



4. NOVEMBER 2020

VDI

Wissensforum

THERMISCHE HOCHLEISTUNGS-
SPEICHER ZUR BEHEIZUNG
BATTERIEELEKTRISCHER BUSSE

ÜBERSICHT

1 Motivation, Problemstellung und Zielsetzung Elektrobus

2 Lösungsansatz Thermischer Hochleistungsspeicher

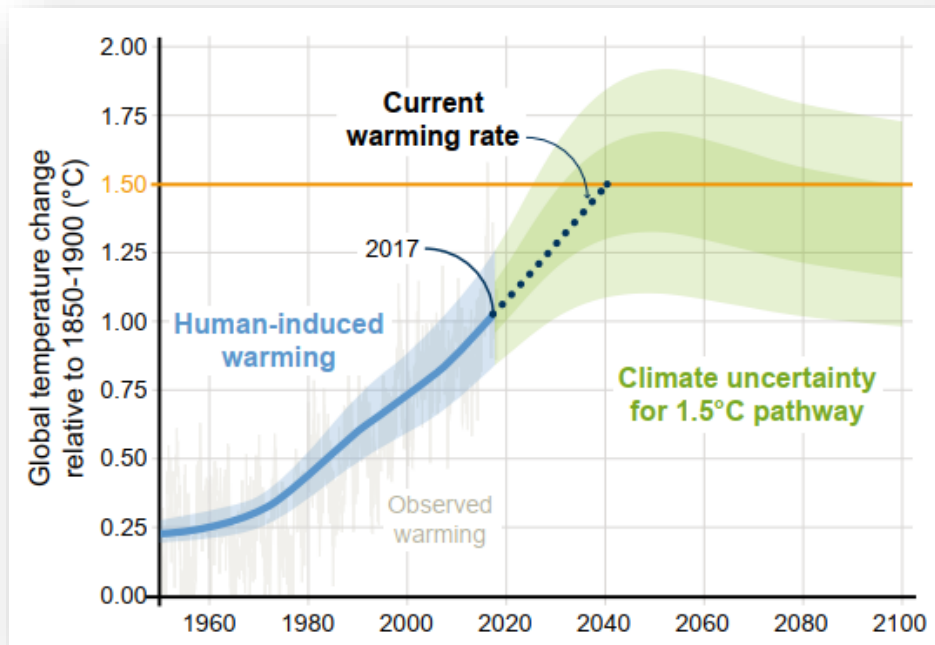
3 Entwicklungsstand Thermischer Hochleistungsspeicher

4 Laufende Projekte

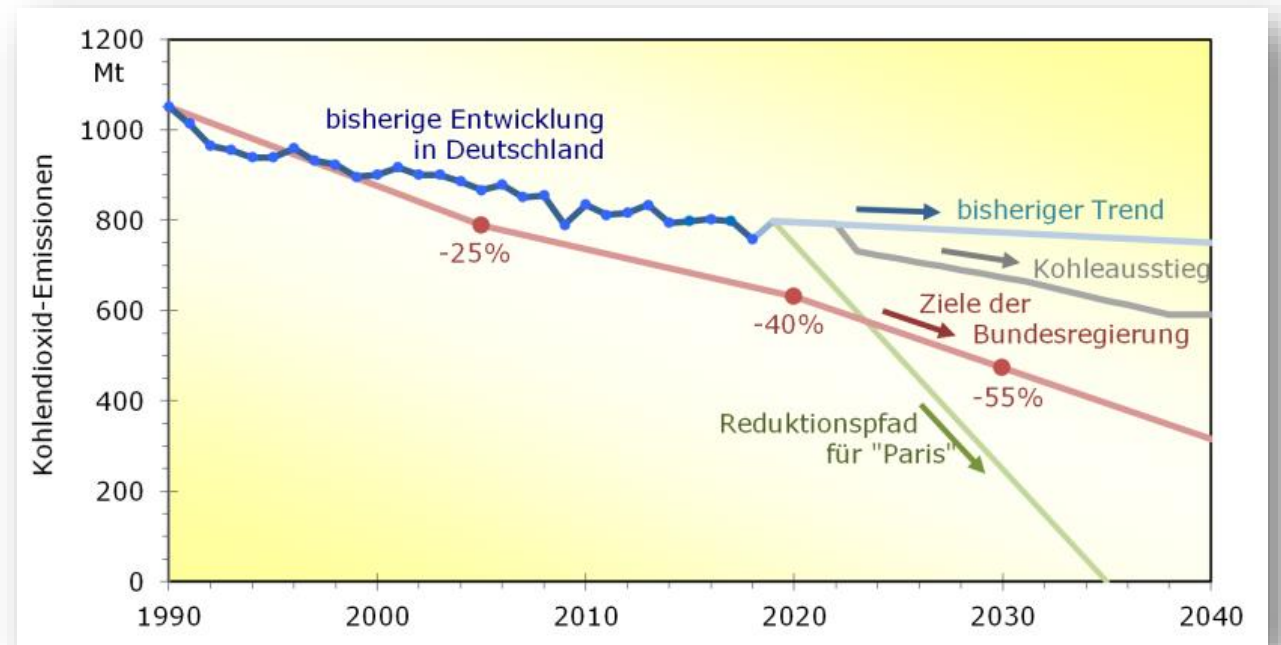
5 Ausblick

Motivation, Problemstellung und Zielsetzung Elektrobus

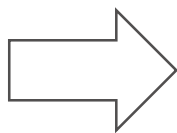
MOTIVATION, ZIELSETZUNG, PROBLEMSTELLUNG



Quelle: IPCC – Global Warming of 1,5 °C



Quelle: https://www.volker-quaschning.de/artikel/2019-05_Stellungnahme-Kohleausstieg/Index.php

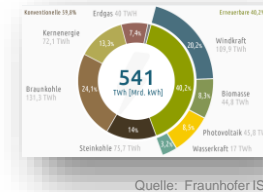


Maßnahmen zur **CO₂ – Reduktion** müssen **umfassend** und **unverzüglich**,
in **allen Sektoren** ergriffen werden

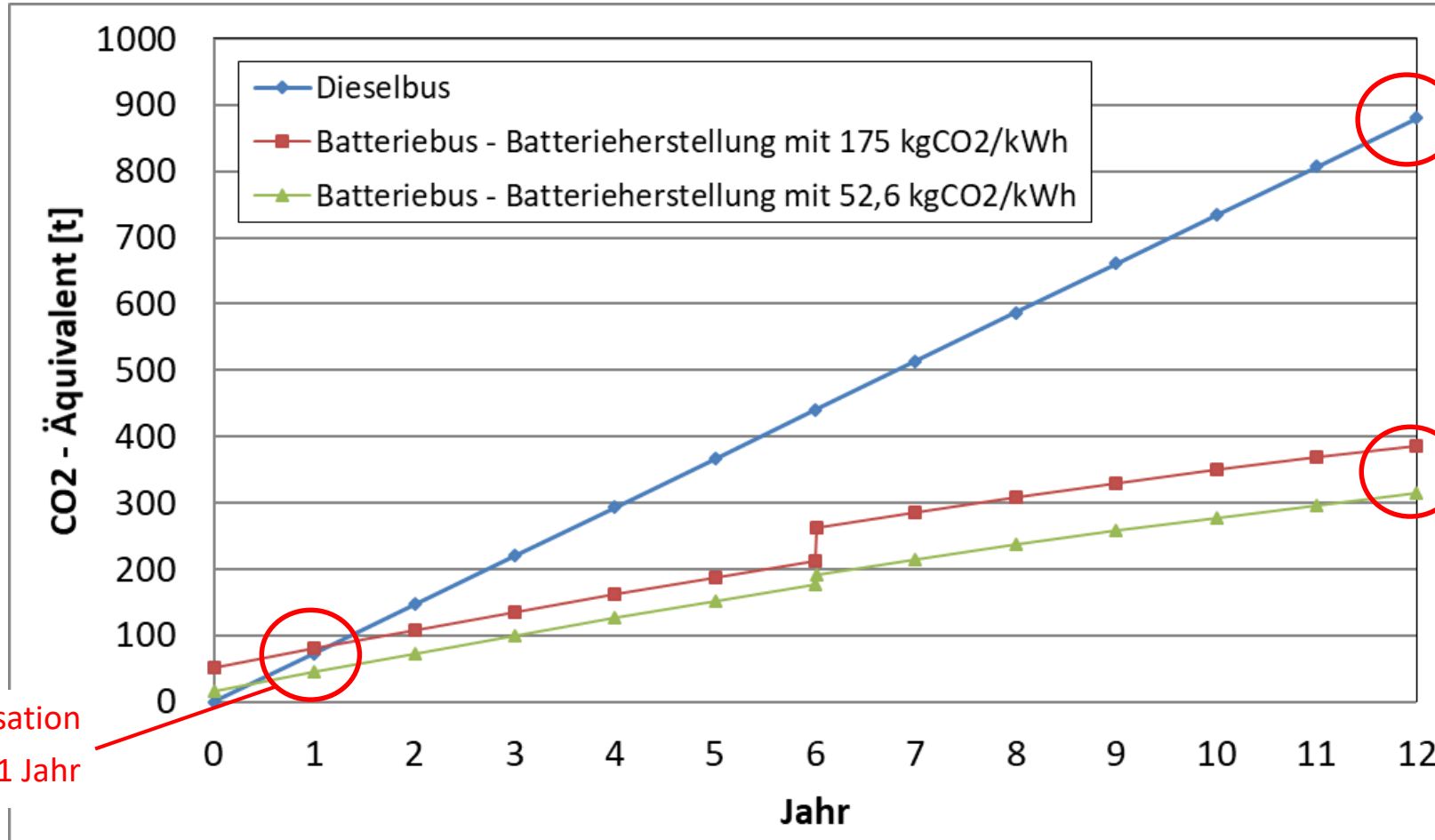
MOTIVATION, ZIELSETZUNG, PROBLEMSTELLUNG

Annahmen CO₂ – Bilanz Dieselbus vs. Batteriebus

- Laufleistung **750000 km** über 12 a (62500 km p.a.)
- Verbrauch **0,38 l/km** Diesel bzw. **1,1 kWh/km** Strom
- Reduktion CO₂ – Ausstoß Energiemix **15 g/kWh p.a.** ausgehend von **427 g/kWh** (Energiemix D 2019)
- CO₂-Äquivalent Diesel **3,08 kgCO₂/l**
- Batteriekapazität **292 kWh** (EvoBus – eCitaro)
- Substitution Batterie nach **6 Jahren**
- CO₂-Rucksack Batterieherstellung **52,6 kgCO₂/kWh** bzw. **175 kgCO₂/kWh**



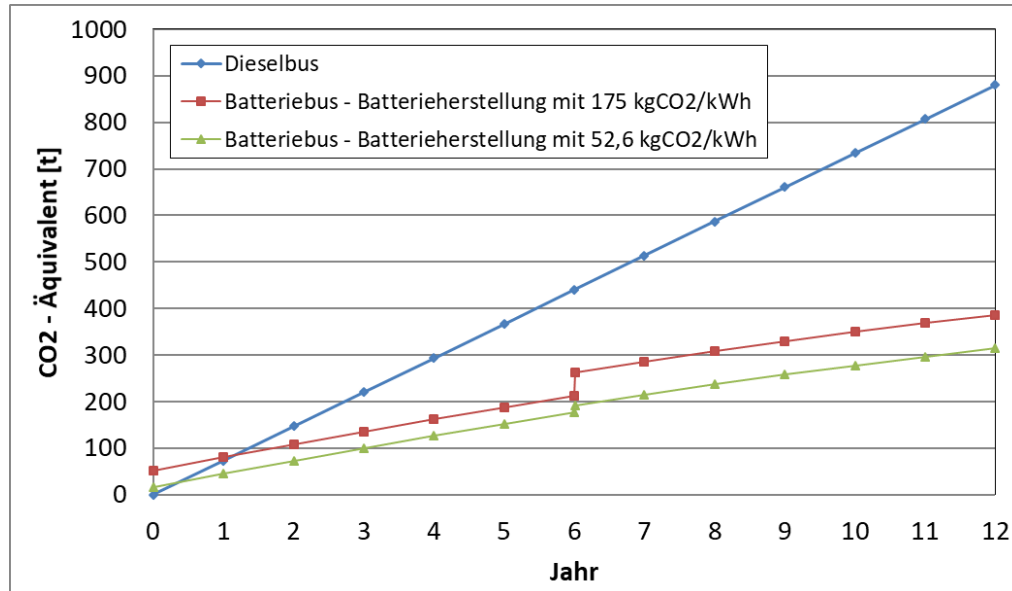
MOTIVATION, ZIELSETZUNG, PROBLEMSTELLUNG



CO2 – Amortisation
Batterieherstellung < 1 Jahr

CO2-Ausstoß Batteriebus ca. 60 % geringer

MOTIVATION, ZIELSETZUNG, PROBLEMSTELLUNG

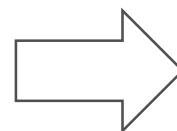


Fazit

- Einsatz **Batteriebusse sinnvoll** zur Reduktion des **CO2 – Ausstoß** im ÖPNV
- Weitere **positive Effekte** durch Reduktion **lokal** relevanter **Emissionen** wie NOx oder Lärm

Aber

- Marktanteil Elektrobusse in Deutschland bei ca. **0,28 %** (Stand 1. Januar 2020)

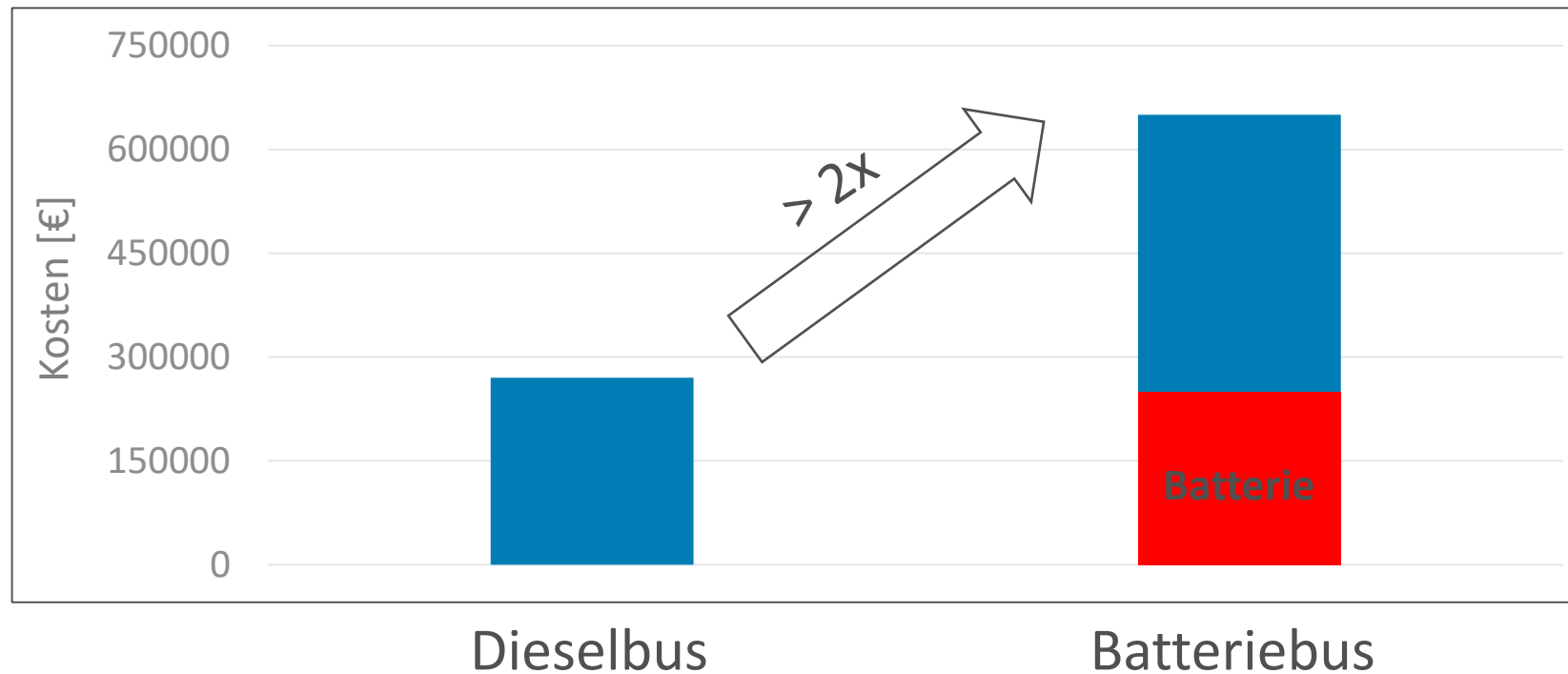


Ursachen ???

MOTIVATION, ZIELSETZUNG, PROBLEMSTELLUNG

1

Hohe Anschaffungskosten Batteriebus



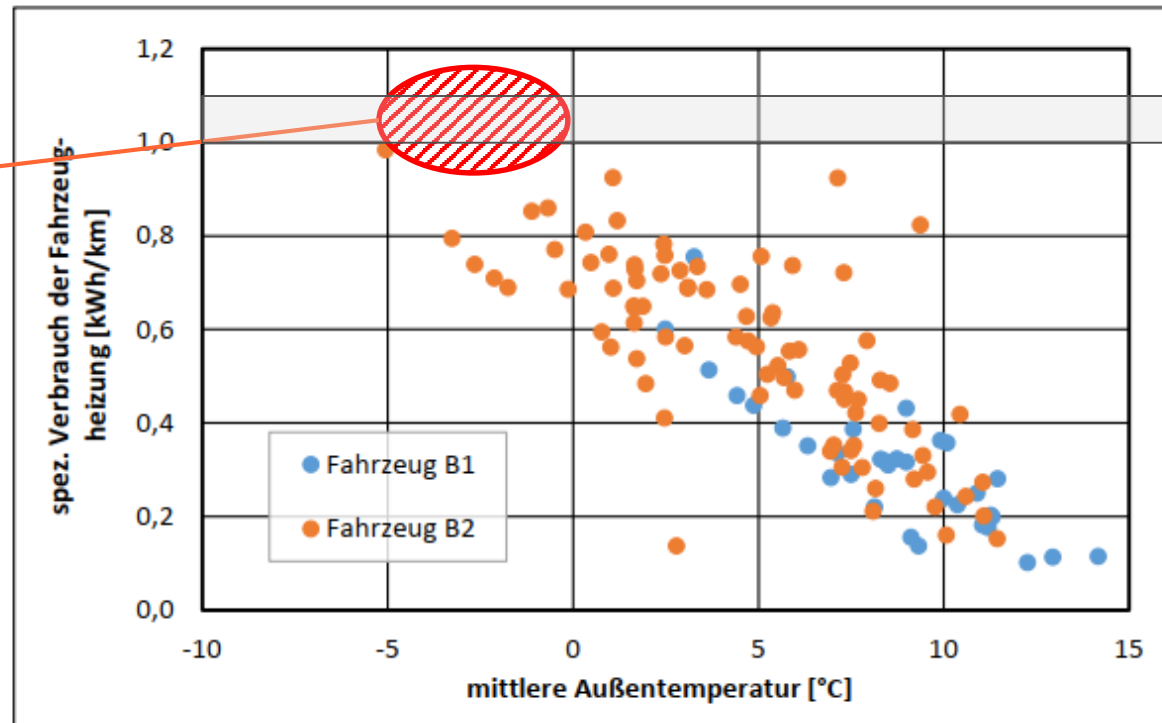
Quellen für Werte:
 Knotz – „Ansätze zur Standardisierung und Zielkosten für Elektrobusse“, 2017
 Pyschny – „Markanalyse Elektrobusse“, 2020, electrive Online-Konferenz Elektrobusse

MOTIVATION, ZIELSETZUNG, PROBLEMSTELLUNG

2

Ganzjährige Reichweite

Heizenergiebedarf
=
Traktionsenergiebedarf






Quelle: Fraunhofer IVI

MOTIVATION, ZIELSETZUNG, PROBLEMSTELLUNG

2

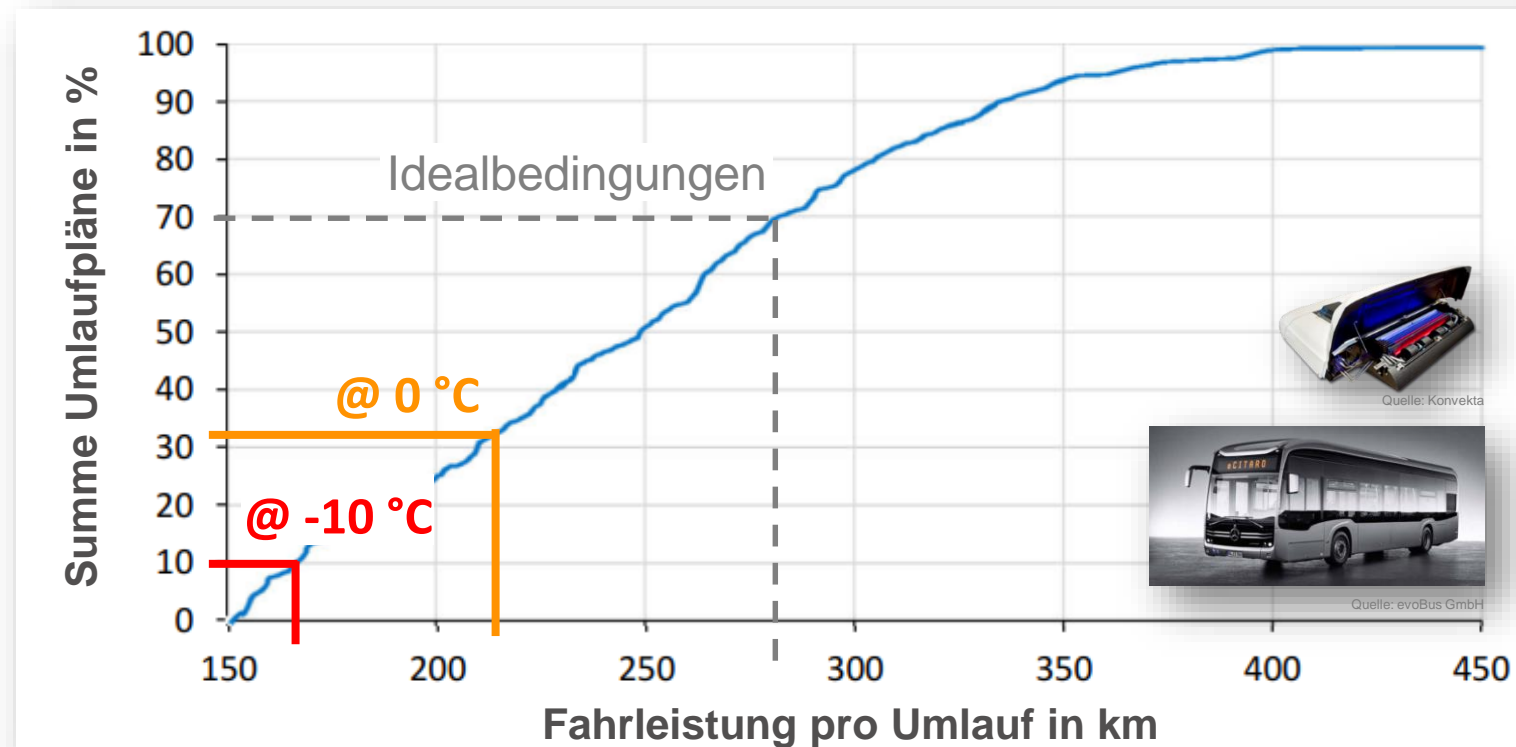
Ganzjährige Reichweite

	Kraftstoff-Heizgerät	Elektrischer Heizer	Wärmepumpe
	 Quelle: Eberspächer	 Quelle: Valeo	 Quelle: Konvekta
+	<ul style="list-style-type: none"> Keine Verringerung elektrische Reichweite kostengünstig 	<ul style="list-style-type: none"> Keine lokalen Emissionen 	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion Gesamtenergieverbrauch (COP \approx 1 bis 4) keine lokalen Emissionen
○			<ul style="list-style-type: none"> Reichweitenverlust in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur
-	<ul style="list-style-type: none"> Lokaler Emissionsausstoß (CO₂, NO_x, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Hoher Reichweitenverlust durch Nutzung elektr. Energie aus Batterie (> 60 % an kalten Tagen) 	<ul style="list-style-type: none"> Leistungsfähigkeit nicht ausreichend an sehr kalten Tagen

MOTIVATION, ZIELSETZUNG, PROBLEMSTELLUNG

2

Ganzjährige Reichweite



Lösungsansatz Thermischer Hochleistungsspeicher

LÖSUNGSANSATZ



Quelle: evoBus GmbH

Alleiniges Heizsystem

Ergänzung Wärmepumpe

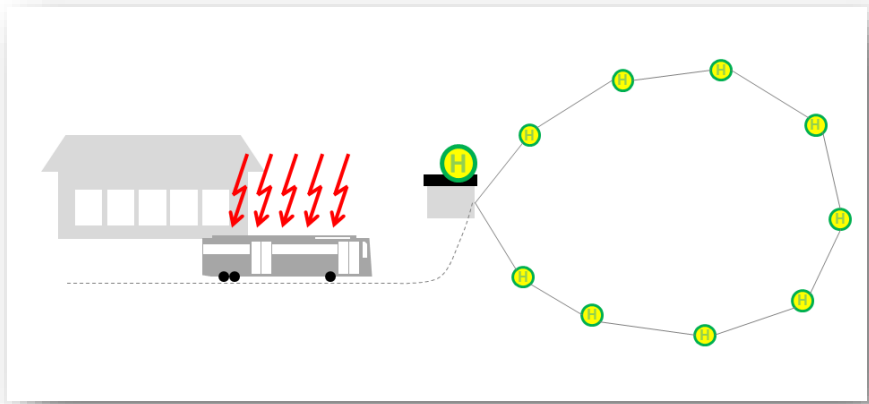


LÖSUNGSANSATZ



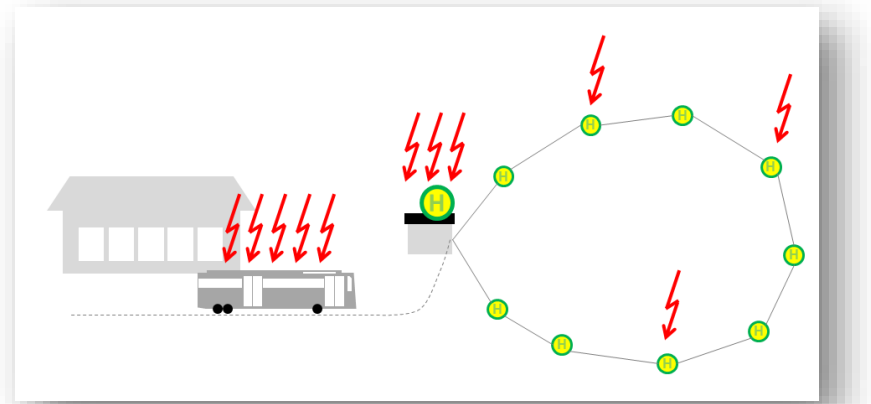
Quelle: evoBus GmbH

Thermischer Hochleistungspeicher



Quelle: Fraunhofer IVI

Nachtladen

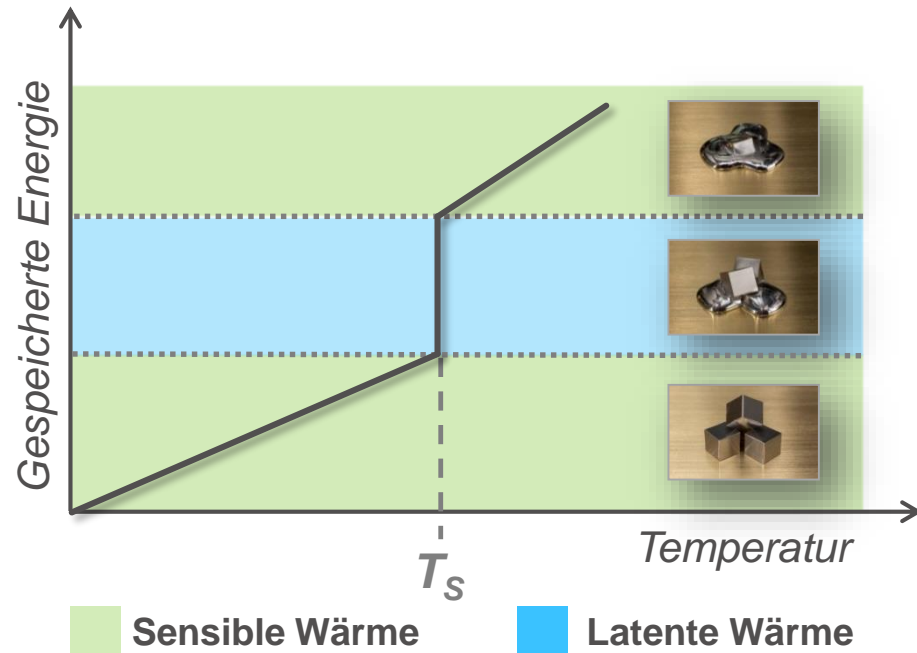


Quelle: Fraunhofer IVI

Gelegenheitsladen

LÖSUNGSANSATZ

Speicherprinzip



Metallische Phasenwechselmaterialien

- Sehr hohe **Wärmeleitfähigkeit** (ca. 50 – 200 W/mK)
- **Kostengünstig** (AlSi z.B. ca. 6,50 €/kWh)
- Hohe **Energiedichte** (bis ca. 300 Wh/kg bzw. 750 Wh/l)
- Meist hohe **Zyklen-** und **Temperaturbeständigkeit**
- Vollständig **recyclbar**

LÖSUNGSANSATZ

	THS	Batterie (Bus)
Kosten	< 70 €/kWh	ca. 380 bis 950 €/kWh ¹
Grav. Energiedichte	> 200 Wh/kg	ca. 100 – 180 Wh/kg ^{2,3}
Vol. Energiedichte	> 300 Wh/l	ca. 140 – 235 Wh/l ^{2,3}

- Verzicht auf kritische Rohstoffe (Lithium, Kobalt)
- Hohe Recyclbarkeit
- Geringere CO2 – Intensität Herstellung, Faktor 5 bis 20 (bei recycelten mPCM)



1: Batteryuniversity.com. BU-205_ Types of Lithium-ion. Available online: https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion (accessed on 19 February 2020)

2: Akasol, Akasystem AKM CYC - Ultra-Hochenergietechnologie für Langstrecken Anwendungen. Available online: <https://www.akasol.com/de/akasystem-akm-cyc> (accessed on 19 February 2020)

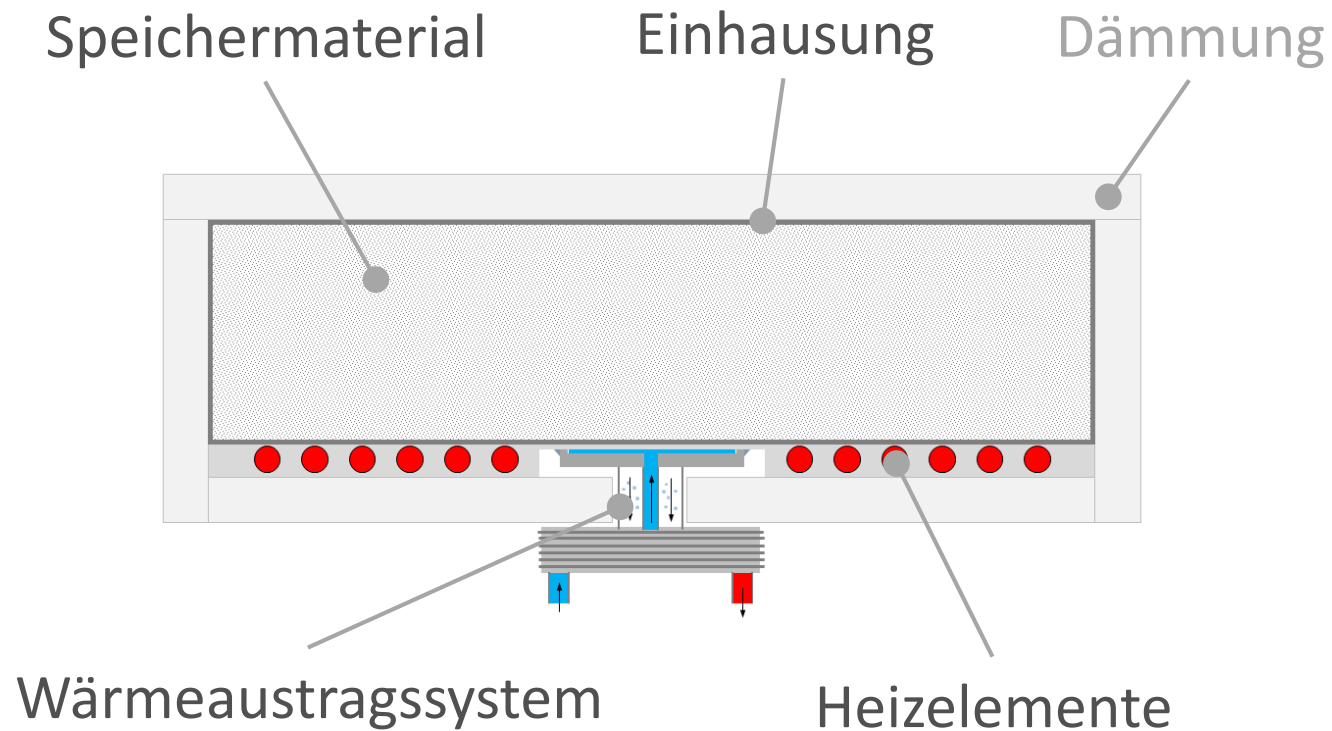
3: Akasol, AKASYSTEM AKM POC. Available online: <https://www.akasol.com/de/akasystem-akm-poc> (accessed on 19 February 2020)

Quelle: <https://3ks.de/profile/de/blog/15/Dichtsystem>

Entwicklungsstand Thermischer Hochleistungsspeicher

ENTWICKLUNGSSTAND

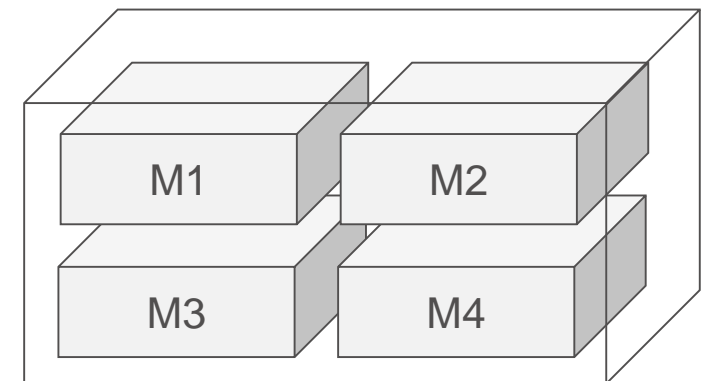
Aktuelles Speicherkonzept



Modulares System



Quelle: evoBus GmbH



ENTWICKLUNGSSTAND

Speichermaterial

- Thermophysikalische Eigenschaften
- Langzeitstabilität

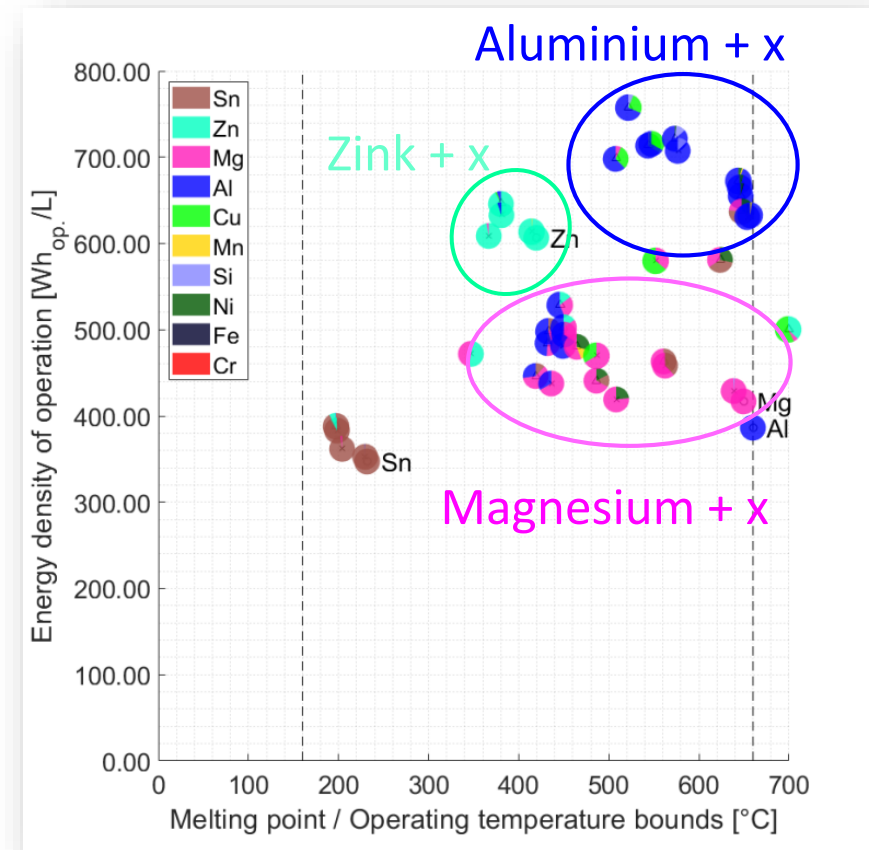
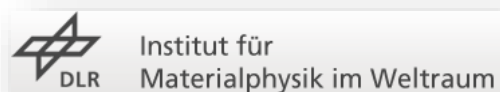
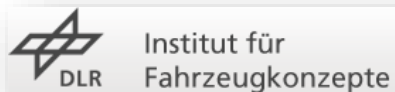


Lösungsansatz: **Theoret. und experimentelle Charakterisierung**

ENTWICKLUNGSSTAND

- Theoretische Berechnungen mittels **CALPHAD** – Methode
 - Legierungszusammensetzung
 - Schmelztemperatur T_s
 - Spezifische Wärmekapazität c_p
 - Spezifische Schmelzenthalpie h_s

- **Experimentelle Validierung** thermophysikalische Eigenschaften
 - XRF – Analyse (Analyse der Zusammensetzung, extern)
 - DSC – Analysen (Enthalpiewerte)
 - LFA – Analysen (Thermische Diffusivität bzw. Wärmeleitfähigkeit)



Datenbank Speichermaterialien

ENTWICKLUNGSSTAND

Einhausung

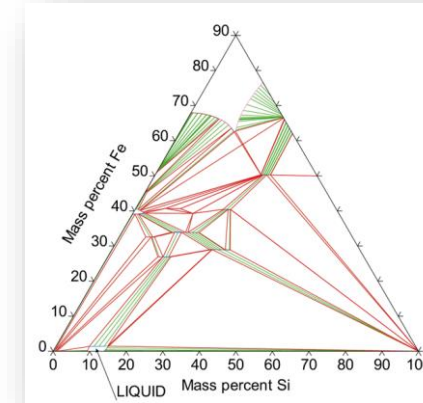
- Chemische Kompatibilität zu mPCM
- Thermomechanische Stabilität
- Anwendungsgerechtes Design

Lösungsansatz: **Theoretische und experimentelle Charakterisierung**
Auslegungsmethodik

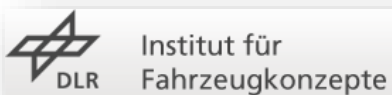


ENTWICKLUNGSSTAND

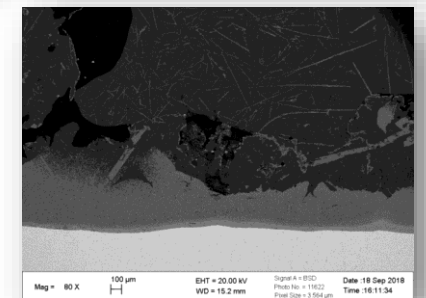
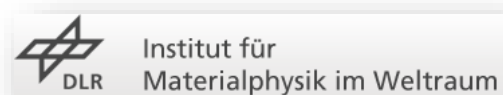
- Datenbankgestützte Untersuchung Löslichkeit mittels **ThermoCalc**
 - Analyse der hypothetischen Gleichgewichtszustände
 - Vorauswahl potentiell geeigneter Einhausungswerkstoffe
- Experimentelle Untersuchung Reaktivität im **Reaktionsofen**
 - Bildung Reaktionsprodukte
 - Betrachtung Reaktionsgeschwindigkeiten



➔ Generierung grundsätzlicher Aussage über die **Eignung** eines Werkstoffes als Einhausungsmaterial

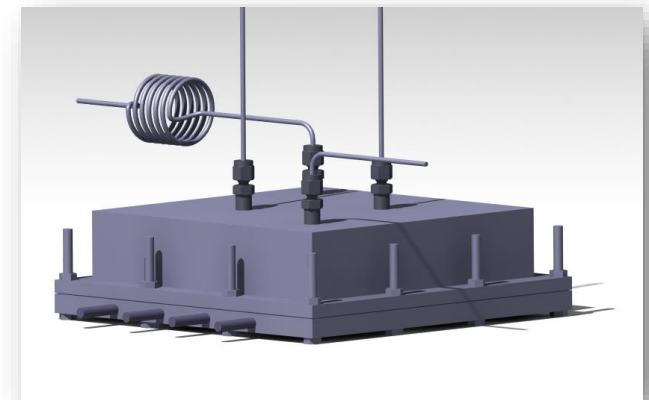


+



ENTWICKLUNGSSTAND

- **Anwendungsnahe**, experimentelle **Untersuchung** Speichermaterial / Einhausung
 - Skalierende Effekte auf die Reaktivität (z.B. Konvektion)
 - Einfluss der Reaktivität auf thermophysikalische Degradation im speziell aufgebauten Systemkalorimeter
- **Auslegungsmethodik** / Vorgehensweise bei der Auslegung
 - Konzeptentwicklung
 - Druckauslegung
 - Optimierung wärmeübertragender Flächen
 - Modulare Funktionsmuster: Auslegung von lösbaren, dichtenden Verbindungen
 - R&I-Planung für hochtemperatur- und druckwechselbelastete Messtechnik



➔ Aufbau und Test **langzeitstabiler** und **modularer** Einhausungsfunktionsmuster

Laufende Projekte

PROJEKTE



- Name: **THS-Bus**
- Ziel: Aufbau und Untersuchung Funktionsmuster für Flughafenbus
- Zeitraum: 07/2018 bis 06/2021
- Projekthomepage: <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/projekte/th-s-bus-thermische-hochleistungsspeicher-fuer-elektrobusse>

PROJEKTE



Name:

Lathe.Go

Ziel:

Aufbau und Untersuchung Funktionsmuster für Mover - Fahrzeugkonzept

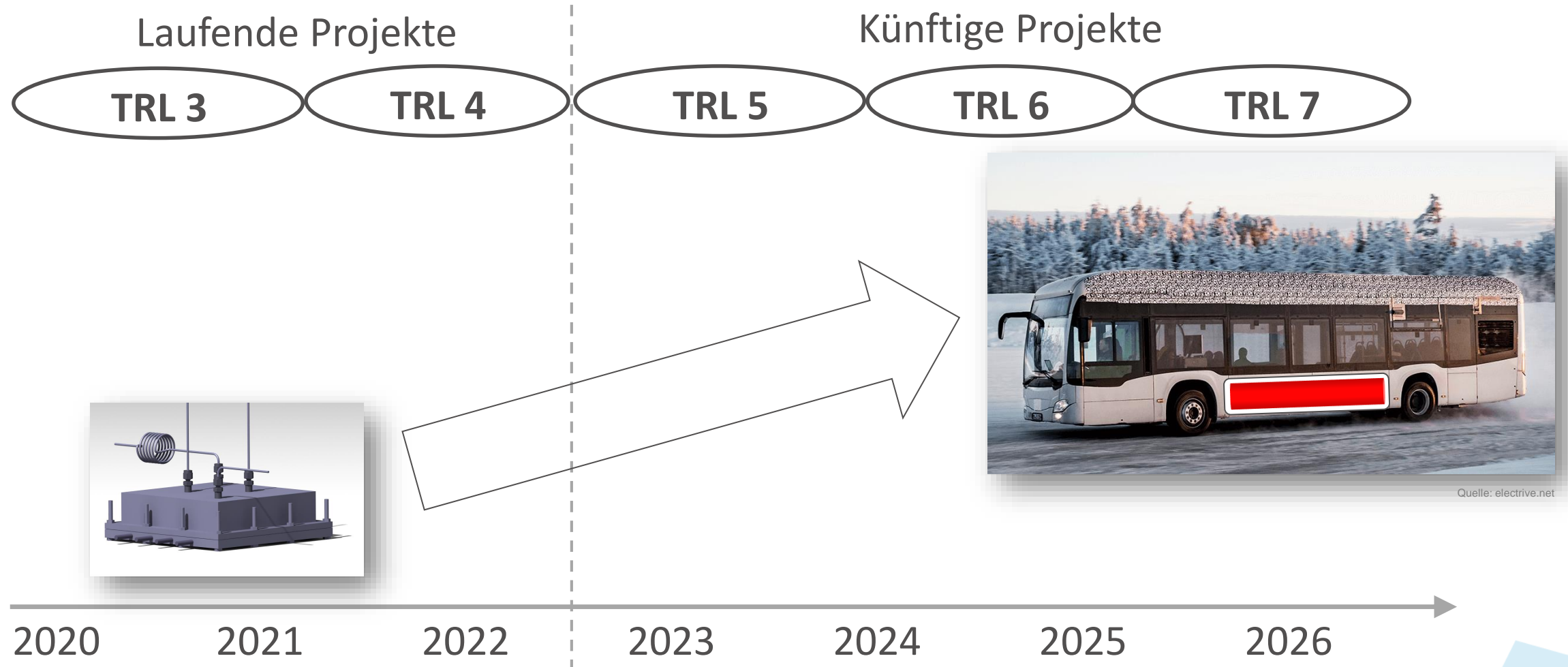
Zeitraum:

09/2019 bis 08/2022

[1]: e-go-mobile.com/
 [2]: access.rwth-aachen.de/
 [3]: tlk-energy.de/

Ausblick

ENTWICKLUNGSSTRATEGIE



Quelle: electrive.net

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Werner Kraft M.Sc.
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Fahrzeugkonzepte
Pfaffenwaldring 38, 70569 Stuttgart
0711-6862-273
Werner.Kraft@dlr.de