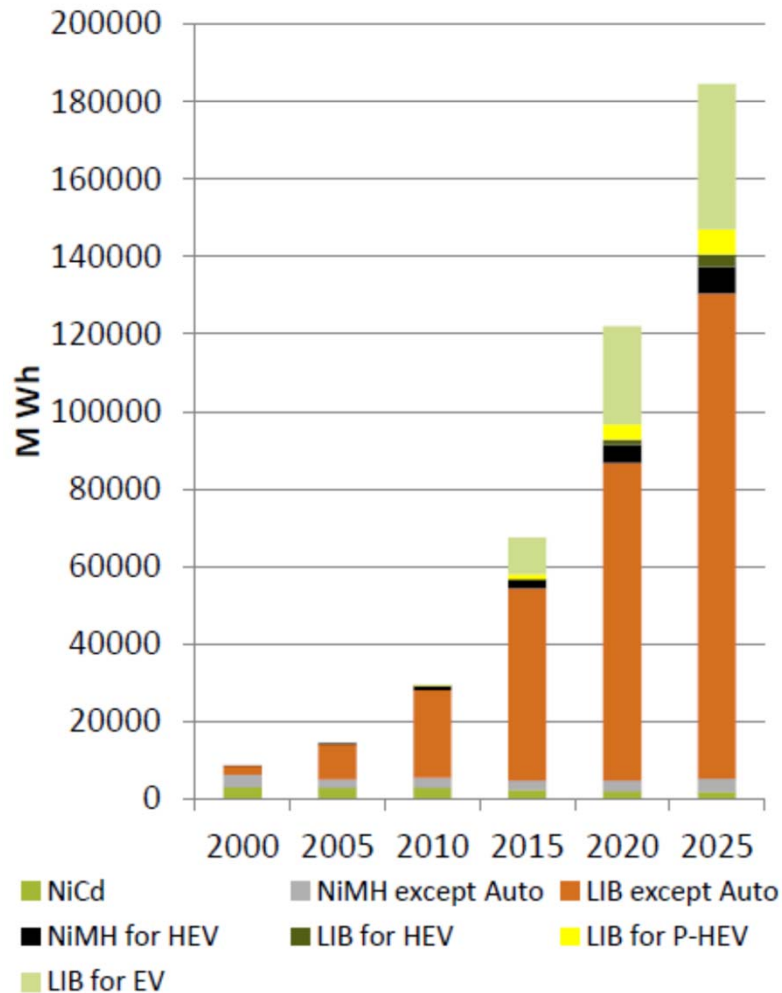
# Motivation der Batterieentwicklung

## Märkte

- Konventioneller Einsatz in mobiler Elektronik, Werkzeugmaschinen und Gartengeräten
- Neue Anwendungen als Energiespeicher für erneuerbare Energien und Elektromobilität durch:
  - ✓ CO<sub>2</sub>- Bilanz
  - ✓ Loslösen von fossilen Brennstoffen
  - ✓ Speicher für erneuerbare Energien



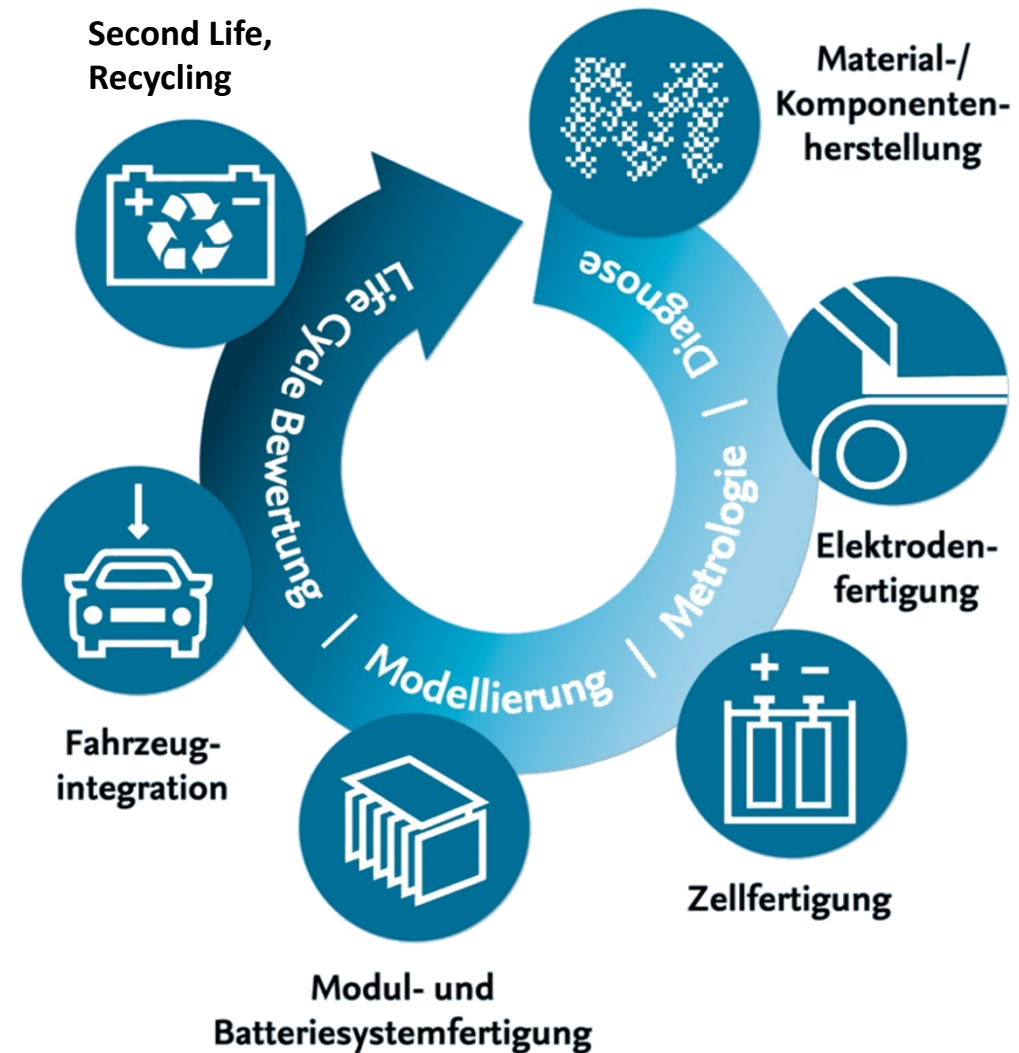
# Batteriebedarf und Investitionen in LIB ein dynamischer Markt



# Lebenszyklus einer Batterie

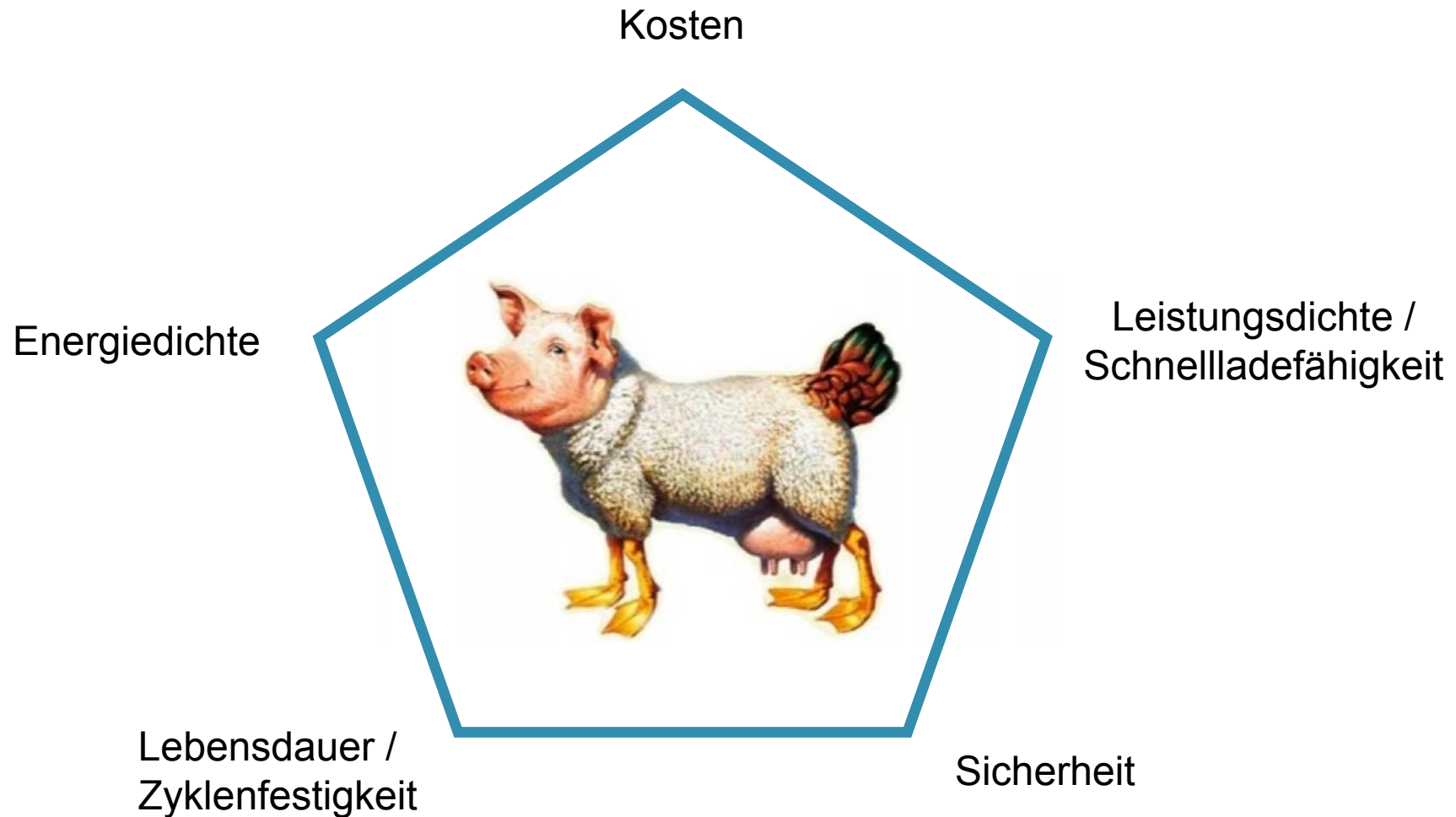
gesamtheitliche Betrachtung als Weg zum Ziel

- 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

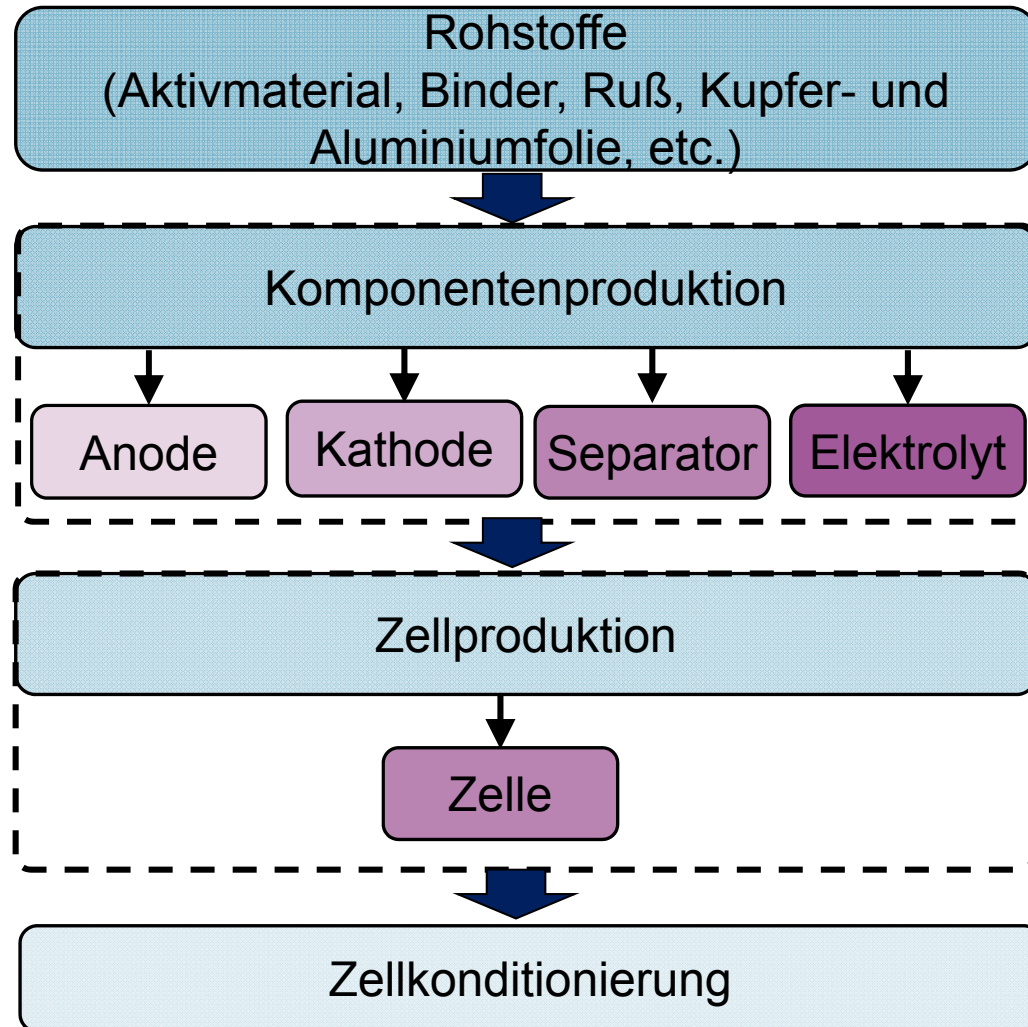


# Lithium-Ionen-Batterie

## die eierlegende Wollmilchsau?



# Materialfluss bei der Zellherstellung

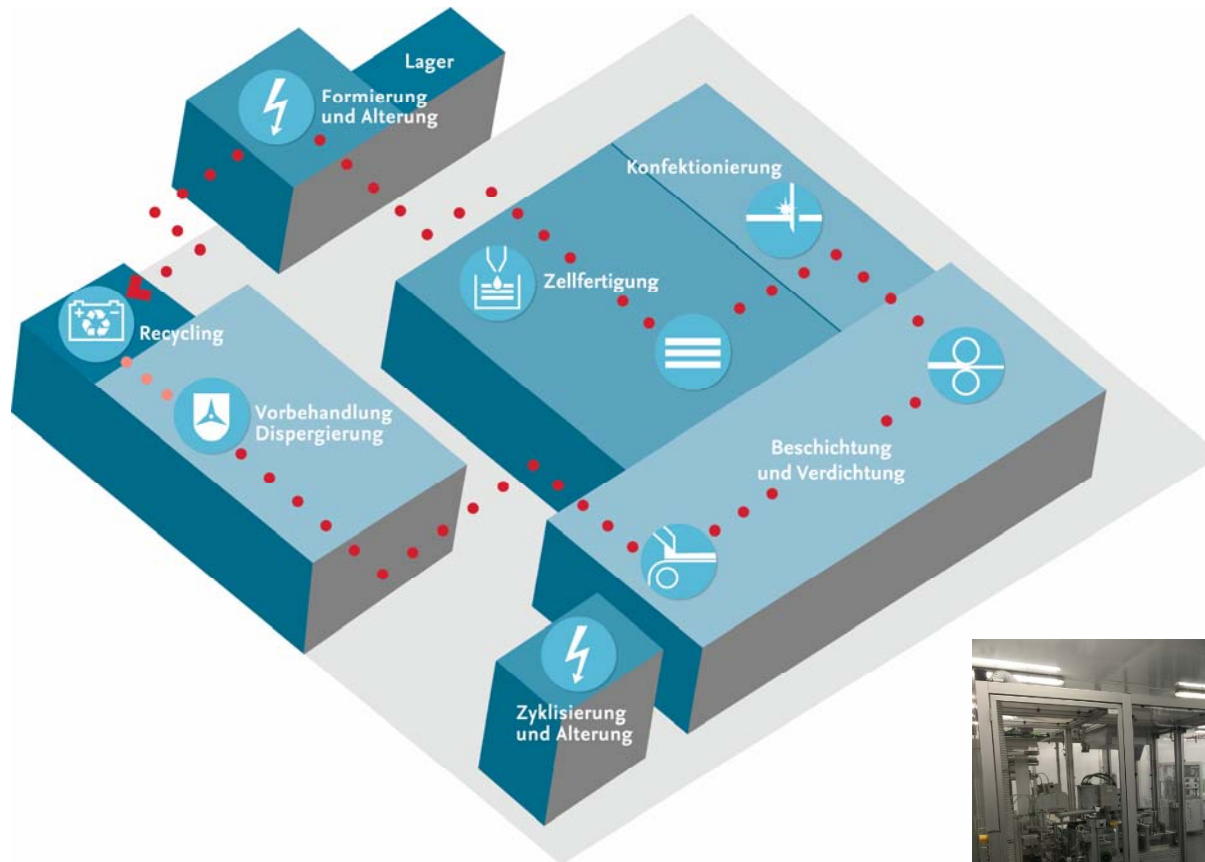


Prozesskette



www.litarion.com

# Elektroden- und Zellproduktion am Beispiel der Battery LabFactory Braunschweig



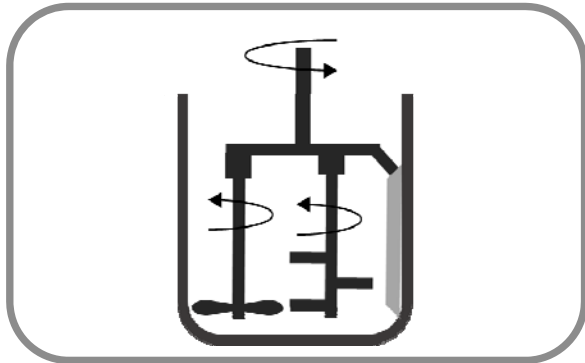
## Daten und Fakten

- Batterieforschung seit 2008
- 7 Institute der TU BS und PTB
- 900 m<sup>2</sup> Prozessbereich (+ 500 m<sup>2</sup> Laborbereich)
- 160 m<sup>2</sup> Trockenraum
- ca. 50 Wissenschaftler und Techniker



# Elektrodenproduktion

## Mischen und Dispergieren



Ausgangsstoffe:

- Aktivmaterial
- Binder
- Leitfähigkeitsadditiv
- Lösemittel



Produkt:

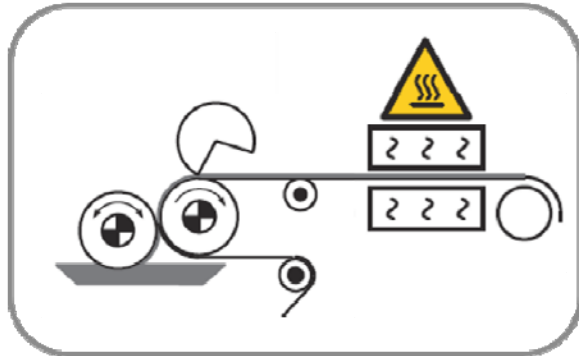
- Elektrodensuspension





# Elektrodenproduktion

## Beschichten und Trocknen



Ausgangsstoffe:

- Suspension
- Aluminium- bzw. Kupferfolie

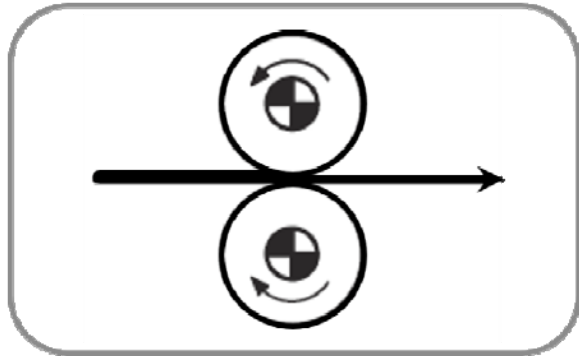
Produkt:

- Elektrodenwickel



# Elektrodenproduktion

## Kalandrieren



Ausgangsstoffe:

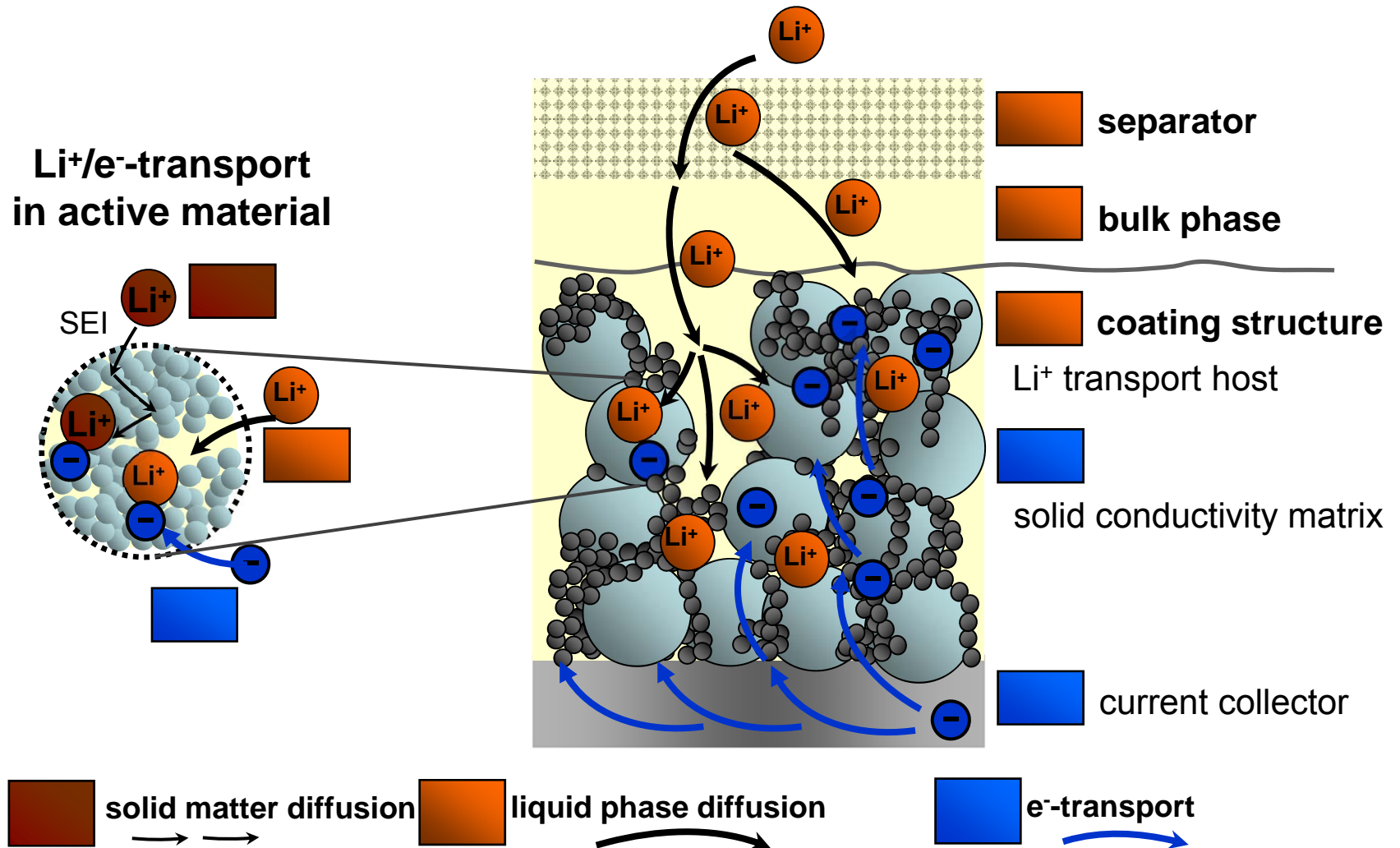
- Elektrodenwickel mit geringer Dichte

Produkt:

- Elektrodenwickel mit Zieldichte

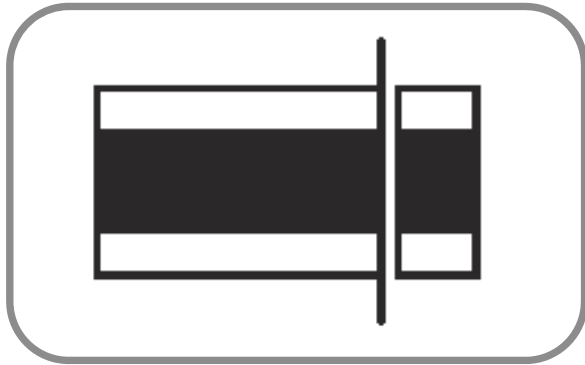


# Funktionale Integration des Aktivmaterials im Sinne des Ladungsträgertransportes



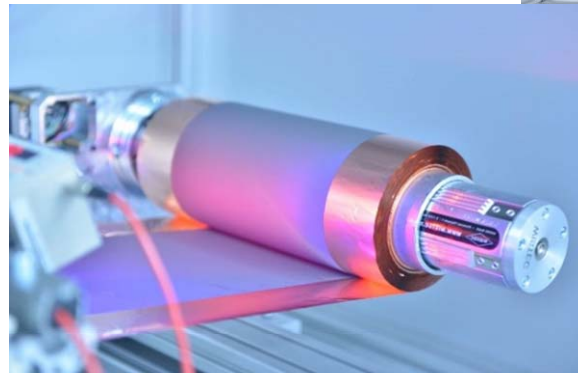
# Zellproduktion

## Konfektionieren: Laser-Schneiden



Ausgangsstoffe:

- Elektrodenwickel



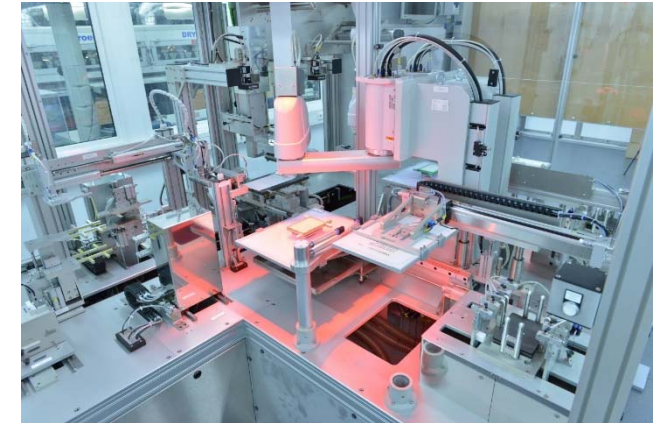
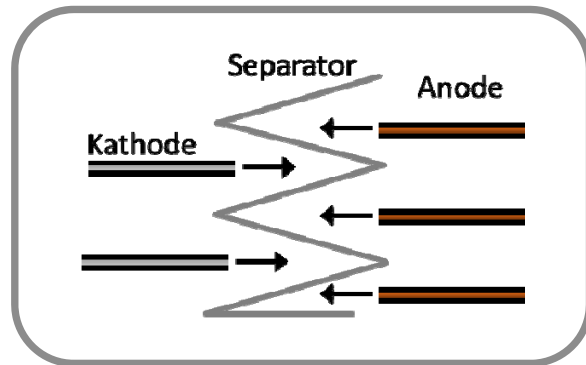
Produkt:

- Ausgeschnittenes Elektrodensheet



# Zellproduktion

## Assemblieren: Z-Falten und Elektrolytbefüllung



Ausgangsstoffe:

- Elektrodensheets,
- Separatorwickel
- Elektrolyt

Produkt:

- Zelle

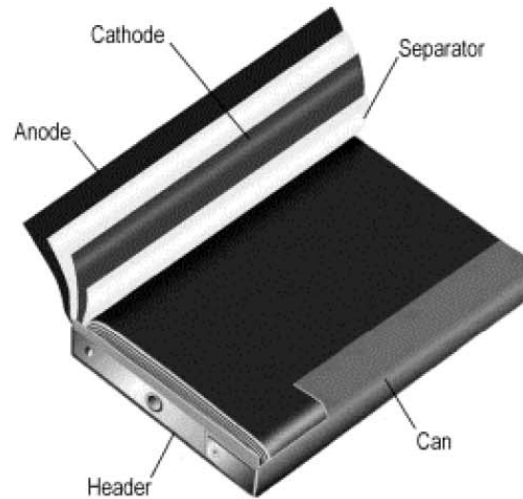


# Alternative Zellformate

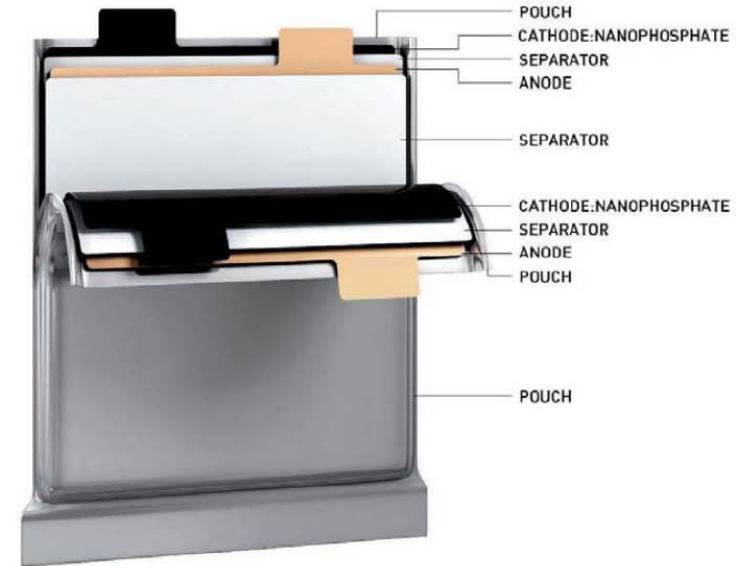
## Vor- und Nachteile, sowie eine Systemfrage



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 %

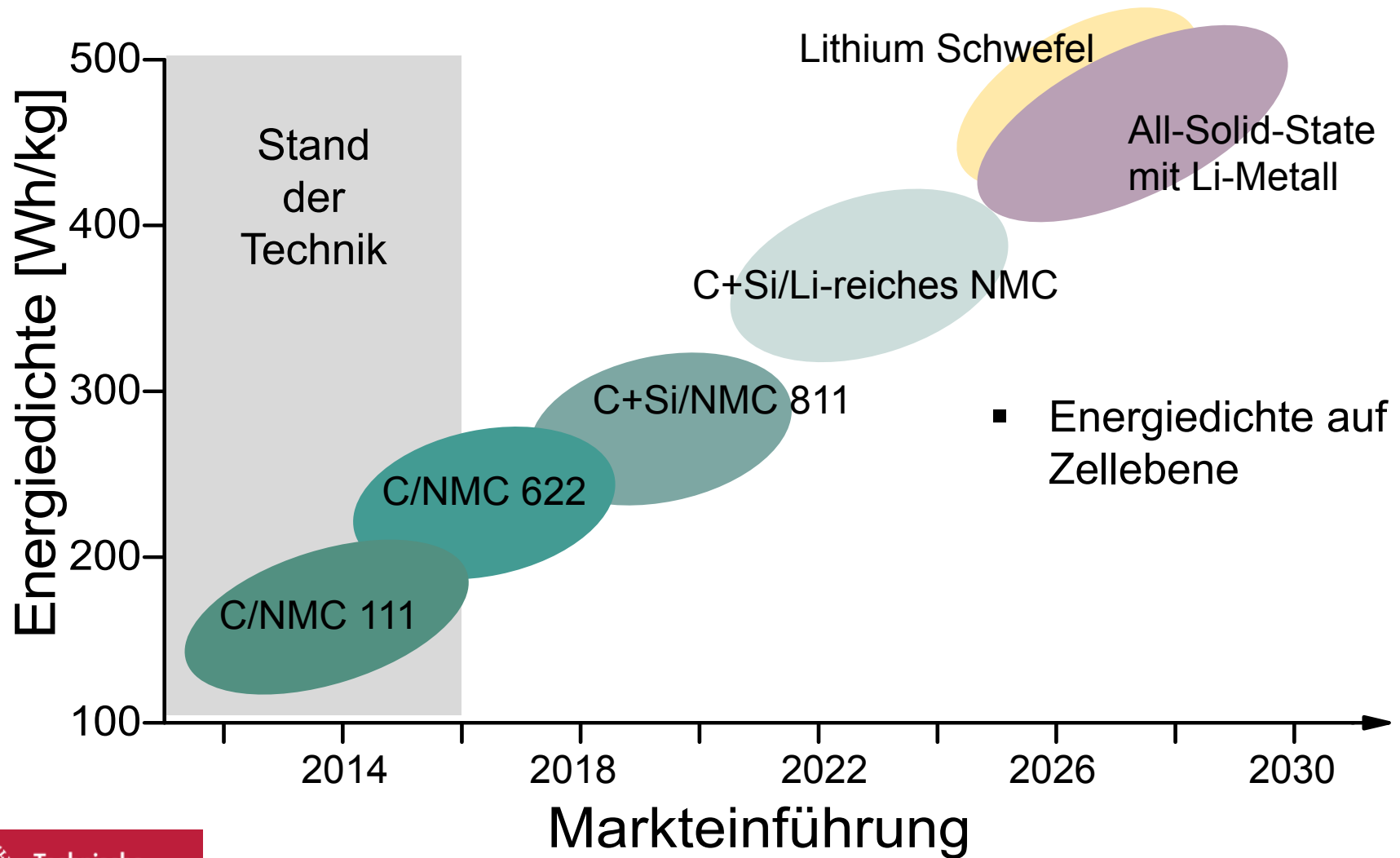
Anzahl an  
Prozessschritten: 18  
 $(0,99)^{18} = 0,834$

Effizienz der  
Prozesskette: 83,4 %



18.  
Prozessschritt

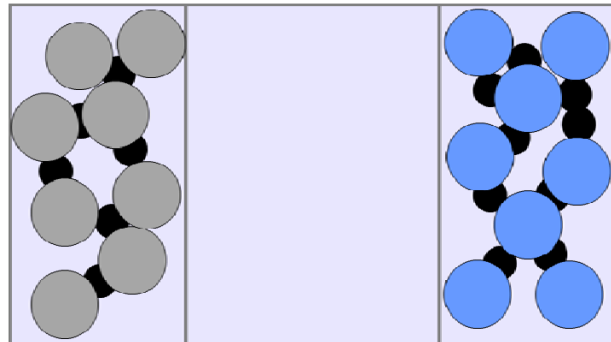
# Entwicklungspotential LiB-Zelltechnologien



# All-Solid-State Batterien

Was ändert sich?

## Klassischer Aufbau

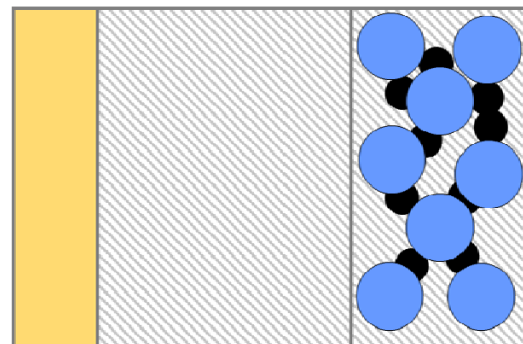


Anode  
Elektrolyt  
Flüssig

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<sup>+</sup>-Folie vs. Dendritenwachstum  
→ Anpassung der Prozesskette nötig

## Anforderungen an Feststoffelektrolyt

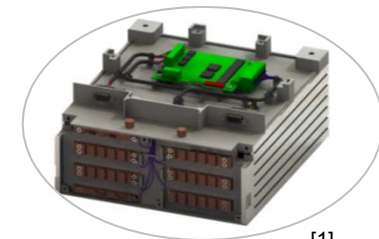
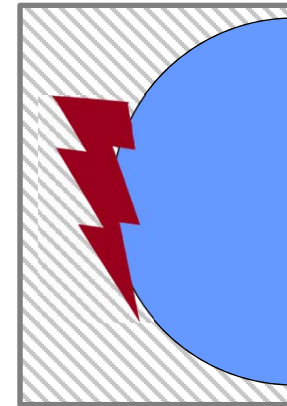
- Ionischer Leiter  $\geq 2 \times 10^{-4}$  S/cm (298 K)
- hohe elektrochemische Stabilität: 0 -  $\geq 6$  V
- keine elektrische Leitfähigkeit
- hohe mechanische Festigkeit (verhindert Dendritenwachstum)

# 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?



[1]

### 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

# Chancen bei Beherrschung der Zellfertigung

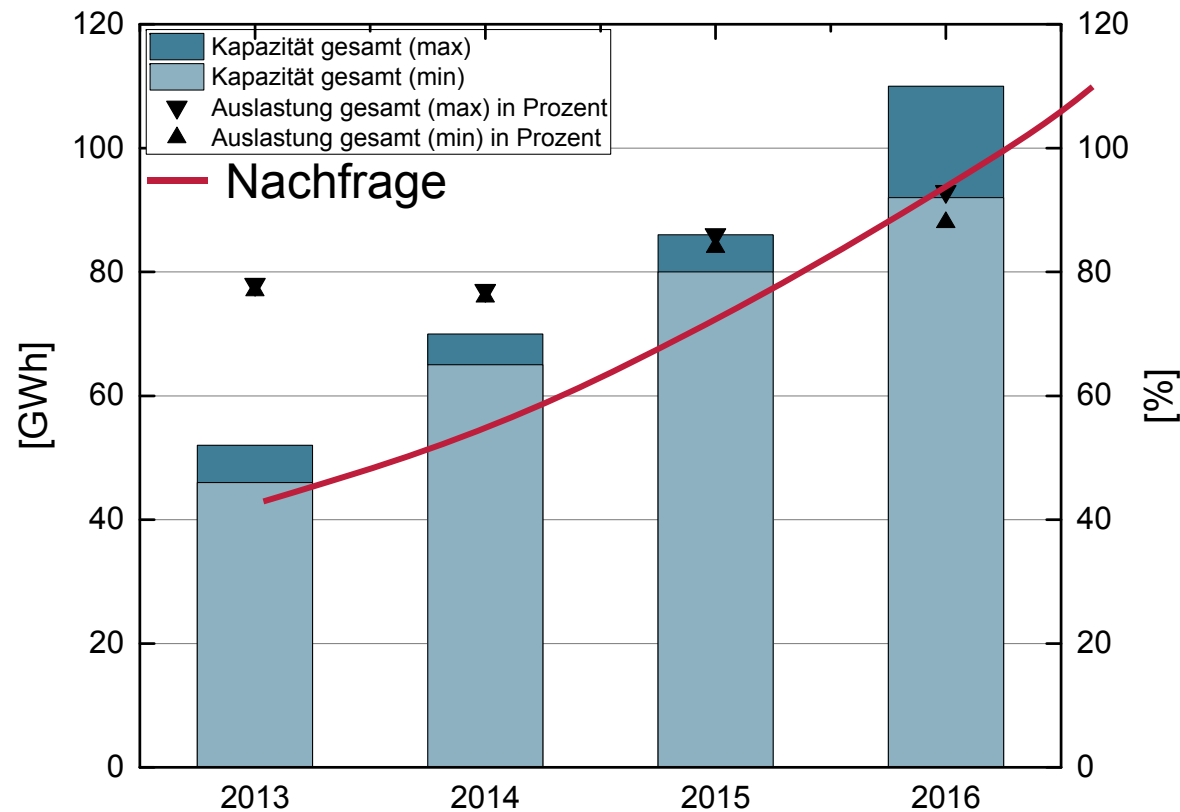
- Für den Nutzer **zentrale Anwendungseigenschaften** werden durch die Batteriezelle, Ihre Elektroden und Materialien bestimmt  
→ Reichweite (Energiedichte), Schnellladefähigkeit (Leistungscharakteristik), Lebensdauer (TCO), Sicherheit
- **Kosten** der Batteriezellen bestimmen bis zu 40 % des Wertes 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

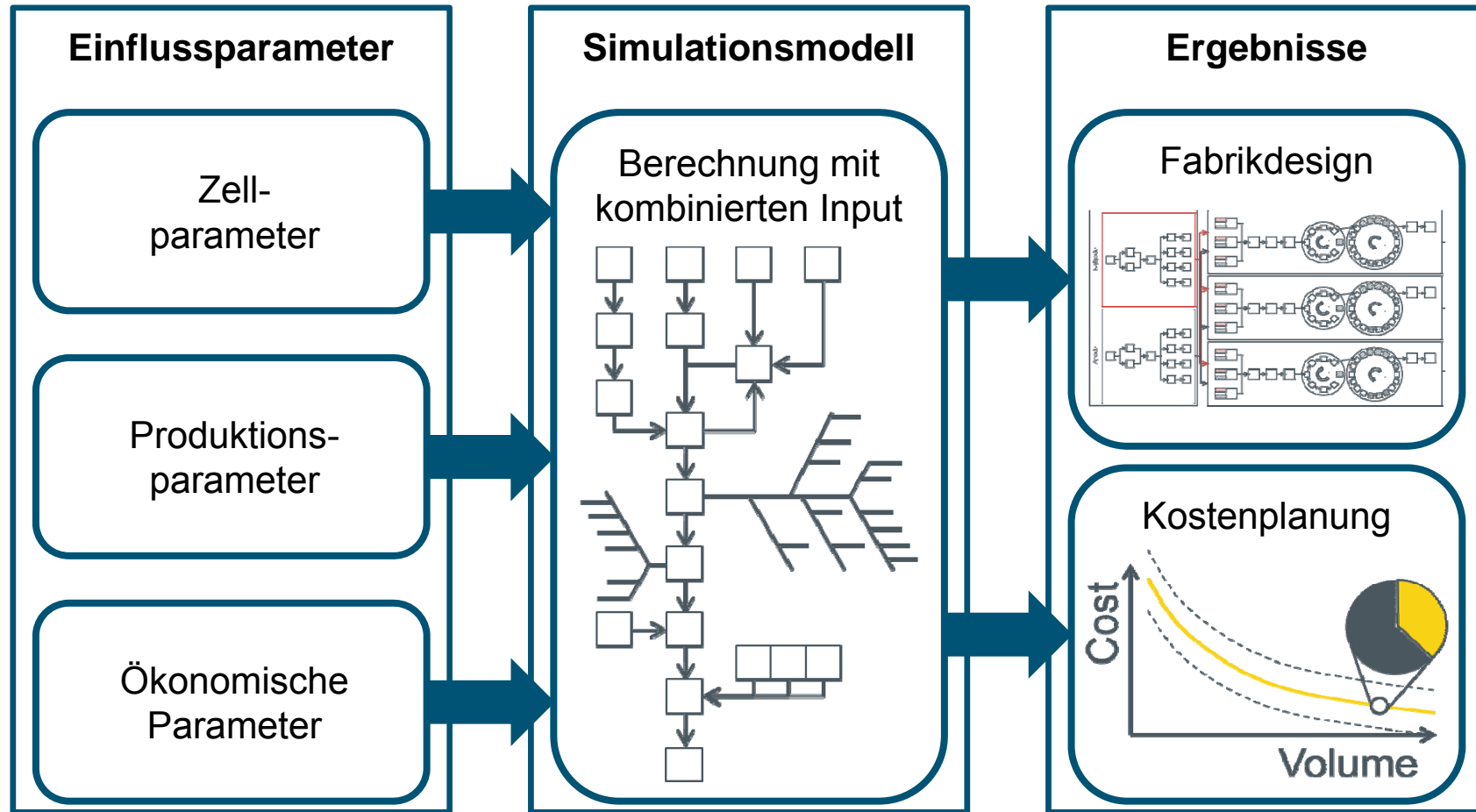
## Nachfrage und Auslastung

Globale Zellproduktionskapazitäten zw. 2013 und 2016



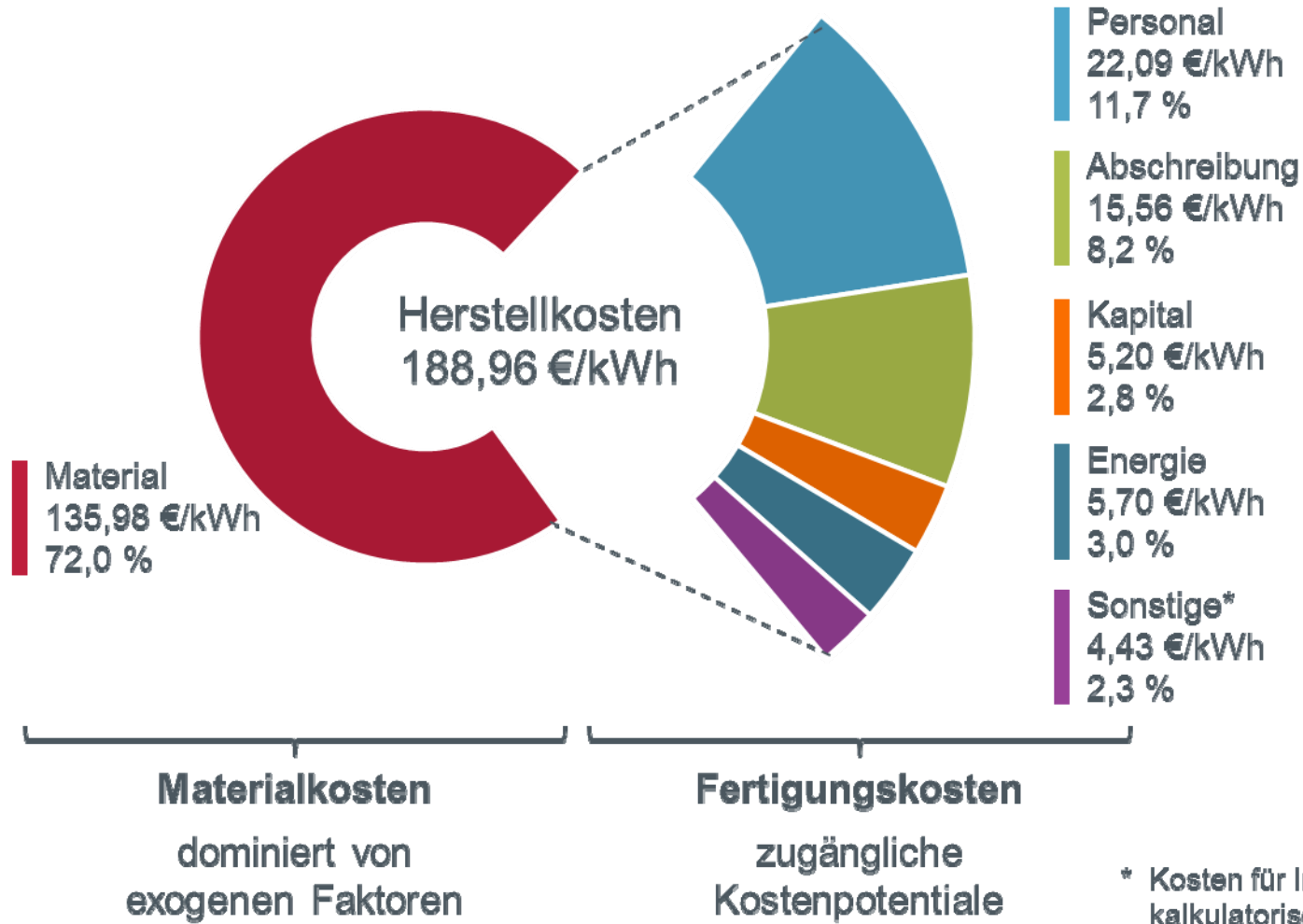
Die vorhandenen Zellfabriken sind praktisch ausgelastet  
+  
Stark steigender Bedarf an Batteriezellen, Prognose ca. 155 GWh/a in 2025  
↓  
Starker kontinuierlicher Anstieg der Fabrikkapazitäten erforderlich, um Bedarf zu decken und Engpässe zu vermeiden

# Kostenmodell für Zellproduktion



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

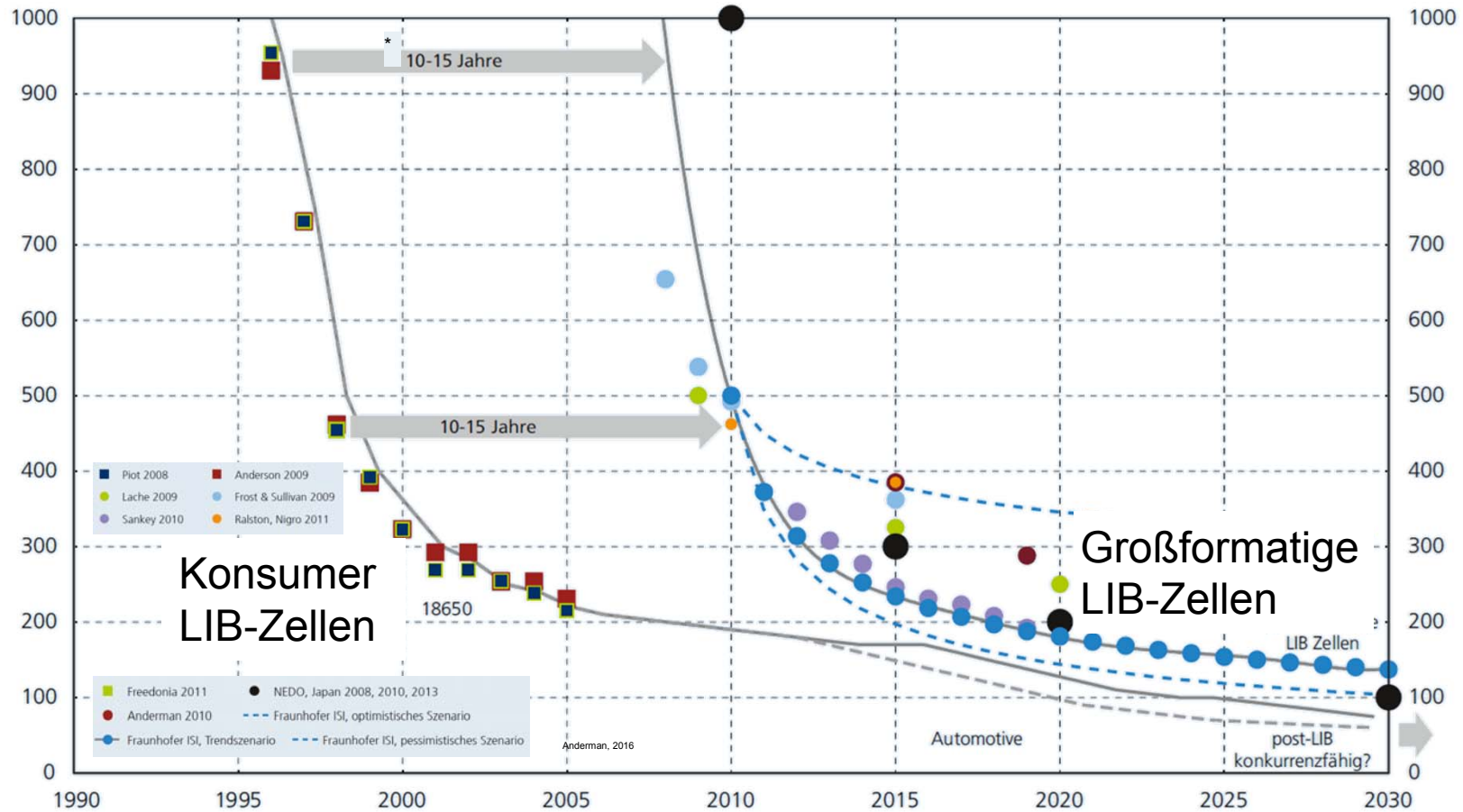
# Kosten auf Batteriezelllevel





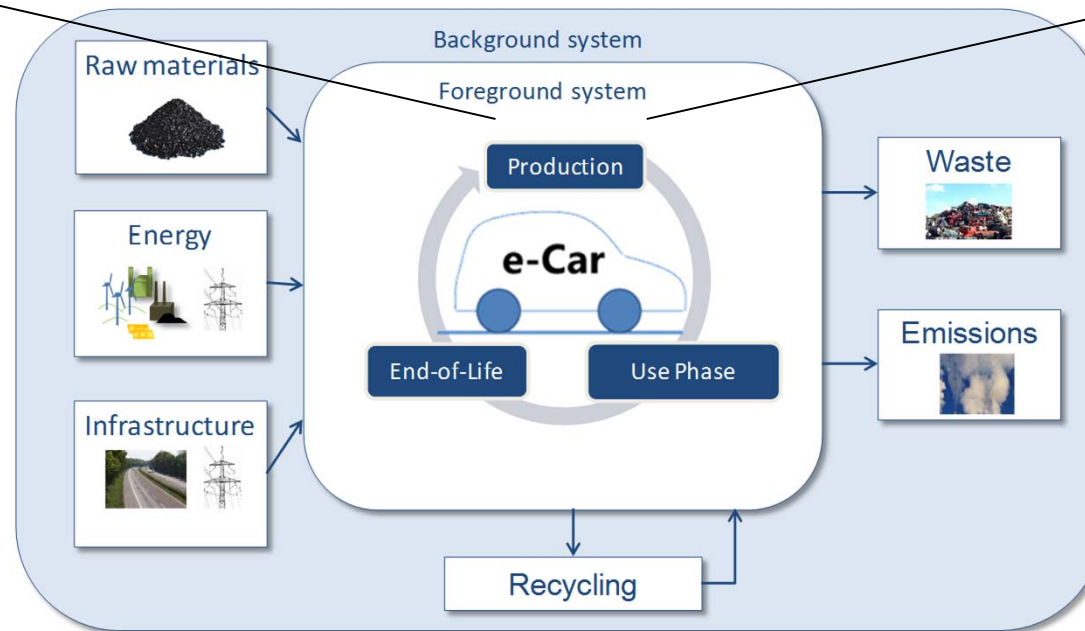
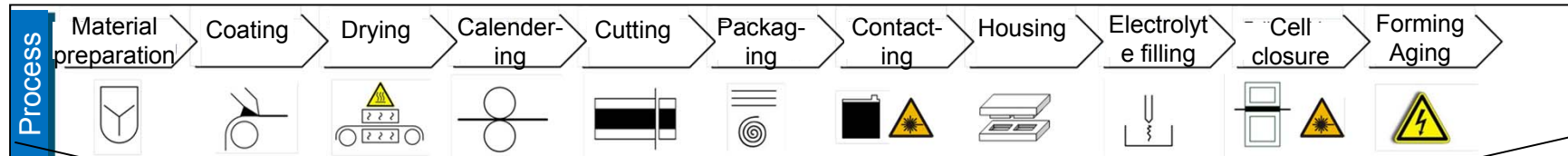
# Kostensenkungspotenziale für LiB-Zellen

Entwicklung der Zellkosten in €/kWh<sup>8</sup>



# 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“

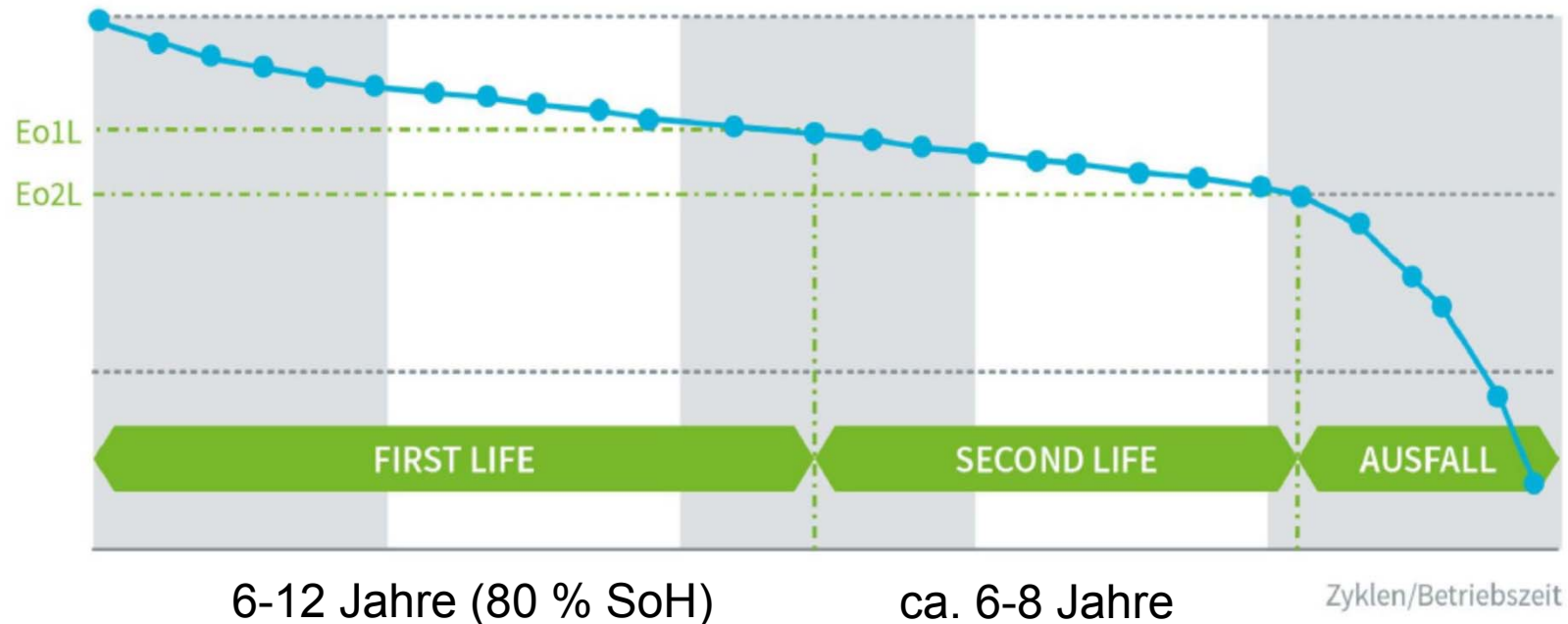
im Vergleich mit der Verwendung neuer Batterien mit gleicher Zellchemie

- 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



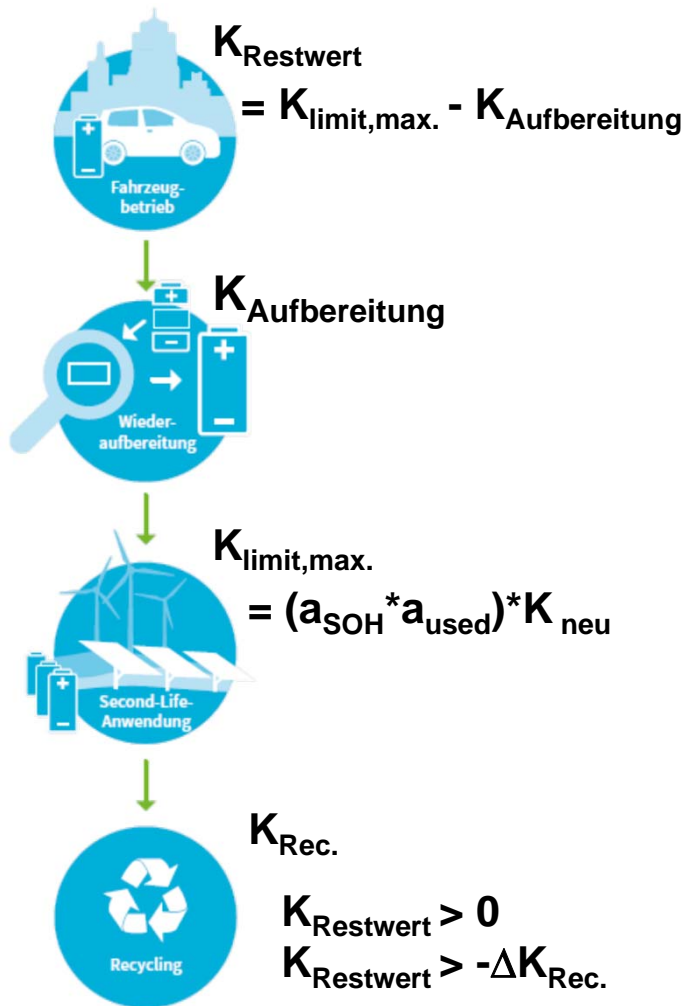
6-12 Jahre (80 % SoH)

ca. 6-8 Jahre  
(40 % SoH)

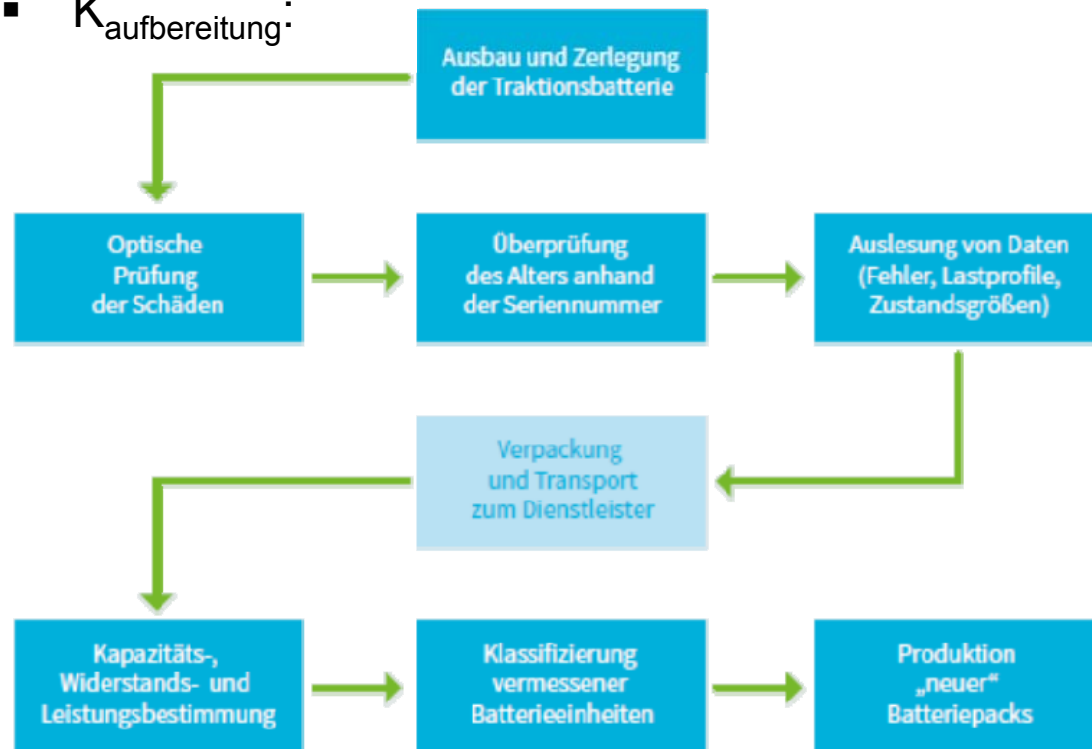
Zyklen/Betriebszeit

Datenbasis nicht vorhanden  
Alterungsschnelltests zur Beurteilung

# Second-Use Kostenfaktoren



- $K_{\text{Restwert}}$ : 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 CO<sub>2</sub>-Bilanz
- Minderung des TOC über Nutzungsdauererhöhung
- Synergie zwischen Elektromobilität und Energiewende – wirtschaftlich und ökologisch

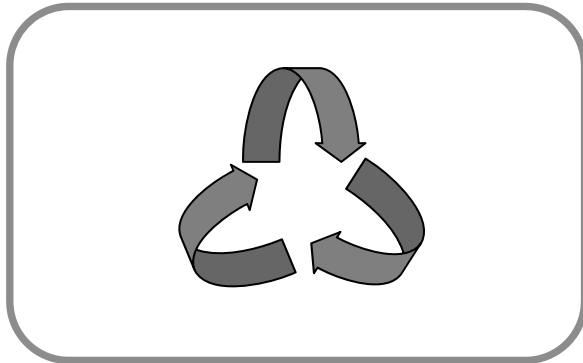
### Herausforderungen

- 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, CO<sub>2</sub>-Bilanz, Kosten senken...

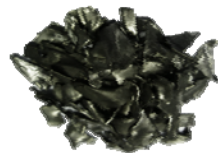


Ausgangsstoffe:

- Batteriepack, -module, -zellen

Produkt:

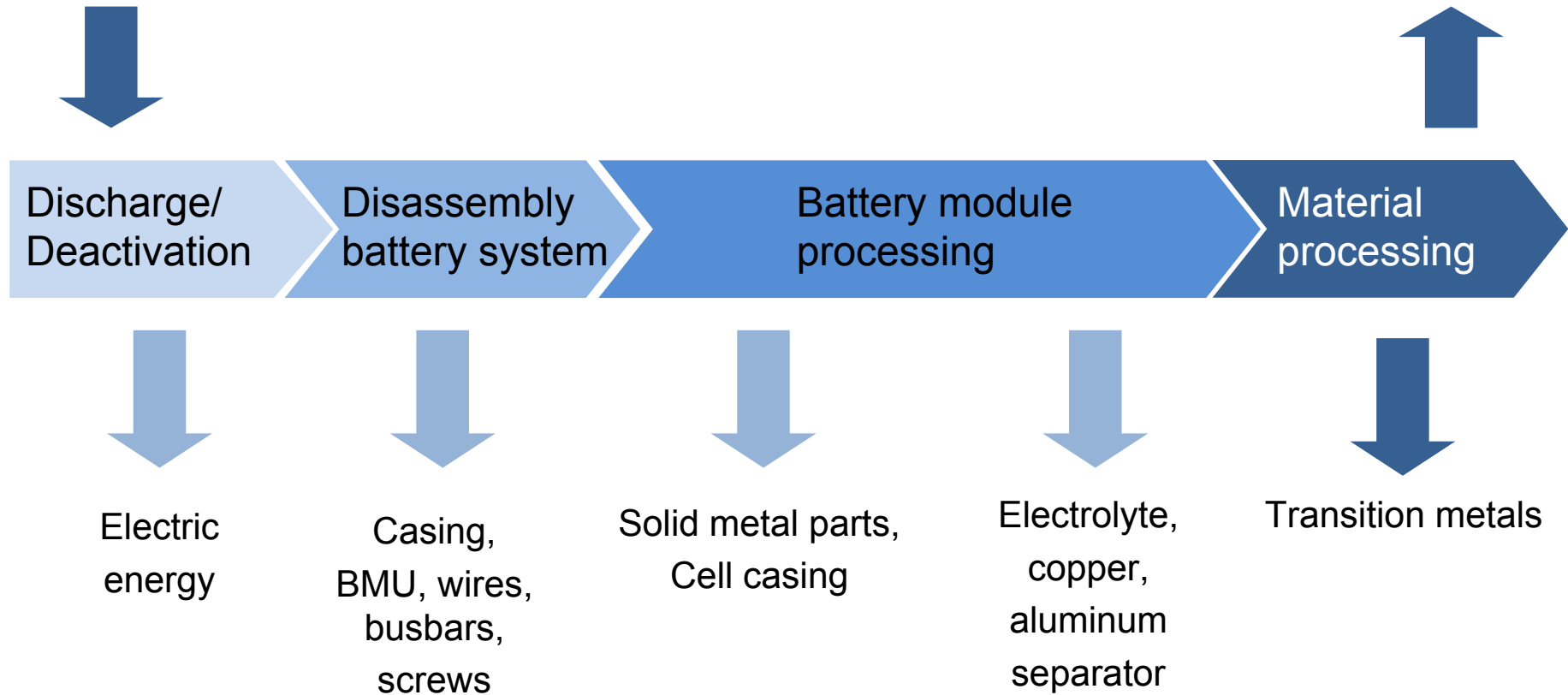
- Rohstoffe



# Recycling Pilot Plant Prozess

Battery system

Lithiumsalt with  
high purity

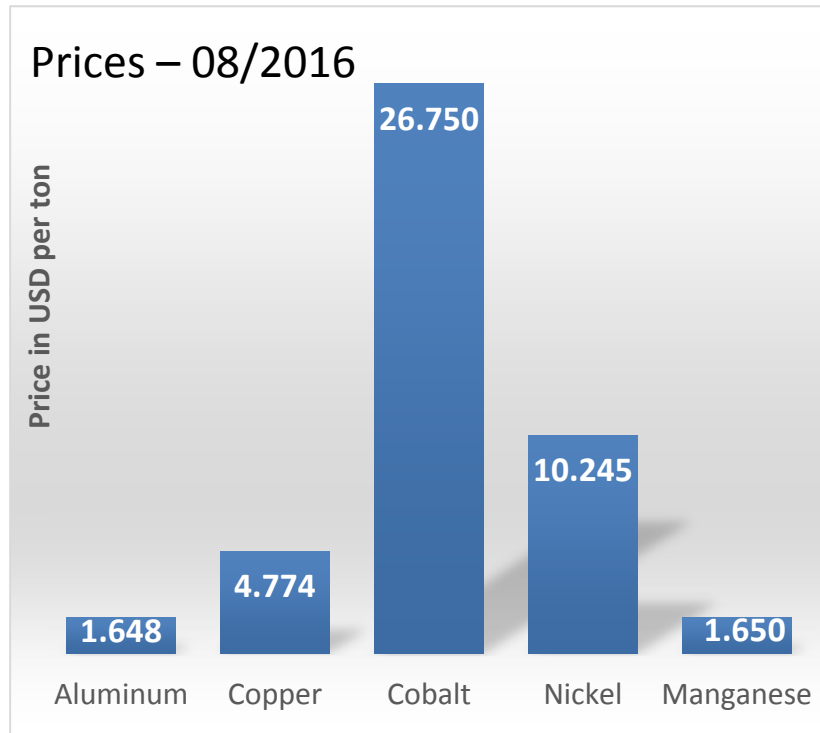
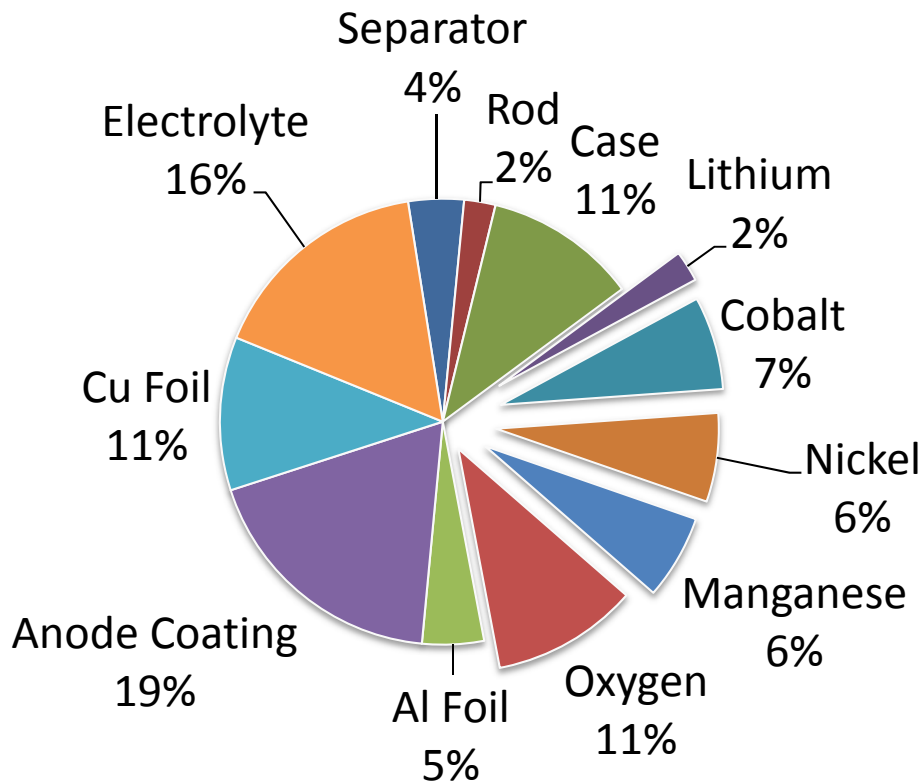




# Recycling

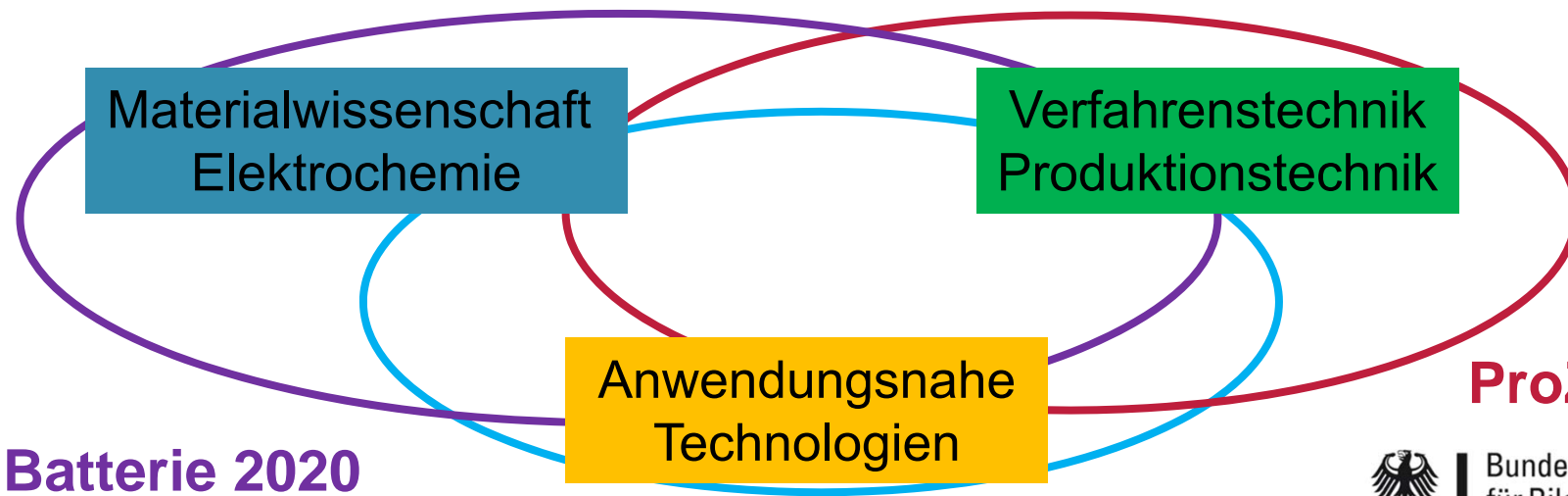
## wirtschaftliche Triebfaktoren

### Zusammensetzung auf Zelllevel:



- **Zukunft:** weniger Co, Ni (Ni-reiche Aktivmaterialien, Spinnelle, Olivine)
- CO<sub>2</sub>-Bilanz
- EU-Gesetzgebung (65 % Recyclingquote)

## Wirtschaftlich attraktive Lithium-Ionen-Batteriezelle mit ausgezeichneter Performance



### Batterie 2020



### 6. Energie- forschungsprogramm



### ProZell



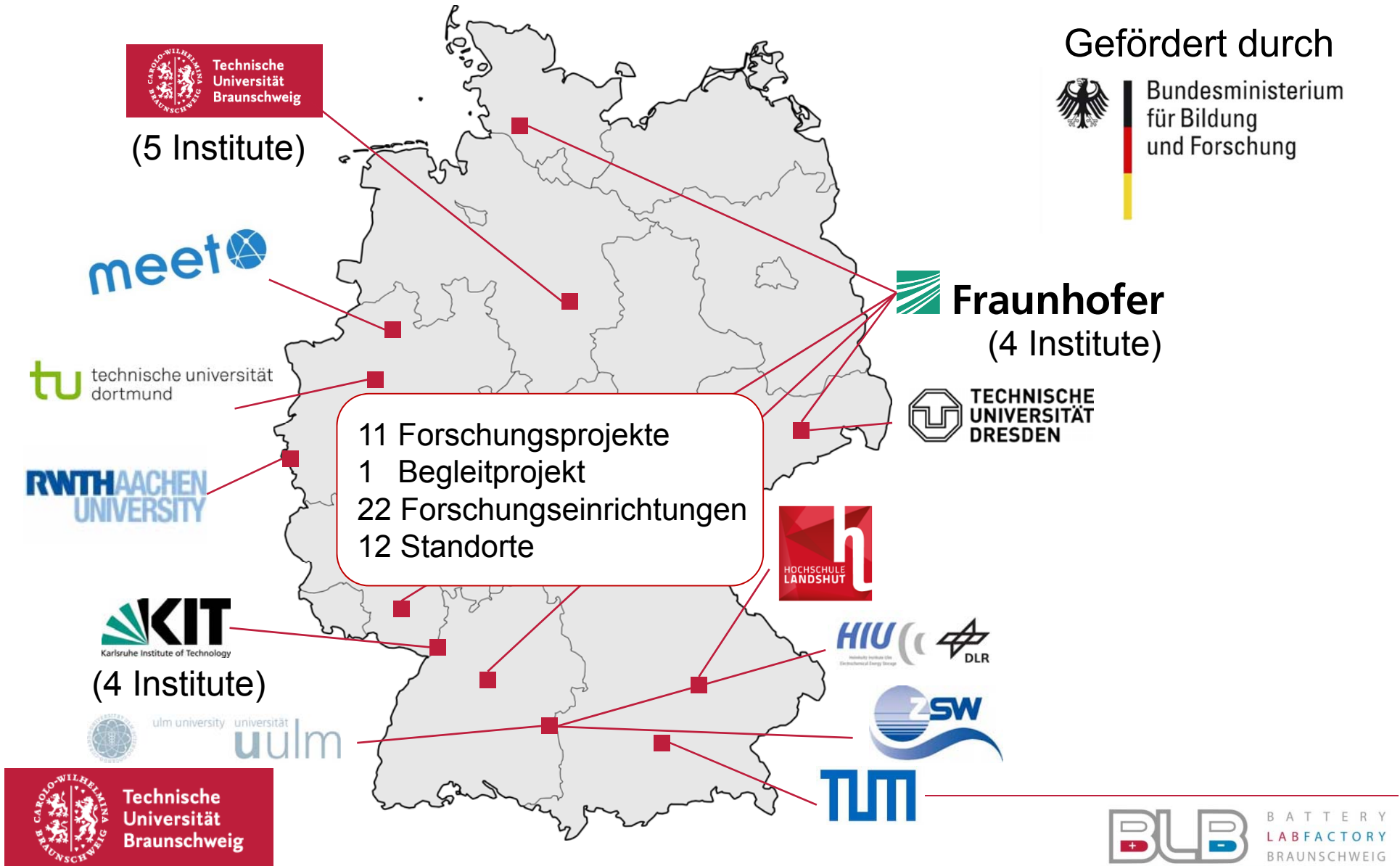
# Forschungscluster Zellproduktion – ProZell

## Mitglieder

Gefördert durch



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

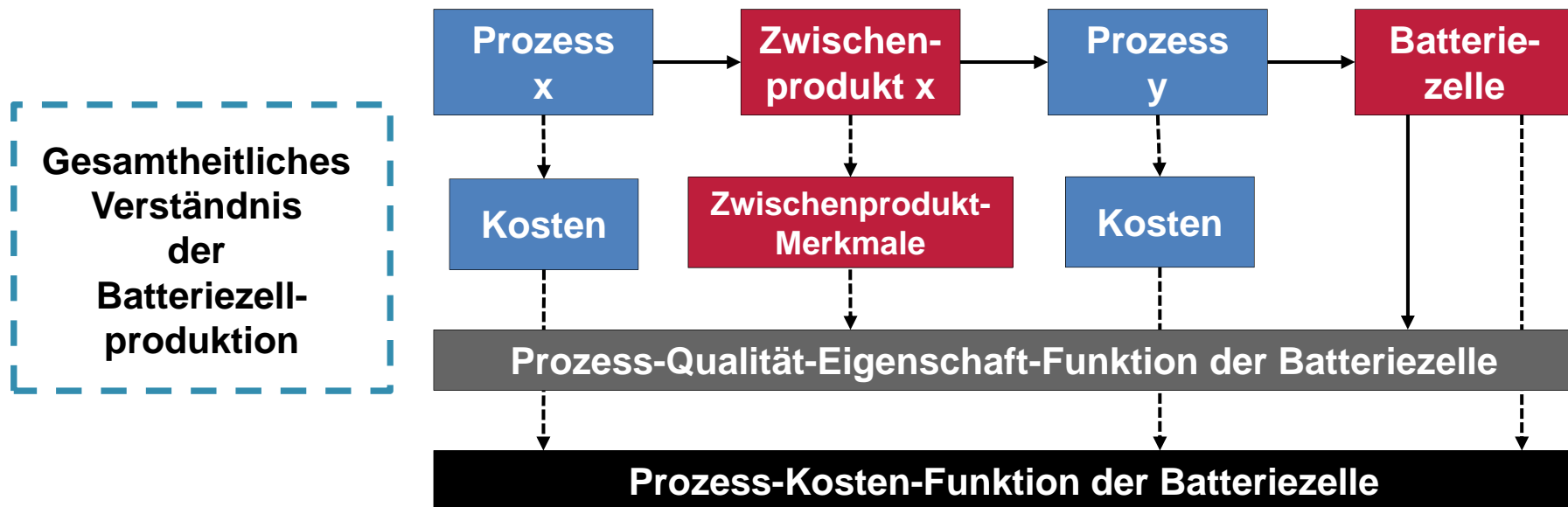


# Forschungscluster Zellproduktion - ProZell

## Ziele des Clusters

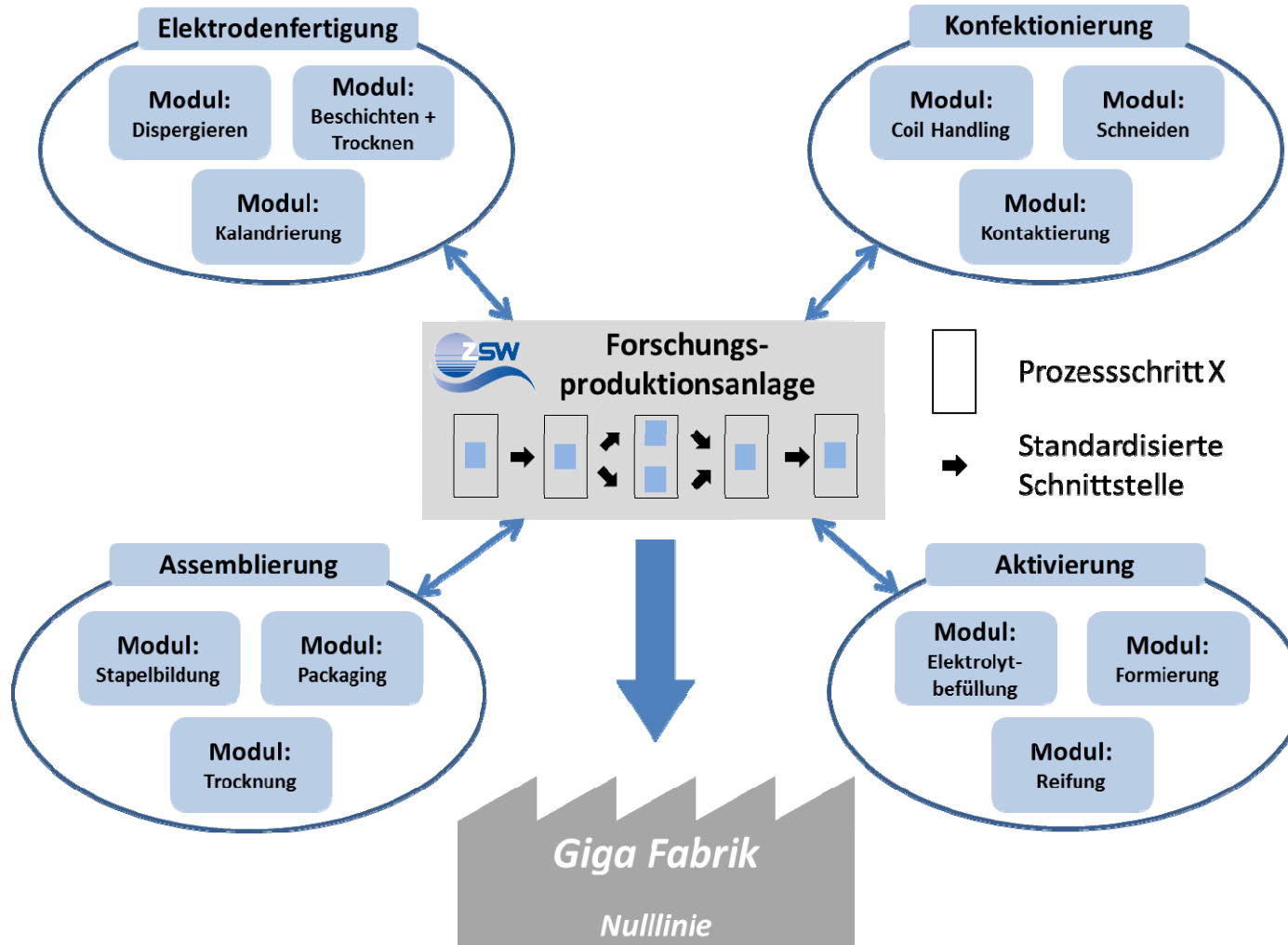
### Übergeordnetes Ziel:

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



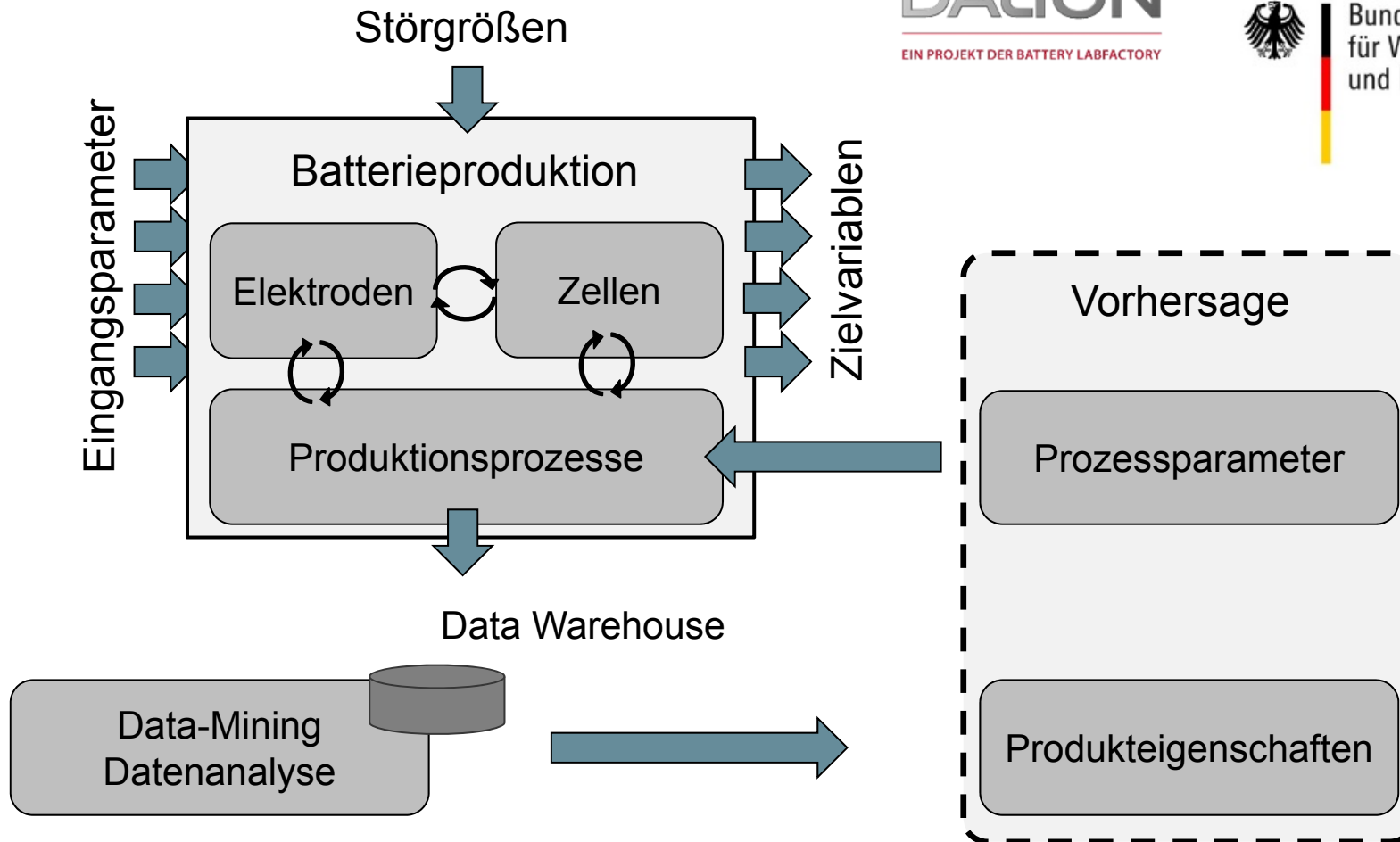
Gefördert durch



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

ProZell liefert  
das Wissen  
zum Aufbau  
einer Gigafabrik

Start sollte  
Nulllinie sein



### Wissenschaft/Forschung

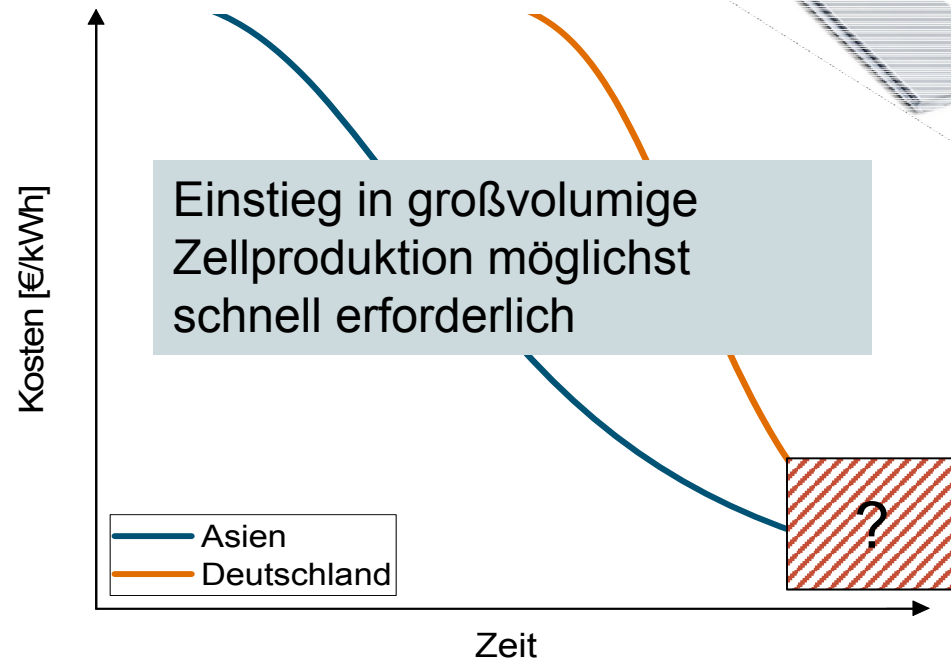
Wissenschaft hat zu anderen führenden Nationen aufgeschlossen

- 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

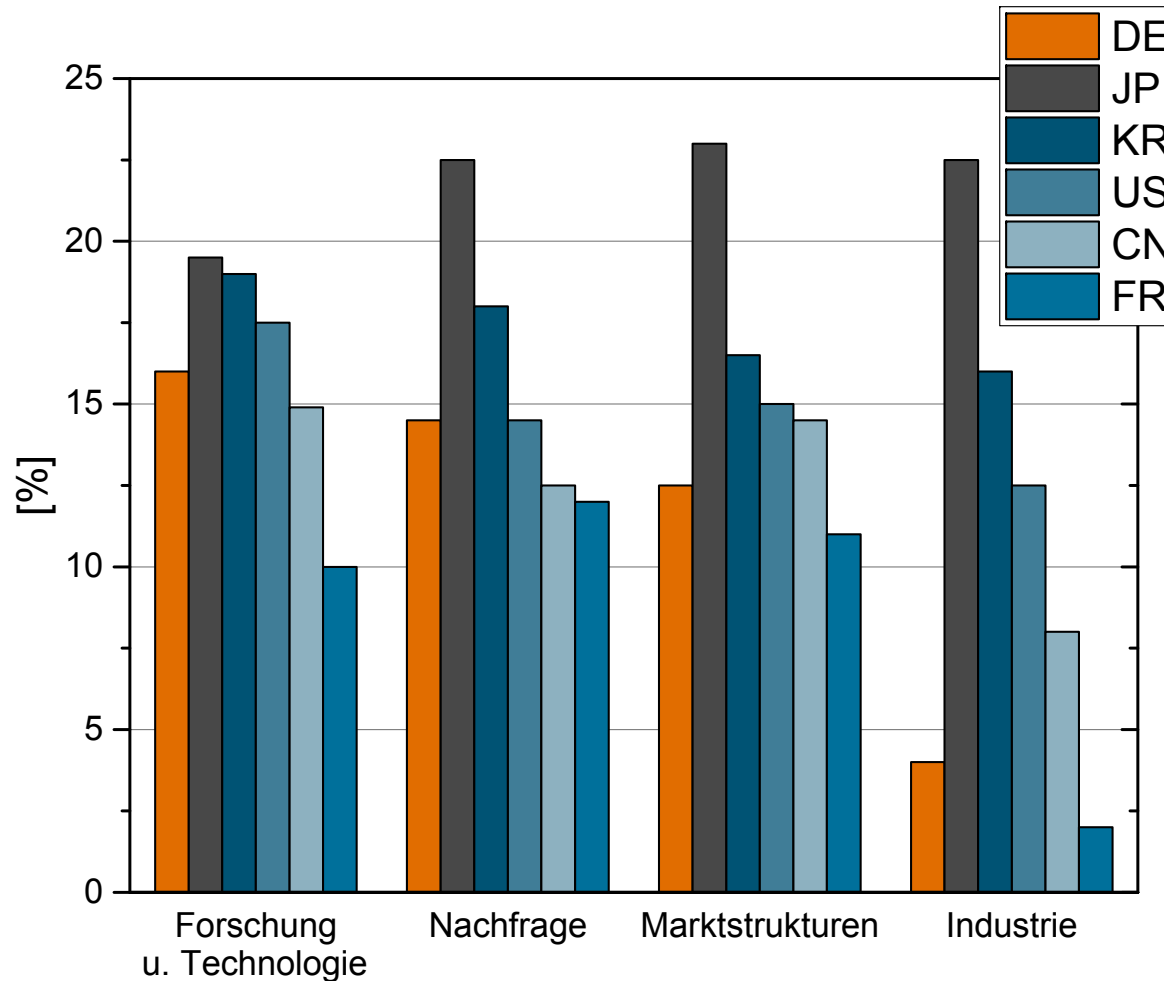
### Wirtschaft/Industrie

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