

Vom Material zum Batteriemodul

Forschung an alternativen Batterietechnologien zur Lithium-Ionen-Technologie für stationäre Anwendungen

Dr.-Ing. Oliver Fitz

Bauzentrum München – Online Forum: Innovative Perspektiven für Solarstromspeicher

München, 19.03.2024

www.ise.fraunhofer.de

Vorstellung Referent



Dr.-Ing. Oliver Fitz

Gruppenleiter Batteriezelltechnologie,
Abteilung Elektrische Energiespeicher,
Fraunhofer ISE, Freiburg

am Fraunhofer ISE seit 01/2018

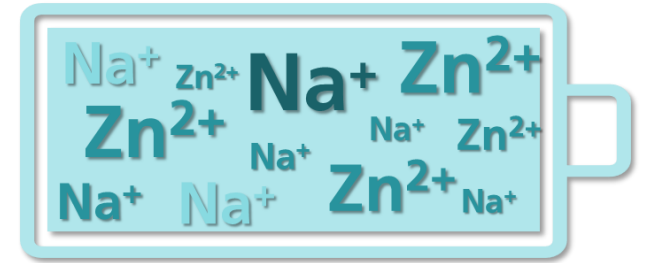
Studium: Umweltschutztechnik B. Sc./Energietechnik M. Sc., Universität Stuttgart

Forschung: Promotion *Zink-Ionen-Batterien mit wasserbasierten Elektrolyten*, Universität Stuttgart

Projektleitung/-koordination verschiedener Projekte im Bereich Natrium-/Zink-Ionen-Technologie

Agenda

- ❖ Vorstellung Fraunhofer ISE – Abteilung Elektrische Energiespeicher
- ❖ Lithium-Ionen Technologie – Risiken & Herausforderungen
- ❖ Alternative Technologien für stationäre Anwendungen – Fokus auf...
 - ❖ ... Natrium-Ionen-Technologie
 - ❖ ... Zink-Ionen-Technologie
- ❖ Batterieforschung: moderne Ansätze mittels KI
- ❖ Zusammenfassung





Vorstellung Fraunhofer ISE

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

Vorstellung



Institutsleiter:

Prof. Dr. Hans-Martin Henning
Prof. Dr. Andreas Bett

Mitarbeiter: ca. 1400

Gegründet 1981

Photovoltaik

Silizium-Photovoltaik
III-V und Konzentrator-Photovoltaik
Perowskit und organische Photovoltaik
Photovoltaikmodule und Kraftwerke

Energieeffiziente Gebäude

Solarthermische Kraftwerke und industrielle
Prozesse

Wasserstofftechnologien und **Elektrische
Energiespeicherung**

Leistungselektronik, Netze und Intelligente
Systeme

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

Abteilung Elektrische Energiespeicher

Batteriematerialien
und -Zellen



Batteriesystemtechnik



Produktionstechno-
logie für Batterien



Technologiebewertung



Batterieintegration
und Betriebsführung



Ausrüstung und Infrastruktur zur Charakterisierung von Batteriematerialien, Zellen und Modulen

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

Abteilung Elektrische Energiespeicher

gefördert durch:



Im Freiburger Süden gelegen – auf der Haid

Gesamtfläche ca. 5500 m²

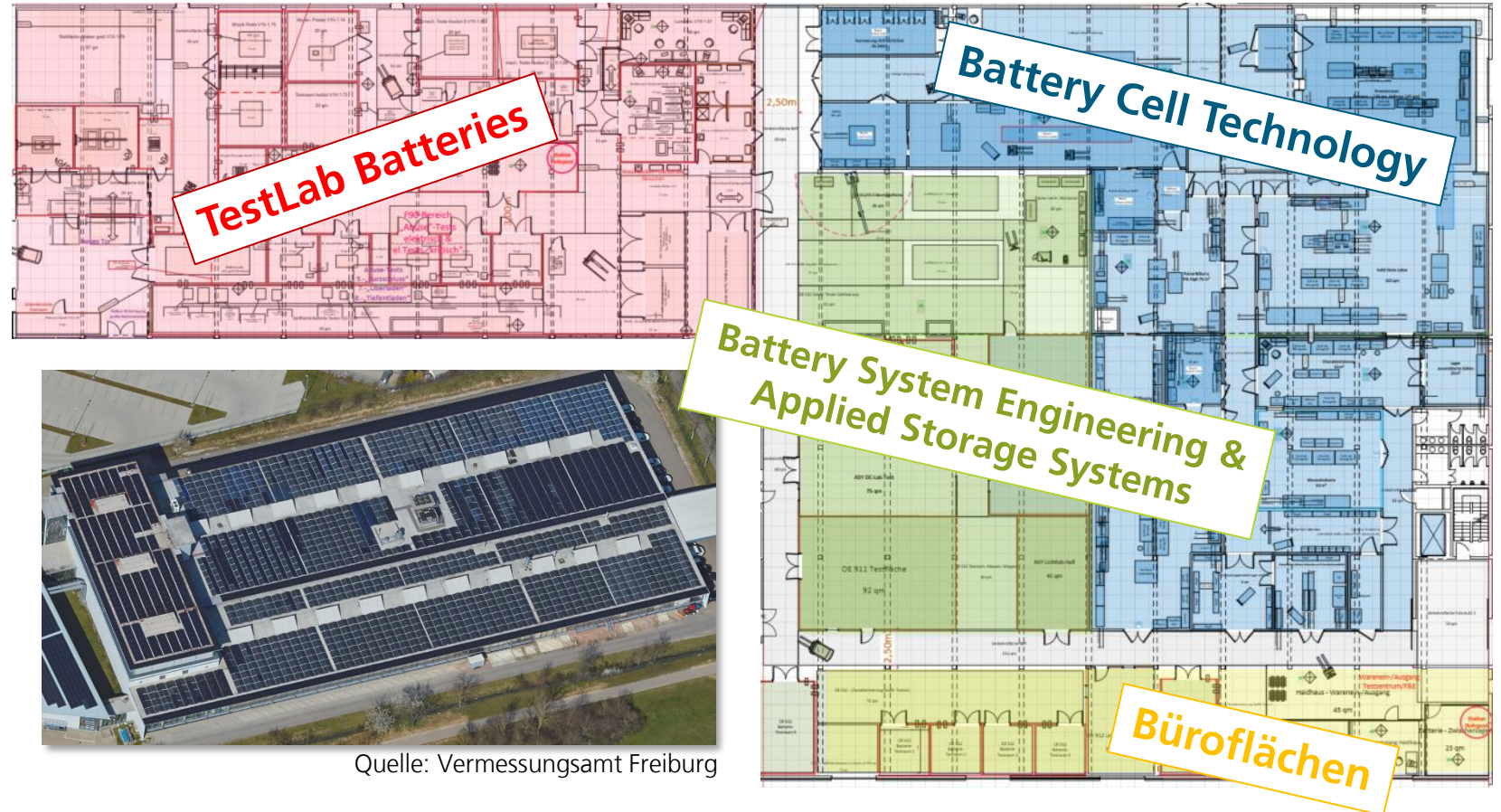
Alle Forschungsgruppen (perspektivisch) an einem Standort

bereits eingezogen

- **Battery Cell Technology**
- **TestLab Batteries**

noch im Bauprozess

- **Battery System Engineering & Applied Storage Systems**
- **Büroflächen**

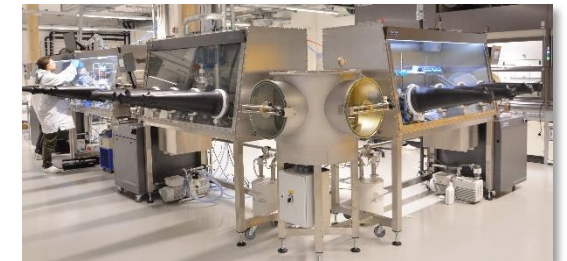
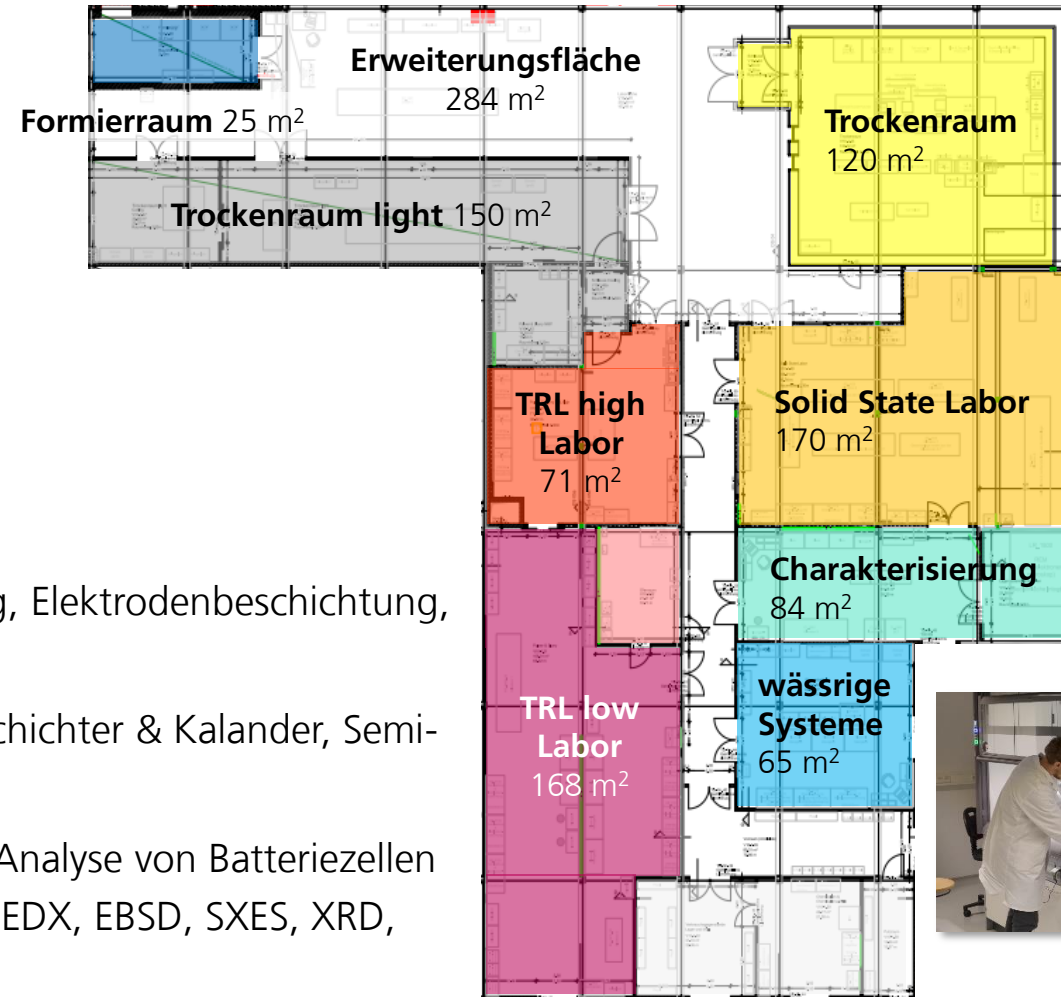


Abteilung Elektrische Energiespeicher

Laborflächen der Batteriezelltechnologie

ca. **1140 m² Laborfläche**

- Zelltechnologien:
 - **Lithium-Ionen-Batterien**
 - **Natrium-Ionen-Batterien**
 - **Zink-Ionen-Batterien**
 - **Lithium-Solid-State-Batterien**
- Pulververarbeitung, Slurry-Herstellung, Elektrodenbeschichtung, Zellbau
- **Trockenräume** → Rolle-zu-Rolle-Beschichter & Kalander, Semi-automatische Pouch-Zell-Fertigung
- **Charakterisierung** → Post-Mortem-Analyse von Batteriezellen und Materialcharakterisierung (REM+EDX, EBSD, SXES, XRD, ICP-OES, etc)



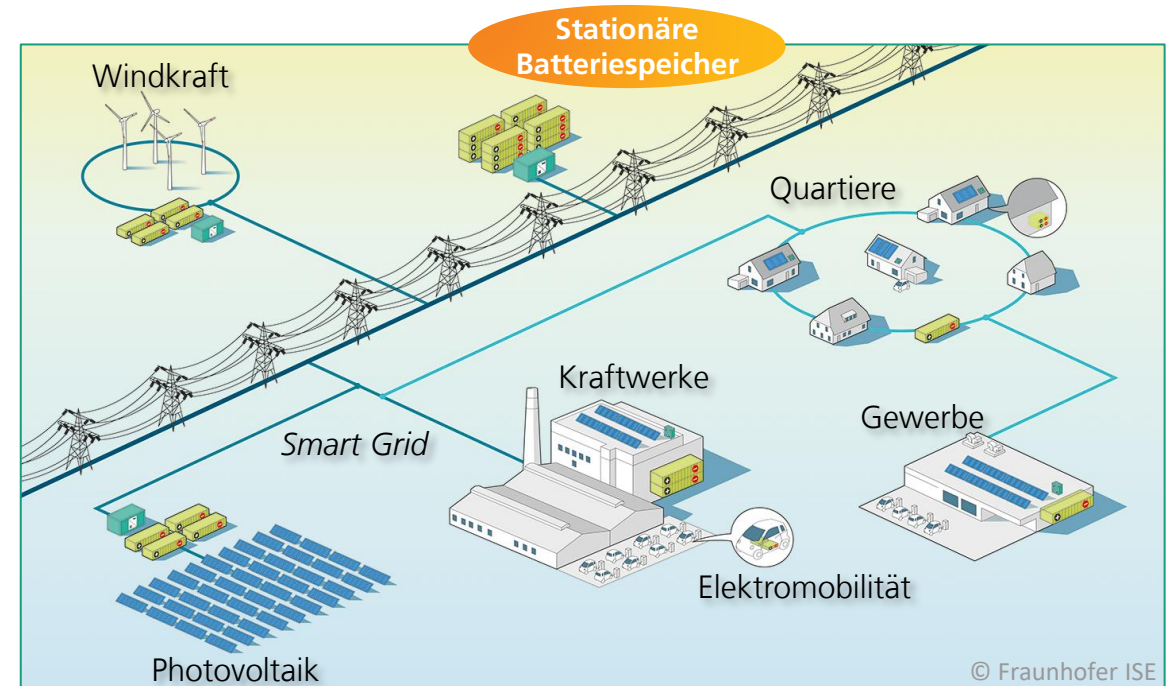
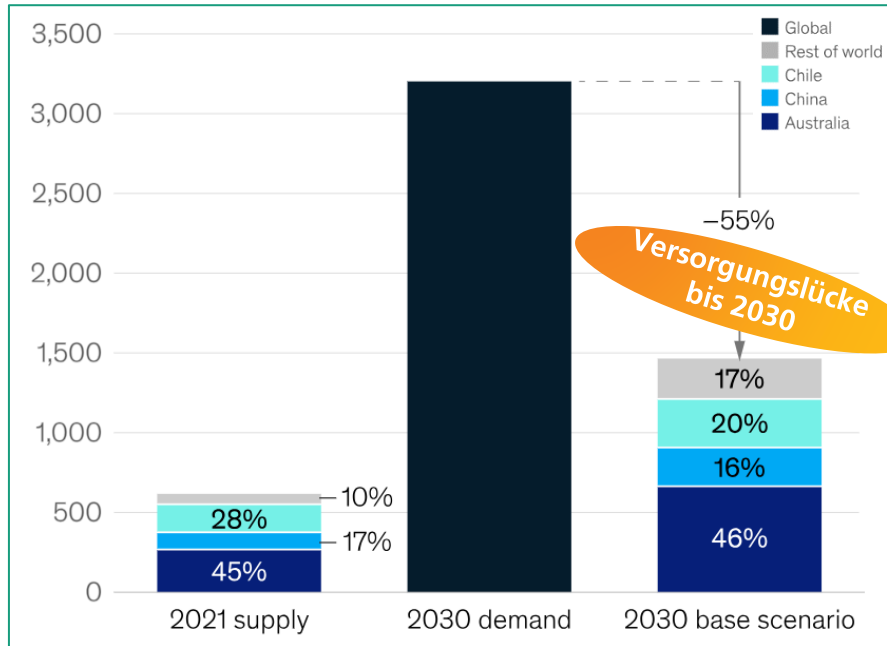


Lithium-Ionen-Technologie – Risiken & Herausforderungen

Lithium-Ionen-Technologie

Risiken & Herausforderungen

Li_2CO_3 Versorgung 2021 vs. Vorhersage 2030 in kt



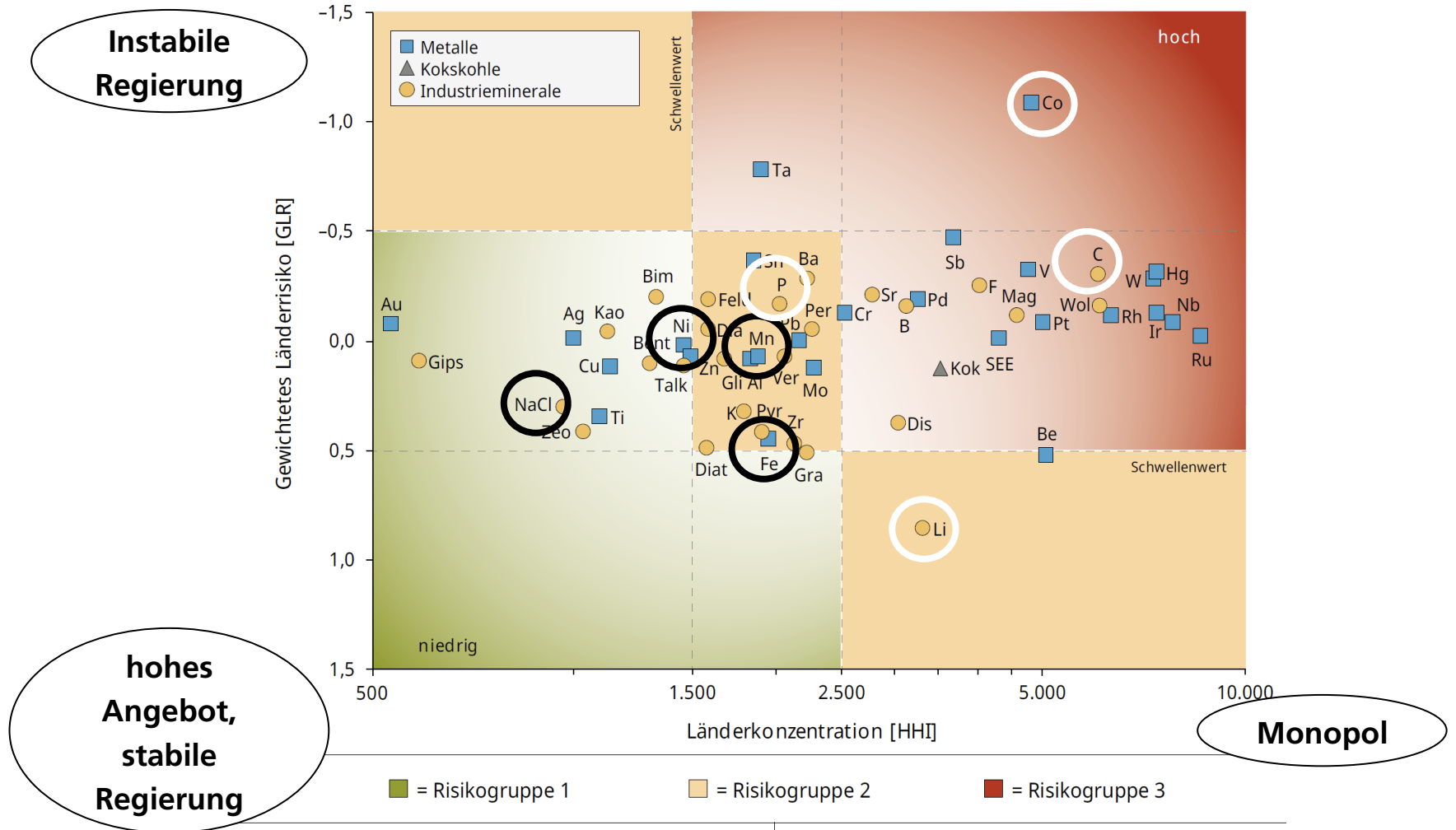
- Rohstoff- & Lieferkettenproblematik
- Sicherheitsproblematik (insb. stationäre Anwendungen)

- Energie-Zwischenspeicherung im Stromnetz durch zunehmende Einspeisung fluktuierender erneuerbarer Energien
- Versorgungssicherheit für Endnutzer, hoher Marktbedarf

Lithium-Ionen-Technologie

Risiken & Herausforderungen

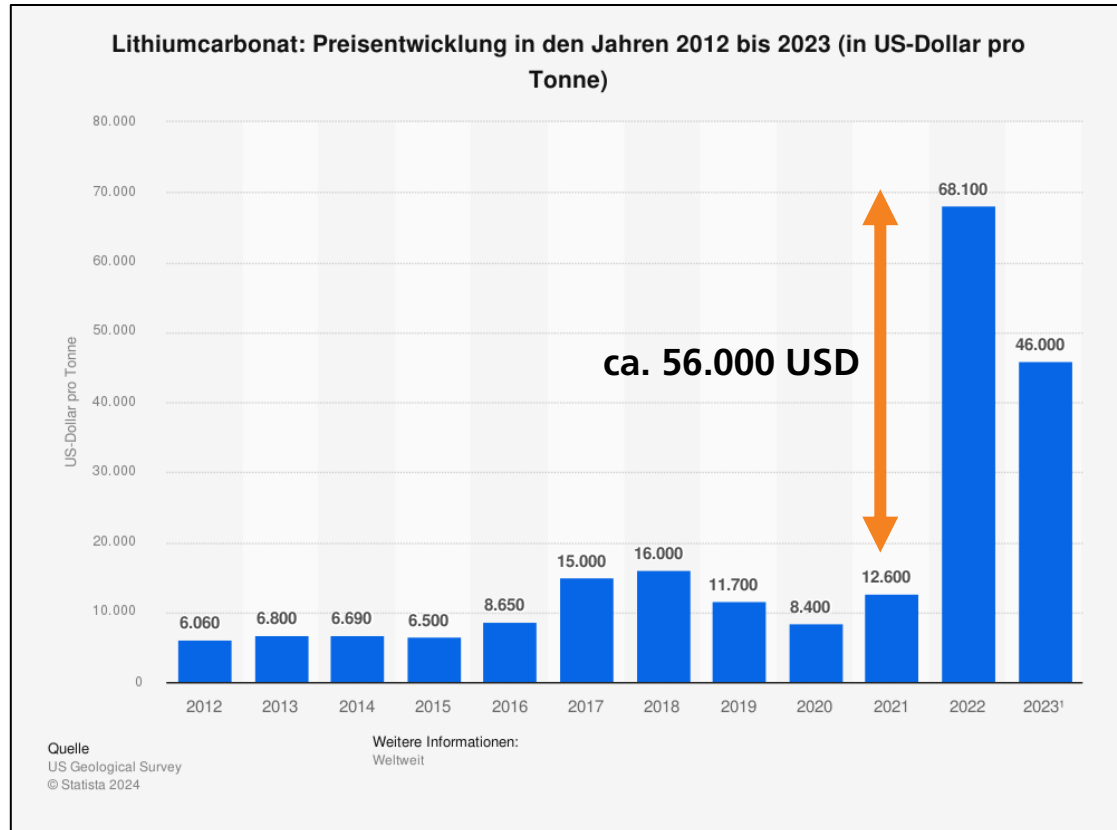
- DERA-Rohstoffliste:
Sichtweise Deutschland
- Lithium-Ionen-Technologie:
hohe Anzahl an Rohstoffen
mit kritischer Einstufung



Lithium-Ionen-Technologie

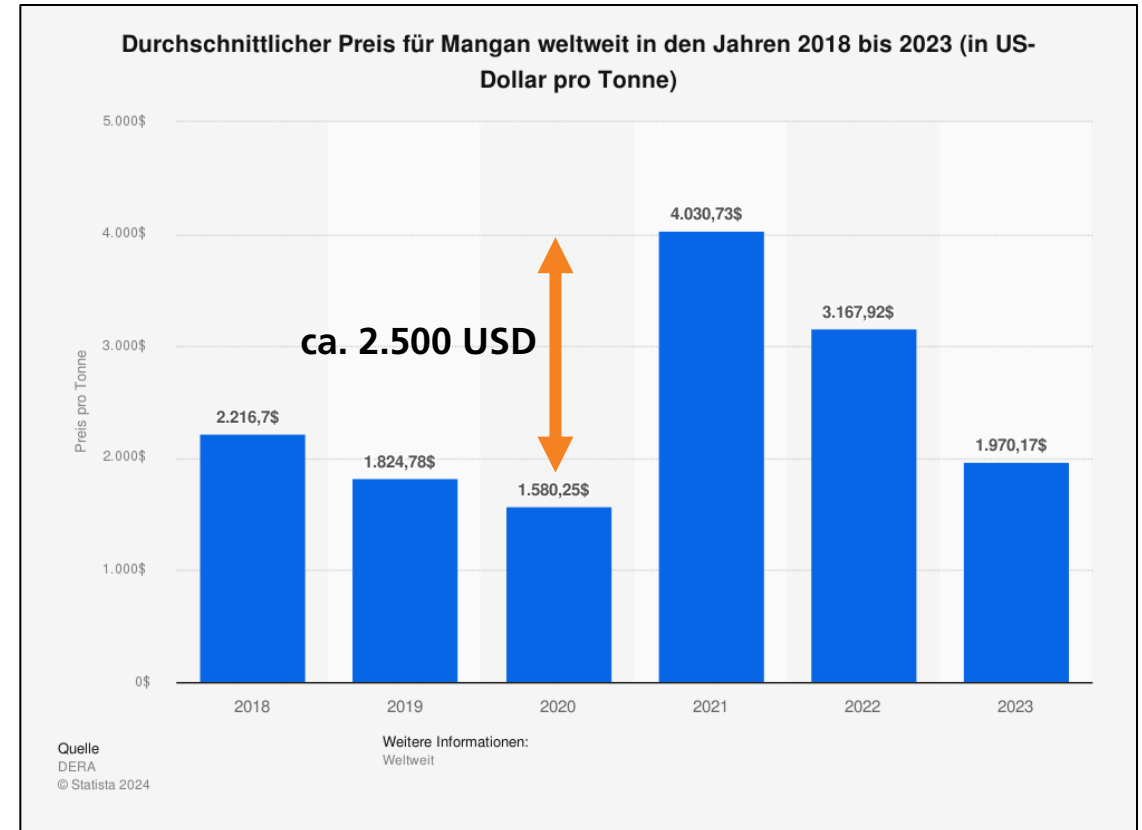
Risiken & Herausforderungen

Lithiumcarbonat



US Geological Survey. (31. Januar, 2024). Lithiumcarbonat: Preisentwicklung in den Jahren 2012 bis 2023 (in US-Dollar pro Tonne) [Graph]. In *Statista*. Zugriff am 18. März 2024, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1323981/umfrage/preisentwicklung-fuer-lithiumcarbonat/>

Mangan



DERA. (22. Januar, 2024). Durchschnittlicher Preis für Mangan weltweit in den Jahren 2018 bis 2023 (in US-Dollar pro Tonne) [Graph]. In *Statista*. Zugriff am 18. März 2024, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1361220/umfrage/durchschnittlicher-preis-fuer-graphit-weltweit/>

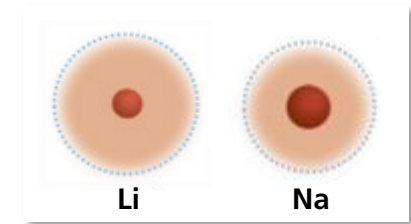


Alternative Technologien für stationäre Anwendungen

Natrium-Ionen-Batterie

Alternative Technologien für stationäre Anwendungen

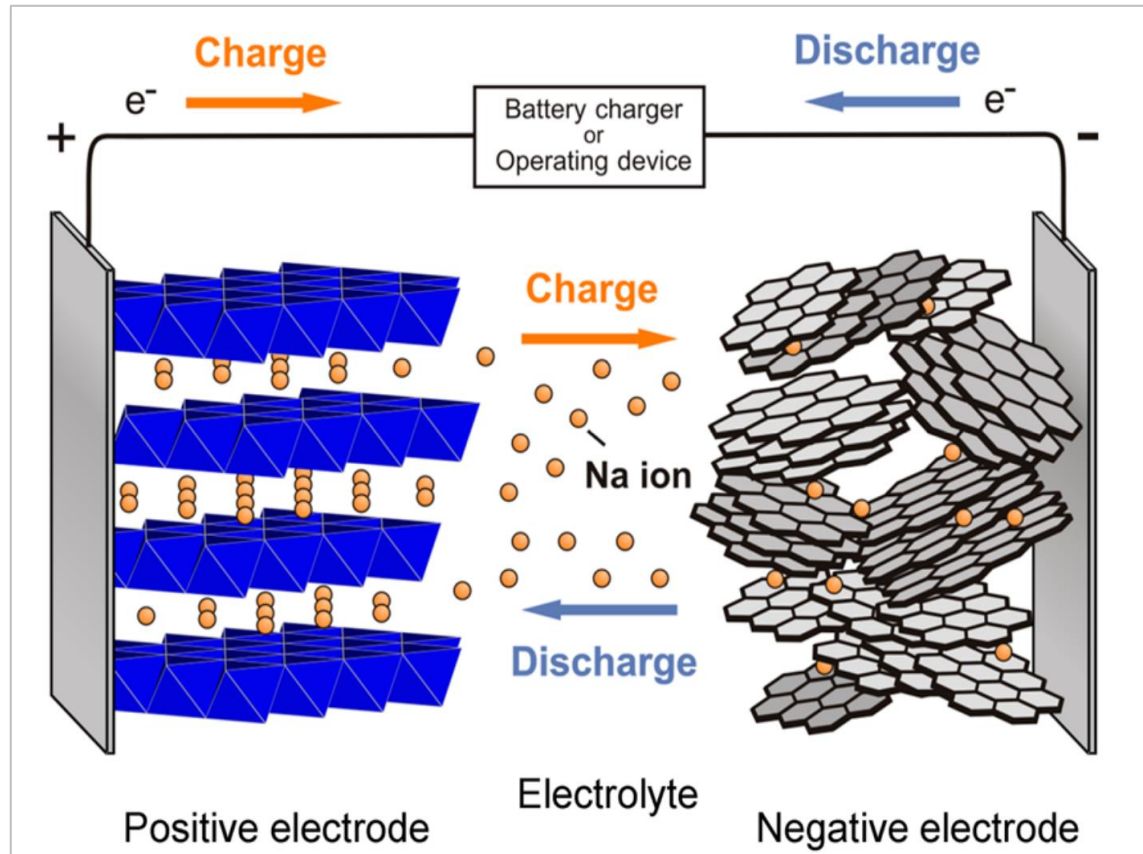
Natrium-Ionen-Technologie



	Lithium	Natrium	
Molekulare Masse (g/mol)	6,94	22,99	geringere Energiedichte
Ionischer Radius (Å) (CN=6)	0,76	1,02	
Stokes Radius in PC (Å)	4,8	4,6	kleinerer Radius → bessere Beweglichkeit im Elektrolyten
Desolvatisierungsenergie in PC (kJ/mol)	215,8	158,2	Vorteil beim Ladungstransfer an Grenzfläche Elektrode/Elektrolyt
E⁰ vs. SHE (V)	-3,04	-2,71	geringere Zellspannung

Alternative Technologien für stationäre Anwendungen

Natrium-Ionen-Technologie



„Rocking-Chair“-Prinzip

Kathode

- **Preußisch-Blau-Analoga** (z.B. $Na_2Mn[Fe(CN)_6]$)
- **Schichtoxide** (z.B. $NaMO_2$ mit $M=Mn, Fe, Ni, Ti, Cu, Co, \dots$)
- Polyanionische Verbindungen (z.B. $Na_3V_2(PO_4)_3$ – NASICON)

Anode

- **Hard Carbon** → biologische/synthetische Reststoffen
- Metalloxide (z.B. Titanate)

Stromableiter → **Aluminium** für beide Elektroden

Elektrolyt

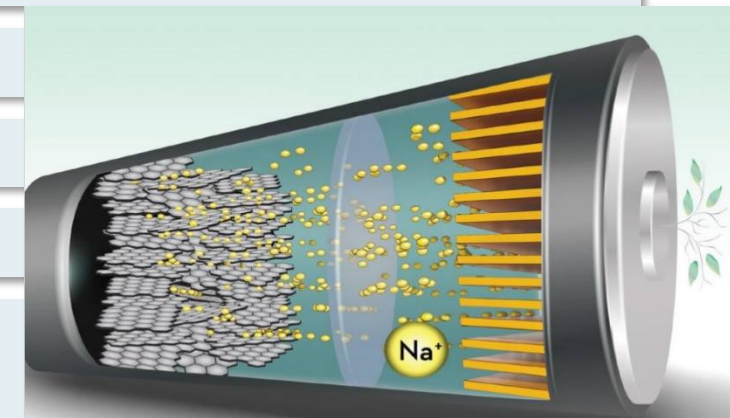
- **organischer Elektrolyt** mit Na^+ -Leitsatz (z.B. $NaPF_6$ in PC)

Separatoren und Zellgehäuse → gleiche Materialien wie LIB

Alternative Technologien für stationäre Anwendungen

Natrium-Ionen-Technologie

	Natrium-Ionen-Batterie	vs.	Lithium-Ionen-Batterie
Energiedichte	▪ 160-190 Wh/kg (CATL)		▪ >265 Wh/kg
Material	▪ Rohstoffverfügbarkeit , Materialkosten		▪ Lieferketten-Problematik
Produktion	▪ Anwendbarkeit LIB-Produktionsverfahren ▪ Dickschicht-Elektroden möglich		▪ etablierte Produktionsverfahren, Dünnschicht-Elektroden
Sicherheit	▪ vereinfachte Handhabung ("0 V" möglich)		▪ Sicherheitsproblematik
System	▪ optimierte Systemintegration		▪ Peripherie
Leistung	▪ Schnellladefähigkeit		▪ C-Raten-Sensibilität
Temperatur	▪ Kaltstartfähigkeit (bis -20°C)		▪ Temperatur-Sensibilität
Anwendungs- gebieten	▪ Ersatz von Blei-Säure-Batterien, Kleinwagen		▪ Gesamte Automobi- lindustrie, Consumers

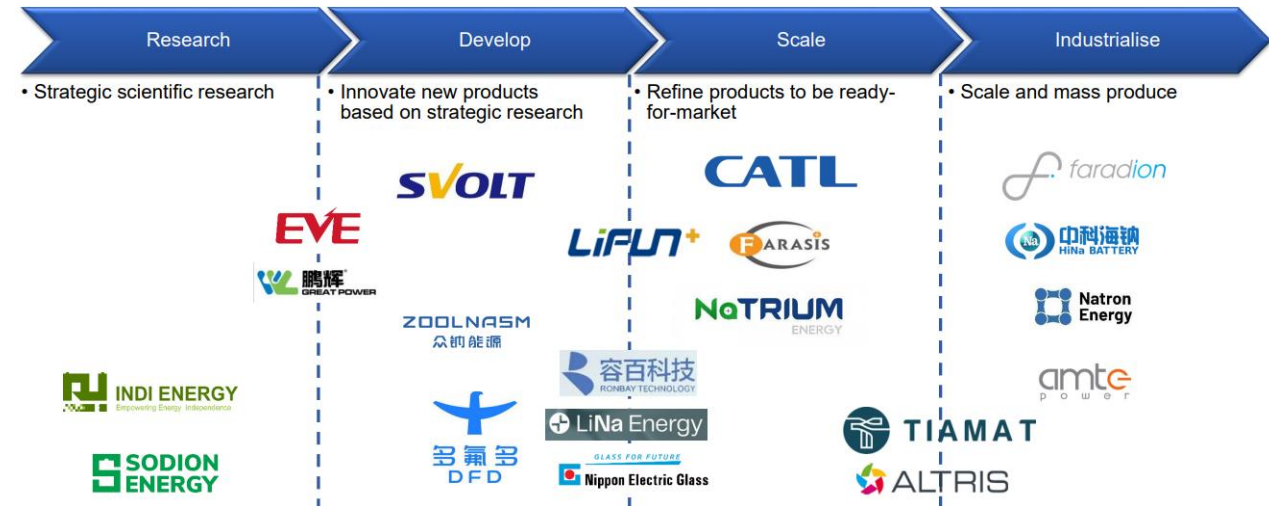
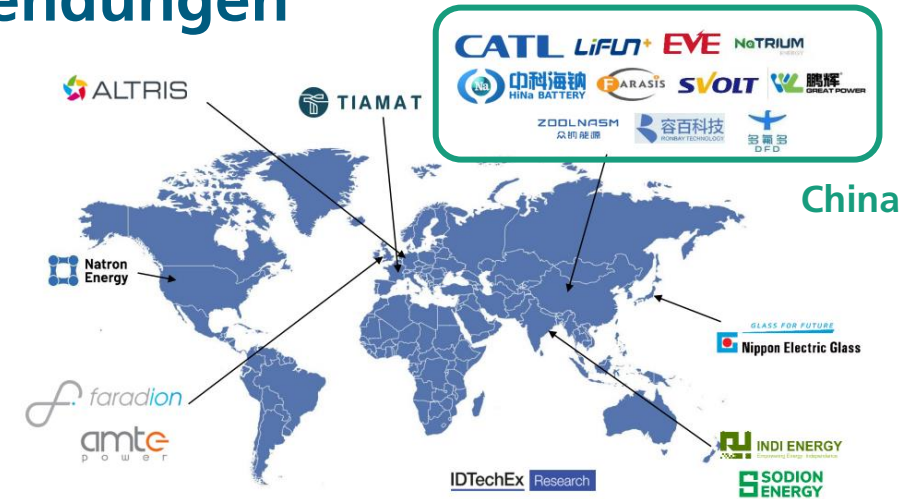


Bildquelle: Titrici, Adelhelm, Hu: Sodium-Ion-Batteries, 2022.

Alternative Technologien für stationäre Anwendungen

Natrium-Ionen-Technologie: Marktsituation

- Natrium-Ionen-Technologie auf dem Weg in den Markt
- **Kostensenkung** im Vordergrund:
 - Steigerung der Energiedichte
 - Rohstoffsicherheit, stabile Lieferketten
 - Aufbau von Produktionskapazität
 - Kostenreduktion durch Skalierung



Alternative Technologien für stationäre Anwendungen

Natrium-Ionen-Technologie - Projektbeispiele

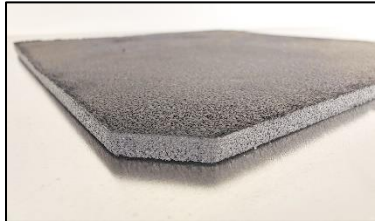
PRONTO – Produktion von Natrium-Ionen-Batterien in Baden-Württemberg

FKZ WM34-42-57/19, 11/2022-12/2025,

- Projektpartner: Fraunhofer ISE, Karlsruher Institut für Technology (KIT), Universität Stuttgart

Zentrale Ziele:

- Materialentwicklung
- Elektrodenherstellung
- Prototypenherstellung (bipolarer Aufbau)
- Modellierung für Zelloptimierung



VORAN – Innovative Natrium-Ionen-Batteriespeicher für stationäre und mobile Anwendungen

FKZ 03EI4080B, 01/2024-12/2026,

- Projektpartner: Fraunhofer ISE, KIT, acp systems AG, Helmut Hechinger GmbH

Zentrale Ziele:

- Modulentwicklung, BMS/EMS, Gehäuse
- Aufbau & Betrieb Großserienproduktion nach Projektende
- Anwendung: z.B. Heim-/Industriespeicher, Netzpufferung, mobile Anwendungen



Gefördert durch:



Bipolarer
Aufbau

Flexibilität
Anwendung

Design-for-
Recycling

neue
Aktivmaterial-
strukturen

Trocken-
beschichtung

Dickschicht-
Elektroden

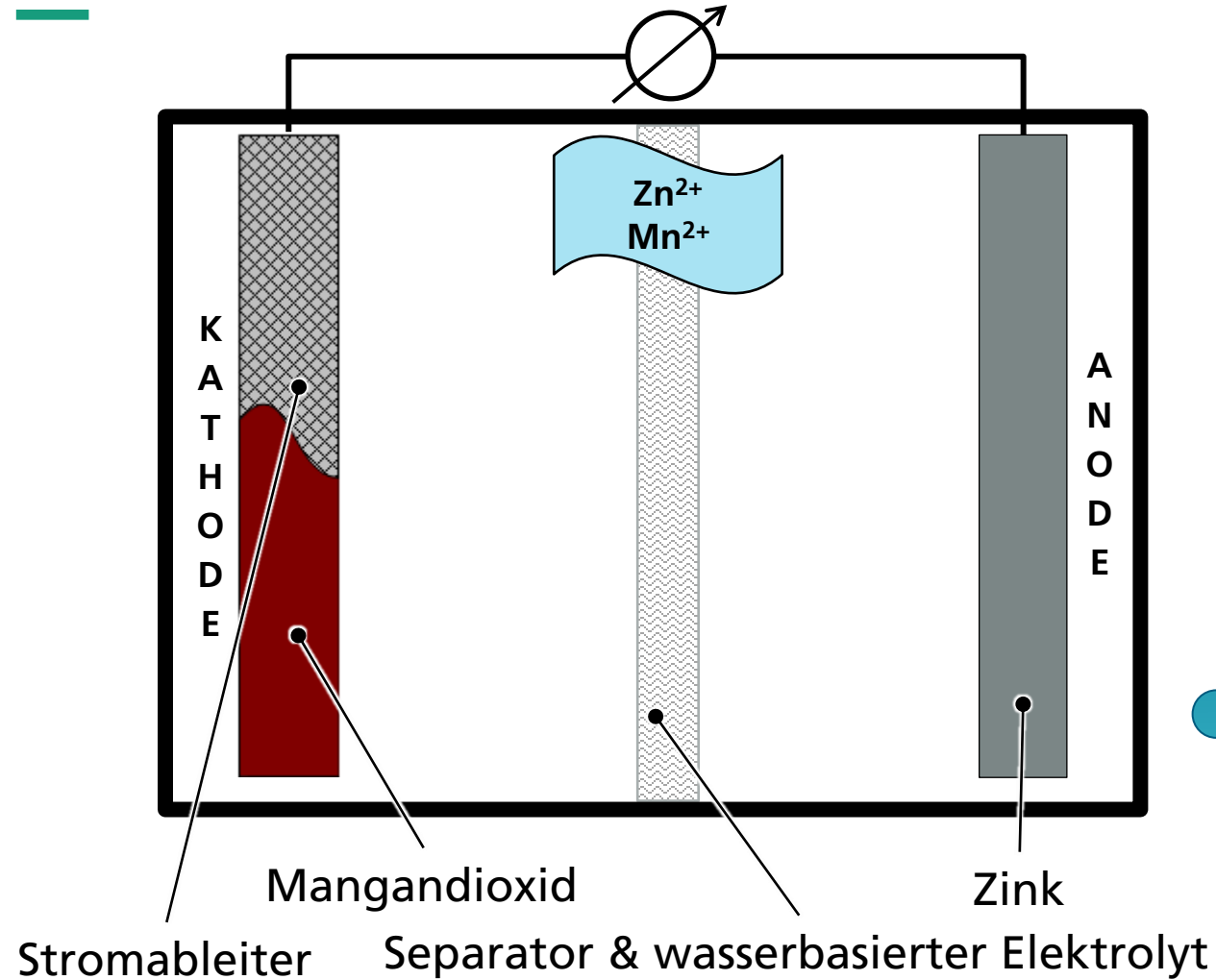


Alternative Technologien für stationäre Anwendungen

Zink-Ionen-Batterie

Alternative Technologien für stationäre Anwendungen

Zink-Ionen-Batterie

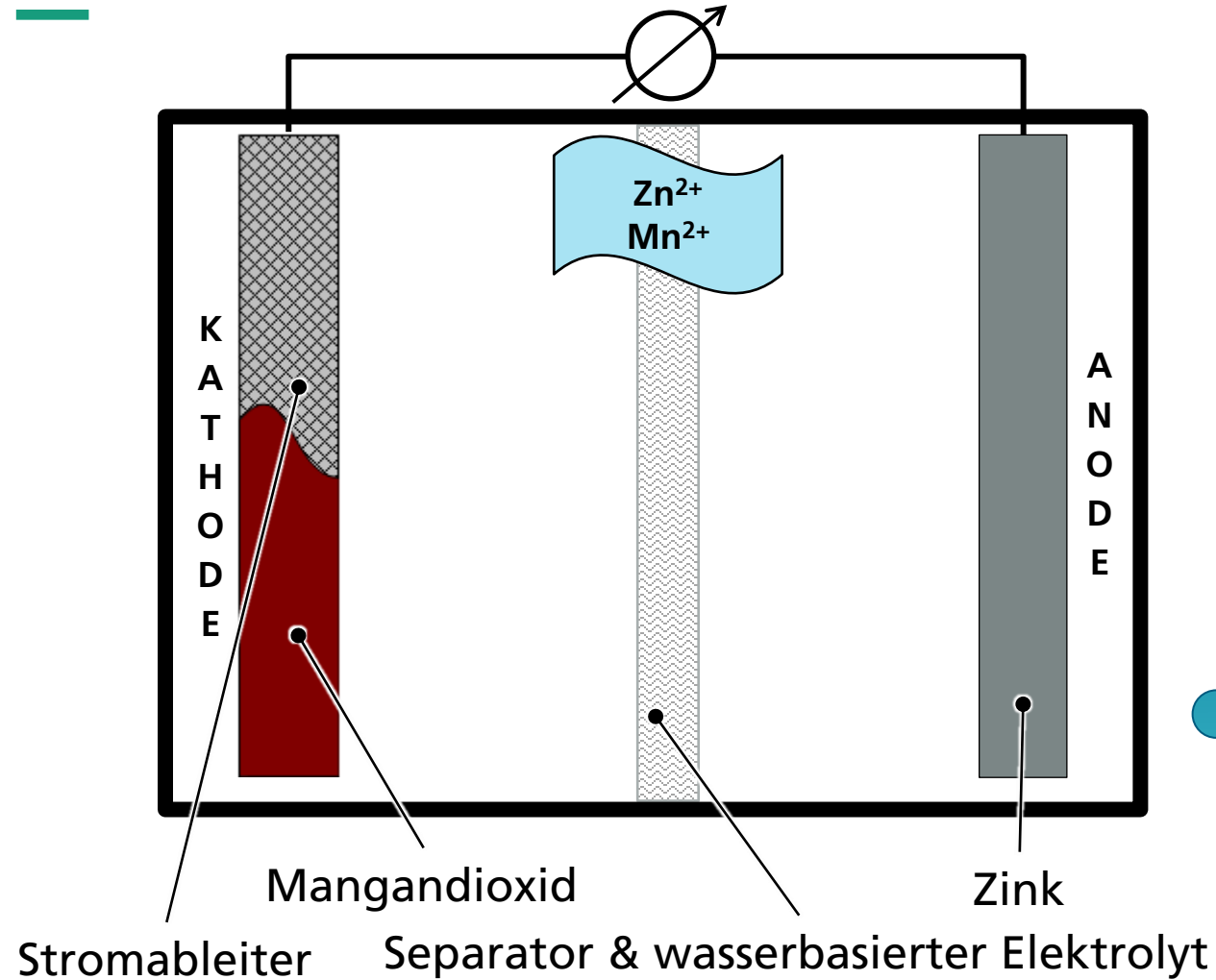


Zink-Mangandioxid-Batterie:

- **Leclanché-Element** ^[1] (1866):
NH₄Cl
Primärbatterie
- **Alkali-Mangan-Zelle** ^[1] (1960):
KOH
Primärbatterie
- **Zink-Ionen-Zelle** ^[2] (1988):
z.B. ZnSO₄ (pH <5)
Sekundärbatterie

Alternative Technologien für stationäre Anwendungen

Zink-Ionen-Batterie



Zink-Mangandioxid-Batterie:

- **Sicherheit:** wässriger Elektrolyt
- **Kosten:** Einsparpotential bei Herstellung & Materialien
- **Umweltverträglichkeit & Rohstoffverfügbarkeit:** Materialauswahl

Alternative Technologien für stationäre Anwendungen

Zink-Ionen-Batterie

Energiedichte

- **Aktivmaterialebene**

LIB (LFP) 380 Wh.kg⁻¹
ZIB (MnO₂) 75 Wh.kg⁻¹

- **Modulebene**

AM-Modul-Effizienz ~50 %
LIB (LFP) 200 Wh.kg⁻¹
ZIB (MnO₂) 50 Wh.kg⁻¹

Kosten

- **Kosteneinsparpotential**

Materialverfügbarkeit,
Beschichtungsprozess,
Produktionsbedingungen,
Sicherheit

- **LIB (LFP): 200 € kWh⁻¹**
ZIB (MnO₂): <100 € kWh⁻¹

[*]





Rohstoffsituation

- **Zink:** z.B. NL, SW, PL
>60% EOL-Recyclingrate
- **Mangan:**
z.B. GE, UA, NL, ES
- **Mangansulfat:**
Mangancarbonat +
Schwefelsäure
- **Zinksulfat:** Zink +
Schwefelsäure

[*] Abschätzungen basierend auf experimentellen Ergebnissen

Alternative Technologien für stationäre Anwendungen

Zink-Ionen-Technologie: Marktsituation

Name	Technologie	Stand der Technik	
Urban Electric Power USA, 2012	Zn//MnO ₂ , alkalischer Elektrolyt	<ul style="list-style-type: none">• Pilotprojekte (Größenordnung 20-1000 kWh)• 300-1000 Zyklen (bei DOD 50-10 %), C-Rate 1/2-1/24• Kostenangabe 50 \$/kWh pro Batterie	
Enerpoly AB Schweden, 2018	Zn//MnO ₂ saurer Elektrolyt (ZnSO ₄ /MnSO ₄)	<ul style="list-style-type: none">• Zellchemie basiert auf veröffentlichter Literatur• Patent für nanoporöse Zink-Schaum Anoden• bisheriger Stand: Zellkonzept	
Eos Energy Enterprises USA, 2008	Znyth ® Zn//X (X=Halogenid) neutraler Elektrolyt (ZnBr ₂ , KBr, KCl, Additive)	<ul style="list-style-type: none">• Carbonvlies-Kathode mit Keramik-beschichtetem Titan-Stromableiter• jährlicher Kapazitätserhalt von 98,2 % nach 20+ Betriebsjahren, 100 % DOD, C-Rate 1/3-1/12• Kostenabschätzung bis zu 95 \$/kWh (Systemebene)	
Salient Energy Kanada, 2016	Zn//V _x O _y - bzw. Mo _x O _y - basierte Kathode Zn ²⁺ -Elektrolyt (pH 1-9)	<ul style="list-style-type: none">• Kapazität 60 Ah, Zellspannung 1,3 V, Energiedichte 100 Wh.l⁻¹ bzw. 60 Wh.kg⁻¹,• Zellfertigung mit 100 Stück/Monat	
ZincFive USA, 2000	Zn//Nickel, alkalischer Elektrolyt (KOH)	<ul style="list-style-type: none">• Nickel-haltige Zelltechnologie, ähnlich NiMH• Anwendung: USV, Peak-Shaving (hohe C-Raten)	

Alternative Technologien für stationäre Anwendungen

Zink-Ionen-Technologie - Projektbeispiele



INFAB – Zink-Ionen-Batterien für die stationäre Energiespeicherung – Fertigung & Assemblierung

FKZ 03EI3040C, 01/2020-06/2024

- Projektpartner: Fraunhofer ISE, Universität Stuttgart, acp systems AG, Helmut Hechinger GmbH

Zentrale Ziele:

- Entwicklung Herstellungsprozesse & Batterie-Architektur
- BMS/EMS, Modellierung
- Kostenberechnung
- Schaffung technologische Grundlagen/ Konzepte für Großserienproduktion
- Zielmarkt Heim-/Industriespeicher

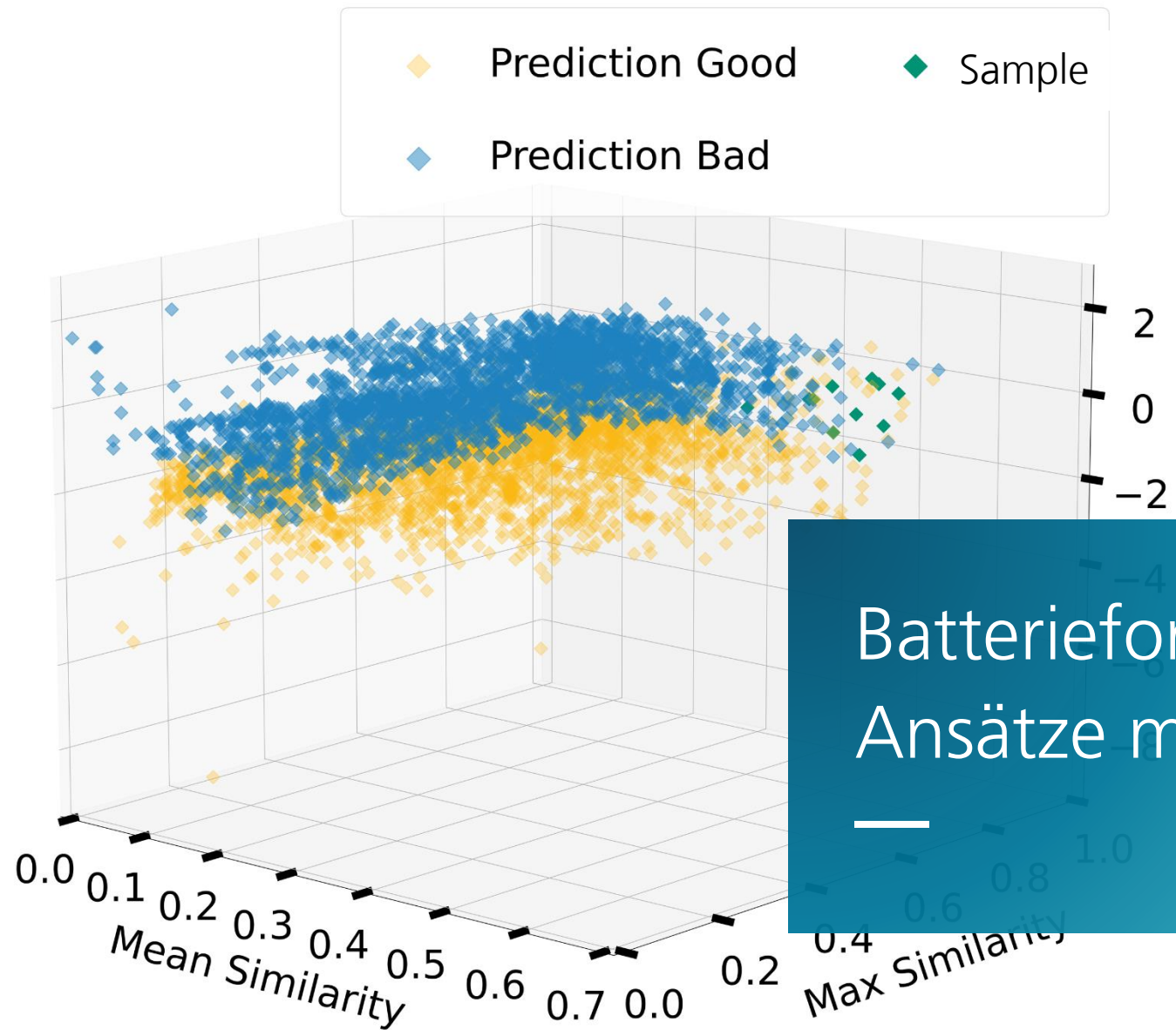
WinZIB2 – Weltweit einsetzbares, innovatives Zink-Ionen Batteriesystem

FKZ 03SF0702C, 02/2023-01/2026

- Projektpartner: Fraunhofer ISE, Universität Stuttgart, acp systems AG, H. Hechinger GmbH, StoREgio GmbH

Zentrale Ziele:

- Entwicklung Herstellungsprozesse & Batterie-Architektur
- Nutzung maximales Kostensenkungspotential
- Zielmarkt Heimspeicher/Inselnetze

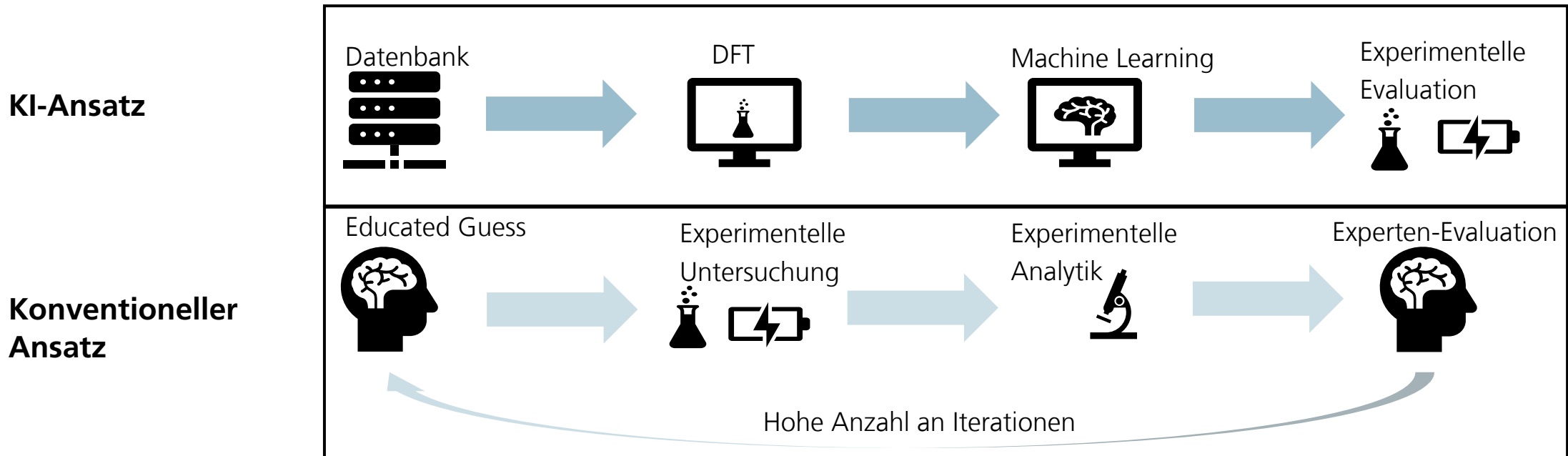


Batterieforschung: moderne Ansätze mittels KI

Batterieforschung: moderne Ansätze mittels KI

Künstliche Intelligenz (KI)

- Definition: Fähigkeit einer Maschine, **menschliche Fähigkeiten** (logisches Denken, Lernen, Planen, Kreativität) zu imitieren
- **Computer**: Empfang von Daten → Verarbeitung → Reaktion
- **KI: Anpassung** der Handlung durch Analyse früherer Aktionen → Autonomie
- KI in der **Forschung**:



Batterieforschung: moderne Ansätze mittels KI

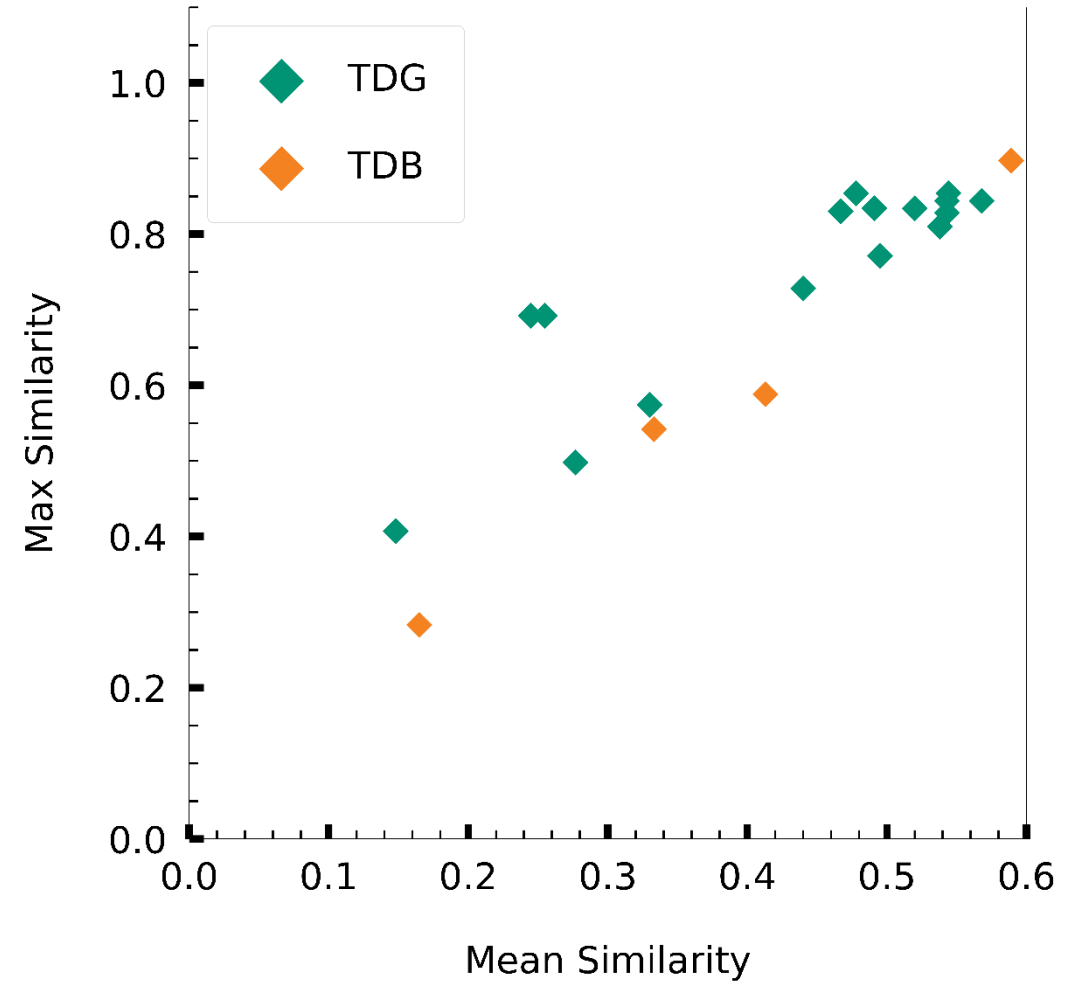
Künstliche Intelligenz (KI)

- **Wissenschaft:** grundlegende Anforderungen bekannt, Zusammenspiel der Anforderungen oft nicht bekannt
→ KI hilft bei **Zusammenführung**
- Erweiterung bisher generiertes Wissen auf große Datenmenge → **Verringerung Experimente/Aufwand/Kosten**
- **Erhöhung Qualitätssicherung** → „Gefahr, beste Lösung zu übersehen“
- Fraunhofer ISE: **nachvollziehbare KI** für wissenschaftliche Vorhersagen
 - **big data KI:** hohe Masse an Daten, die sinnvoll sortiert werden müssen (statistische Nutzung)
 - **small data KI:** geringe Menge an Trainingsdaten, hohe Menge an potentiellen Daten → Validierung in Experimenten
- **Anwendungsbeispiele Batterieforschung:**
 - Molekülscreening für Additive in Lithium-Ionen-Batterie-Elektrolyten,
 - Konzentrationsabschätzungen von Additiven,
 - Materialforschung: Identifizierung Zusammenhänge bei Prozessierung („schlechte Batches“) → Korrelation aller vorhandenen Größen
- Theoretische Basis: **DFT (Dichtefunktionaltheorie)** → Quantenmechanische Berechnung von Moleküleigenschaften

Batterieforschung: moderne Ansätze mittels KI

Künstliche Intelligenz (KI)

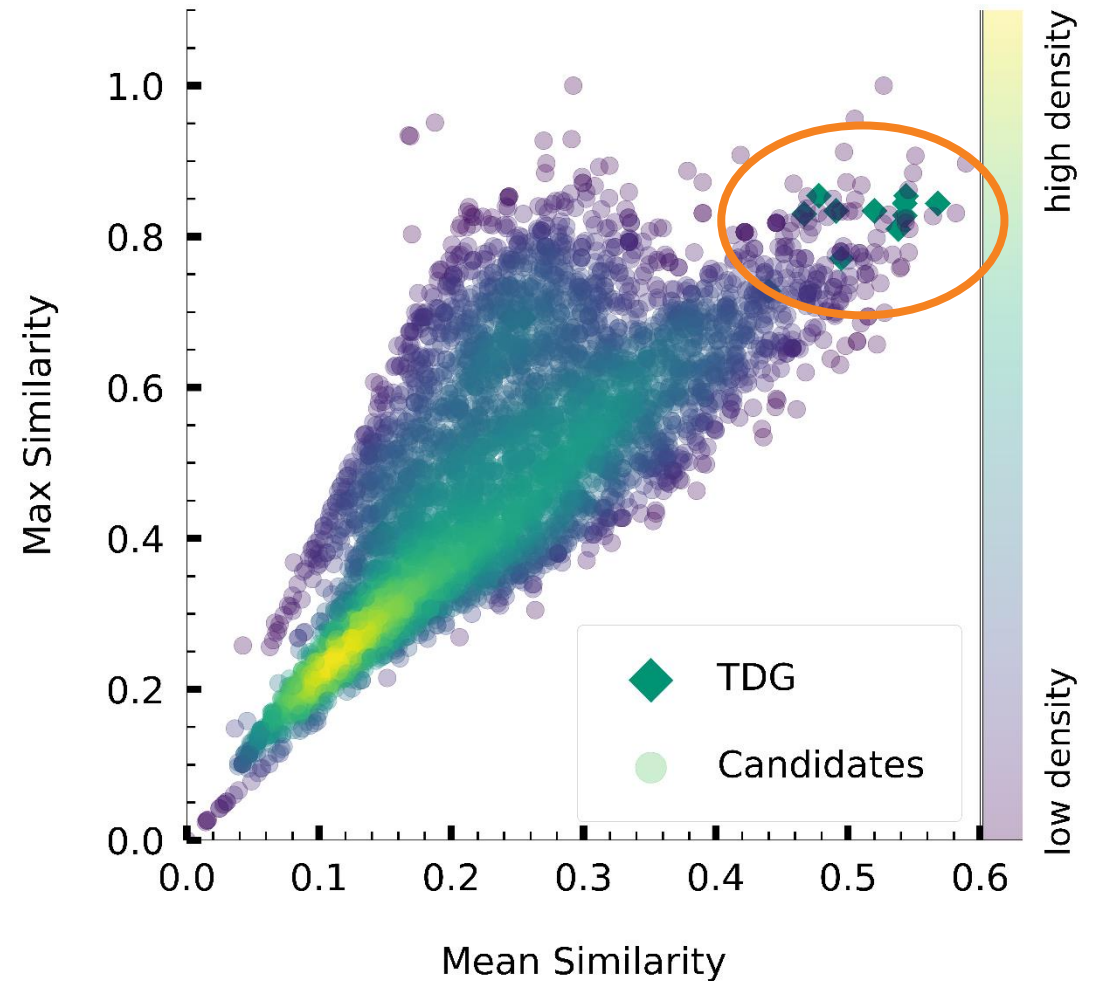
- **Ergebnisbeispiel:**
Molekülscreening für Additive in Lithium-Ionen-Batterie-Elektrolyten
- **TDG:** Trainingsdaten



Batterieforschung: moderne Ansätze mittels KI

Künstliche Intelligenz (KI)

- **Ergebnisbeispiel:**
Molekülscreening für Additive in Lithium-Ionen-Batterie-Elektrolyten
- **TDG:** Trainingsdaten
- Datenmenge: ca. **10.000 potentielle Kandidaten**
- **helle Farben:** hohe Anzahl an Datenpunkten
- **Analyse der Ähnlichkeiten** (*Similarity*) anhand von Filterkriterien (Vorgabe Programmierer)
 - **Maximale** Ähnlichkeit
 - **Durchschnittliche** Ähnlichkeit
- Identifikation von ähnlichen Kandidaten (Molekülen)
 - **Validierung** in Experimenten



Zusammenfassung

- Abteilung *Elektrische Energiespeicher* am Fraunhofer ISE deckt die **gesamte Wertschöpfungskette der Batterieforschung** ab.
- Natrium-Ionen-Batterie als vielversprechende Alternative zur Lithium-Ionen-Technologie durch hohe **Rohstoffverfügbarkeit** und **Reduktion von Lieferrisiken**.
→ stationäre/mobile Anwendungen
- Zink-Ionen-Batterie als vielversprechende Alternative durch **hohe Sicherheit** und **geringe Kosten**.
→ stationäre Anwendungen
- **Künstliche Intelligenz** als sinnvolle und leistungsstarke **Ergänzung zur Forschung**.
→ **Beschleunigung** von Materialforschung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr.-Ing. Oliver Fitz

Oliver.fitz@ise.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE
Heidenhofstraße 2
79110 Freiburg
www.ise.fraunhofer.de