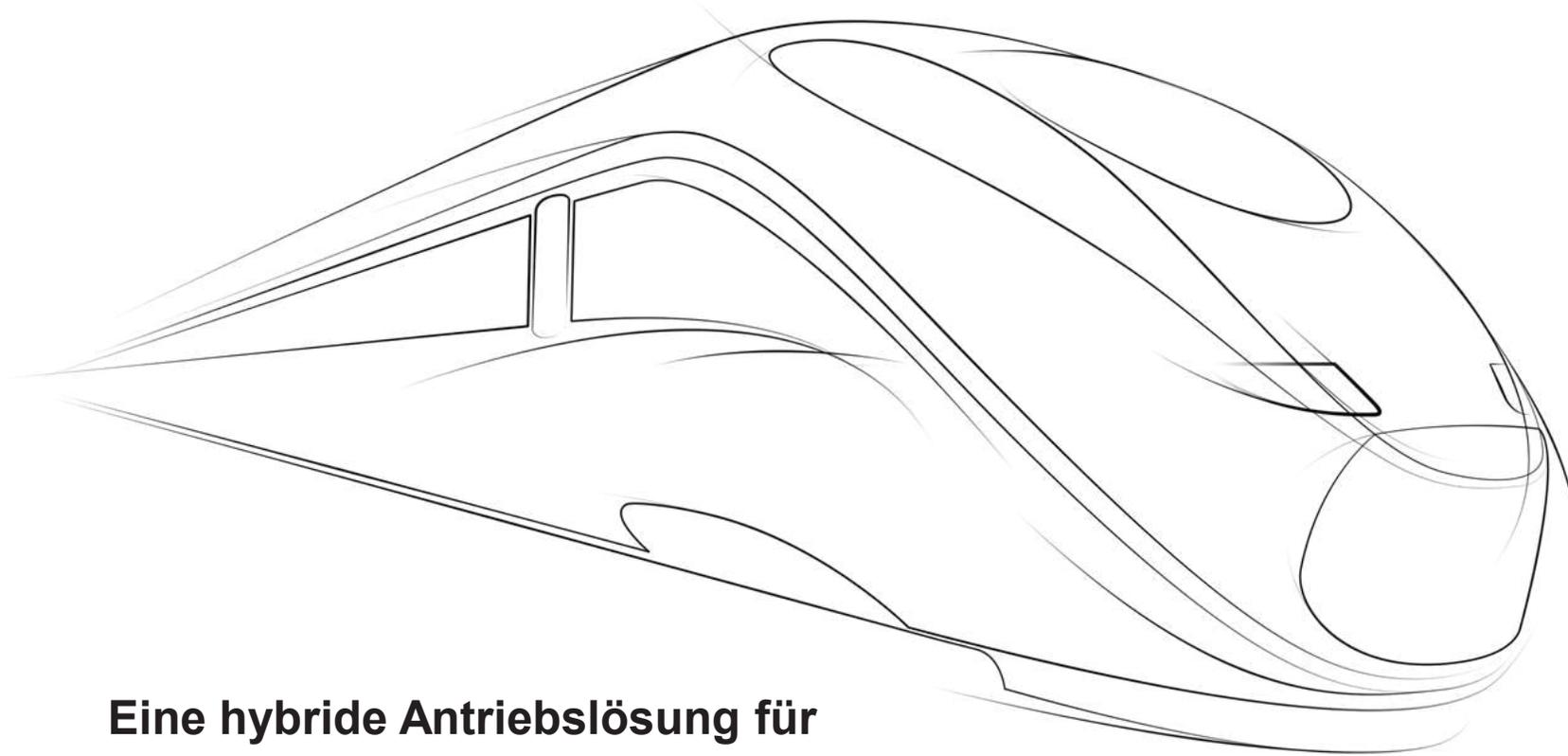


A PASSION FOR RAILWAY SOLUTIONS



**Eine hybride Antriebslösung für
eine Elektro-Verschublok mit Akkus als Energiespeicher**

M. Hofer, C. Peer, J. Kometer (Molinari Rail Austria GmbH)

43. Tagung „Moderne Schienenfahrzeuge“, Graz, 3. – 6. April 2016

Inhalt



1. Molinari Rail

2. Projektvorstellung

2.1. Lastkollektiv

2.2. Auswahl Akku-Technologie

2.3. Kostenvergleich Akku

2.4. Elektrische und mechanische Integration

3. Zusammenfassung und Ausblick

Molinari Rail

Kompetenzen und Leistungen



MOLINARI

Consulting

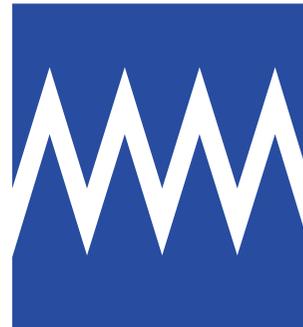
Ausschreibungs- & Angebotsunterstützung
Markt- und Machbarkeitsstudien
Exportunterstützung
Flotten- & Werkstätten-Management
Audits von Werkstätten
Bauüberwachung

Analysis

Machbarkeitsstudien und Optimierung
Festigkeitsnachweise
Crash Analyse
Versuchsplanung und -Evaluation
Schweissanalyse
Simulation von Fahrzeugdynamik

Engineering

Entwicklung von Schienenfahrzeugen
Systemengineering
Mechanische und elektrische Systemintegration
Schemaerstellung
RAMS & LCC-Analysen
Anforderungsmanagement



MOLINARI

Systems

Komplette Subsysteme
Generatorsets, Schwenktritte
Crash Komponenten
Werkstatt Infrastruktur
Werkstatt- und Herstellungsequipment
Technologietransfer

Inhalt



1. Molinari Rail

2. Projektvorstellung

2.1. Lastkollektiv

2.2. Auswahl Akku-Technologie

2.3. Kostenvergleich Akku

2.4. Elektrische und mechanische Integration

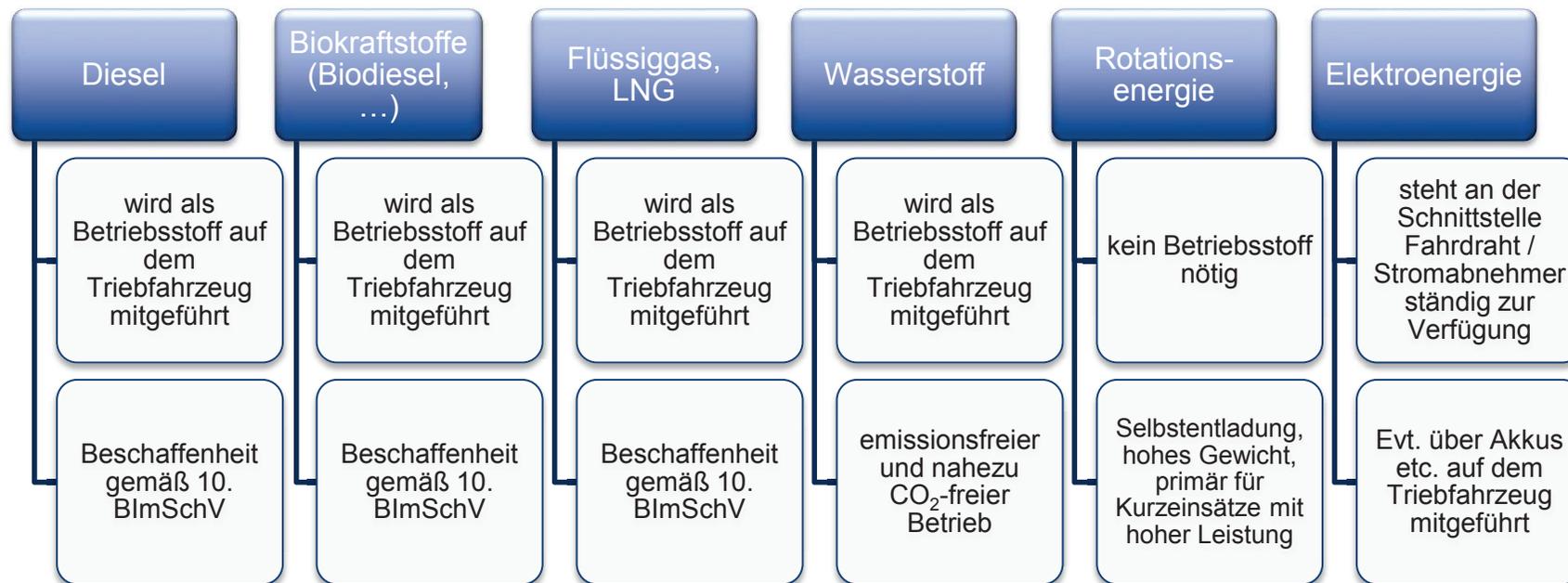
3. Zusammenfassung und Ausblick

Projektbeschreibung:

- „Machbarkeitsstudie des Umbaus einer E-Verschublok des Typs 1063 der ÖBB zum temporären Betrieb auf Nebengleisen ohne Oberleitung“
- Projekt gefördert durch die österreichische Forschungsförderungs-Gesellschaft (FFG)
- Anforderungen:
 - Im Betrieb mit Hilfsenergie:
 - ca. 200 kW Leistung
 - ca. 200 kWh Energie (Ausgang Batterie)
 - Bei Projektende muss die Lok wieder rückgebaut werden (können).
 - Der Energiespeicher muss unter Fahrdrabt aufladbar sein.



Mögliche Energieträger



10. BImSchV ... Zehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Deutsches Recht
Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraft- und Brennstoffen

Definition Hybrid- und Zweikraft-Schienenfahrzeuge



Definition Hybrid-Schienenfahrzeug

Werden an Bord des Schienenfahrzeuges zwei voneinander unabhängige Energiespeicher mitgeführt, dann wird von einem Hybrid (oder auch Hybridelektro)-Schienenfahrzeug gesprochen.

siehe ETR, Nr. 10 Oktober 2014, S. 32

Definition Zweikraft-Schienenfahrzeug

Diese Schienenfahrzeuggattung zeichnet sich durch den Bezug der Traktionsleistung aus zwei unterschiedlichen Energiequellen aus, wobei meist nur eine an Bord des Fahrzeuges mitgeführt wird.

siehe <https://de.wikipedia.org/wiki/Zweikraftlokomotive>

Projektvorstellung

Vor- und Nachteile vorhandener Lok-Systeme



Elektro-Lokomotiven

- Vorteile
 - Hohe Leistung
 - Lange Lebensdauer
 - Hohe Zuverlässigkeit
 - Geringe Wartungskosten
 - Geringe Lärm- und Luftbelastung
- Nachteile
 - Auf Nebenstrecken ohne Elektrifizierung nicht einsetzbar

Diesel-Lokomotiven

- Vorteile
 - Auf elektrifizierten und nicht elektrifizierten Strecken einsetzbar
- Nachteile
 - Mäßige Leistung
 - Hohe Lärm- und Luftbelastung
 - Hohe laufende Kosten

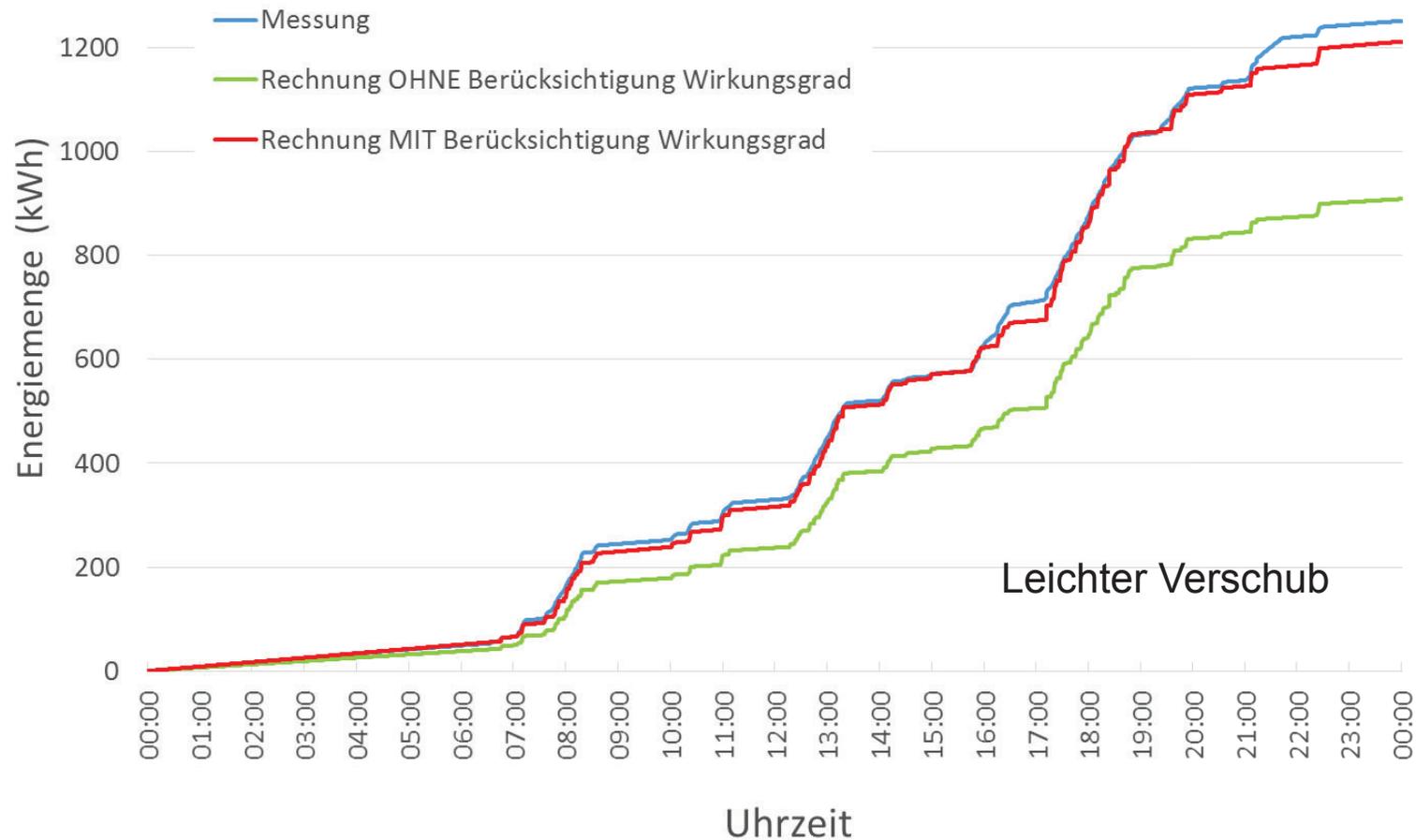
Zusammenführung der Vorteile

Integration eines Akkusystems in eine bestehende Elektrolok

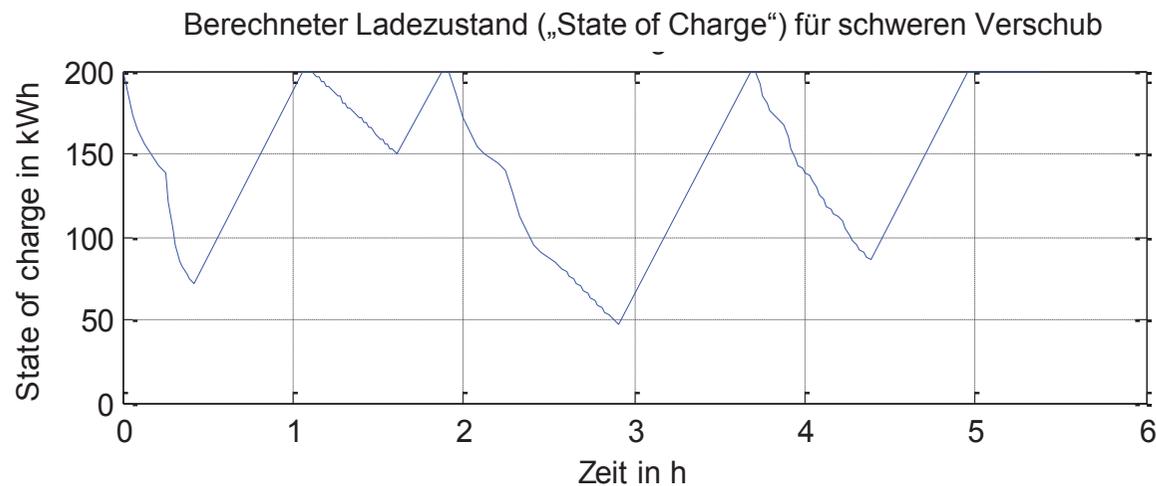
Lastkollektiv 1



- Datenanalyse: Zusammensetzung des Lastkollektivs aus verschiedenen, realen Einsatz-Szenarien



- Vorgaben
 - Streckenprofile sind gegeben und wurden der Berechnung zu Grunde gelegt
 - Limitierte Geschwindigkeit im Verschubbetrieb
 - Extreme Leistungsspitzen wurden aus dem Kollektiv entfernt.
- Energiebedarf
 - Die Vorgaben wurden mit einem detaillierten Akku-Modell für jedes einzelne Szenario berechnet.
 - Ca. 200 kWh Akkukapazität werden für das anspruchsvollste Streckenprofil benötigt.



Lastkollektiv

- Schwerer Verschub
 - 3 Tage / Woche
 - Verschub-Geschwindigkeit ca. 8 km/h
 - Steigung mit max. Neigung und voller Länge der gemessenen Steigungen
 - 2x Anfahren unter voller Last je Steigung
 - Rest der Zeit ist Stillstand
- Leichter Bahnhofs-Verschub (Personenwagen-Verschub)
 - 4 Tage / Woche
 - Aus gemessenem Bahnhofs-Verschub

Auswahl Akku-Technologie

Übersicht



Energiedichte allgemein

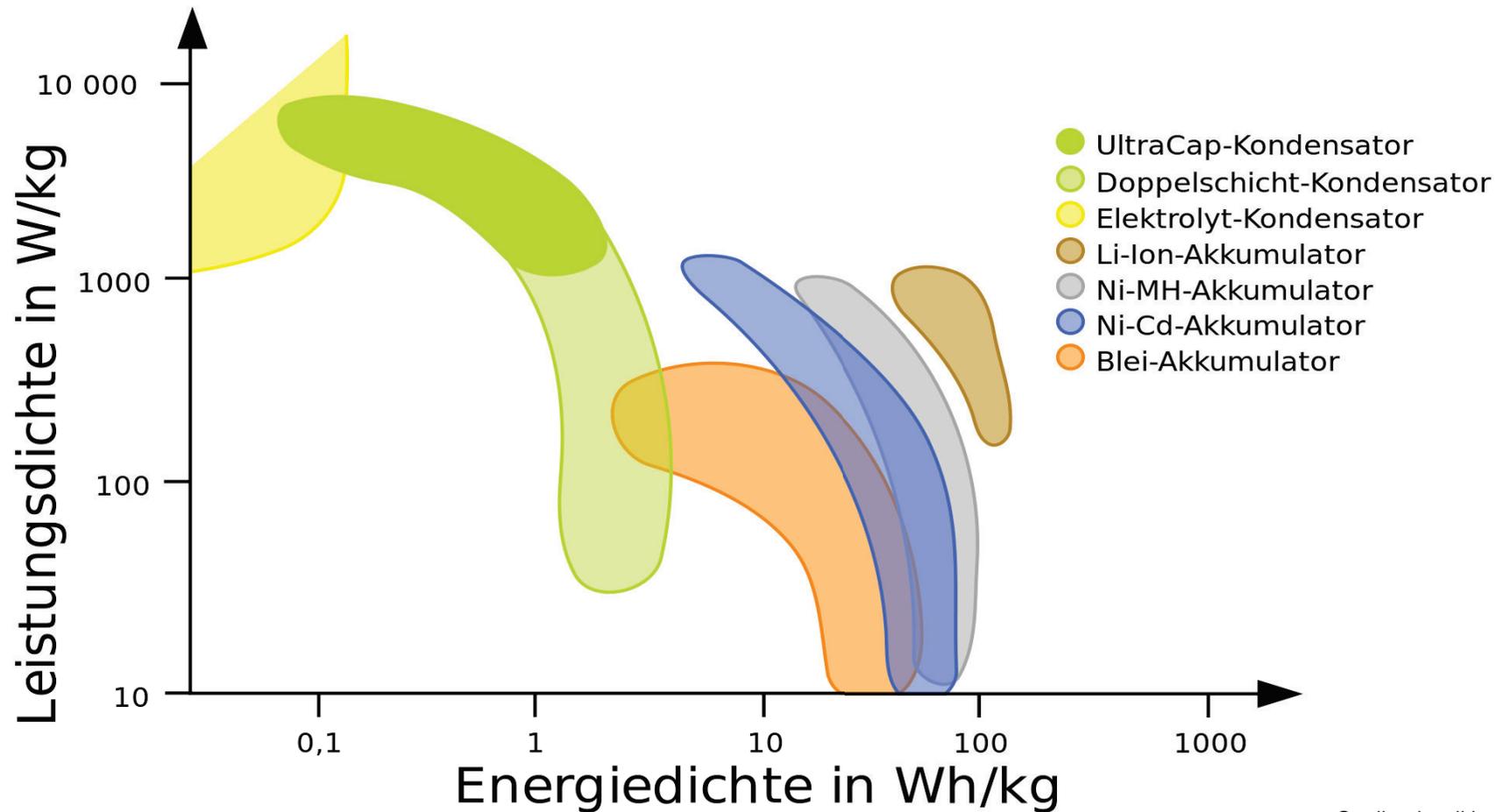
- Flüssige Kraftstoffe
 - Ca. 7.000 bis 10.000 Wh/l
- Gasförmige Kraftstoffe
 - Ca. 1.000 Wh/l (Wasserstoff @35 MPa)
 - Ca. 3.000 Wh/l (Wasserstoff aufnehmende Legierungen)
 - Ca. 2.000 Wh/l (CNG @ 20 MPa)
- Akkus
 - Ca. 50 bis 300 Wh/l
- Kondensatoren
 - Bis ca. 1,5 Wh/l

Zusätzliche Einschränkungen

- Temperaturbereich für Laden und Entladen
- Zyklfestigkeit
- Kosten

Auswahl Akku-Technologie

Zusammenhang Leistungs- und Energiedichten



Quelle: de.wikipedia.org

Auswahl Akku-Technologie

Energiedichte auf Zellebene



Technologie-Vergleich / Literatur

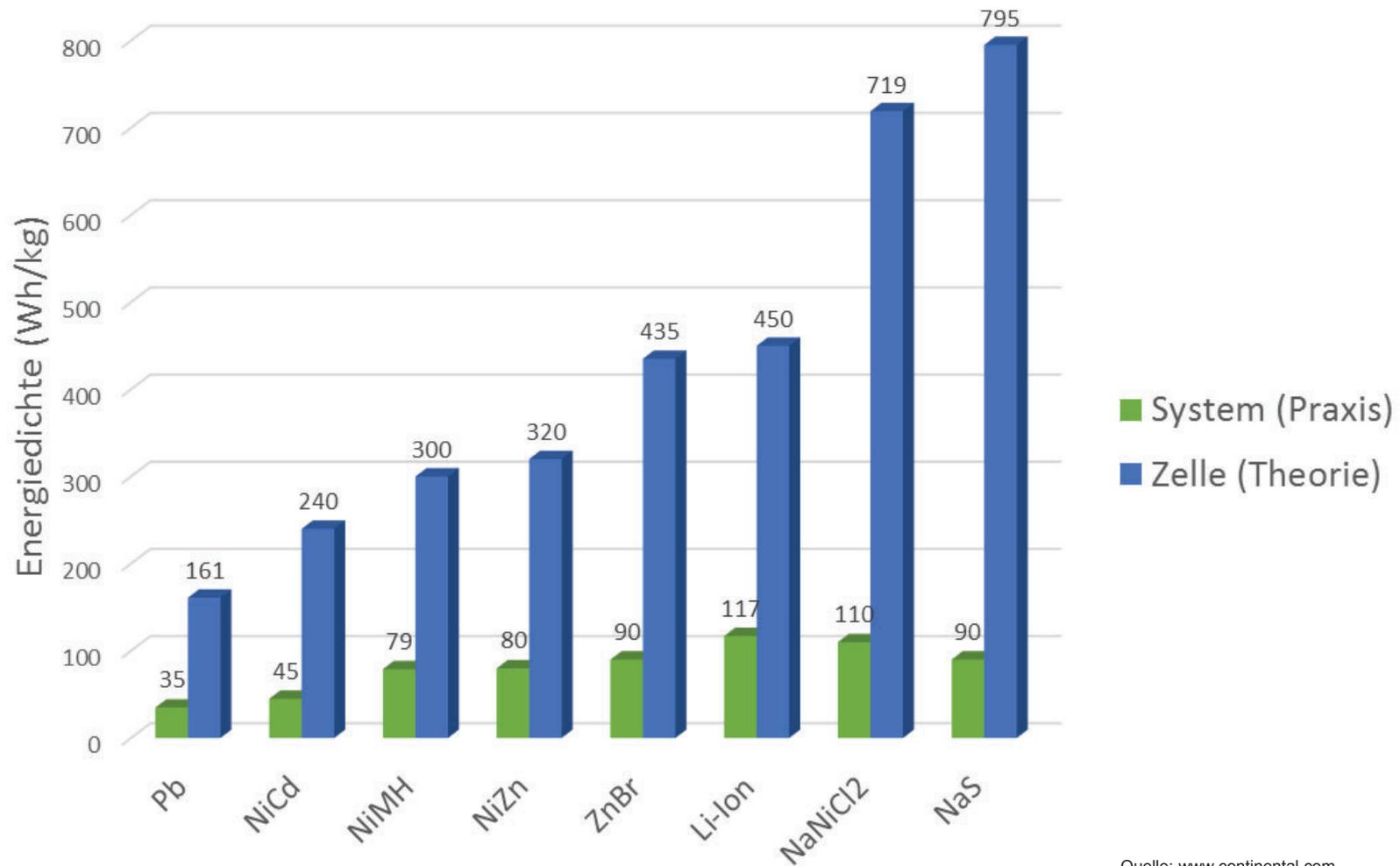
	Einheit	Pb	NiCd	NiMH	Li-Ion	Li-Polymer
Energiedichte Volumetrisch	Wh / l	70	180	300	350	270
Energiedichte Gravimetrisch	Wh / kg	35	50	70	140	150
Nominal-Spannung je Zelle	V	2,0	1,2	1,2	3,2 – 3,7	3,5 - 4,3
Betriebs-Temperatur	°C	-20 / 45	-40 / 60	-20 / 50	Entladen: -10/+50 Laden: +5/+45	+10/+60

Massen-Abschätzung

	Einheit	Pb	NiCd	NiMH	Li-Ion	Li-Polymer
Masse	t	5.7	4	2.8	1.4	1.33
Bauraum	m ³	2.8	1.1	0.7	0.6	0.75

Auswahl Akku-Technologie

Vergleich Zell- und Systemebene ¹



Quelle: www.continental.com

Auswahl Akku-Technologie

Vergleich Zell- und Systemebene ²

▪ Li-Ionen Zelle

- Energiedichte:
 - 200 - 250 Wh/l
 - 100 -140 Wh/kg

> -50 %

Li-Ionen System

- Energiedichte:
 - < 90 Wh/l
 - ca. 100 Wh/kg

▪ Abschätzung Zelle

- 0.6 m³
- 1.4 t

> +50 %

▪ Abschätzung System

- > 2.2 m³
- > 2 t

Kostenvergleich Akku Annahmen



- Lokomotive
 - ca. 20 Jahre Restlebenszeit zu erwarten (evt. Ausmusterung von Diesel-Lokomotiven)

- Akku
 - 2.500 bis 4.000 Zyklen möglich (80% Entladung)
 - Ca. 6 Jahre (bei ca. 80% Restkapazität)
 - Austausch gegen leistungsfähigere Systeme (neue Entwicklungen) möglich

- Stromrichter
 - Lebenszeit ca. 25 bis 30 Jahre
 - Lebenszeit Zusatzkomponenten (Lüfter, Pumpen) ca. 15 Jahre

Kostenvergleich Akku

Vergleich der Kosten zur Automobilindustrie



Akku mit Bahnzulassung

- ca. 300.000 € / 200 kWh = 1.500 € / kWh

Bekannte Beispiele aus der Automobilindustrie

- Nissan Leaf: 12.000 € / 24 kWh = 500 € / kWh
- Tesla Modell S: 35.000 € / 85 kWh = 410 € / kWh
- Literaturwert: 300 € / kWh bis 400 € / kWh

Starke Preisunterschiede bei ähnlichen Anforderungen

Kostenreduktion zu erwarten

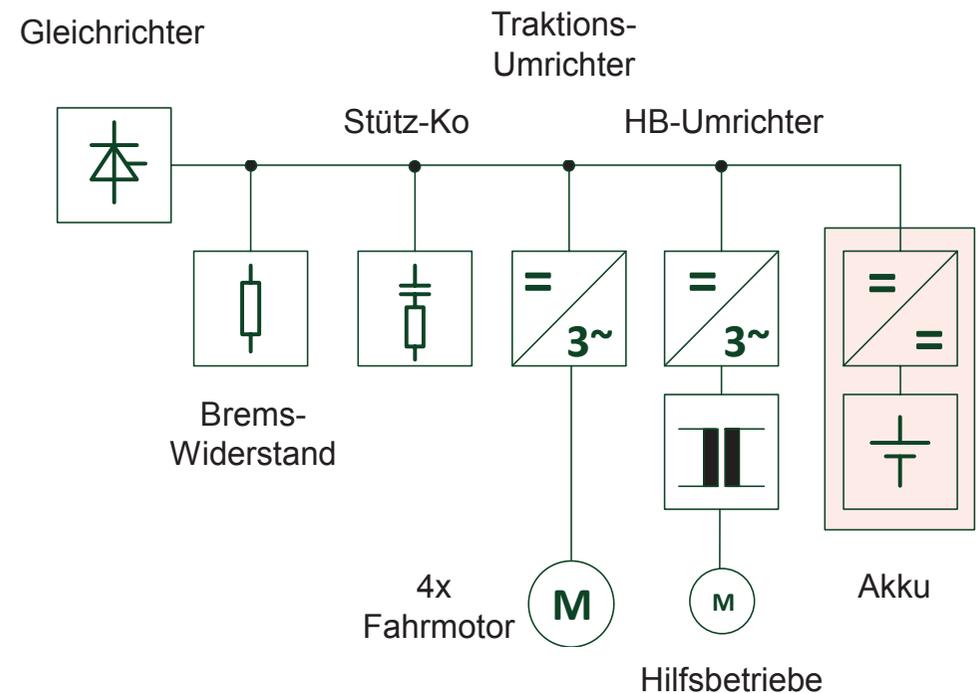
Elektrische und mechanische Integration

Konzept Elektrik



- hohe Modularität gefordert
- Kein Eingriff in das bestehende Lokomotiv Kontroll-System nötig
→ nur eine “überlagerte” Steuerung
- Spannungs-Niveaus
 - Zwischenkreis Spannungen typisch zwischen 1200 V to 1400 V
- Akku-Pack
 - Bis zu 799 V Nominal-Spannung
 - 6 Jahre berechnete Lebensdauer

DC-Zwischenkreis



Elektrische und mechanische Integration

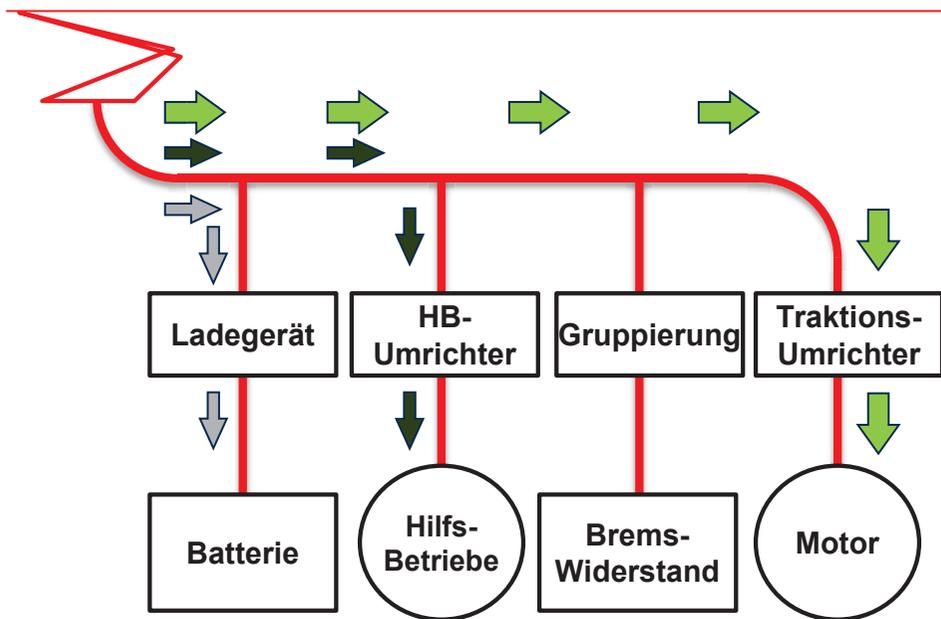
Betriebs-Modi ¹



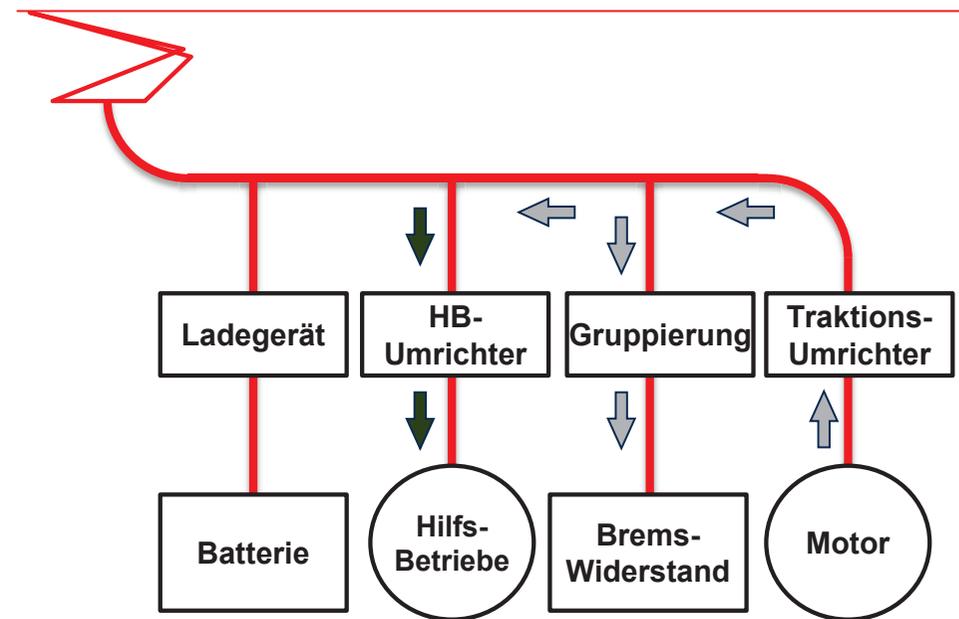
Keine Rekuperation:

- Nur geringe Ladeströme im Verhältnis zur Kapazität („C-Rate“) möglich
- Vereinfachung des Systems bei voller Modularität

Traktion / Oberleitung



Bremsen / Oberleitung



Elektrische und mechanische Integration

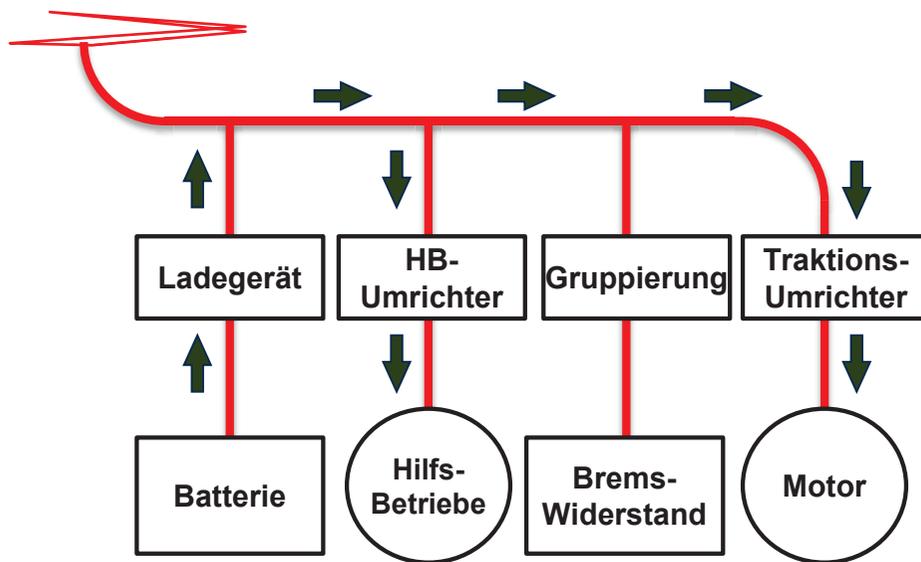
Betriebs-Modi ²



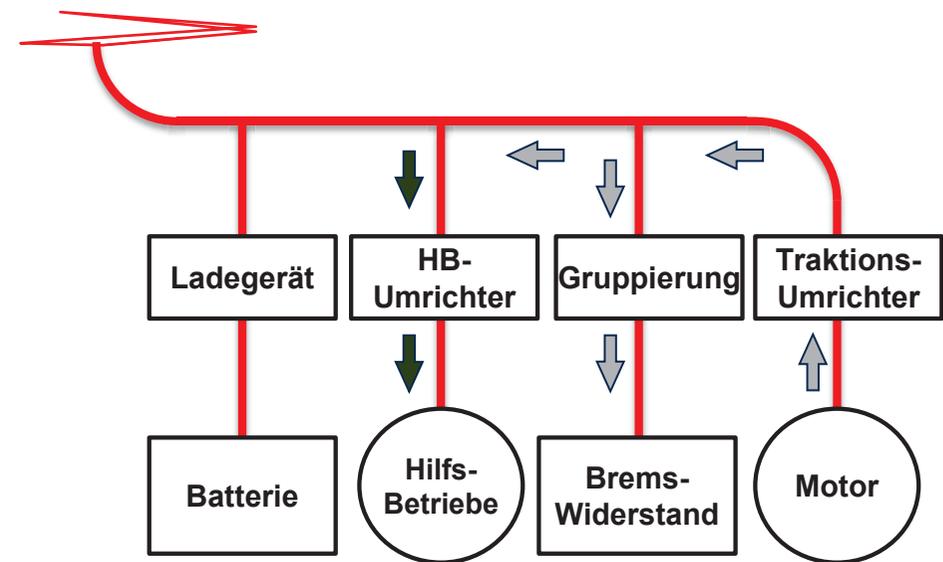
Keine Rekuperation:

- Nur geringe Ladeströme im Verhältnis zur Kapazität („C-Rate“) möglich
- Vereinfachung des Systems bei voller Modularität

Traktion / Akku



Bremsen / Akku



Elektrische und mechanische Integration Bauraum

Bauraum

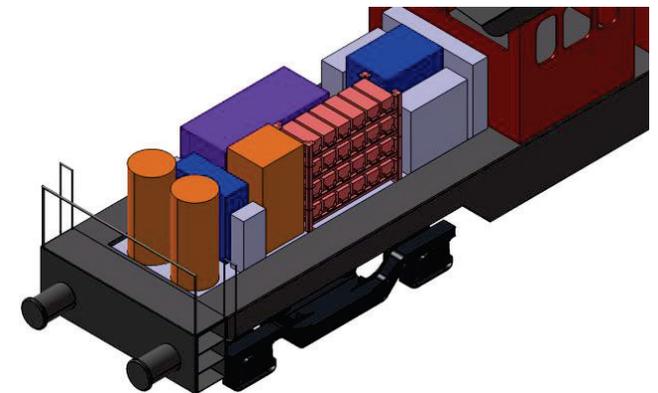
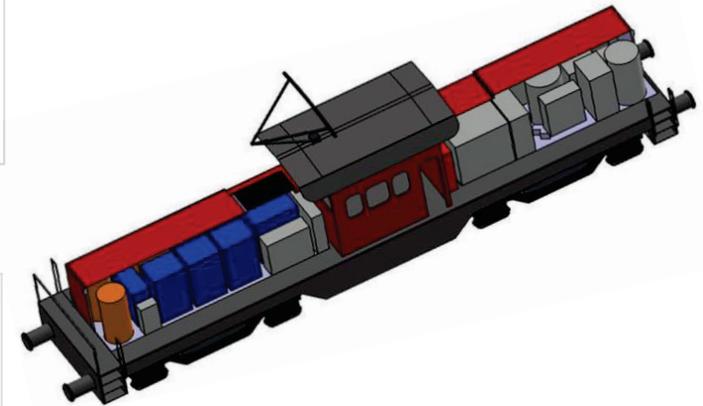
Stromrichter

Integration

- Freier Bauraum minimal
- Optimierung der Geräteanordnung

- Modernisierung von alten Systemkomponenten
- Wassergekühlter Stromrichter notwendig
- DC/DC-Steller im System integriert

- 2.2 m³ Bauraum (verteilt) verfügbar
- Leistungsreduktion auf ca. 1 MW mit Oberleitung bei ca. 200 kW im Akkubetrieb zulässig
- Gesamtmasse der Lok wird nicht erhöht.



Elektrische und mechanische Integration

Änderung Gesamtmasse

Status

Erlaubte
Abweichung

Neues
System

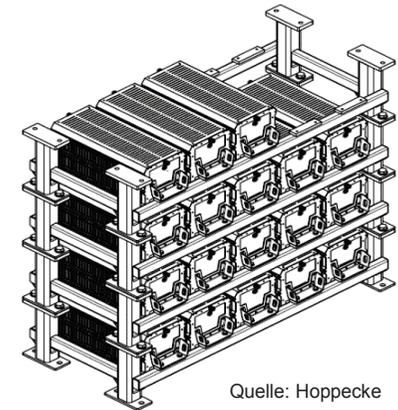
- Masse 4x Umrichter: 4 x 865 kg
- Masse Hilfs-Umrichter: 432 kg

- Änderung Gesamtmasse (lt. VgEV) < 10%
- Erhöhung stat. Radsatzlast < 1,5 to
- Kein Eingriff in sicherheitsrelevante Steuerungen

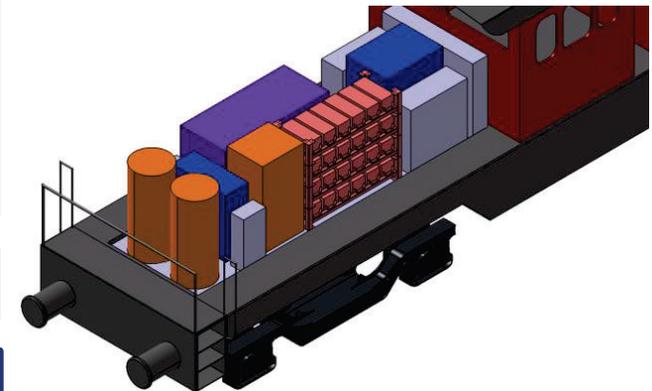
- Neuer Umrichter: 1200 kg
- Akku-Pack: 2000 kg
- Hilfskomponenten (ca.) 140kg

Massenbilanz: -550 kg

**Voraussichtl. keine Änderung der Zulassung nötig
(Brandschutz und dyn. Bremse sind mit Gutachter zu klären)**



Quelle: Hoppecke



Inhalt



1. Molinari Rail

2. Projektvorstellung

2.1. Lastkollektiv

2.2. Auswahl Akku-Technologie

2.3. Kostenvergleich Akku

2.4. Elektrische und mechanische Integration

3. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung Projekt



- Generelle Tendenzen
 - „Hybridisierung“ von Lokomotiven / Triebzügen „liegt im Trend“
 - Positive Umwelt-Wirkung
 - Hohe Akzeptanz in Industrie, Politik und Gesellschaft
- Kosten
 - Die LCC-Kosten werden aktuell von jenen des Akkus dominiert.
 - Bei gegebenem Lastkollektiv ist alle 6 Jahre ein Akku-Ersatz nötig.
- Technologie
 - Akkus sind aktuell noch sehr teuer, speziell in bahntauglichen Varianten.
 - Das nachhaltige Refurbishment von alten Lokomotiven erfordert einen radikalen technologischen Einschnitt.
 - „Performance-Parameter“ von Akkus unterscheiden sich sehr stark in Theorie und Praxis.



**«hybriden Lösungen
gehört die Zukunft»**

Danksagung



Die Erkenntnisse dieses Vortrages wurden im Projekt

„Elektrische Lokomotive mit zusätzlichem Akku-Energiespeicher für oberleitungsfreien Betrieb“

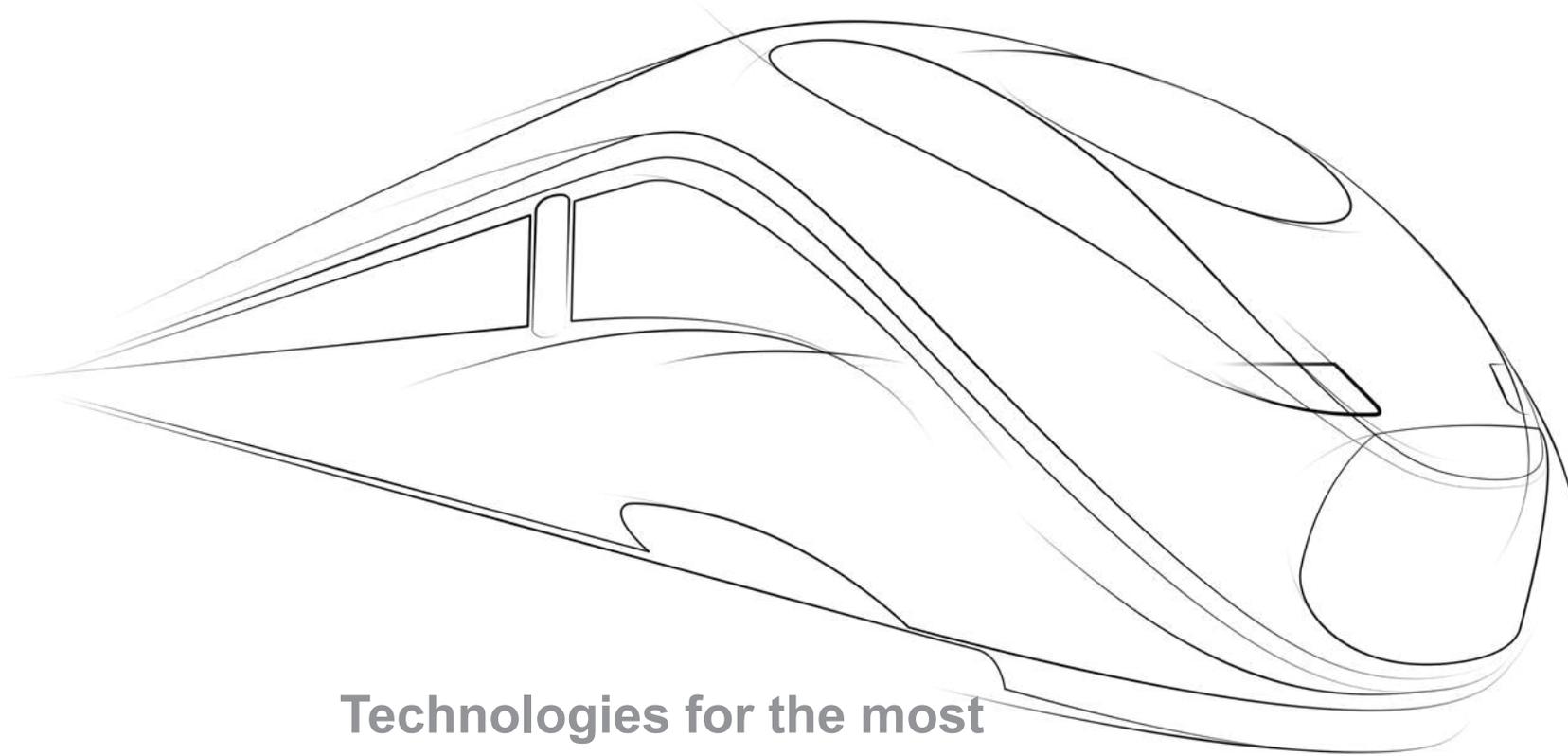
erarbeitet und dankenswerter Weise von

- der Österreichischen Forschungs-Förderungsgesellschaft (FFG)



unterstützt.

A PASSION FOR RAILWAY SOLUTIONS



Technologies for the most
sustainable mode of transit
Made by Molinari