



Innovative Antriebstechnik bei Schienenfahrzeugen aus Sicht der Beschaffung der Deutschen Bahn AG

Deutsche Bahn AG

Beschaffung Schienenfahrzeuge TEF

Dr. Möller, B. Lange, Dr. Müller, P. Lankes

Graz, den 9.09.2014

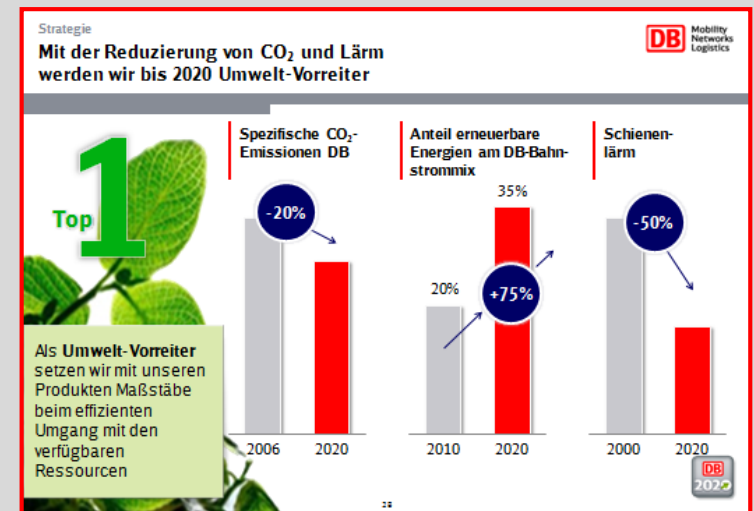
- 1. Einleitung – Innovative Antriebstechnik – warum ?**
- 2. Innovative Antriebstechnik – Fahrzeuge mit Energiespeicher**
- 3. Energiespeicher auf Lithium Technologie – Betreiberanforderungen reflektiert am Stand der Technik**
- 4. Herausforderungen (Technik Gesamtsystem / Rahmenbedingungen)**
- 5. Entwicklungsstand im Bahnsektor**
- 6. Zusammenfassung und Ausblick**

- 1. Einleitung – Innovative Antriebstechnik – warum ?**
- 2. Innovative Antriebstechnik – Fahrzeuge mit Energiespeicher**
- 3. Energiespeicher auf Lithium Technologie – Betreiberanforderungen reflektiert am Stand der Technik**
- 4. Herausforderungen (Technik Gesamtsystem / Rahmenbedingungen)**
- 5. Entwicklungsstand im Bahnsektor**
- 6. Zusammenfassung und Ausblick**

Konzernziele DB:

Umwelt-Vorreiter werden u.a. durch:

- DB Strategie 2020:
 - Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien im Bahnstrommix auf 35%
 - Senkung der spezifischen CO₂ Emissionen um 20%
- Vision 2050:
Komplett CO₂ frei auf der Schiene



Da der Antriebsstrang den Hauptverbraucher darstellt, tragen innovative Antriebstechniken bei zur

- Senkung des Energieverbrauchs durch Wirkungsgradsteigerungen in der Traktionskette
- Senkung des CO₂ Verbrauches durch Rückspeisung der Bremsenergie auch bei Fahrzeugen mit Verbrennungsantrieb
- Senkung des CO₂ Ausstoßes durch sukzessive Substitution von Fahrzeugen mit Verbrennungsantrieb bei gleichzeitiger Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien im Bahnstrommix

Eine (Teil-)Substitution von Sfzg. mit Verbrennungsantrieb liefert bei geeigneten Rahmenbedingungen einen deutlichen Beitrag zur Senkung der spezifischen CO₂ Emissionen

- 1. Einleitung – Innovative Antriebstechnik – warum ?**
- 2. Innovative Antriebstechnik – Fahrzeuge mit Energiespeicher**
- 3. Energiespeicher auf Lithium Technologie – Betreiberanforderungen reflektiert am Stand der Technik**
- 4. Herausforderungen (Technik Gesamtsystem / Rahmenbedingungen)**
- 5. Entwicklungsstand im Bahnsektor**
- 6. Zusammenfassung und Ausblick**

Über 80 Jahre betrieb die Bahn mehr als 250 Akkutriebwagen im Nahverkehr mit einer Höchstgeschwindigkeit bis zu 100km/h und einer Reichweite von bis zu 400km

Akkutriebwagen bei der DB

ÉTA 150 – BR 515

- 232 Triebwagen (und nicht angetriebene Beiwagen)
- $V_{\max} = 100 \text{ km/h}$
- Baujahr 1954 bis 1965
- Reichweite: bis 400km
- Akukapazität: 548 KWh
Ladezeit: 3 Stunden

Weitere Baureihen

- **ETA 177:** Baujahr 1908, Einsatz bis bis 1960
- **DRG:** Baujahr 1926-1928, Anzahl 12
- **ETA 176:** Baujahr 1954: Anzahl 8

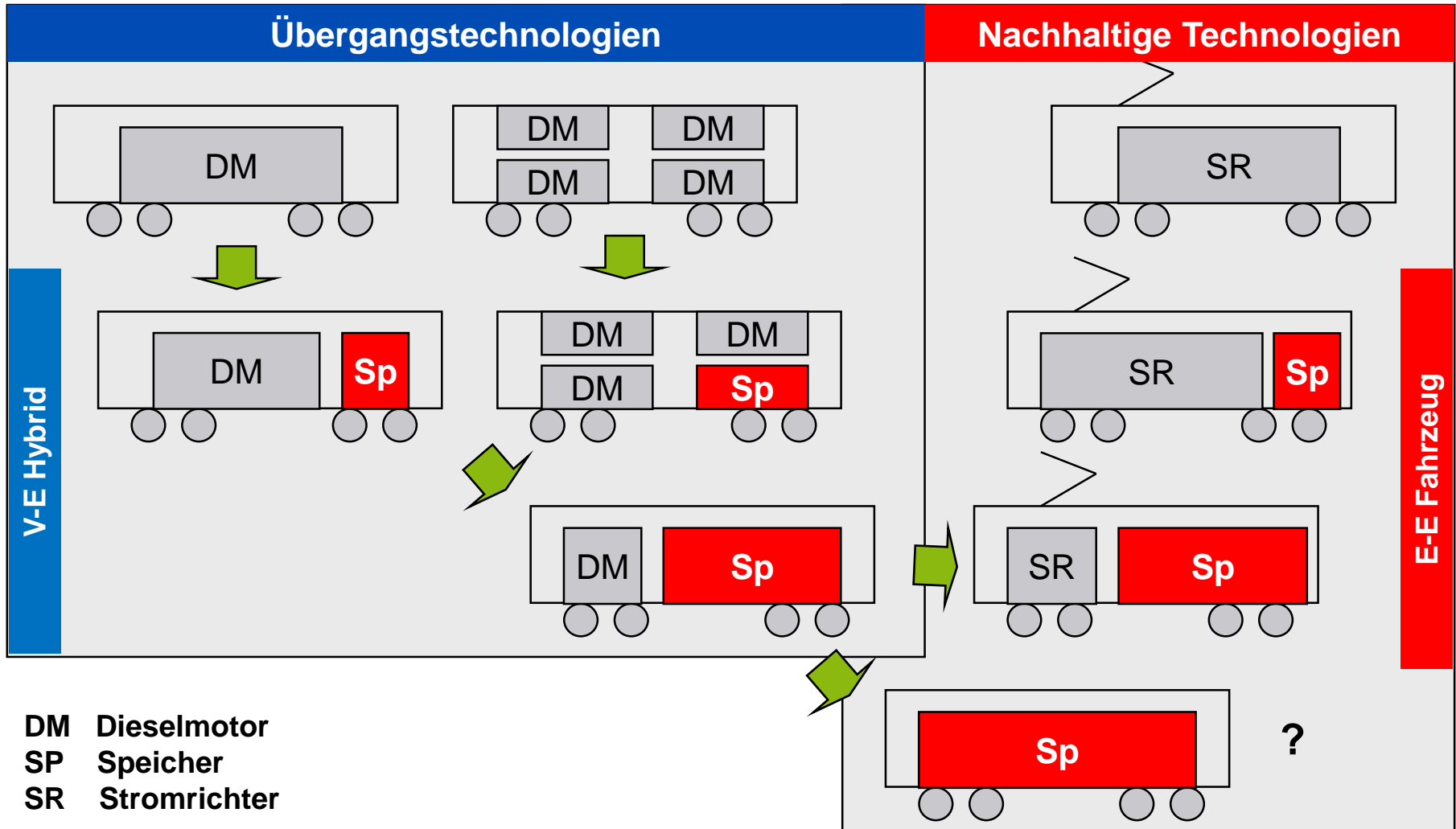
ETA 150



Foto: Peter Lankes

- Schon Ende des 19. Jahrhunderts fuhr man auf nicht elektrifizierten Strecken lokal emissionsfrei
- Trotz Einsatz der aus heutiger Sicht alten Akkumulatoren bewährten sich Akkutriebwagen.
- Moderne Lithium-Ionen-Akkus speichern heute pro kg die 6-fache Energie und sind schnellladefähig

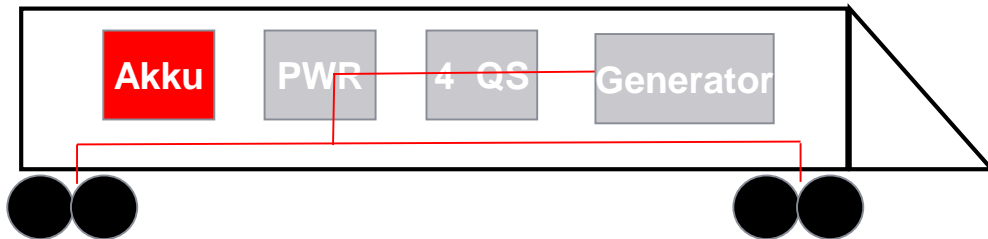
Übergangstechnologien bauen die Brücke zum CO₂-freien Bahnverkehr



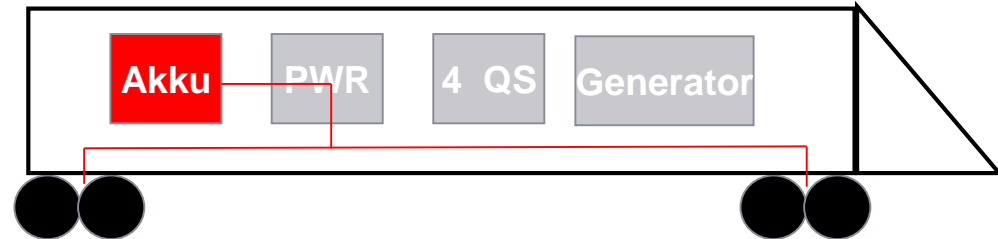
Die Basis des VE Hybrids ist ein dieselektrisches Fahrzeug, ergänzt mit einem Energiespeicher

V-E Hybrid auf Basis eines dieselektrischen Fahrzeuges

Energiebezug aus Generator



Energiebezug aus Energiespeicher



- Basis ist ein dieselektrisches Fahrzeug
- Ladung des Akkus erfolgt aus dem Generator
- Rückspeisefähigkeit der Bremsenergie in den Akku möglich
- In sensiblen Bereichen (z.B. Innenstadt, Tunnel, am Bahnsteig) kann das Fahrzeug ohne laufenden Generator fahren: Energie wird aus Akku bereitgestellt
- Als **Rückfallebene** steht der Generator jederzeit zur Verfügung
→ moderate Anforderungen an die Verfügbarkeit des Energiespeichers

Viele Linien mit Dieseltraktion legen weite Strecken unter Fahrdraht zurück und/oder beginnen und enden in elektrifizierten Stadtbahnhöfen

Einsatzgebiete von Hybridfahrzeugen im Nahverkehr

- Start bzw. Ende der Linie in Großstädten
 - Bahnhöfe und Stadteinfahrten sind elektrifiziert
 - Bahnhöfe liegen in Umweltzonen
 - Wendezeiten ermöglichen Aufladen der Energiespeicher
 - Teil der Linie ist elektrifiziert
 - Elektrischer Antrieb ist wesentlich umweltfreundlicher als ein Antrieb mit Verbrennungsmotor
- Oft sind überschaubare Entfernungen ohne Oberleitung zu überbrücken. Trotzdem wird die gesamte Linie in Dieseltraktion gefahren.

Beispiele Regionalverkehr

- **Frankfurt** - Saarbrücken:
211 km, davon 111 km elektrifiziert
- **München** - Lengries
68 km, davon 37 km elektrifiziert
- **München** - Mühldorf – Simbach
120 km – 27 km elektrifiziert
- **Augsburg** - Weilheim
72 km – 39 km elektrifiziert

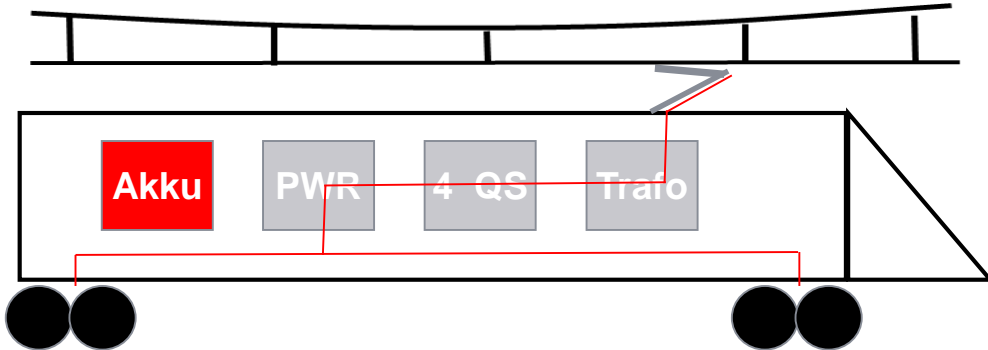


→ Oft sind nicht elektrifizierte Abschnitte von deutlich unter 100 km zu überbrücken.
→ Das System Bahn liefert ideale Rahmenbedingungen bzgl. Energieversorgung

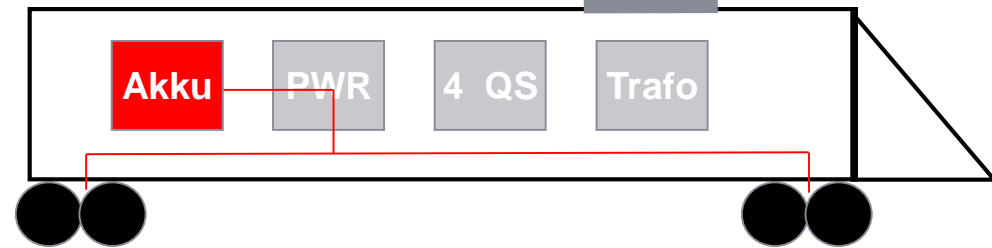
Die Basis des E-E Hybrids ist ein elektrisches Fahrzeug mit Stromabnehmer, ergänzt mit einem Energiespeicher

E-E Hybrid auf Basis eines elektrisch angetriebenen Fahrzeuges

Energiebezug aus Fahrleitung



Energiebezug aus Energiespeicher



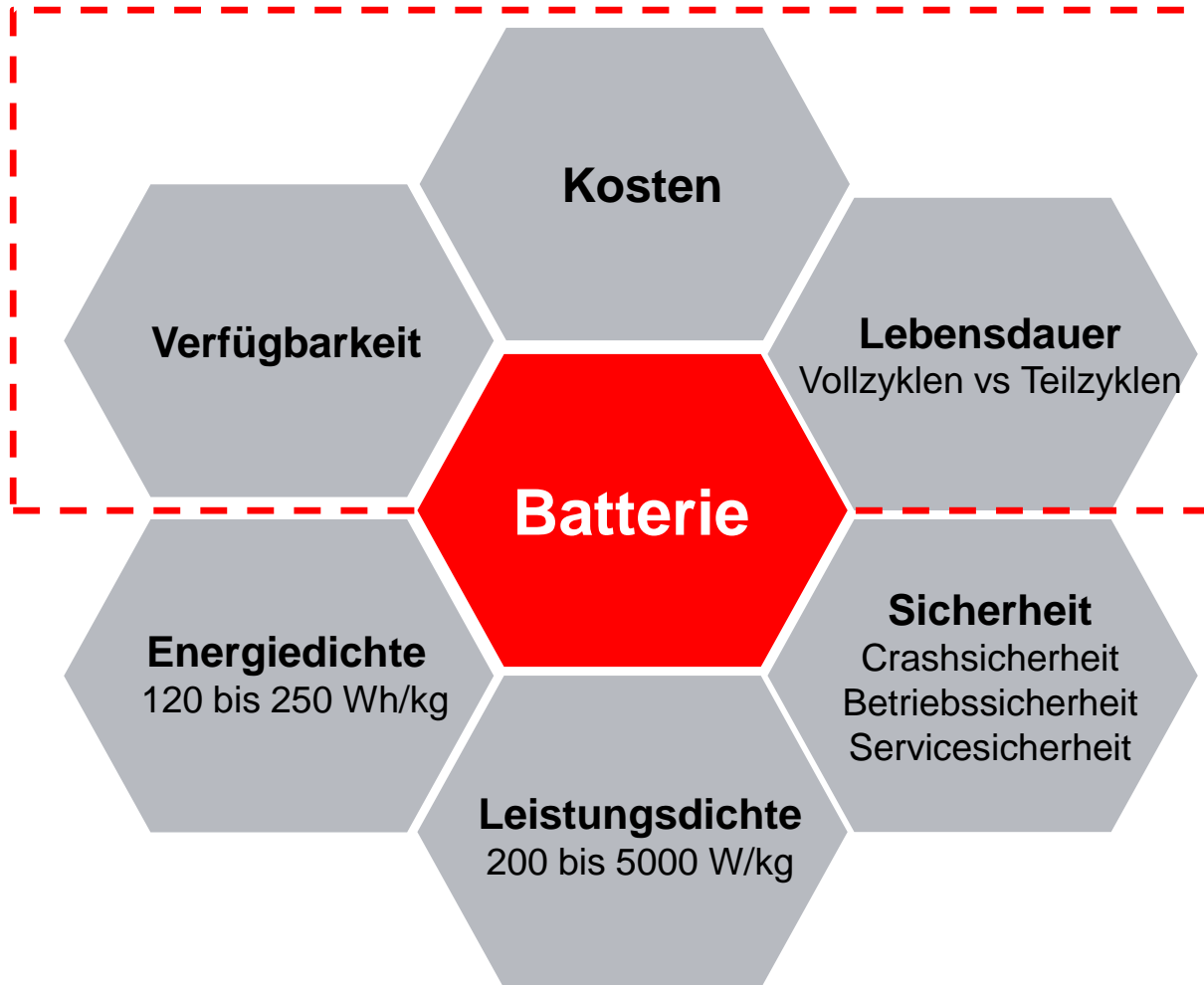
- Basis ist ein elektrisches Fahrzeug
- Ladung des Akkus erfolgt aus der Fahrleitung im Stand und während der Fahrt.
- Auf nicht elektrifizierten Streckenabschnitten wird die Energie vom Akku bereitgestellt.
- Rückspeisefähigkeit der Bremsenergie ist sowohl in den Akku als auch in die Fahrleitung möglich
- Beim Fahren ohne Fahrleitung steht **keine Rückfallebene** zur Verfügung
→ hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit und Auslegung (z.B. betriebliche Fahrzeit- bzw. Weg Verlängerungen) des Energiespeichers

E-E Hybridzüge entlasten deutlich die Umwelt. Eine LCC Betrachtung ist noch im Detail zu führen.

Umwelt	LCC
<p>Plus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geringerer Energie- bzw. CO₂ Verbrauch • Geringere Emissionen in der Gesamtbetrachtung (Feinstaub) • Lokal emissionsfrei • Durch ökologische Stromerzeugung kann zukünftig 100% CO₂ neutral gefahren werden (Green Mobility) • Geringere Lärmbelästigung 	<p>Plus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ein Elektrotriebzug hat ca. 20% bis 40% geringere Instandhaltungskosten als ein Verbrennungstriebzug • Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen <ul style="list-style-type: none"> ○ Kosten für fossile Brennstoffe steigen kontinuierlich (Ressourcenknappheit) ○ Geringerer Verbrauch • Besserer Linienzuschnitt und breiteres Einsatzspektrum der Fahrzeuge
<p>Minus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Umweltbelastung Akkuherstellung • Ggf. Erhöhung des Fahrzeuggewichtes • Sicherheitsaspekte beim Akku 	<p>Minus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hohe Anschaffungskosten für den Akku • Betriebskosten und Lebensdauer des Akkus

- 1. Einleitung – Innovative Antriebstechnik – warum ?**
- 2. Innovative Antriebstechnik – Fahrzeuge mit Energiespeicher**
- 3. Energiespeicher auf Lithium Technologie – Betreiberanforderungen reflektiert am Stand der Technik**
- 4. Herausforderungen (Technik Gesamtsystem / Rahmenbedingungen)**
- 5. Entwicklungsstand im Bahnsektor**
- 6. Zusammenfassung und Ausblick**

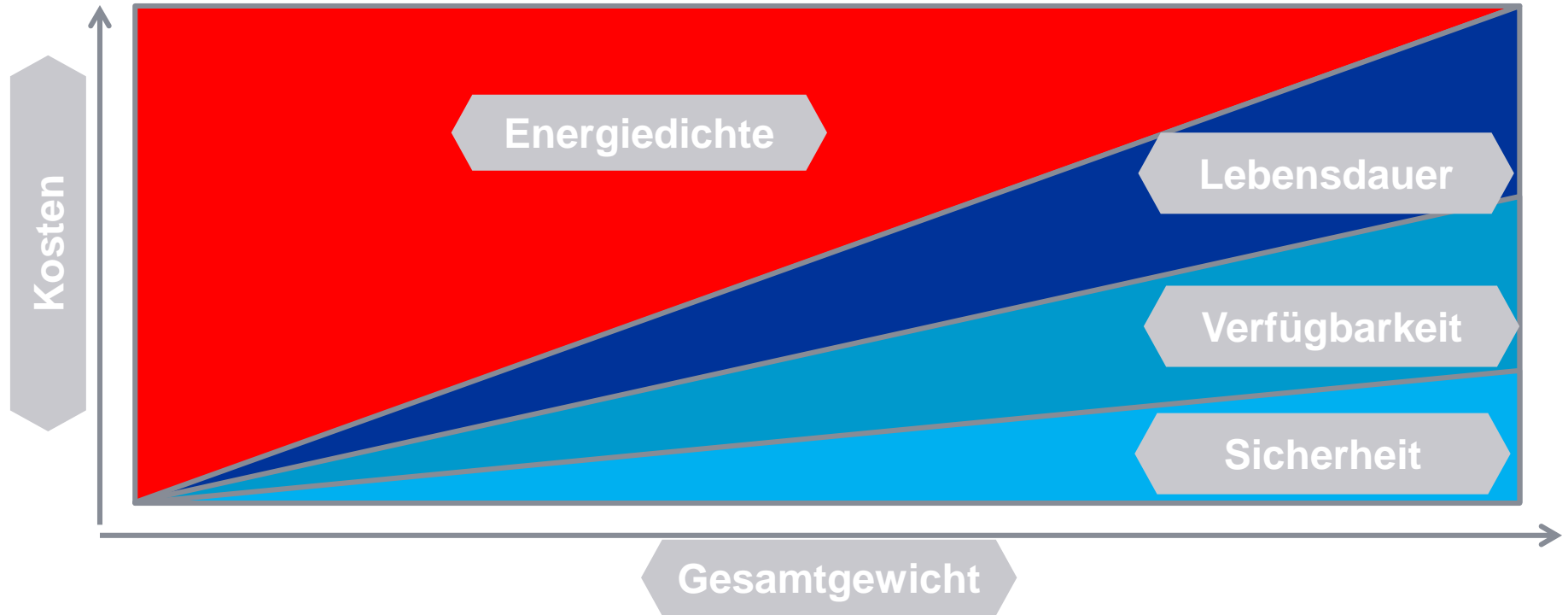
Anforderungen an den Energiespeicher



Konsequente, hersteller- übergreifende Definition und Standardisierung der Schnittstellen

- Energiespeicher = Verschleißteil
 - Geringe Stückzahlen im Sektor Bahn
 - Efficiency of Scale
- Win – Win Effekt für alle Stakeholder

Die Anforderungen an verschiedene Eigenschaften des Energiespeichers sind nicht voneinander unabhängig



Einzelne Themen sind bereits jetzt umsetzbar. Die Herausforderung liegt in den z.T. entgegenwirkenden Gesamtanforderungen an den Energiespeicher

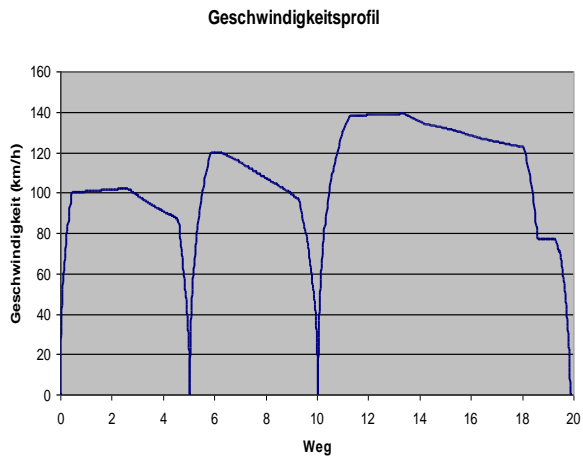
Die Anforderungen an die Batterie bzgl. Sicherheit sind hoch und mehrdimensional

Crashsicherheit	Betriebssicherheit	Servicesicherheit
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Crashsichere Unterbringung der Batterie in einem korrosionsbeständigen Gehäuse mit feuerhemmenden Schaum bzw. einem feuerfesten Gehäuse ▪ Ventile zum Ablassen der Reaktionsgase im Fehlerfall 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einzelzellenüberwachung ▪ Mikroprozessorgesteuertes System zur Überwachung der Gesamtbatterie mit eigener Energieversorgung ▪ Sichere Leistungsschalt-elemente zum selbständigen Abschalten der Batterie, bevor sicherheitskritische Grenzwerte überschritten werden ▪ Thermomanagement ▪ Zellausgleich ▪ Einhausungsvorschriften ▪ Verfügbarkeit zur Gewährleistung der Fahrzeugsicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entladung bei Wartung nicht sinnvoll möglich → Berührungsschutz (Hochspannung) notwendig ▪ Aus- und Einbau von Batteriemodulen muss möglich sein (Gewicht, Zugänglichkeit) ▪ Transportsicherheit beim Versenden der Batteriemodule muss sichergestellt sein

Die Dimensionierung des Energiespeichers auf Systemebene ist bei derzeitiger Technologie noch eine Herausforderung

Abschätzung Reichweite, Gewicht

Energieverbrauch



- Durchschnittlicher Fahrzyklus im Regionalverkehr verwendet
- $V_{max} = 140\text{km}$
- Gerechnet für 19,8km
- Mittelwert von verschiedenen Fahrzeugen

100km (4 teiliger ET) Fahrzyklus im Regionalverkehr
 ca. 500 KWh Traktionsenergie
 + ca. 100 KWh Hilfsbetriebe
 = **600 KWh Gesamtenergieverbrauch**

+ 10 % Sicherheit
 + 20 % Nutzung von 80% des Speichers
 = **780 KWh auf Systemebene**

Energiespeicher

- Energiedichte (System): 150 Wh / kg bzw. 6,7 kg / KWh.
- Leistungsdichte: 0,3 bis 1,5 KW/kg

→ 5,2 t zusätzliche Masse für den Energiespeicher auf Systemebene

- 1. Einleitung – Innovative Antriebstechnik – warum ?**
- 2. Innovative Antriebstechnik – Fahrzeuge mit Energiespeicher**
- 3. Energiespeicher auf Lithium Technologie – Betreiberanforderungen reflektiert am Stand der Technik**
- 4. Weitere Herausforderungen (Technik Gesamtsystem / Rahmenbedingungen)**
- 5. Entwicklungsstand im Bahnsektor**
- 6. Zusammenfassung und Ausblick**

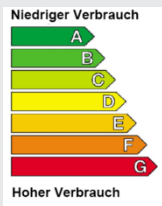
Betrachtung des Gesamtsystems – Verfügbarkeit – Sitzplätze - Massebilanz



Das Ziel

- Senkung des Energieverbrauchs und der Umweltbelastung (Emissionen)
- Beibehaltung der Ökonomie
- Senkung der LCC

Innovative Technologien sind notwendig, da Größe und Masse von mobilen Energiespeichern die ökologischen und ökonomischen Vorteile ggf. aufzehren



Zur Energieeinsparung und damit zur Reduktion der Größe des Energiespeichers:

- hocheffizienten IGBT Stromrichtern, ggf. auf SIC Basis
- Einsatz von PM Motoren oder ASM Motoren hoher Energieeffizienzklassen

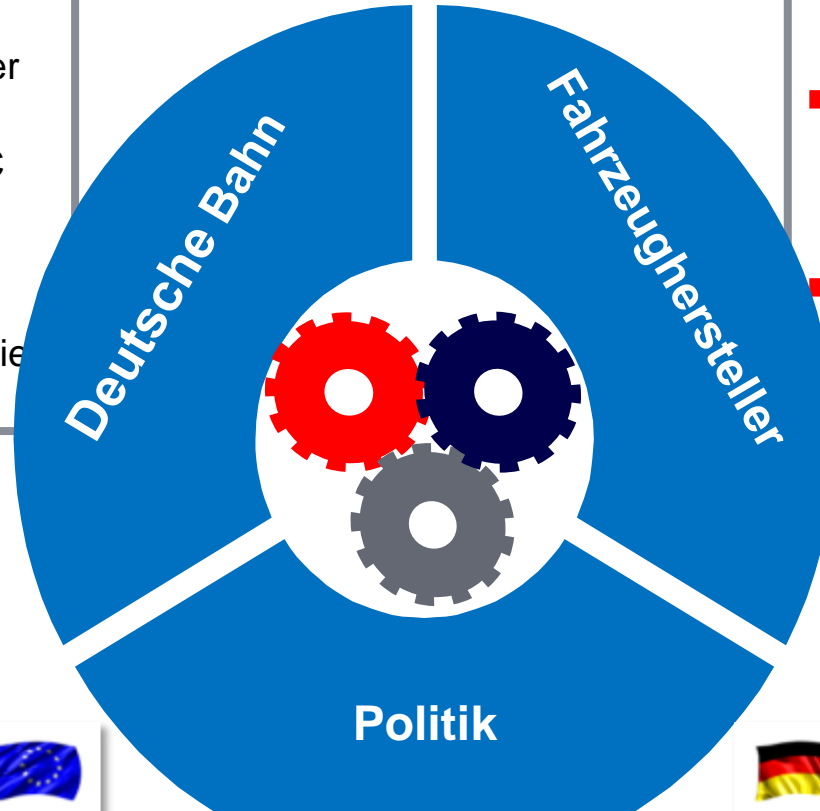
Zur Gewichtseinsparung:

- Innengelagerte Drehgestelle zur Gewichtsersparnis
- Verwendung von Drehgestellen mit Direktantrieben
- Mittelfrequenztrafo



Alle Stakeholder im Eisenbahnsektor müssen ihren Beitrag leisten, damit innovative Antriebstechnik in Europa realisiert werden kann

- Bereitstellung von Erprobungsträgern
- Spezifikation und Simulation
- Mitwirkung an der Spezifikation der Schnittstellen für Energiespeicher
- Konsequente Einbindung der LCC und Umweltaspekte in Fahrzeugbeschaffungsprojekte
- Fahrzeuge beschaffen nach Beschaffungs- und Technikstrategie BUTS 2025



- Standardisierte und offene Schnittstellen müssen definiert, realisiert und verifiziert werden
- Entwicklungen müssen selbständig für den Markt und projektunabhängig vorangetrieben werden
- Der Bau von Prototypen muss realisiert werden



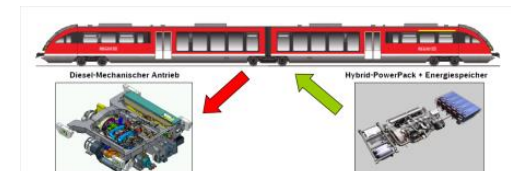
- Aufgabenträger im Nahverkehr
- Zulassungsbehörden
- Standardisierungsaktivitäten

- 1. Einleitung – Innovative Antriebstechnik – warum ?**
- 2. Innovative Antriebstechnik – Fahrzeuge mit Energiespeicher**
- 3. Energiespeicher auf Lithium Technologie – Betreiberanforderungen reflektiert am Stand der Technik**
- 4. Weitere Herausforderungen (Technik Gesamtsystem / Rahmenbedingungen)**
- 5. Entwicklungsstand im Bahnsektor**
- 6. Zusammenfassung und Ausblick**

Der Entwicklungsstand zeigt, dass die Technologie prinzipiell funktioniert, jedoch noch weit vom großflächigen Serieneinsatz entfernt ist

V-E Hybrid Fahrzeuge

- Versuchsträger, die auch im Regelbetrieb eingesetzt werden, existieren in Deutschland bereits.
- Die Herstellung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor und mobilen Energiespeichern in nennenswerten Serien findet jedoch noch nicht statt.
- Beispiele:
 - Erprobung von vierachsigen Umbau Hybridlokomotiven u.a. bei der Mitteldeutschen Eisenbahngesellschaft
 - Plattform H3 für dreiachsige Neubaurangierlokomotiven der Fa. Alstom
 - Elektrolokomotiven mit kleinem Dieselmotor und Energiespeicher für die letzte Meile
 - Rangierlokomotiven der Firma Vossloh
 - Umbau BR 642 durch DB Systemtechnik als V-E Hybrid



E-E Fahrzeuge

- In Deutschland existiert derzeit kein Fahrzeug, weder im Serien- noch im Versuchsbetrieb. International ist das anders.
- Beispiele:
 - Japan: J-TREC Baureihe EV-301 der JREast
 - Test eines Prototyps EMU Class 379 in Großbritannien



- 1. Einleitung – Innovative Antriebstechnik – warum ?**
- 2. Innovative Antriebstechnik – Fahrzeuge mit Energiespeicher**
- 3. Energiespeicher auf Lithium Technologie – Betreiberanforderungen reflektiert am Stand der Technik**
- 4. Herausforderungen (Technik Gesamtsystem / Rahmenbedingungen)**
- 5. Entwicklungsstand im Bahnsektor**
- 6. Zusammenfassung und Ausblick**