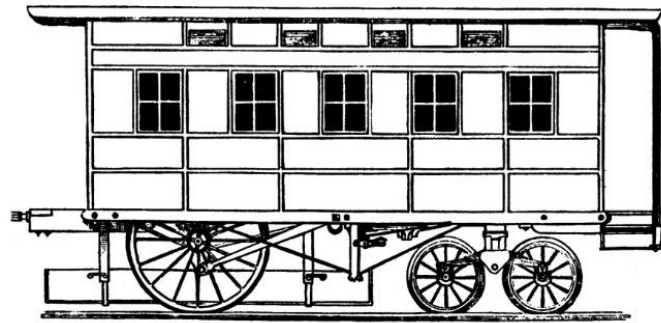


# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.4 Akkutriebfahrzeuge

### 3.4.1 Einführung

- Akkutriebfahrzeuge → prinzipiell Untergruppe der elektrischen (Gleichstrom-)Triebfahrzeuge
- Idee zur Energieversorgung von Triebfahrzeugen durch Akkumulator bereits vor Erfindung des Gleichstrommotors
- frühe Anwendung von Akkumulatoren bei Triebwagen (um 1890), Grubenlokomotiven und vereinzelt Rangierlokomotiven



THE FIRST LOCOMOTIVE THAT EVER MADE A SUCCESSFUL TRIP WITH GALVANIC POWER.

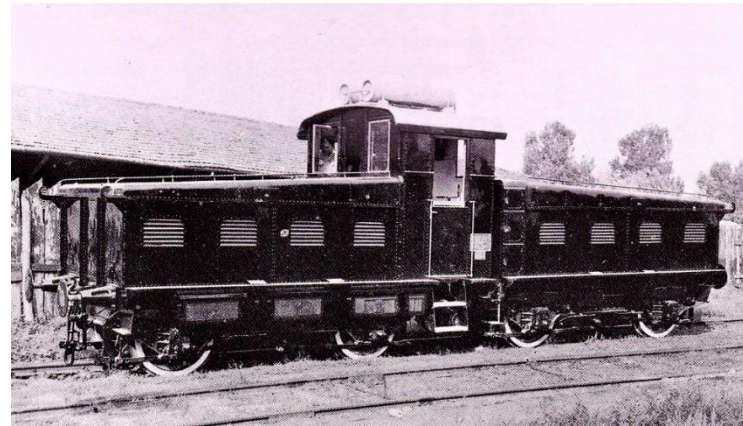


Foto: Wikipedia



Foto: Wikipedia/Sebastian Koppehel

# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.4 Akkutriebfahrzeuge

### 3.4.2 Haupteigenschaften Akkutriebfahrzeuge

#### Anforderungen

#### Anwendungsgebiete

#### Nachteile



Foto: Wikipedia/Bahntech

# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.4 Akkutriebfahrzeuge

### 3.4.3 Speichertechnologien

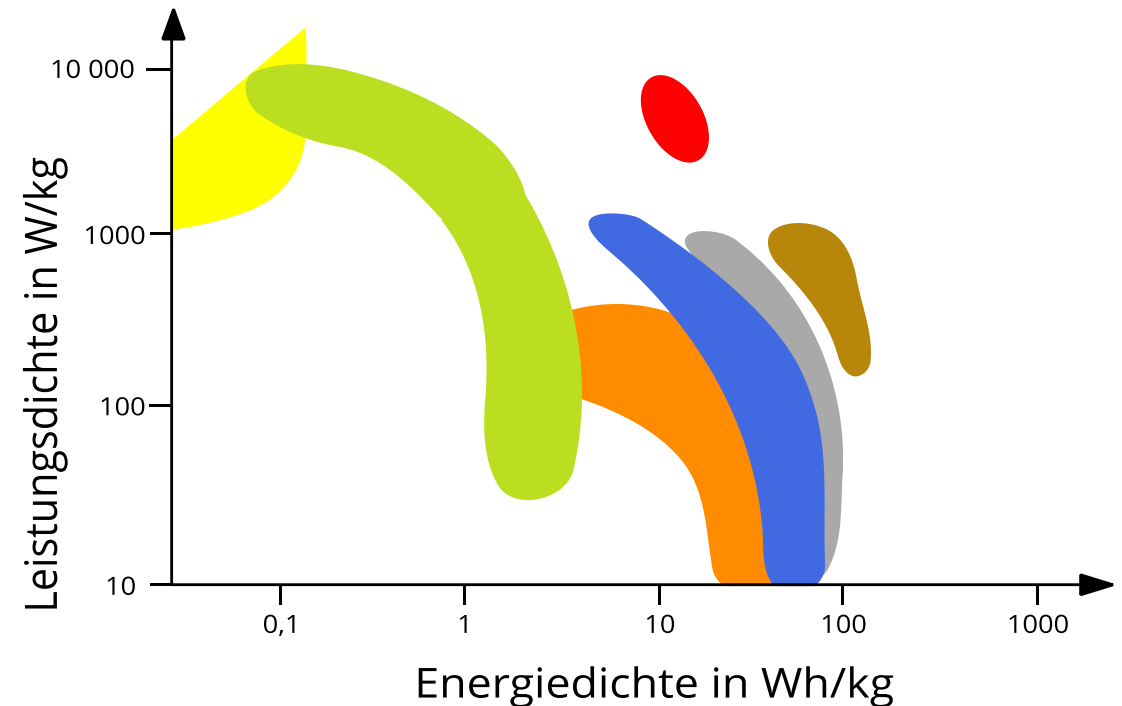
#### Anforderungen

- hohe Energie- und Leistungsdichte
- lange Lebensdauer

#### typische Traktionsbatterien und Energiedichten

- Bleiakkumulator: ~ 35 Wh/kg
- Nickel-Cadmium-Akkumulator: ~ 75 Wh/kg
- Nickel-Metallhydrid-Akkumulator: ~ 90 Wh/kg
- Lithium-Ionen-Akkumulator: ~ 150 Wh/kg
  
- Vergleich Dieselkraftstoff: 11.700 Wh/kg
- Vergleich Wasserstoff: 800 Wh/kg

- UltraCap-Kondensator
- Doppelschicht-Kondensator
- Elektrolyt-Kondensator
- Li-Ion-Kondensator
- Li-Ion-Akkumulator
- Ni-MH-Akkumulator
- Ni-Cd-Akkumulator
- Blei-Akkumulator



# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.4 Akkutriebfahrzeuge

### 3.4.5 Moderne Akkutriebfahrzeuge

#### Triebzug Class 230 „D-Train“ (Hersteller Vivarail)

- Akku-Triebzug mit Li-Ion-Zellen (gesamt: 106 kWh)
- Antriebsleistung ca. 300 kW
- lt. Betreiberangaben nach 10 min Ladung 80 km Reichweite

#### Alstom H3 Akkulok (bisher nicht realisiert)

- reine Akku-Variante neben Hybrid-, Bi-Motor- und Großmotor-Variante auf gleicher Plattform
- ausgestattet mit Ni-Cd Traktionsbatterien
- Antriebsleistung 600 kW



Foto: Wikipedia/spsmiller



Foto: © Alstom

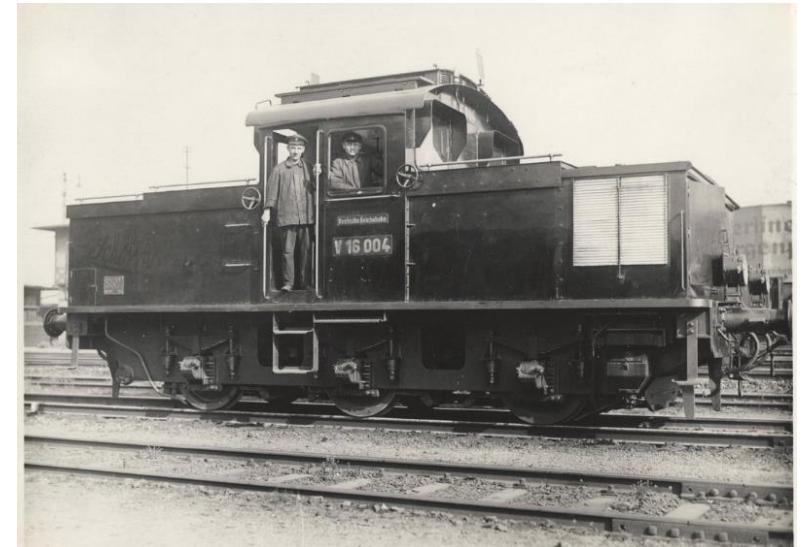
# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.5 Hybridtriebfahrzeuge

### 3.5.1 Einführung & Definition

„Hybrid“

- historisches Beispiel: V 16 004 (Bj. 1933), Radsatzfolge: Co
- „Speichertriebfahrzeug mit Diesel-Elektro-Ladeaggregat“
- DC-Fahrmotoren (3x 50 kW) konnten von Akkumulator, Dieselmotor (55 kW) o. in Kombination gespeist werden
- aber: kein Vollhybrid, da keine Rekuperation vorgesehen (Nachladung des Akku nur durch DM)
- keine Start-Stopp-Automatik (DM meist in Betrieb)

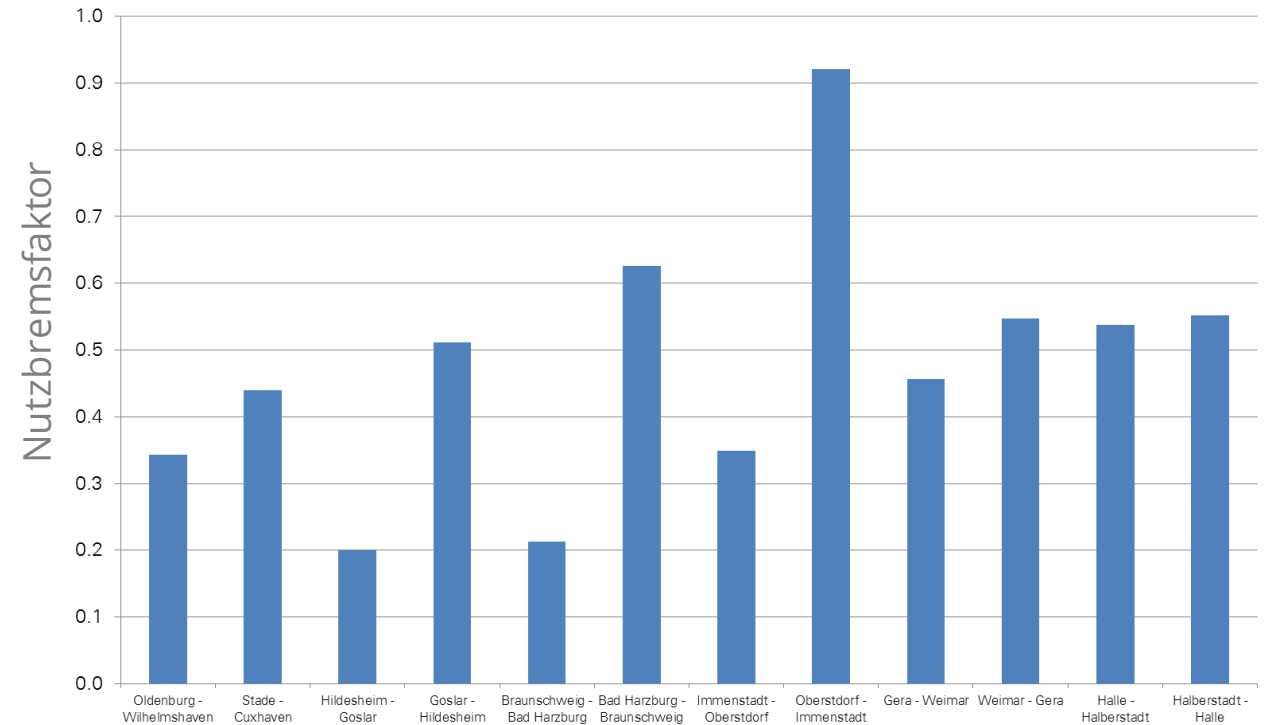


# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.5 Hybridtriebfahrzeuge



### 3.5.2 Anforderungen und typische Einsatzfelder



# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge



## 3.5 Hybridtriebfahrzeuge

### 3.5.2 Anforderungen und typische Einsatzfelder

#### Versuche in Frankreich (Plathée Projekt)

##### Rangierfahrten:

Mittlere Leistung: 80 kW  
Maximale Leistung: 477 kW

**PHP:** 0,83

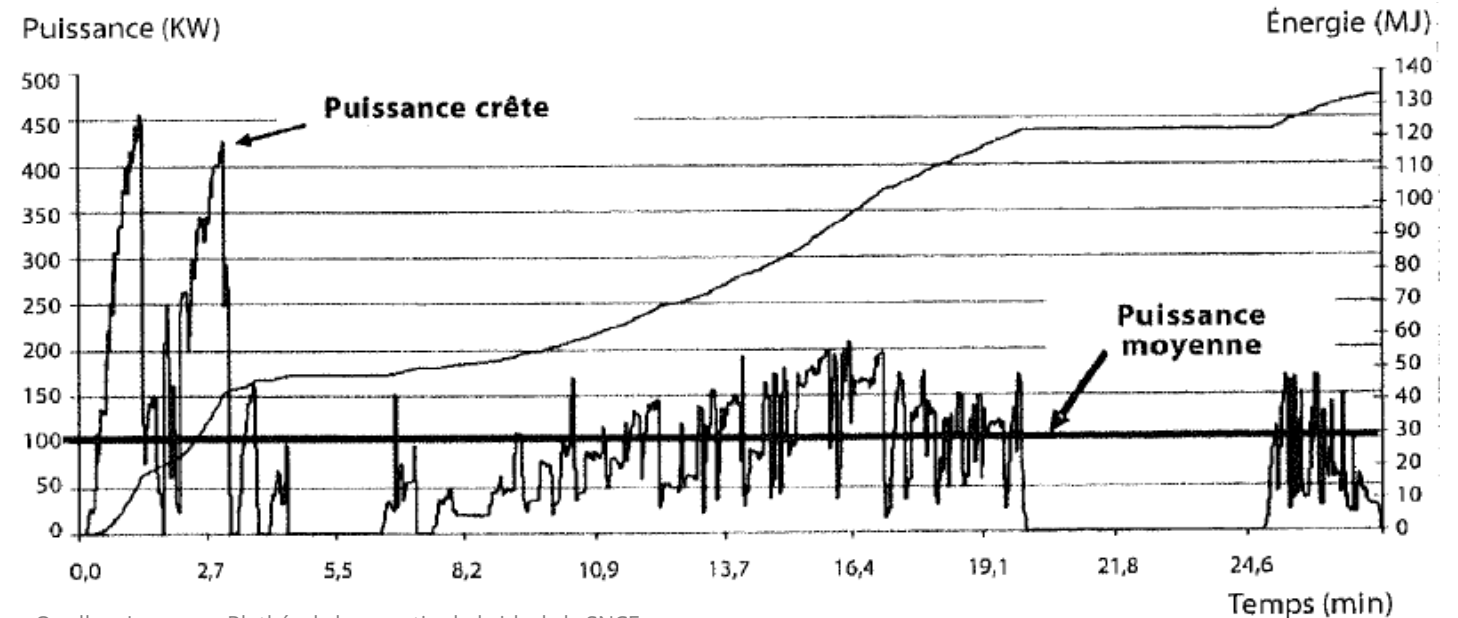
**Spektrum PHP:** 0,65...0,93

##### Verschiebedienst/Übergaben:

Mittlere Leistung: 200 kW  
Maximale Leistung: 564 kW

**PHP:** 0,65

**Spektrum PHP:** 0,64...0,89

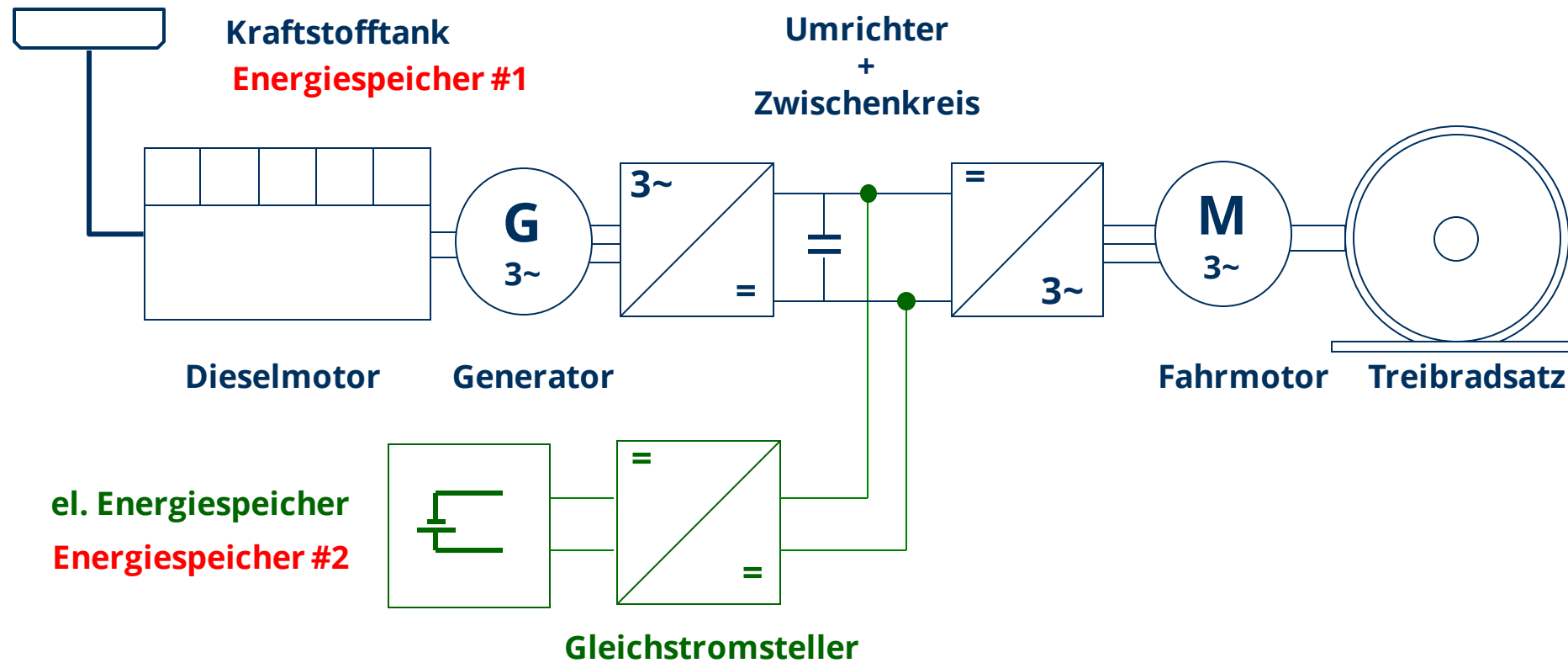


# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.5 Hybridtriebfahrzeuge

### 3.5.3 Grundsätzlicher Systemaufbau

— serielle Hybridkonfiguration

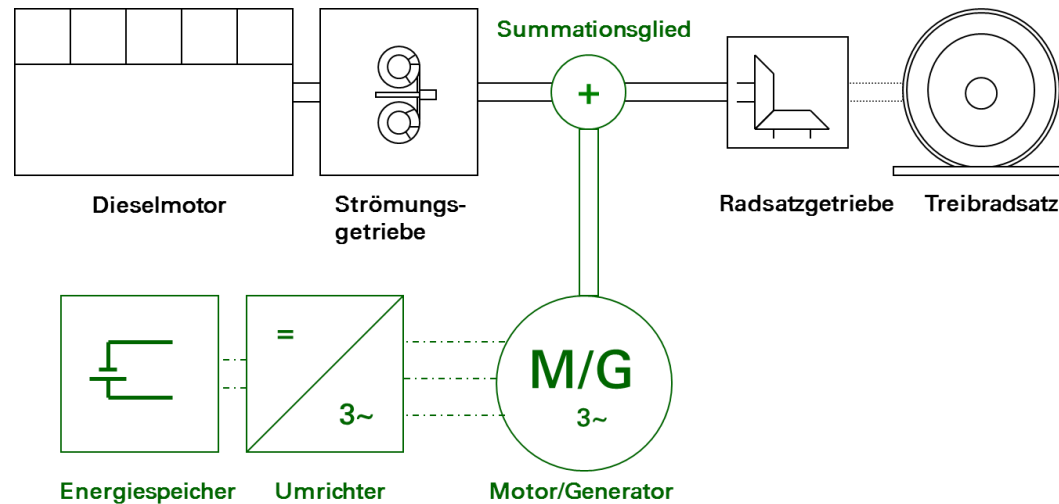


# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

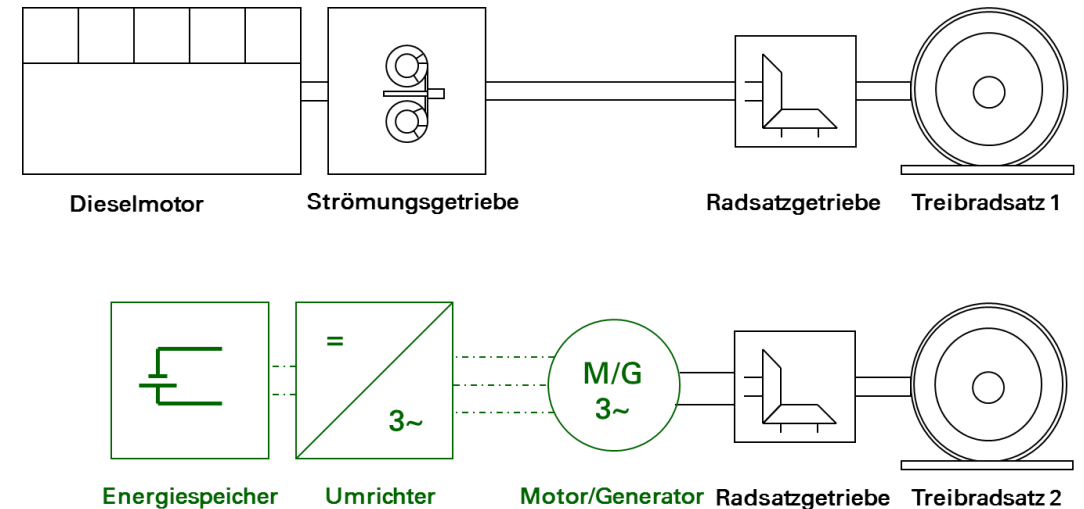
## 3.5 Hybridtriebfahrzeuge

### 3.5.3 Grundsätzlicher Systemaufbau

— parallele Hybridkonfigurationen



paralleler Hybrid (mit Summationsglied)



paralleler Hybrid (verteilter Antrieb)

# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.5 Hybridtriebfahrzeuge

### 3.5.4 Referenzen Hybridtriebwagen

#### Alstom Coradia „Lirex Experimental“

— Hybrid-Triebwagen der DB AG (Baujahr 2000)

- Hybridtyp: serieller Dieselhybrid
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: **Schwungmassenspeicher**
- $v_{max}$ : 160 km/h
- Speicher: **2x 2 kWh**
- $P_{DM}$ :  $4 \times 338 \text{ kW} = 1352 \text{ kW}$
- Radsatzfolge: A'1 'A' A' + A' A' 1'A'

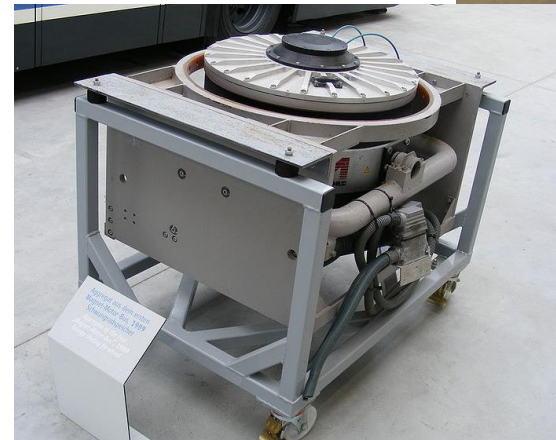


Foto: Mattes/wikimedia



Foto: Martin Kache

### Vergleichbarer Schwungradspeicher aus Linienbus

# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.5 Hybridtriebfahrzeuge

### 3.5.4 Referenzen Hybridtriebwagen

#### Tokyu Car Corporation „NE-Train“ (KaYa E991-1)

— Hybrid-Triebwagen der JR East (Baujahr 2003)

- Hybridtyp: serieller Dieselhybrid
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: **Lithium-Ionen-Batterie**
- $v_{max}$ : 100 km/h
- Speicher: **10 kWh**
- $P_{DM}$ : 331 kW
- Radsatzfolge: 2'Bo'



Foto: Wikipedia

#### Hitachi KiHa E200

— Hybrid-Triebwagen der JR East (Baujahr 2007)

- Hybridtyp: serieller Dieselhybrid
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: Lithium-Ionen-Batterie
- $v_{max}$ : 100 km/h
- Speicher: **15,2 kWh**
- $P_{DM}$ : 331 kW
- Radsatzfolge: 2'Bo'



Foto: Wikipedia

# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

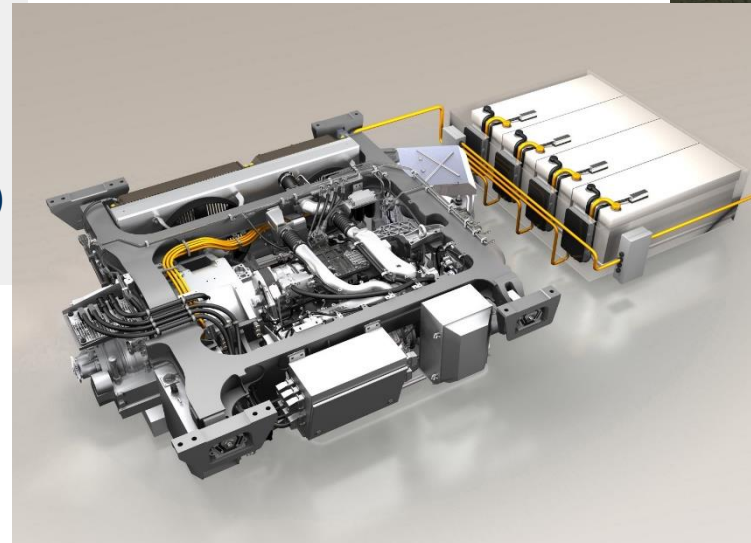
## 3.5 Hybridtriebfahrzeuge

### 3.5.4 Referenzen Hybridtriebwagen

#### Siemens/MTU BR 642 Hybrid (später: EcoTrain)

— Hybrid-Triebwagen der DB AG (Baujahr 2012)

- Hybridtyp: **paralleler Dieselhybrid**
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: Lithium-Eisenphosphat
- $v_{max}$ : 120 km/h
- Speicher: **2x 4,7 kWh**
- $P_{DM}$ : 2x 315 kW
- $P_{max,FM}$ : 2x 400 kW (max. 60 sek)
- Radsatzfolge: B'2'B'



Hybrid Power-Pack (2012)

Abbildung: © MTU



Foto: Martin Kache

#### MTU Batterie-Block (Stand: 2016)

Lithium-Ionen-Batterie

Energieinhalt: **30,6 kWh**

P-Abgabe (10s): 245 kW

P-Aufnahme (10s): 153 kW

Masse: 350 kg

Volumen: 0,25 m<sup>3</sup>



# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.5 Hybridtriebfahrzeuge

### 3.5.5 Referenzen Hybridlokomotiven

#### SNCF Plathée

- Prototyp einer Hybrid-Rangierlok (2003)
  - Hybridtyp: serieller Dieselhybrid
  - Hybridart: elektrischer Hybrid
  - Speicherart: Kombiniertes Speicher (Ni-Cd-Batterie + Doppelschicht Kondensatoren)
  - $v_{max}$ : 80 km/h
  - Speicher: 50 kWh (Batterie) + 12 kWh (Cap)
  - $P_{DM}$ : **235 kW**
  - $P_{TR,max}$ : **400 kW**
  - Radsatzfolge: Bo' Bo'



Foto: Martin Kache

#### Toshiba HD 300

- Serien Hybrid-Rangierlok (2010)
  - Hybridtyp: serieller Dieselhybrid
  - Hybridart: elektrischer Hybrid
  - Speicherart: Lithium-Ionen-Batterie
  - $v_{max}$ : 55 km/h
  - Speicher: 67,4 kWh
  - $P_{DM}$ : **242 kW**
  - $P_{TR,max}$ : **500 kW**
  - Radsatzfolge: Bo' Bo'



Foto: Rs1421

# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.5 Hybridtriebfahrzeuge

### 3.5.5 Referenzen Hybridlokomotiven

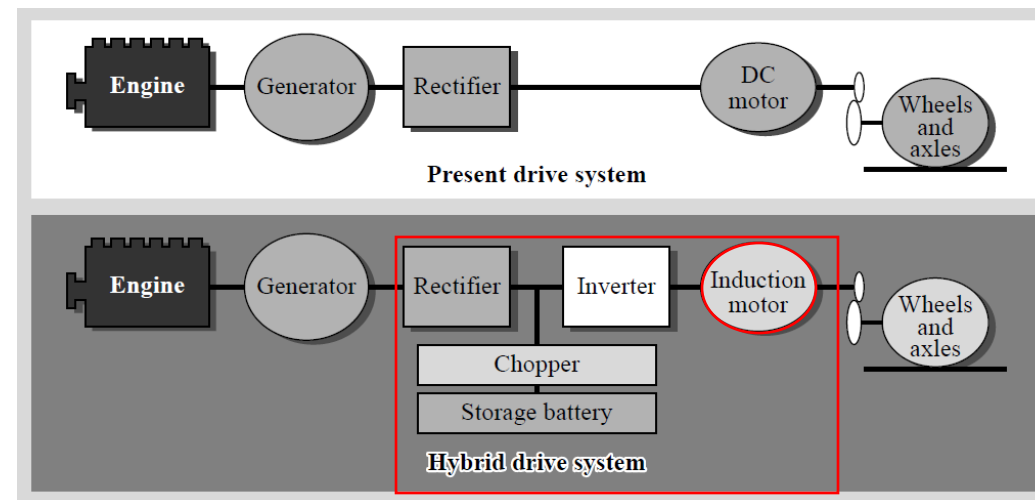
#### Hitachi V-Train 2 „Hayabusa“

— Versuchsträger für eine Hybrid-Streckenlok (2007)

- Hybridtyp: serieller Dieselhybrid
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: Lithium-Ionen-Batterie
- $v_{max}$ : unbek.
- Speicher: 48 kWh
- $P_{DM}$ : **1678 kW**
- $P_{Radsatz}$ : **1000 kW**
- Radsatzfolge: Bo' Bo'



Foto: © Hitachi



Quelle: Hitachi Review Vol. 57 (2008)

# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.5 Hybridtriebfahrzeuge

### 3.5.5 Referenzen Hybridlokomotiven

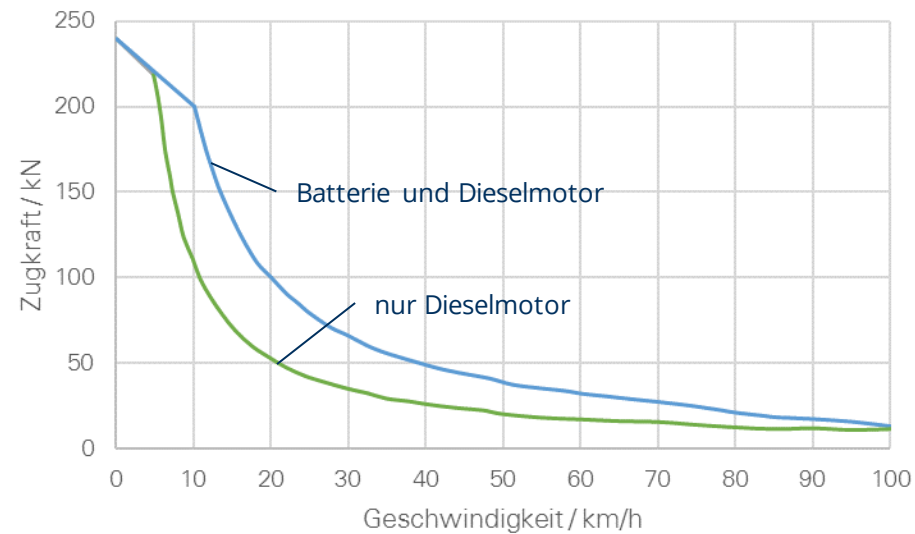
#### Alstom H3

— Serien Hybrid-Rangierlok für Werks- und Anschlussbahnen (2013)

- Hybridtyp: serieller Dieselhybrid
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: Nickel-Cadmium-Batterien
- $v_{max}$ : 100 km/h
- Speicher: 108,8 kWh
- $P_{DM}$ : 350 kW
- $P_{max}$ : 700 kW (Traktion + HB)
- Radsatzfolge: A' A A'



Foto: Martin Kache



# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.5 Hybridtriebfahrzeuge

### 3.5.5 Referenzen Hybridlokomotiven

#### HELMS (DB Systemtechnik)

— 2 Prototypen Hybrid-Rangierlok (2019)

- Hybridtyp: paralleler Dieselhybrid
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: Lithium-Ionen
- $v_{\max}$ : 80 km/h
- Speicher: 92,25 kWh
- $P_{DM}$ : 1000 kW
- $P_{\max}$ : 750 kW (Traktion + HB)
- Radsatzfolge: B'B'

- Besonderheit: Leistungsverzweigtes Planetengetriebe statt ursprünglichem Strömungsgetriebe
- „elektromechanische“ Leistungsübertragung
- 2 Asynchronmotoren für elektrischen Fahrbetrieb
- Asynchrongenerator für Rekuperations-/Ladebetrieb



Foto: © Deutsche Bahn

# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

## 3.5 Hybridtriebfahrzeuge

### 3.5.6 Referenzen Wasserstoff-Hybride

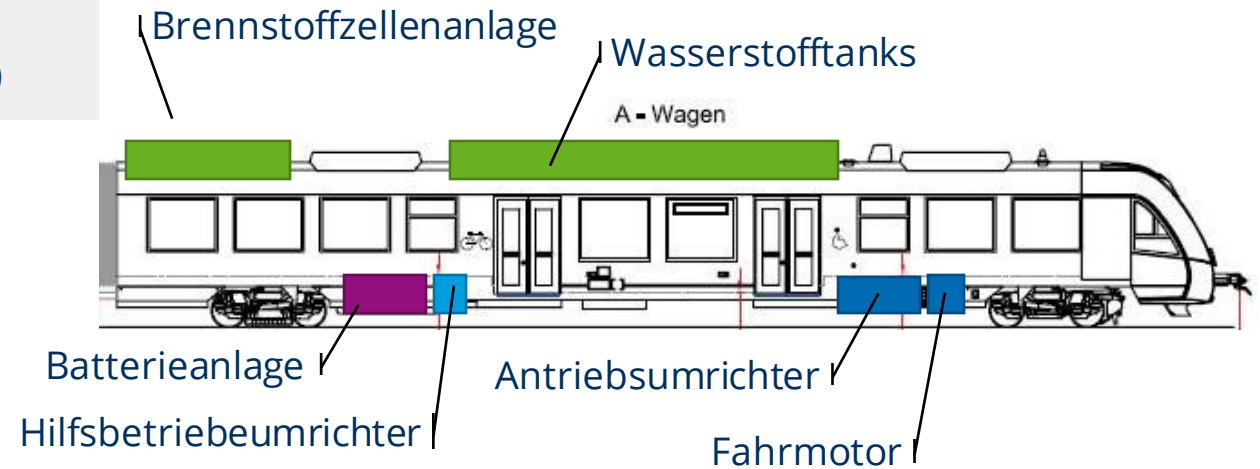
#### Alstom iLint

— geplantes Serienfahrzeug mit Wasserstoff-Brennstoffzelle

- Hybridtyp: serieller Wasserstoffhybrid
- Hybridart: elektrischer Hybrid
- Speicherart: Li-Ionen-Ni-Mangan-Cobalt Batterie
- $v_{max}$ : 120...140 km/h
- Speicher: 2x111 kWh
- $P_{el}$ : 2x 221 kW
- $P_{nenn, Brennstoffzelle}$ : 2x 200 kW
- Radsatzfolge: B'2'+2'B' (identische Einzelfzg.)



Foto: Martin Kache



# 3. Entwicklungslinien Triebfahrzeuge

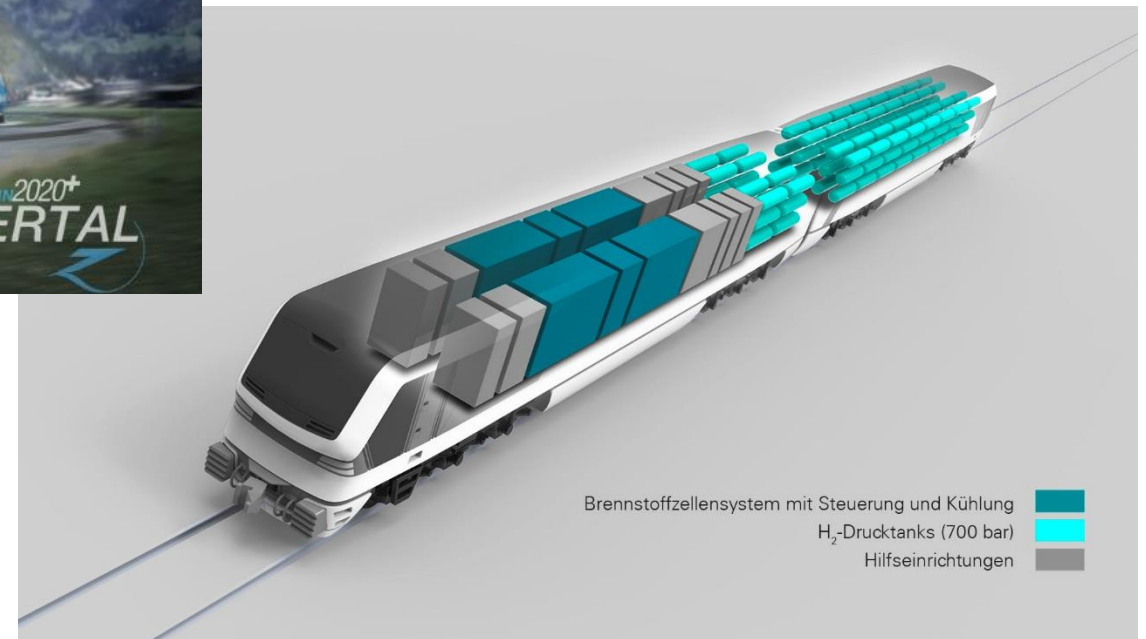
## 3.5 Hybridtriebfahrzeuge

### 3.5.6 Referenzen Wasserstoff-Hybride

Weiter mit Wasserstoff – „Hydrail“?



Abbildung(Designstudie): © Zillertalbahn



Quelle: Diplomarbeit „Hydron“, Falk Fröhlich (2014)