



# Batterie als Schlüssel- technologie für die Verkehrs- und Energiewende

—  
Dr. Saskia Wessel, Fraunhofer FFB

Nottuln, Kolping Nottuln, 12. Januar 2024

# Die Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB in Münster

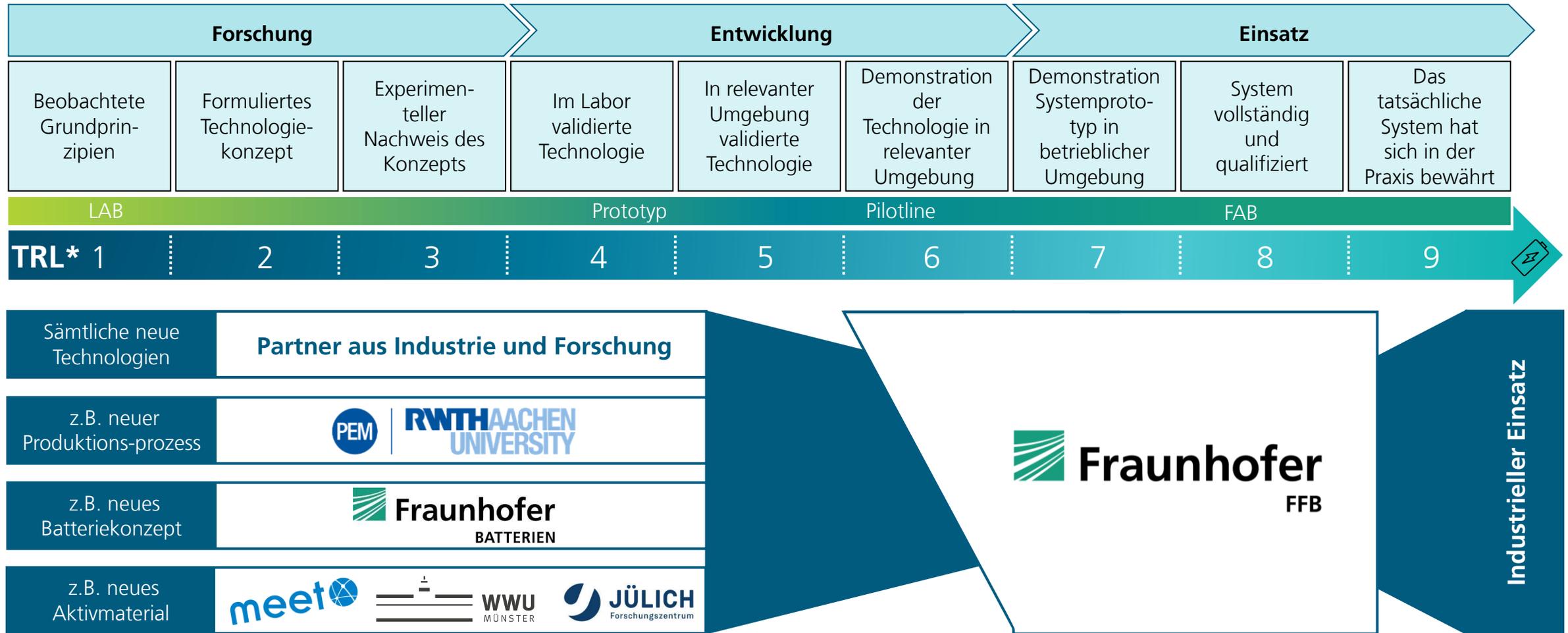


Innovationen  
für eine effiziente und  
nachhaltige  
Batteriezellproduktion



- Offene Batteriezellfabrik zu Forschungs- und Entwicklungszwecken
- Bis zu € 680 Mio. initiales Fördervolumen zum Aufbau der Infrastruktur
- Mehr als 170 Batterieexpert\*innen (inklusive Partner)
- Produktionskapazität: theoretisch bis zu 7 GWh/a (Elektrode)

# Die Fraunhofer FFB im Kontext der technologischen Reifegradstufen



\*TRL = Technology Readiness Level

# Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB in Münster

## Aufbau in Bauabschnitten

### »FFB Workspace« seit 2021



- **430 m<sup>2</sup>** Grundfläche (inkl. Reinraum)
- **50 MWh/a** Produktionskapazität

**Kontinuierliches Mischen und Beschichten** der negativen Anode sowie anschließende **Trocknung**

### »FFB PreFab« 2023



- **3.000 m<sup>2</sup>** Grundfläche
- **200 MWh/a** Produktionskapazität

**Komplette Pouchzellfertigung** von den Ausgangsmaterialien bis zur assemblierten Zelle

### »FFB Fab« 2026



- **20.000 m<sup>2</sup>** Grundfläche
- **6.8 GWh/a** Produktionskapazität

Fertigungsumgebung unter **Giga-Bedingungen mit allen Prozessschritten** sowie gängigen Zellformaten

# Gründe für die Energiespeicherung

## Motivation



### Confidential Grund 1:

Stationäre Speicherung von Energie (z.B. bei Stromspitzen durch Wind- oder Sonnenenergie)



[1]



### Grund 2:

Speicher für mobile Anwendungen (z.B. Automobil, Consumer Elektronik)



[4]

[3]

[1] NSW Home Solar Battery Guide; [2] Volkswagen; [3] Apple; [4] Tier

# Wissen Sie, was diese drei Männer gemeinsam haben?

## Motivation

Erhielten den Nobelpreis für Chemie 2019 für ihre Beiträge zur Entwicklung der Lithium-Ionen-Batterie.



**John B. Goodenough**



**M. Stanley Whittingham**



**Akira Yoshino**



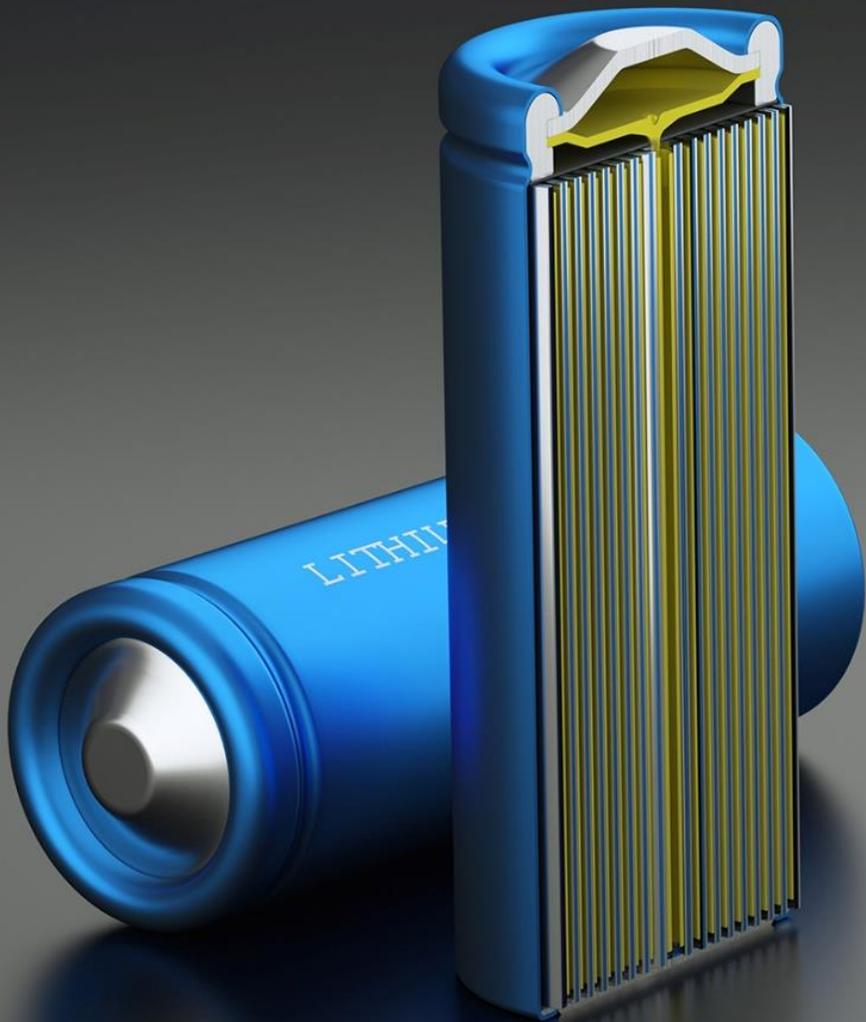
Wissen Sie, was diese drei Männer gemeinsam haben?

[1] Oxford University; [2] Binghamton University; [3] Kyushu University

# Agenda

## Batterie als Schlüsseltechnologie für die Verkehrs- und Energiewende

- 1 Energiespeicher im Vergleich
- 2 Anwendungsfeld mobile und stationäre Energiespeicher
- 3 Praxisbeispiel: Energiekonzept der Fraunhofer FFB
- 4 Zusammenfassung



# 1 Energiespeicher im Vergleich

©AdobeStock

# Arten der Energiespeicherung

## Übersicht



### Elektrisch/Elektrochem.

Lithium-Ionen-Batterie

Blei-Säure-Batterie

Kondensator

Supercaps

...



### Chemisch

Wasserstoff

Methan

Synthetische Kraftstoffe

...



### Mechanisch

Schwungrad

Druckluft

Pumpspeicher-  
Wasserkraftwerk

...



### Thermisch

Latentwärmespeicher

Sensible Wärmespeicher

Hochtemperatur-  
Wärmespeicher

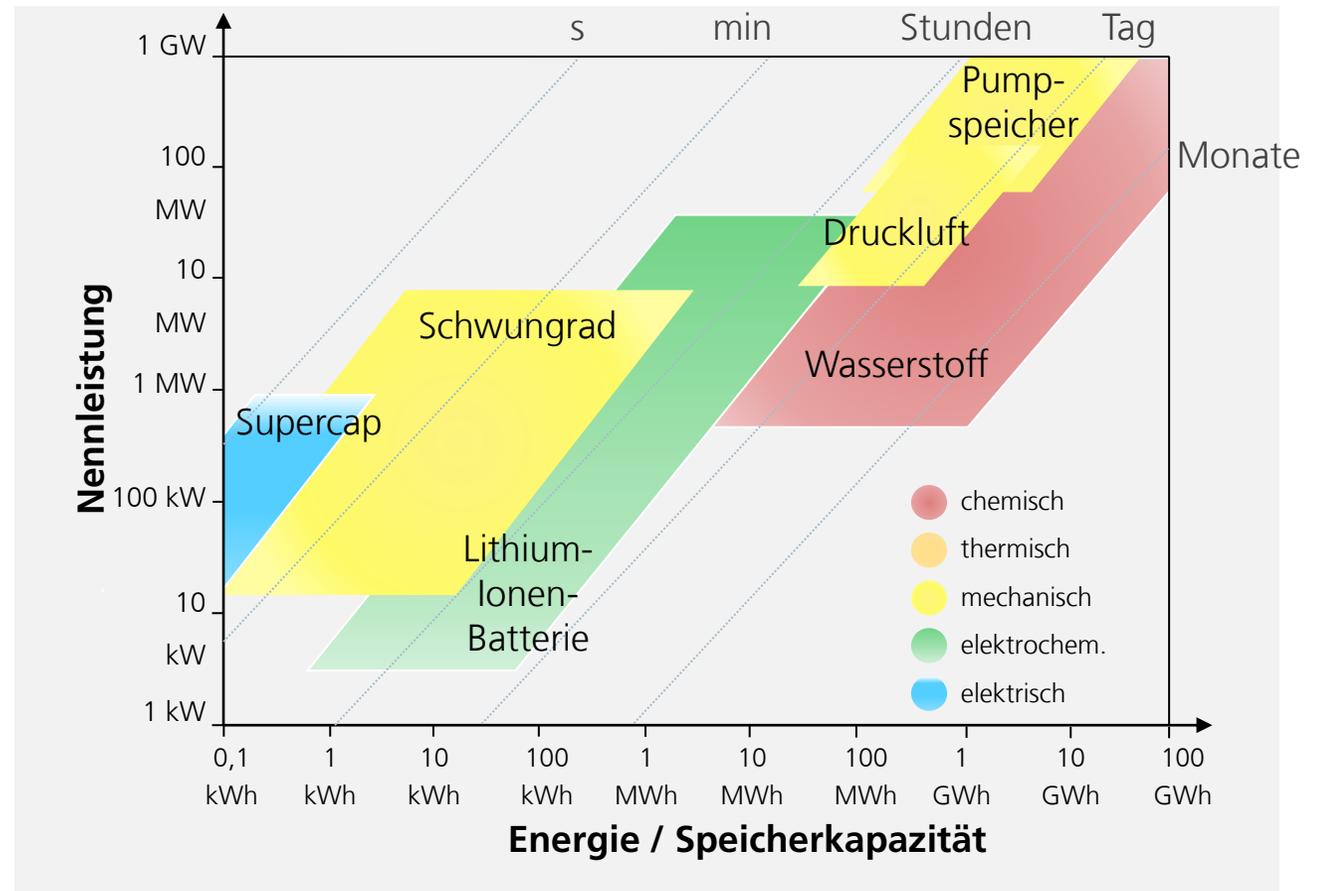
...

# Ragone-Diagramm - Kartierung von Energiespeichertechnologien

## Überblick über Energiespeichersysteme

- Vergleich verschiedener Energiespeichertechnologien in einem Diagramm **Energie [Wh]** vs. **Leistung [W]**
- Verwendet logarithmische Skalen
- Diagonale Linien zeigen Lade-/Entladedauer, wie lange die Speicherung dauert
  - Kurzfristig (Sekunden bis Minuten)
  - Stündlich (>1h)
  - Täglich (>1 Tag)
  - Monatlich (>1 Monat)
  - Langfristig (>mehrere Monate)

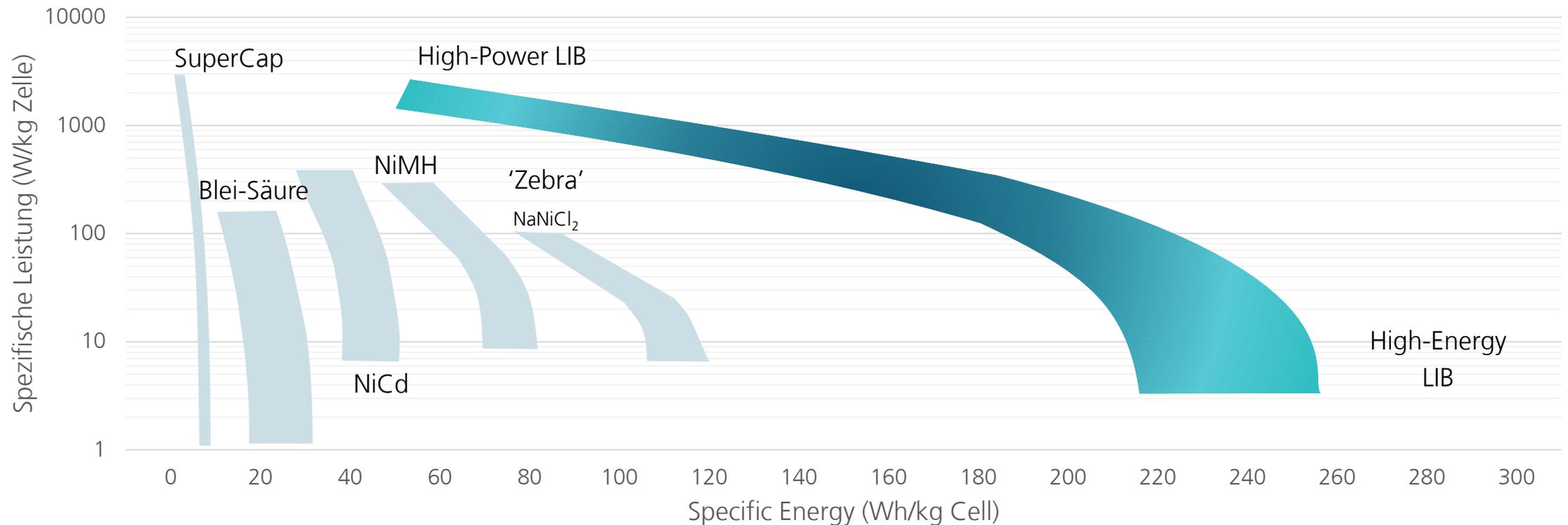
Lithium-Ionen-Batterien sind sehr vielseitig!



[1]Thielmann et al. (2015); www.britannica.com, Rinner (2018)

# Überblick über Sekundärbatterietypen: Energie vs. Leistung (Zellebene)

Überblick über moderne elektrochemische Energiespeichertechnologien



## Fazit:

Lithium-Ionen-Batterien bieten die höchste spezifische Energie. Außerdem kann ihre spezifische Leistung auf sehr hohe Werte eingestellt werden.

# Energiespeicher im Vergleich

## Einordnung der Lithium-Ionen-Batterietechnologie



**Energiedichte & Energieeffizienz**



**Schnell(ent)ladefähigkeit**



**Langlebigkeit**



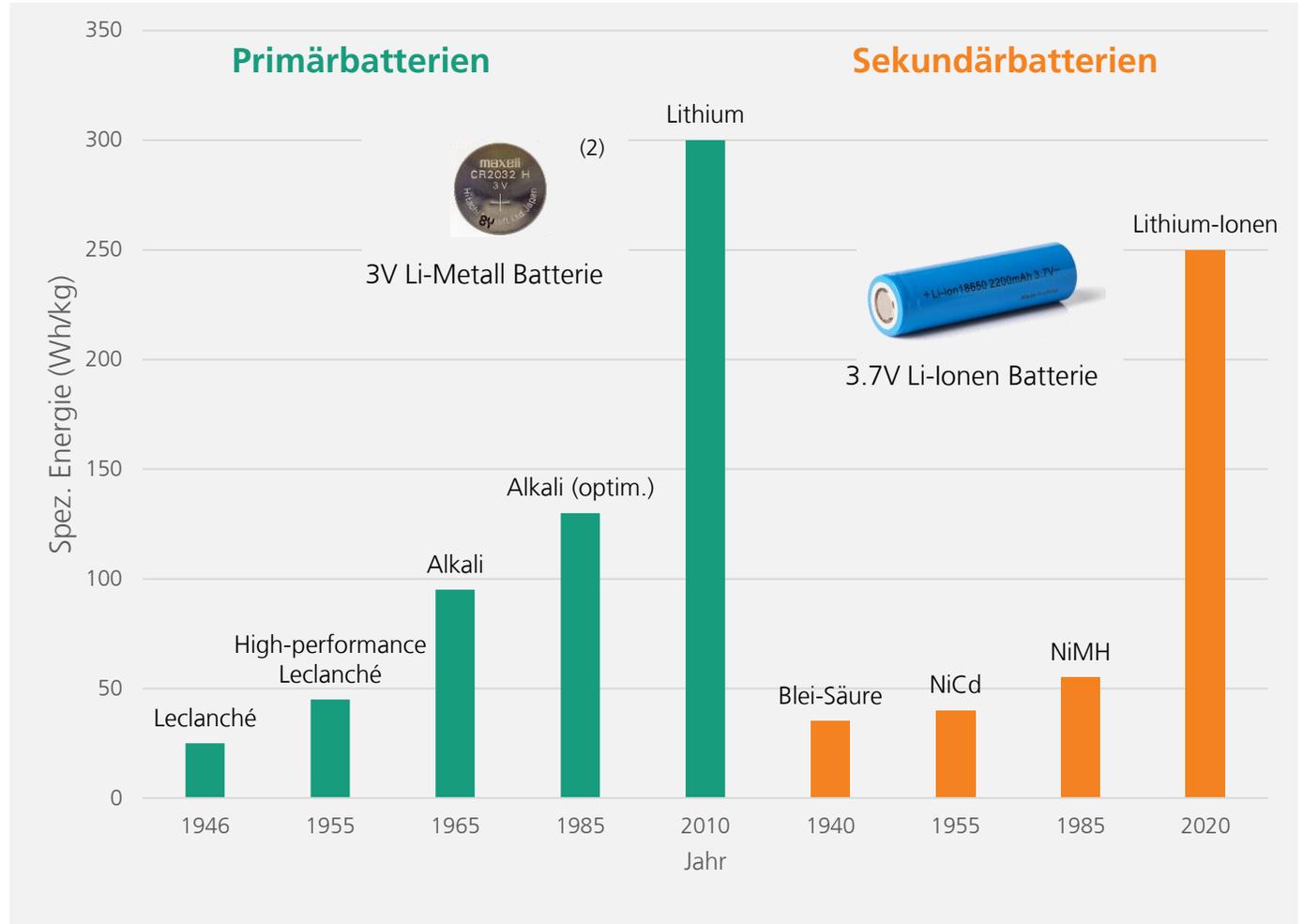
**Sicherheit**



**Recyclingfähigkeit & Nachhaltigkeit**

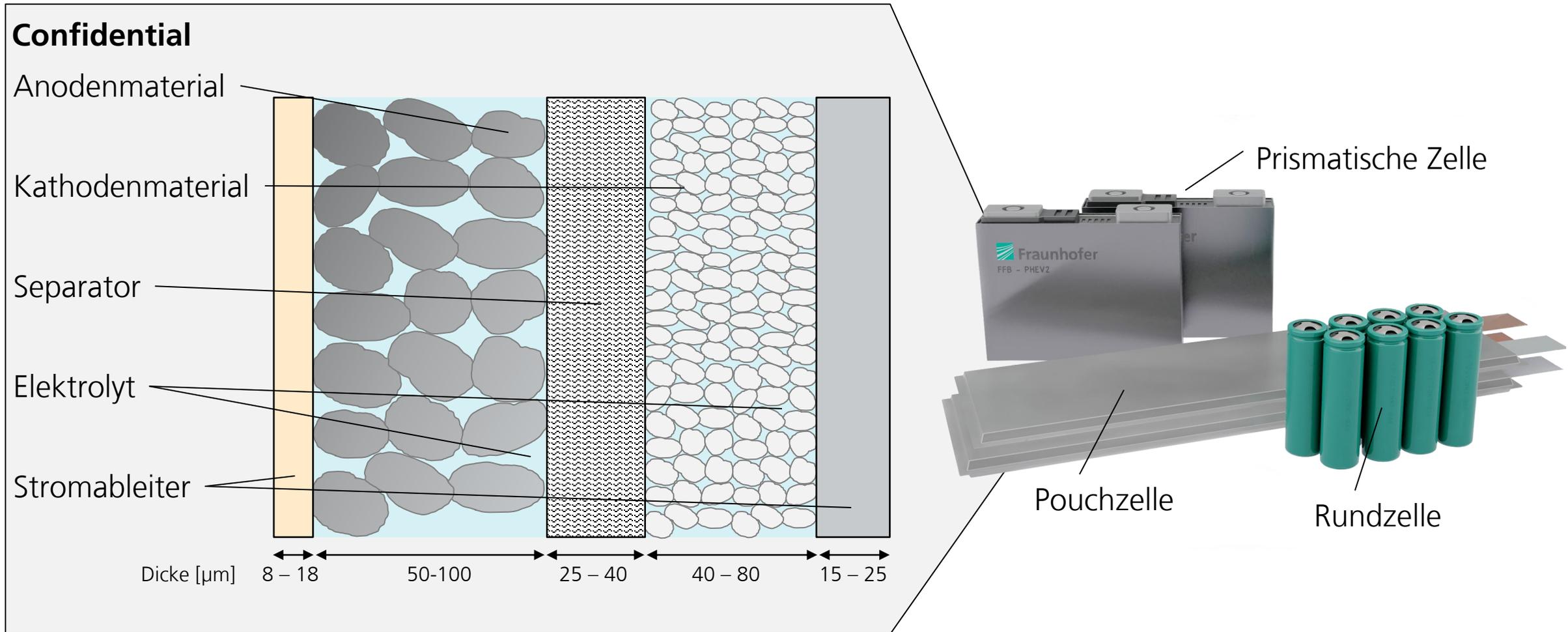


**Wirtschaftlichkeit**



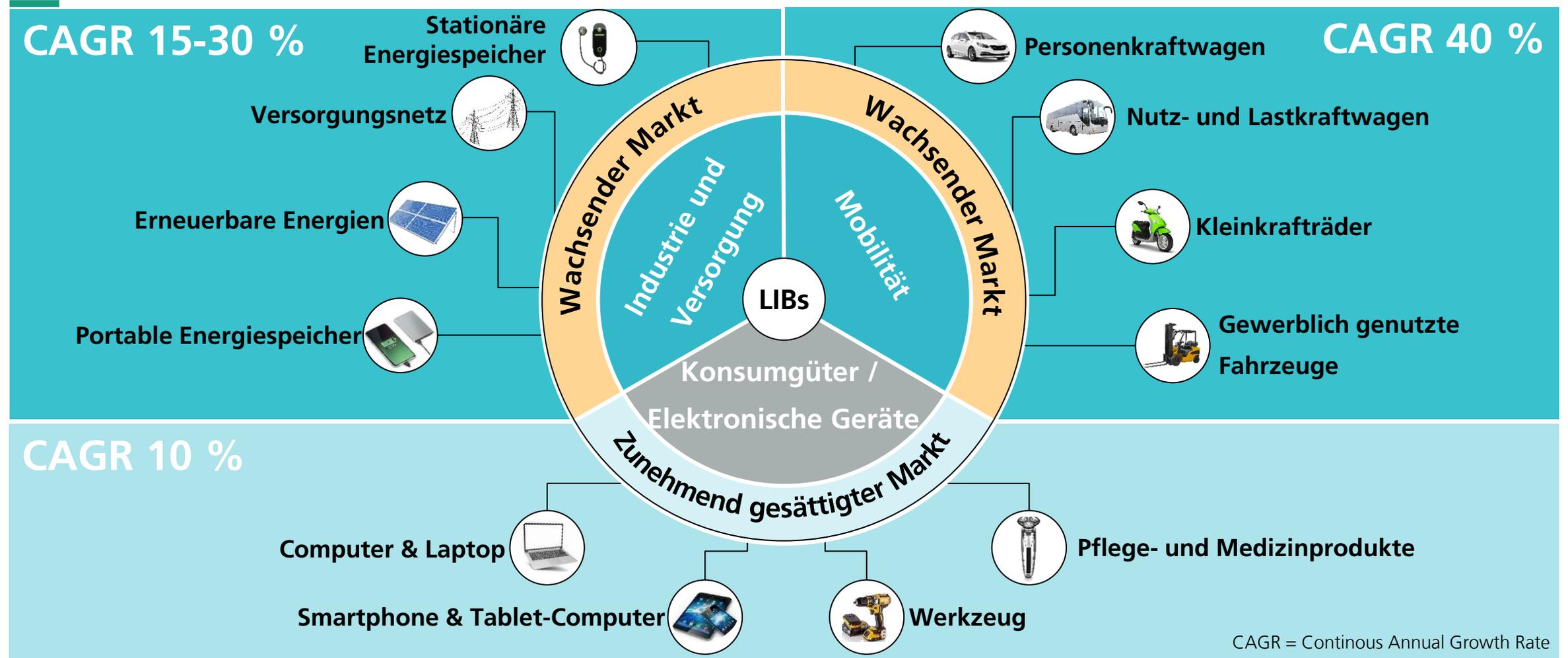
# Aufbau und Funktionsweise der Lithium-Ionen-Batterie

Materialien werden in unterschiedliche Zellformate verpackt



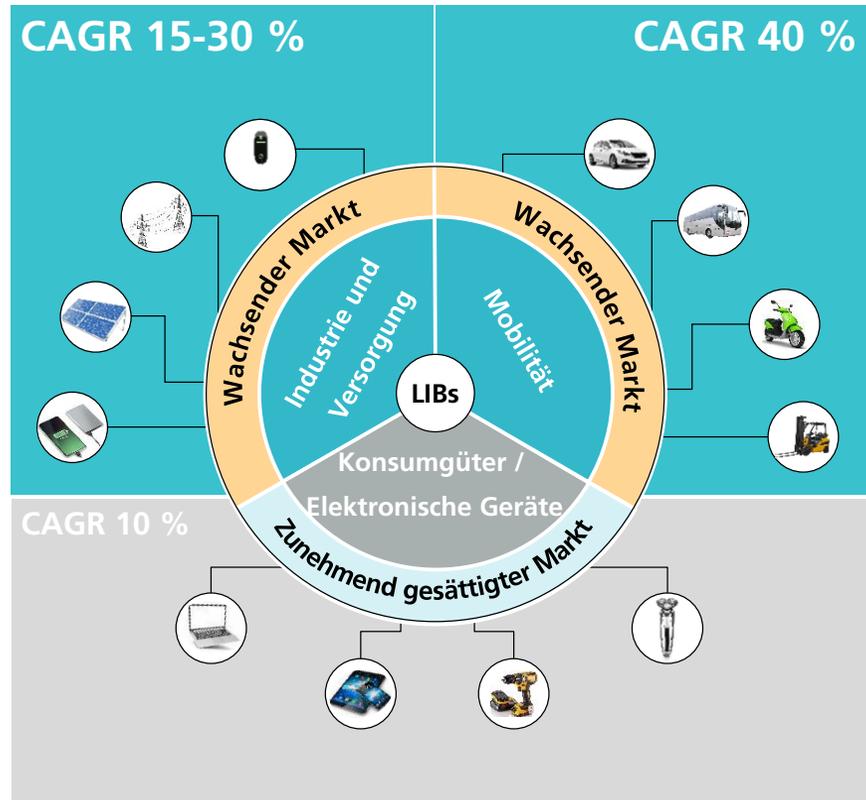
# Anwendungsfelder der Lithium-Ionen-Batterietechnologie

Nachfrage aus unterschiedlichen Sektoren

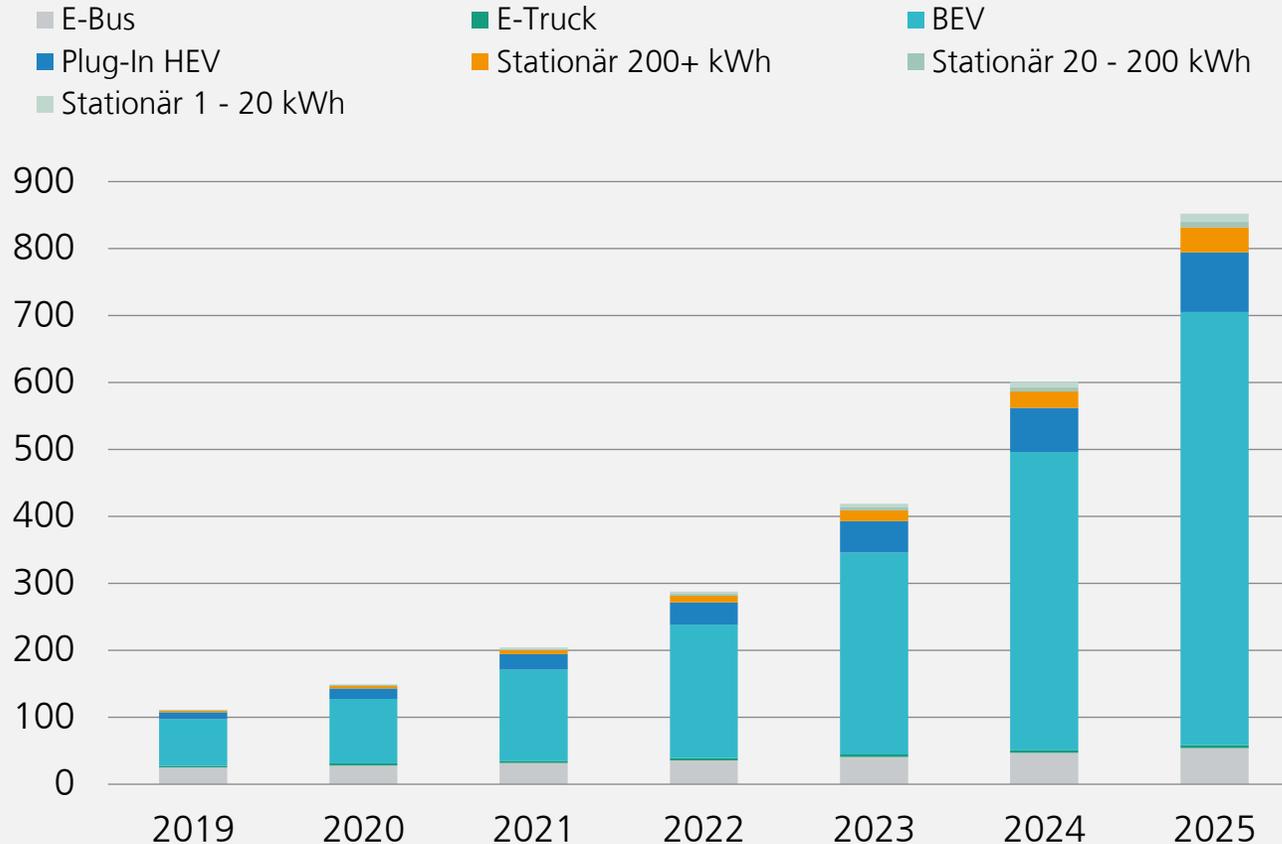


# Globale Nachfrage in wesentlichen Wachstumssektoren

Marktwachstum der Lithium-Ionen-Batterietechnologie wird durch Elektromobilität getrieben

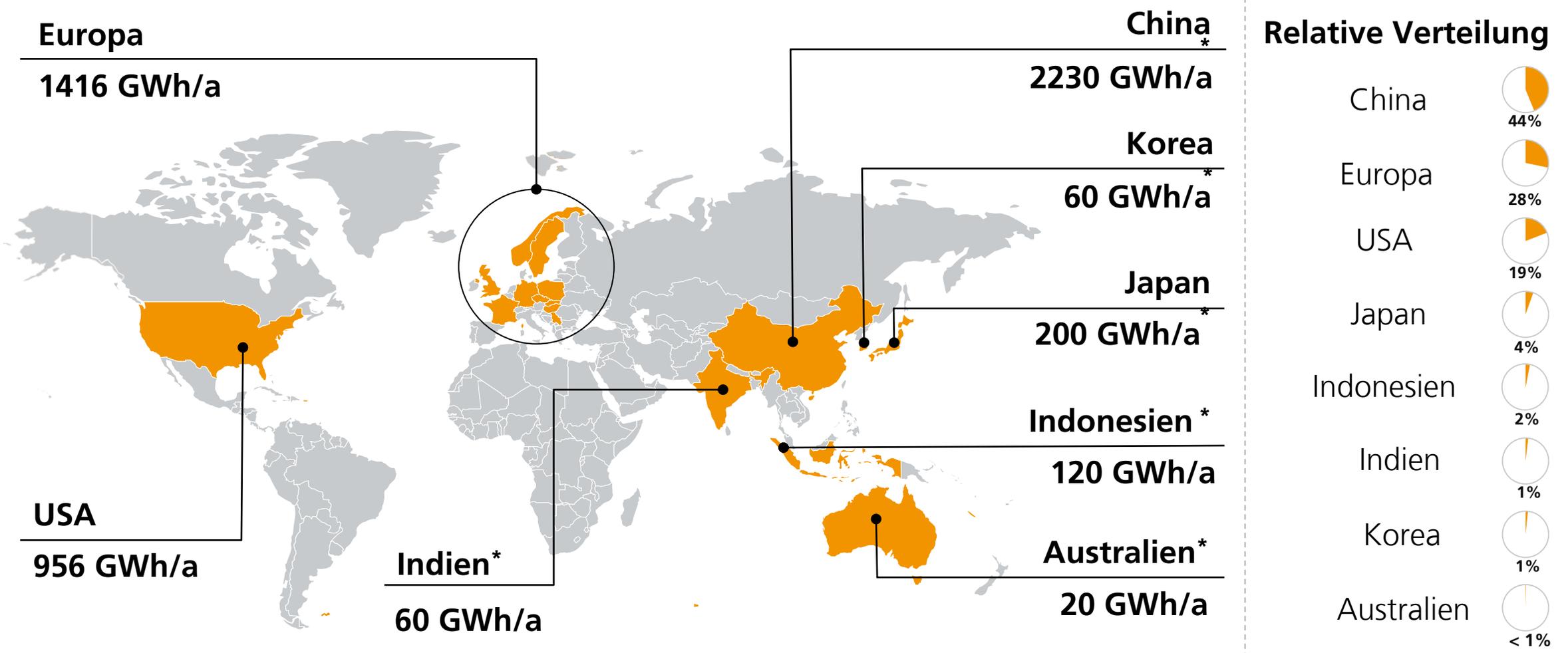


## Globale Nachfrage ausgewählter Sektoren, GWh/a



# Geographische Verteilung der produzierenden Marktteilnehmer

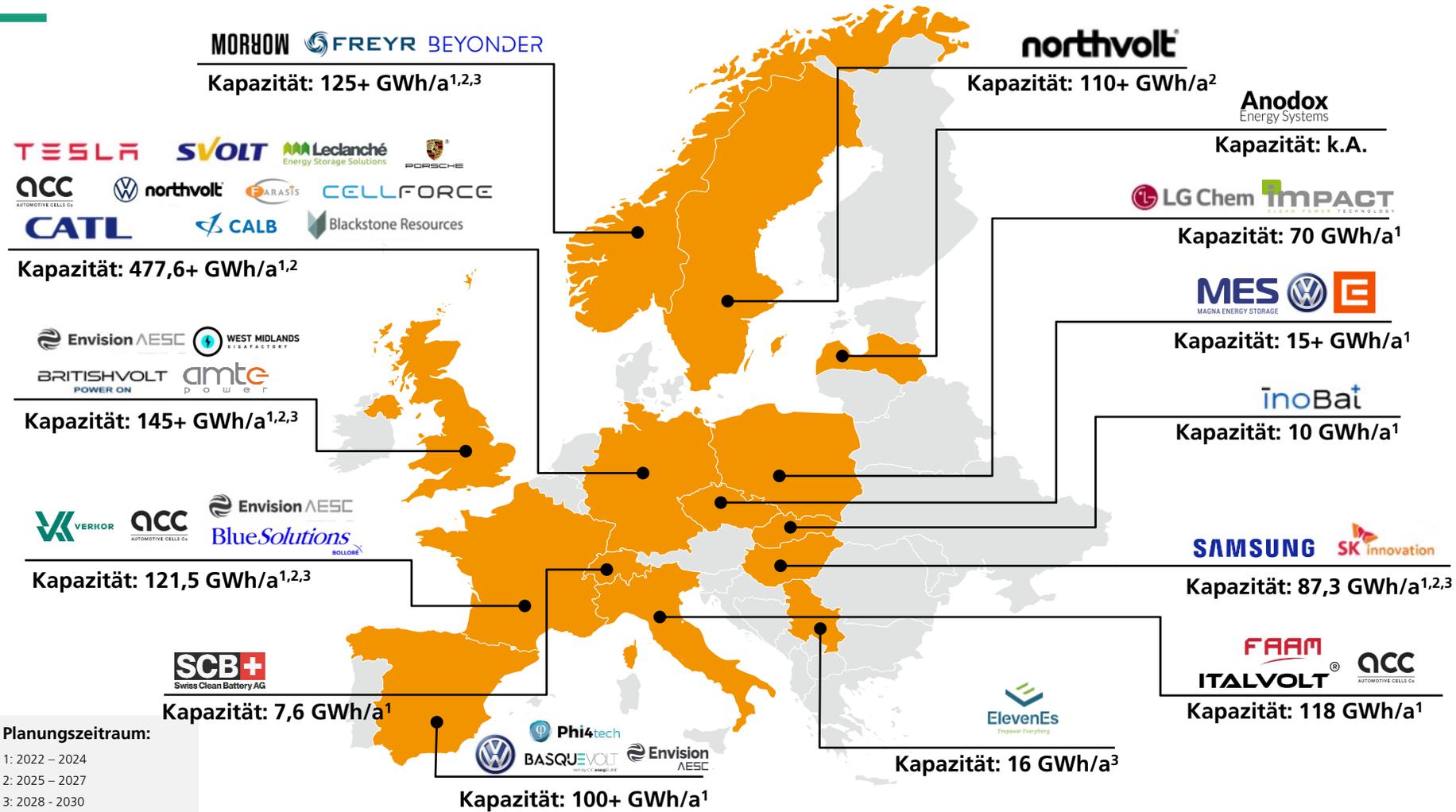
Produktionskapazitäten weltweit bis 2030, Stand Juli 2022



Quellen: battery-news.de, delta-ee.com, VDMA Roadmap Batterieproduktion; \*Daten aus dem Jahr 2021

# Geographische Verteilung der produzierenden Marktteilnehmer

Produktionskapazitäten in Europa bis 2030, Stand Juli 2022 (größte Marktteilnehmer)



Planungszeitraum:

- 1: 2022 – 2024
- 2: 2025 – 2027
- 3: 2028 – 2030

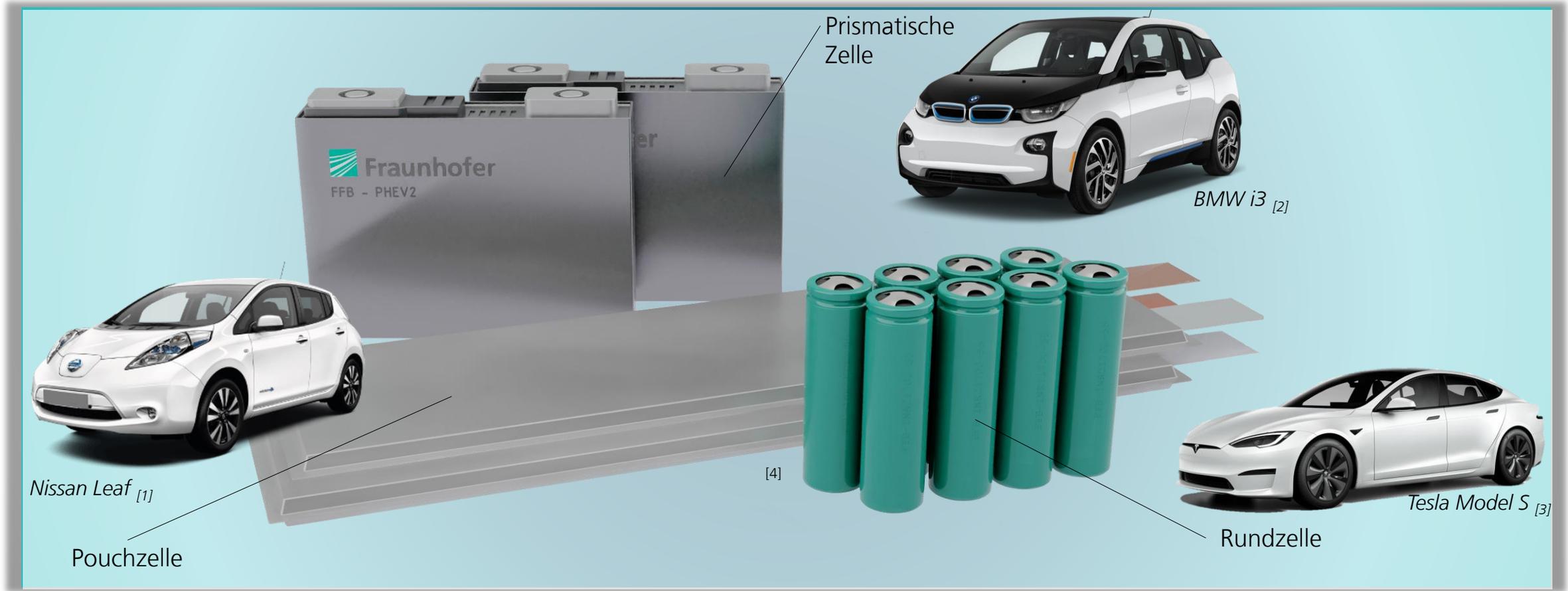
## Relative Verteilung



Quellen: battery-news.de, delta-ee.com, VDMA Roadmap Batterieproduktion

# Überblick über gängige Zellenformate

## Übersicht



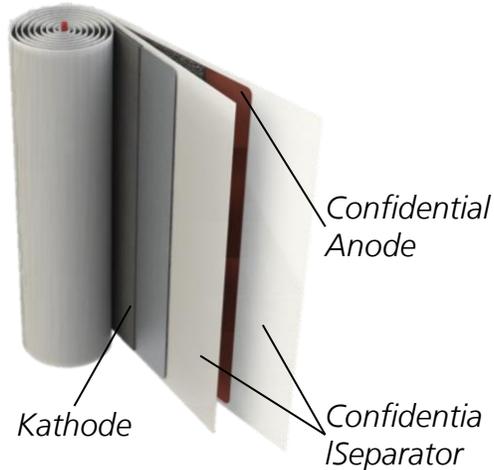
[1] Nissan (2023); [2] BMW (2023); [3] Tesla (2023); [4] FFB internal

# Rundzelle

## Eigenschaften



Jelly Roll



### Wichtigste Vor- und Nachteile

- + Energiedichte (Zelle) und Produktionskosten
- Flexibilität und Systemintegration

### Abmessungen (Beispiele)

- 18650 (Höhe 65 mm, Ø 18 mm)
- 21700 (Höhe 70 mm, Ø 21 mm)
- 4860 (Höhe 48 mm, Ø 60 mm)



### Leistung (Durchschnitt)

Energiedichte:  
Ø 270 Wh/kg, 750 Wh/l

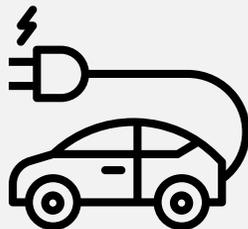


Leistungsdichte:  
Ø 370 W/kg; max: ~3.600 W/kg

Max. (Ent-)Ladungsrate:  
2C - 3C (High Energy HE)  
5C - 10C (High Power HP)

### Applications

Auto-  
motive



E-Bikes



Power Tools



Medical

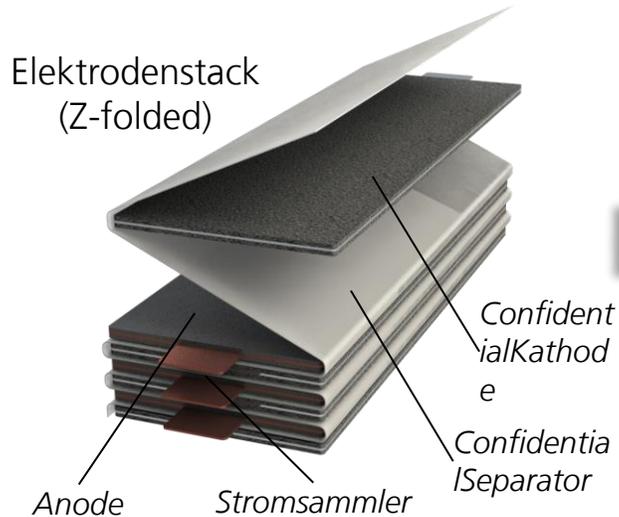


Weitere



# Pouchzellen

## Eigenschaften



### Wichtigste Vor- und Nachteile

- + Flexibilität und Kosten
- Flexibles Gehäuse und Sicherheit

### Abmessungen (Beispiele)

- Consumer:  $< 200 \times 100 \times 10 \text{ mm}^3$
- Automobile und stationäre Anwendung:  $(200-530) \times (100-225) \times (7-13) \text{ mm}^3$



### Leistung (Durchschnitt)

Energiedichte:  
 $\varnothing 250 \text{ Wh/kg}, 600 \text{ Wh/l}$



Leistungsdichte:  
 $\varnothing 480 \text{ W/kg}; \text{max: } \sim 4.300 \text{ W/kg}$

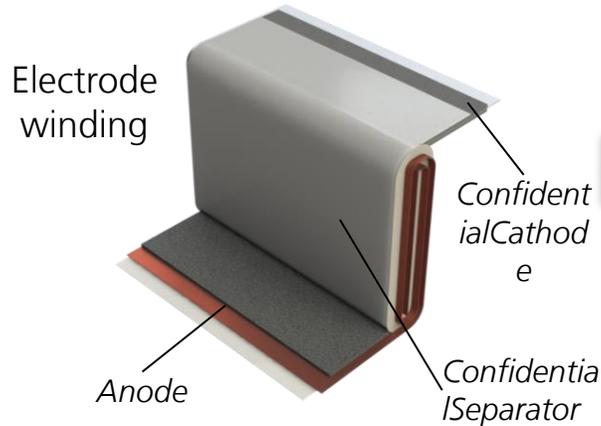
Max. (Ent-)Ladungsrate:  
 1C - 2C (High Energy HE)  
 5C - 14C (High Power HP)

### Applications

<p>Auto- motive</p>	<p>Flying</p>	<p>Stationary storage</p>	<p>Medical</p>	<p>Smart Devices</p>
-------------------------	---------------	---------------------------	----------------	----------------------

# Prismatische Zelle

## Eigenschaften



### Wichtigste Vor- und Nachteile

- + Sicherheit und Wärmemanagement
- Kosten und Energiedichte

### Abmessungen (Beispiele)

- PHEV2: 91 x 148 x 26,5 mm<sup>3</sup>
- CATL: 95 x 300 x 27,25 mm<sup>3</sup>
- BYD blade cell: 90 x 989 x 13,5 mm<sup>3</sup>



### Leistung (Durchschnitt)

Energiedichte:  
Ø 220 Wh/kg, 550 Wh/l



Leistungsdichte:  
Ø 330 W/kg; max: ~2.600 W/kg

Max. (Ent-)Ladungsrate:  
1C - 2C (High Energy HE)  
5C - 9C (High Power HP)

### Applications



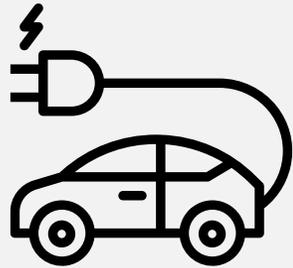


2

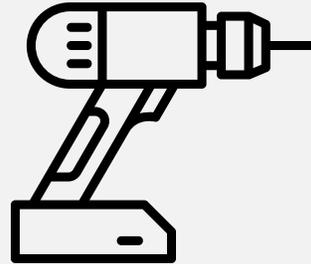
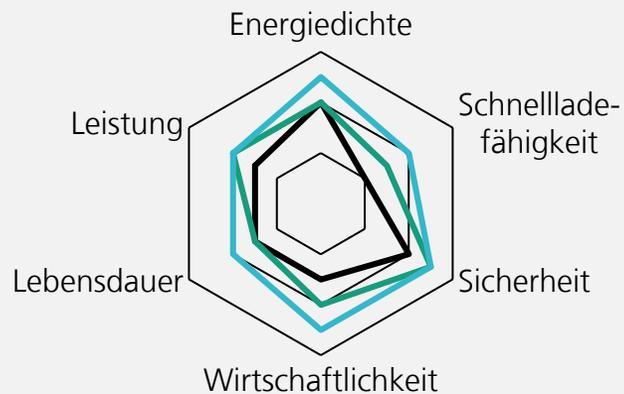
## Anwendungsfeld mobile und stationäre Energiespeicher

# Anwendungsfeld mobile und stationäre Energiespeicher

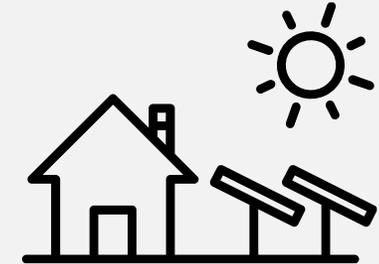
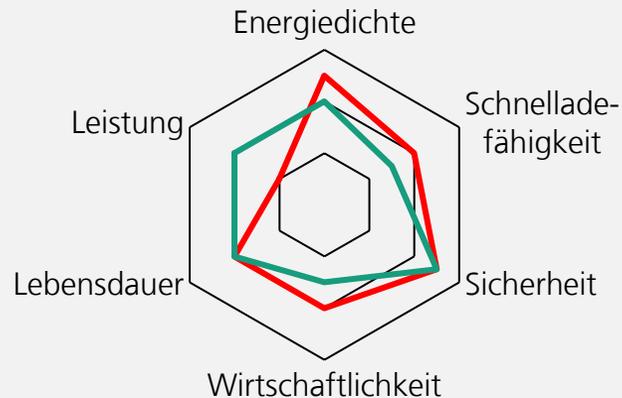
Zuordnung individueller Anforderungsprofile



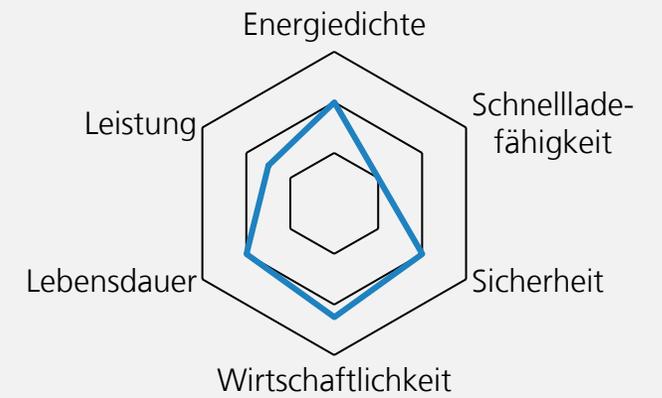
—HEV —PHEV —BEV



—Smart Devices —Power Tools



—Stationary Storage



Eine Technologie – verschiedene Anforderungsprofile

# Anwendungsfeld stationäre Energiespeicher

## Nachhaltige Mobilität - Direkte Elektrifizierung im Vergleich

### Effizienz- bzw. Wirkungsgradbilanz

Primäre Energiequelle

Elektrolyse

CO<sub>2</sub> Isolierung und Fischer-Tropsch-Synthese  
Transport, Speicherung,  
Verteilung

### Treibstoffproduktions-effizienz

Ladeausstattung

Batterie-Ladeeffizienz

H<sub>2</sub> zu Elektrizität-  
Umwandlung

DC/AC Wandler

Motorwirkungsgrad

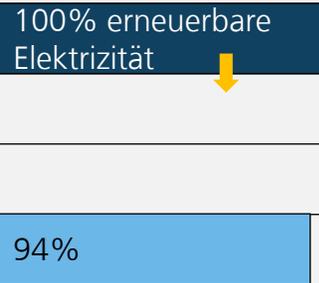
### Gesamteffizienz

### Direkte Elektrifizierung

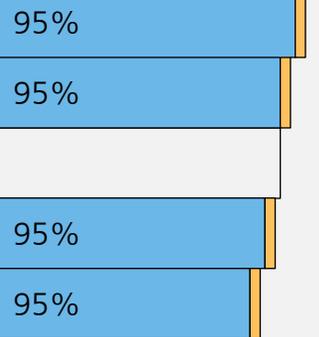


2020

2050



94%



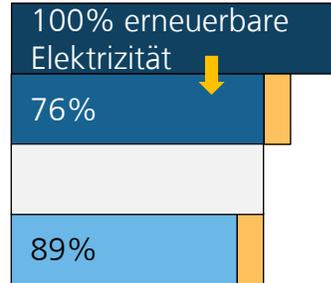
77%

81%

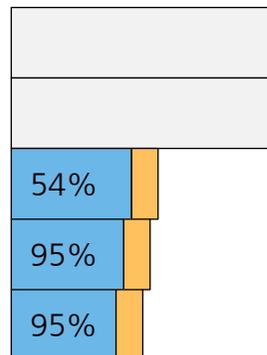
### Wasserstoff

2020

2050



68%



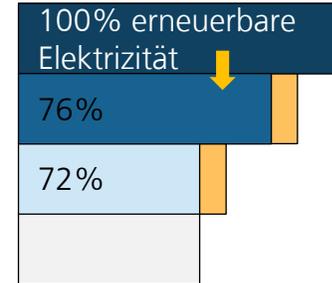
33%

42%

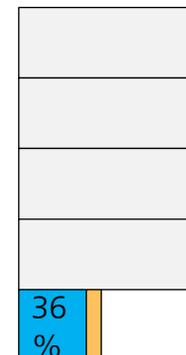
### Power-to-liquid (Diesel)

2020

2050



55%



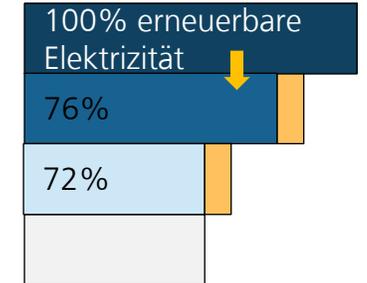
20%

22%

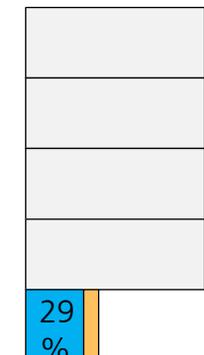
### Power-to-liquid (Benzin)

2020

2050



55%



16%

18%

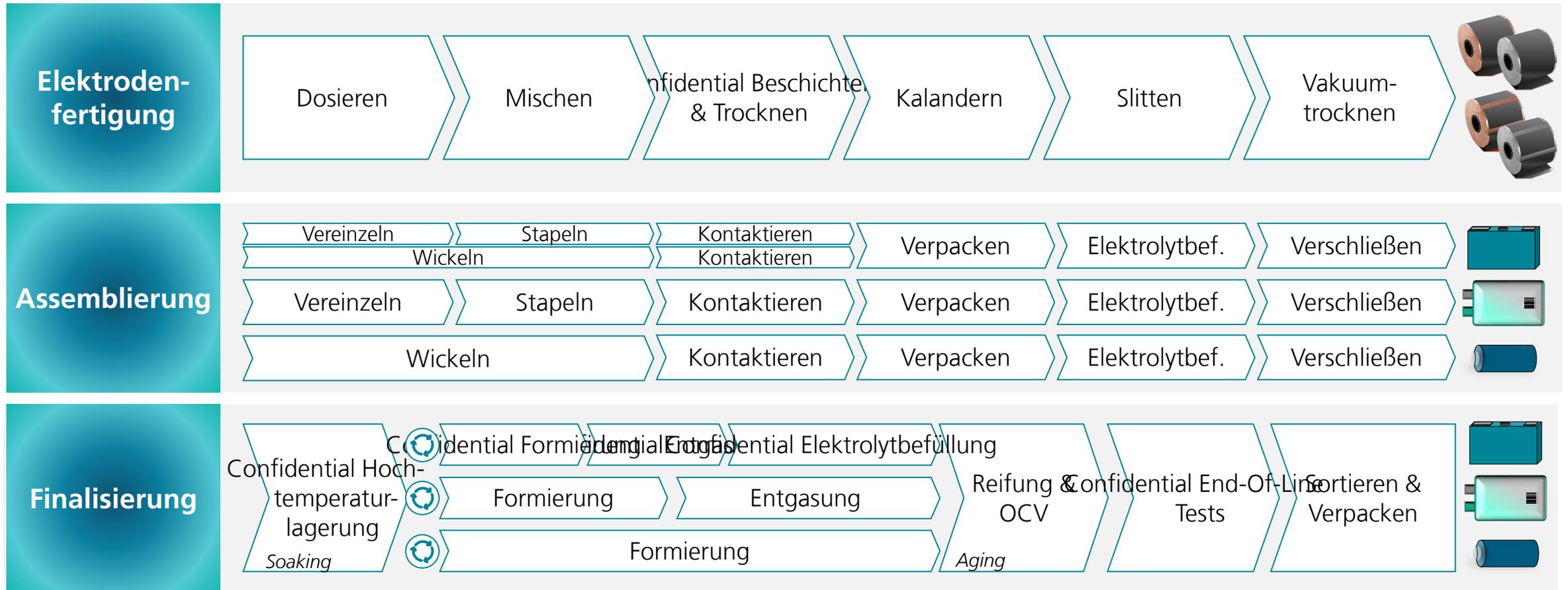


3

## Energiebedarf einer Batteriezellfertigung

# Lithium-Ionen-Batteriezellfertigung

## Prozessübersicht



# Energiebedarf der Batteriezellproduktion

## Fokus auf den energieintensivsten Produktionsschritt

Trocknen in der Elektrodenfertigung



**Konvektionstrocknung bei ~200°C**



Prozess



- Lösungsmittel wird dem Aktivmaterial entzogen
- Prozess benötigt **hauptsächlich Wärme**
- Konvektionstrockner mit **> 100 Meter Länge**
- Wird zusätzlich Lösemittel (NMP) rückgewonnen, kommt ein Kältebedarf hinzu

Zukunft

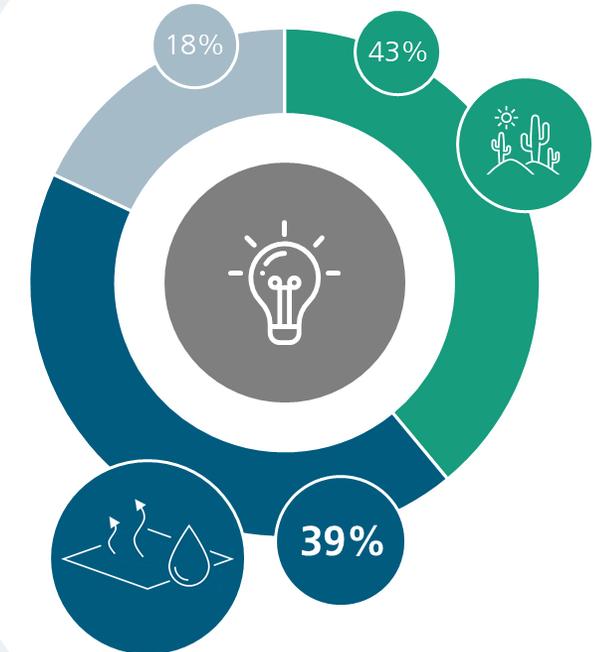


- Trend geht in die Richtung **Prozess zu substituieren**
- Nahinfrarottrocknung
- Lasertrocknung
- Trockenbeschichtung

Erdgas



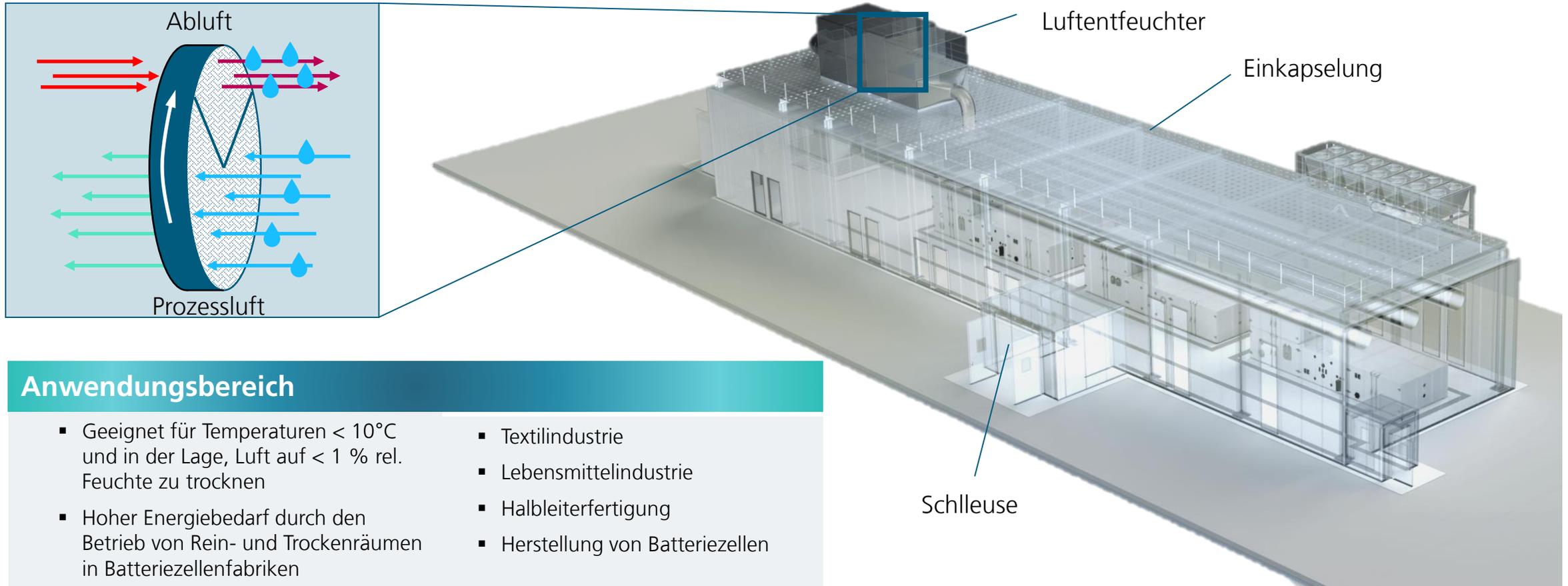
- Wärme kann mit Erdgas bedient werden
- Mit Strom kann der Prozess schneller hoch und runter gefahren werden
- Kaum **lohnenswert hier noch Gasinstallation vorzunehmen**



Energieverbrauch einer Batteriezellfertigung

# Rein- und Trockenräume für die Batteriezellfertigung

## Aufbau und Funktion



### Anwendungsbereich

- Geeignet für Temperaturen  $< 10^{\circ}\text{C}$  und in der Lage, Luft auf  $< 1\%$  rel. Feuchte zu trocknen
- Hoher Energiebedarf durch den Betrieb von Rein- und Trockenräumen in Batteriezellenfabriken
- Textilindustrie
- Lebensmittelindustrie
- Halbleiterfertigung
- Herstellung von Batteriezellen

# Energiebedarf der Batteriezellproduktion

## Fokus auf die energieintensive Produktionsumgebung

### Rein- und Trockenraumtechnik



#### Fertigungsumgebung erfordert extrem trockene Luft

-60 °C Taupunkt  
0,05 % rel. Feuchte  
0,007 g/m<sup>3</sup> abs. Feuchte

1,7 g/m<sup>3</sup> abs. Feuchte  
im Death Valley, CA



### Prozess



- Materialien einer Lithium-Ionen Batterie reagieren auf geringste Feuchtigkeitseinträge (Nickelreiche Kathode, Leitsalz im Elektrolyt)
- Konditionierte Umgebungsbedingungen mit **Trocknung eines zirkulierenden Luftstroms**
- Trocknungstechnik benötigt einen **warmen Luftstrom**

### Zukunft

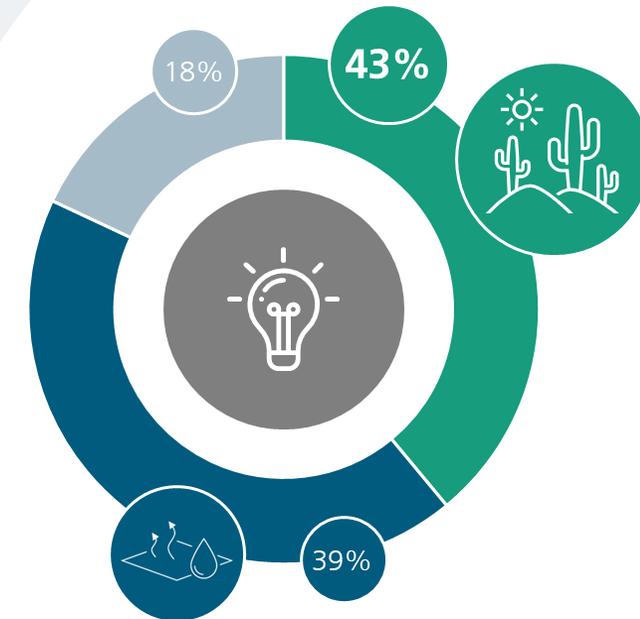


- Roadmap für Batteriezell-Aktivmaterialien zeigt **steigende Feuchtesensibilität**
- Mini-Environments
- Tiefere Taupunkte erforderlich durch:
  - Prälithierung (Silizium Anode)
  - Festkörperbatterie (ASSB)

### Erdgas



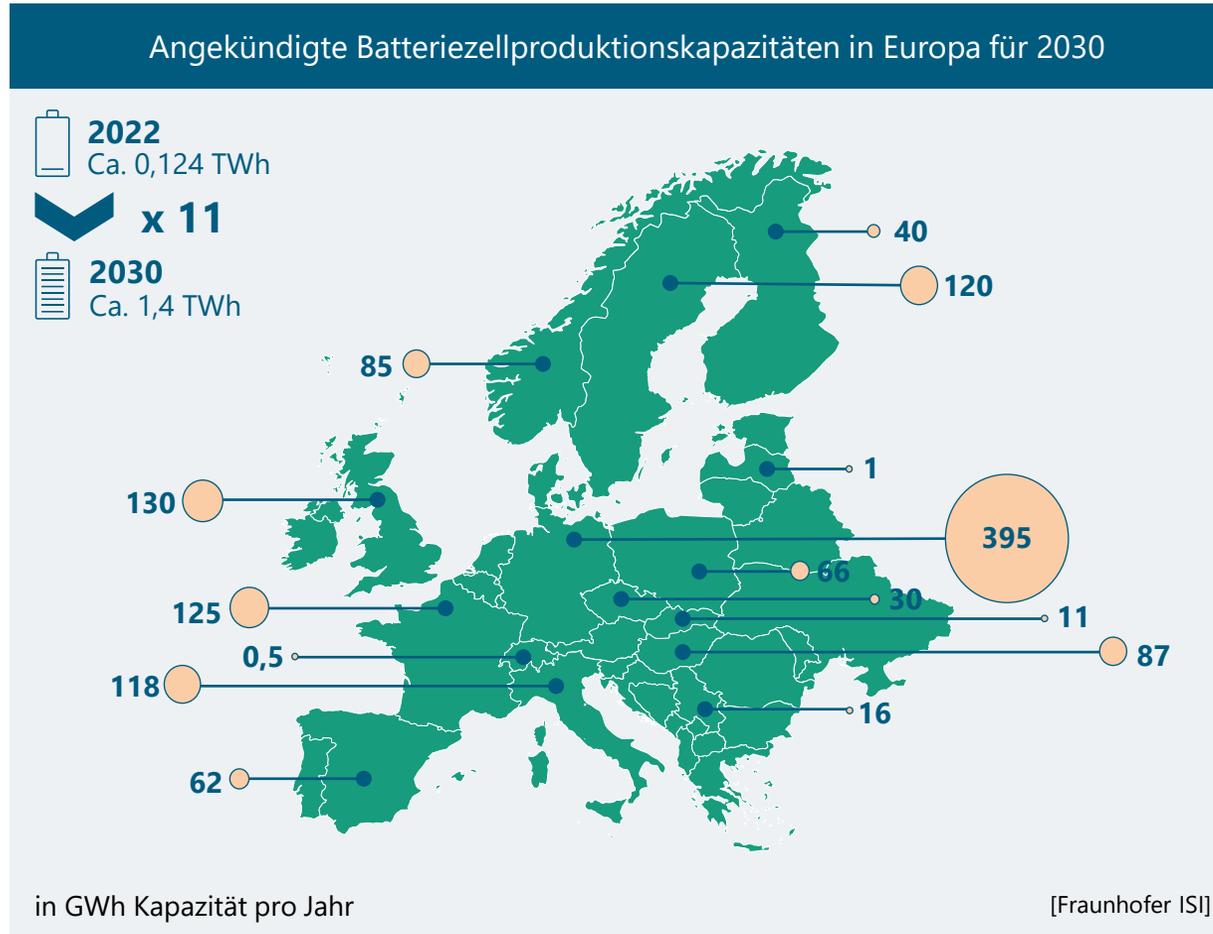
- Wärme kann mit Erdgas erzeugt werden
- Lösungen ermöglichen niedrigere Temperaturen im Trocknungsprozess
- Dadurch energieeffizienter **Erwärmung mittels HT-Wärmepumpen** möglich
- „Battery Passport“ ab 2026 in der EU wird nachhaltige Batterien erfordern



Energieverbrauch einer Batteriezellfertigung

# Energiebedarf der Batteriezellfertigung

## Überblick Europa und Deutschland



**400.000.000**

kWh/a



**50** **Energiefaktor**

kWh/kWh

kWh Energie pro kWh Batteriezelle



**20.000.000.000**

kWh/a



**482 TWh**

2022 in Deutschland

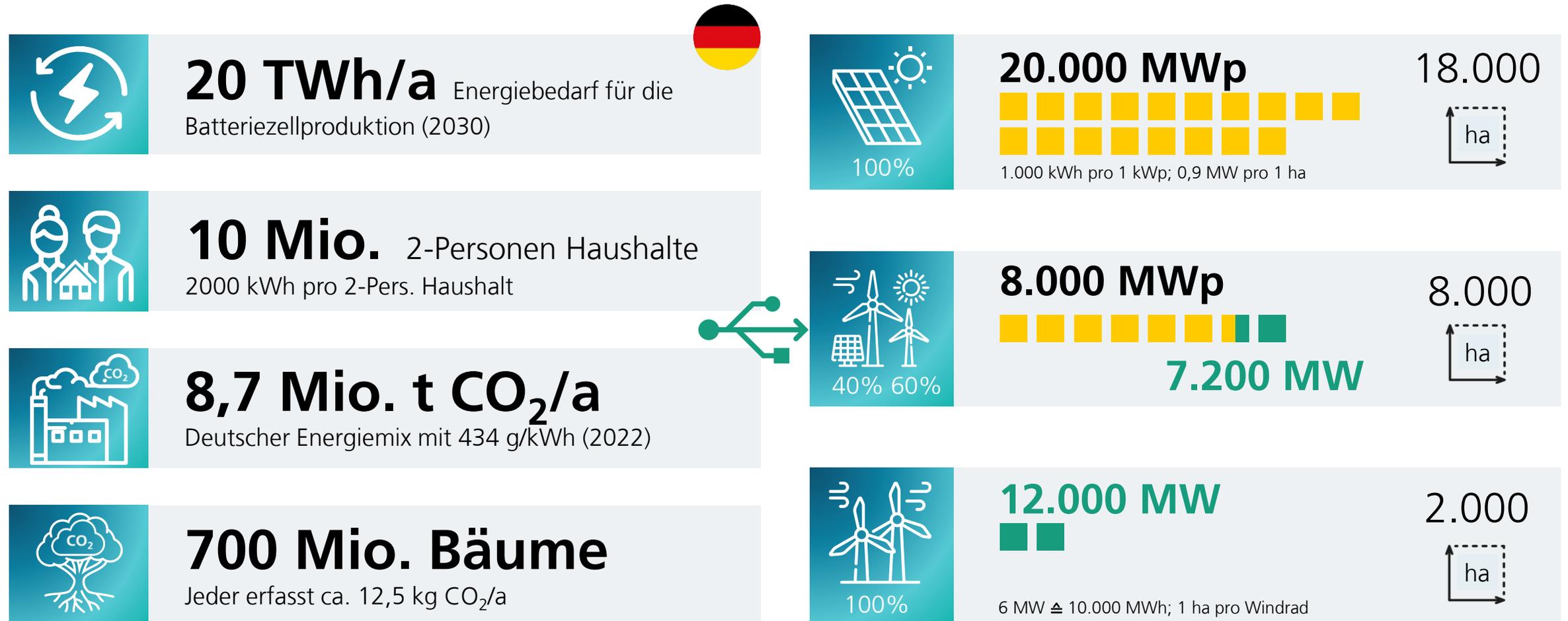
**+4%**

2030 durch Zellproduktion



# Auswirkungen auf die deutsche Energiewende zu erneuerbaren Energien

## Herausforderungen der EU-Batteriezellenproduktion

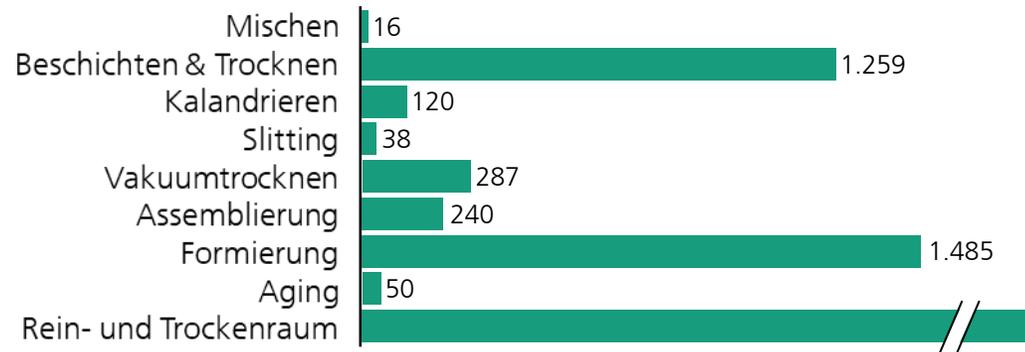


# Energiebedarf der Fraunhofer FFB

## Energieintensive Produktionsprozesse

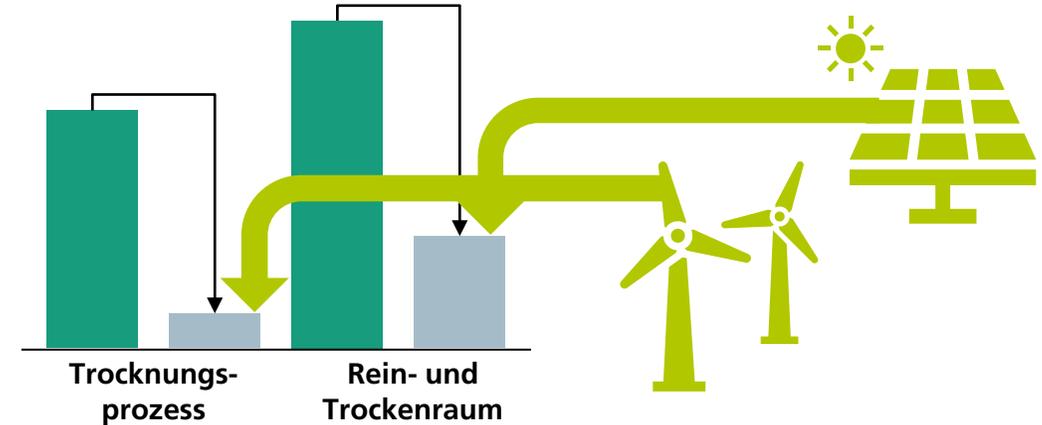
### HERAUSFORDERUNGEN

#### Energiebedarf [kWh]



- Energiebedarf der Batteriezellfertigung wird insbesondere durch den **Rein- und Trockenraum** sowie dem **Trocknungsprozess** geprägt (>80%).
- Konventionelle Prozesstechnologien haben eine **geringe Effizienz**.

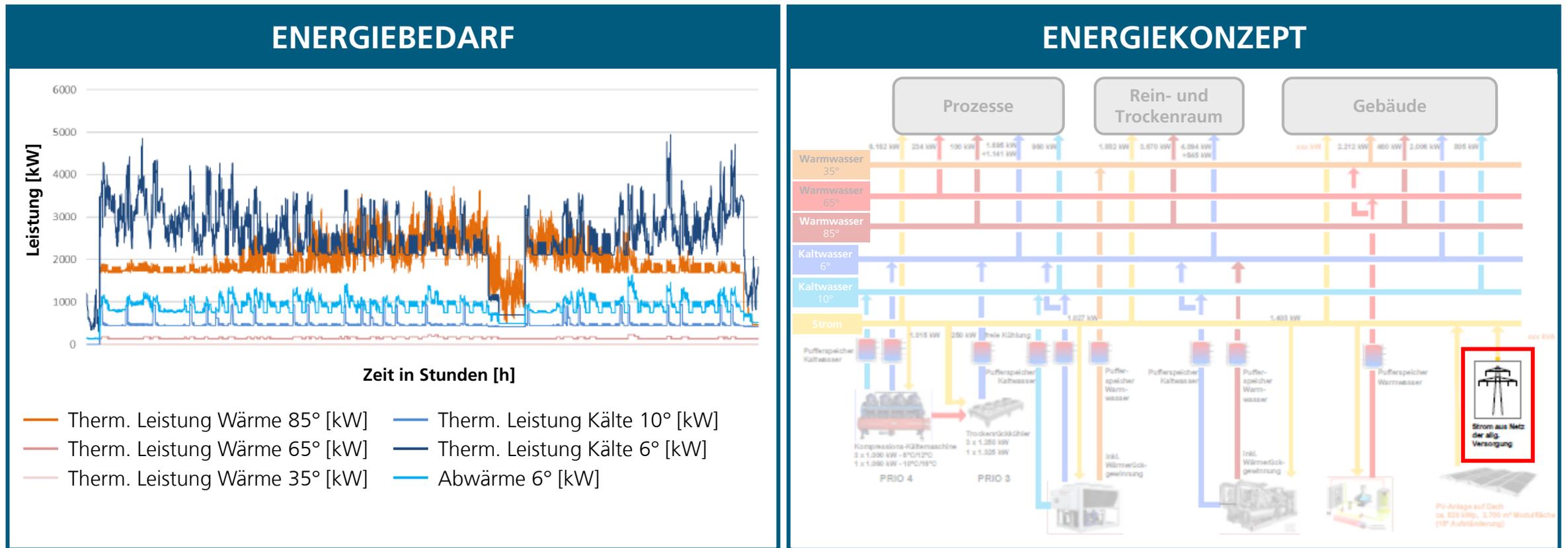
### CHANCEN



- Innovative **Trocknungstechnologien** (Infrarot, Laser) reduzieren den Energiebedarf um bis zu 85%.
- **Mini-Environments** reduzieren das Volumen um bis zu 56% und schränken den Einfluss des Menschen ein.

# Energiebedarf der Fraunhofer FFB

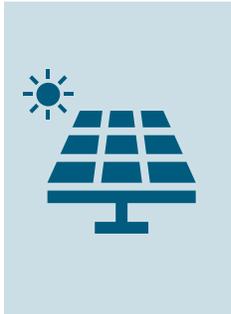
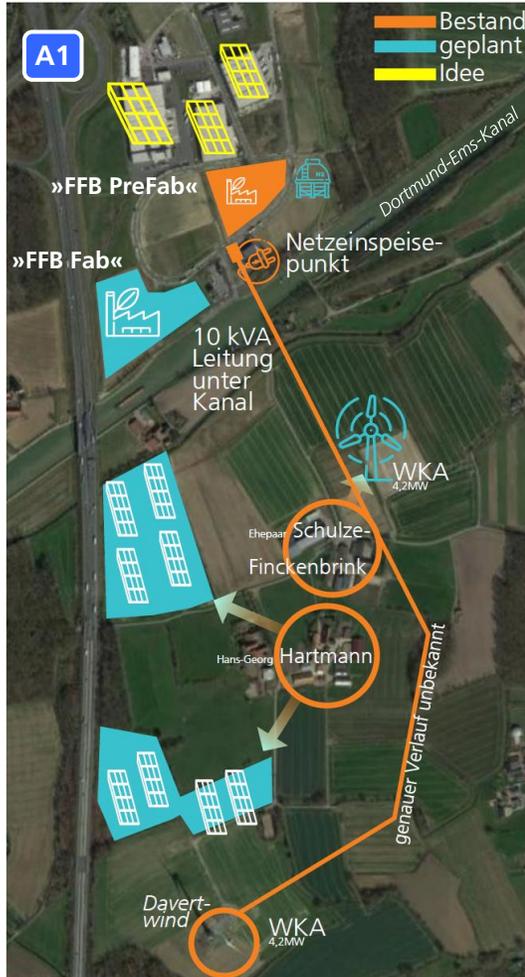
## Wärme- und Kälteerzeugung



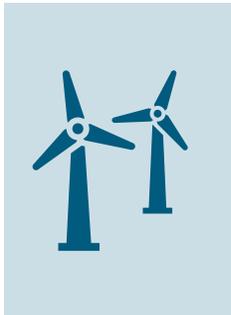
Das Energiekonzept der »FFB Fab« erfolgt auf Basis elektrischer Stromversorgung mit Integration von Hochtemperaturwärmepumpen zur Erzeugung der Wärme für Rein- und Trockenräume.

# Energiekonzept der Fraunhofer FFB

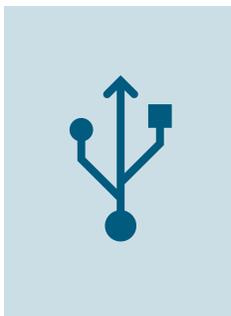
## Einbindung lokaler regenerativer Energieerzeuger



- Photovoltaik (PV)-Anlage auf dem Dach der »FFB PreFab« und »FFB Fab«
- Einbindung lokaler PV-Anlagen (z.T. Agri-PV)
- Nutzung weiterer Dachflächen zur Aufstellung von PV-Anlagen



- Einbindung lokaler Windkraftanlagen (WKA)
- Erweiterung der WKA am Standort



- Möglichst direkte Einspeisung der regenerativen Energien über einen PPA-Vertrag mit Erzeugern



# Energiekonzept der Fraunhofer FFB

## Einbindung eines stationären Energiespeichers

Ministerium für Wirtschaft, Innovation,  
Digitalisierung und Energie  
des Landes Nordrhein-Westfalen



 **Fraunhofer**



© ARTVISU Artur Krause



© evannovostro - stock.adobe.com

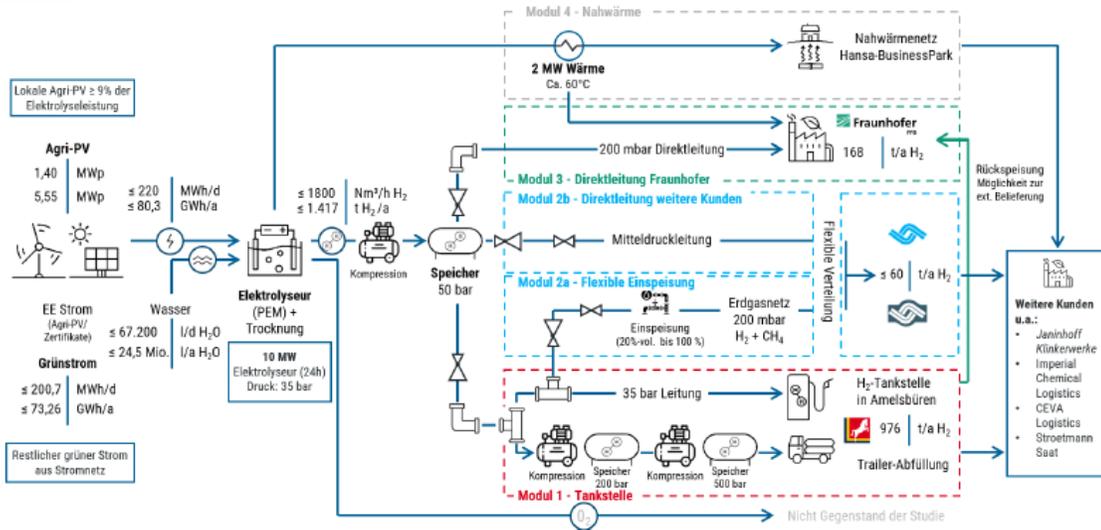
- Zur Reduzierung der **Spitzenleistung** („Peak Shaving“) wird ein stationärer Speicher in das Energiekonzept der »FFB Fab« eingebunden.
- In Zeitperioden mit höherer Last (Verbrauch) wird der stationäre Speicher entladen, dadurch reduziert sich das zu zahlende **Netzentgelt**.

### Kenndaten stationärer Speicher:

- 2 Container mit je **1,2 MWh** und **ca. 1.300 kVA**
- Maße **40-Fuß-Container**: ca. 12x3x2 (LxBxH in m)
- Ausstattung durch **Zellen** der Fraunhofer FFB (Technologievergleich unterschiedlicher Zellchemien, z.B. Li-Ionen vs. Na-Ionen).

# Energiekonzept der Fraunhofer FFB

## Wasserstoff als Alternative zur Wärmeerzeugung der Rein- und Trockenräume



Quelle: Machbarkeitsstudie zur Wasserstoffherzeugung und -nutzung im Hansa-BusinessPark, EE Energy Engineers (2023)

- Erzeugung von Wasserstoff am Standort Hansa-BusinessPark.
- Nutzung des Wasserstoffs über Direktleitung an die Fraunhofer FFB zur Versorgung der Trockenöfen und Entfeuchter der Rein- und Trockenräume.



Westfalen



### Kenndaten Wasserstoffherzeugung und -nutzung:

- Elektrolyseur (PEM): 10 MW
- Versorgung mit Grünstrom



4  
Zusammenfassung

# Keine Energiewende ohne Energiespeicher

## Zusammenfassung



### Batterietechnologie

- **Lithium-Ionen**-Batterie als derzeit leistungsfähigste Batterietechnologie
- Verschiedene **Nutzergruppen** - verschiedene **Anforderungen**
- **Funktionsprinzip**: Reversibler Transport von Lithium-Ionen und Austausch von Elektronen
- Drei **Zellformate**: zylindrisch bzw. rund, prismatisch, Pouch
- Starkes **Wachstum** des Bedarfes an und der Produktionskapazitäten für Batteriezellen bis 2030, maßgeblich getrieben durch Mobilitätssektor
- Bisher meiste **Player** in Asien, aber starkes Wachstum in Europa



### Energiekonzept

- Hoher **Energiebedarf** zur Fertigung von Batteriezellen
- Forschungsziel ist die Reduzierung des Energiebedarfs durch **innovative Produktionsprozesse**
- **Energiekonzept**: regenerative Energieerzeugung und HT-Wärmepumpen
- Alternative Konzepte mit Einbindung eines stationären Energiespeichers für **Peak-Shaving** und **Wasserstoff** als Brenngas für die Rein- und Trockenräume

# Die Fraunhofer FFB und ihre Standortpartner

---



# Förderung

---

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung**

Gefördert durch:

**Ministerium für Wirtschaft,  
Industrie, Klimaschutz und Energie  
des Landes Nordrhein-Westfalen**



**Ministerium für  
Kultur und Wissenschaft  
des Landes Nordrhein-Westfalen**



Das Projekt »Forschungsfertigung Batteriezelle (FoFeBat)« wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert (Förderkennzeichen: 03XP0256, 03XP0416, 03XP0501A)

# Kontakt

---

**Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB**

**Dr. Saskia Wessel**

**Bereichsleiterin »Produkt- und Produktionstechnologie«**

**Telefon: +49 241 8904-610**

**Mobil: +49 173 20 14 176**

**[Saskia.Wessel@ffb.fraunhofer.de](mailto:Saskia.Wessel@ffb.fraunhofer.de)**

Fraunhofer FFB  
Bergiusstraße 8  
48165 Münster  
[www.ffb.fraunhofer.de](http://www.ffb.fraunhofer.de)