

# ***Energie-, Dampf- und Speicher-Technik***

- 1. Die Bedeutung der Dampfmaschine**
- 2. Industriedampf ist unverzichtbar**
- 3. Systemvorteile der Dampftechnik**
- 4. Aktuelle Energiepolitik in Europa**
- 5. Mobile thermische Energiespeicher**
- 6. Kraft-Wärme-Koppelung KWK**
- 7. Kraft-Mobilitäts-Kopplung KMK**

# 1. Die Bedeutung der Dampfmaschine in der Weltgeschichte

Die Dampfmaschine ist eine der bedeutendsten Erfindungen. Sie ermöglichte die Industrialisierung und beschleunigte den Land- und Seetransport:

1. Rad

2. Buchdruck

3. Glühbirne

4. Dampfmaschine

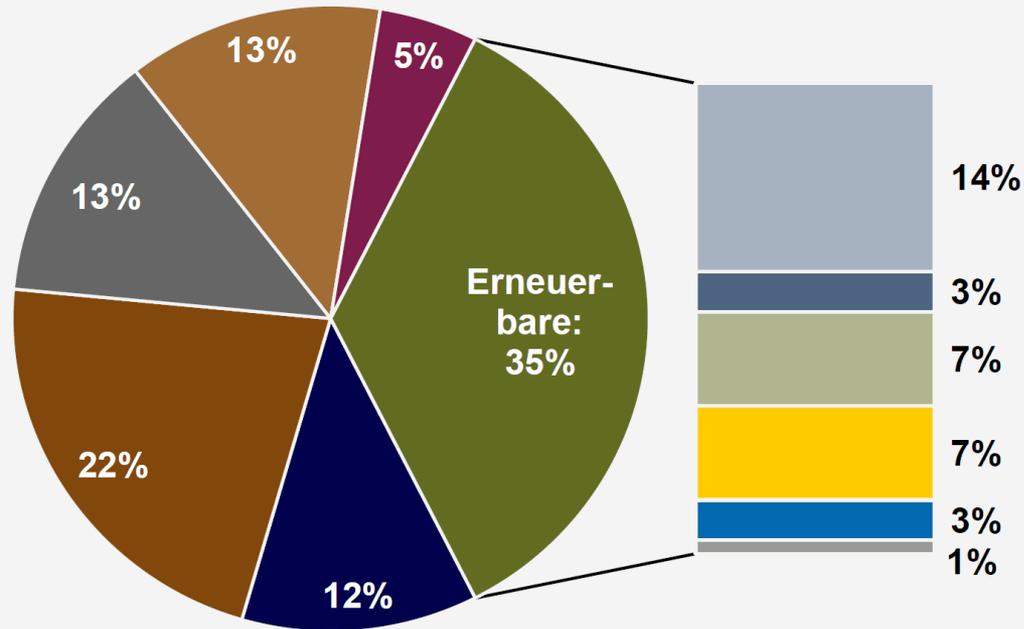
10. Verbrennungsmotor .... 12. Internet 13. Auto

34. Schiff .... 37. Flugzeug .... 39. Elektromotor

40. Mobiltelefon .... 66. Dampfturbine

# 2. Industriedampf ist unverzichtbar

Bruttostromerzeugung in Deutschland 2018: 649 Mrd. kWh<sup>1)</sup>



- Kernenergie
- Braunkohle
- Steinkohle
- Erdgas
- Sonstige (Heizöl, PSW u.a.)
- Wind onshore
- Wind offshore
- Biomasse
- Photovoltaik
- Wasser
- Siedlungsabfälle

**Mit Kernenergie, Kohle, Biomasse und Siedlungsabfällen wird Dampf produziert, der mittels Dampfturbinen Strom erzeugt. In Deutschland werden rund 70%, in der Schweiz gut 40% des Stromes mit Dampfkraft erzeugt. Die Elektro-Mobilität ist ohne Dampfprozess nicht realisierbar.**

# 3. Systemvorteile der Dampftechnik

- „Alle“ Brennstoffe und Energien sind verwendbar
  - Kohle (Stückkohle, Briketts, Staub; Stein-, Braunkohle, Anthrazit)
  - Öl (Schweröl, Leichtöl, Altöl, Bio-Öl)
  - Gas (Erdgas, CNG, LNG, Biogas, Kompogas)
  - Biomasse (Holz, Pellets, Bagasse, Chinaschilf, Torf)
  - Abfälle und Abwärme, Geothermie, Solarthermie, Windenergie
- Direktantrieb ohne Kupplung und Getriebe
- Fahrdrachtunabhängig, keine Systemausfälle
- Robust, zuverlässig, keine oder wenig Elektronik
- Bei Kondensations- oder Speicherbetrieb sehr leise
- Grosse Speicherfähigkeit (Heisswasser)
- Riesiges Entwicklungspotential

Die folgenden sechs Folien zeigen Dampflokomotiven und Dampfschiffe mit CO<sub>2</sub>-neutralen Biomasse-Feuerungen

**DLM**

Dampflokomotiv- und  
Maschinenfabrik DLM AG

# A 3/5 der SBB mit Holzfeuerung



**Während des Krieges haben die SBB einen Teil ihrer Dampflokomotiven ohne wesentliche Umbaumassnahmen mit Holz statt mit Kohle gefeuert.**

# Dampflokomotiven mit Bagasse-Feuerung bei Zuckerfabriken in Indonesien und Kuba



**Beim Auspressen des Zuckerrohrs für die Zuckerproduktion entsteht als Nebenprodukt Bagasse. Seine Verwendung als CO<sub>2</sub>-neutraler Brennstoff für die Zuckermühlen und für die Dampflokomotiven der Werksbahn ist ökologisch vorbildlich und nachhaltig. 100 t Zucker = 34 t Bagasse!**

# Holzgefeuerte Dampflokomotiven der Benguela-Bahn in Angola



Selbst die grossen, sehr leistungsfähigen Garratt-Dampflokomotiven sind in Angola mit CO<sub>2</sub>-neutralem Eukalyptusholz gefeuert worden. Die Bahneigenen Wälder wurden nachhaltig bewirtschaftet. Es wurde nur soviel Holz geerntet, wie nachgewachsen ist. Die heute eingesetzten Diesellokomotiven sind weder ökologisch noch nachhaltig und schon gar nicht CO<sub>2</sub>-neutral.

# Australische Raddampfer ...



Die vielen auf dem Murray River verkehrenden Raddampfer werden alle mit Eukalyptusholz gefeuert. Während die Dampfmaschine vom Steuerhaus aus bedient wird, übernimmt der Maschinist das Heizen des Kessels.

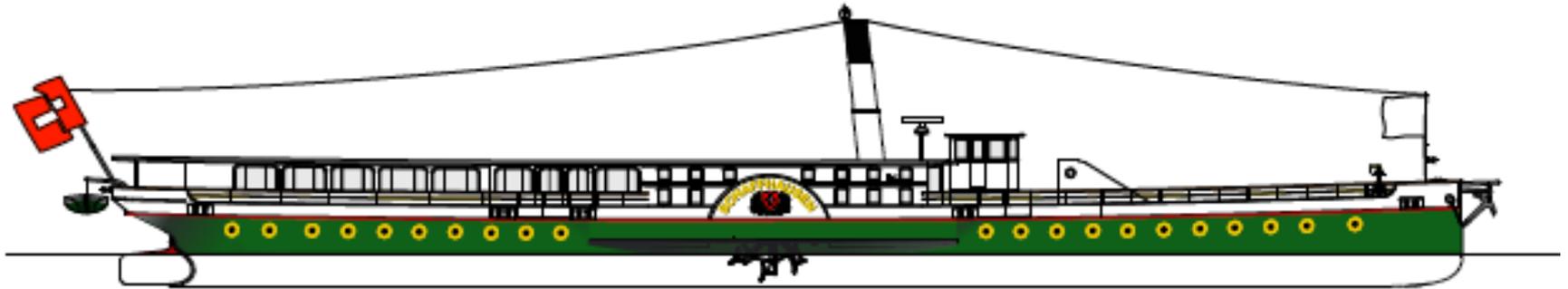
# ... haben Holzfeuerung



Bei australischen Raddampfern ist die Dampfmaschine wie bei Dampfwalzen und Lokomobilen auf den Kessel gesattelt. Links sieht man den Holzvorrat.

# Neuer

# Raddampfer für den Rhein



## mit CO<sub>2</sub>-neutraler Pelletsfeuerung

Die DLM arbeitet am Antrieb für einen neu zu bauenden Raddampfer, der aus wirtschaftlichen Gründen mit automatischem Kessel und neuer, fernbedienter Dampfmaschine ausgerüstet wird (gleicher Personalbedarf wie ein Motorschiff). Aus ökologischen Gründen ist Pelletsfeuerung geplant.

## 4. Aktuelle Energiepolitik in Europa

- Förderung der Wärmepumpen
- Förderung der Elektromobilität
- Förderung der Digitalisierung
- Förderung der Blockchain-Technik, Bitcoins

### ► Zunahme des Stromverbrauchs

- Verzicht auf Kernenergie
- Verzicht auf Kohlestrom
- Widerstand gegen Windkraftwerke
- Widerstand gegen Starkstromleitungen

### ► Abnahme der Stromproduktion

**Woher kommt der Strom in Zukunft?**

# Volatilität von erneuerbaren Energien

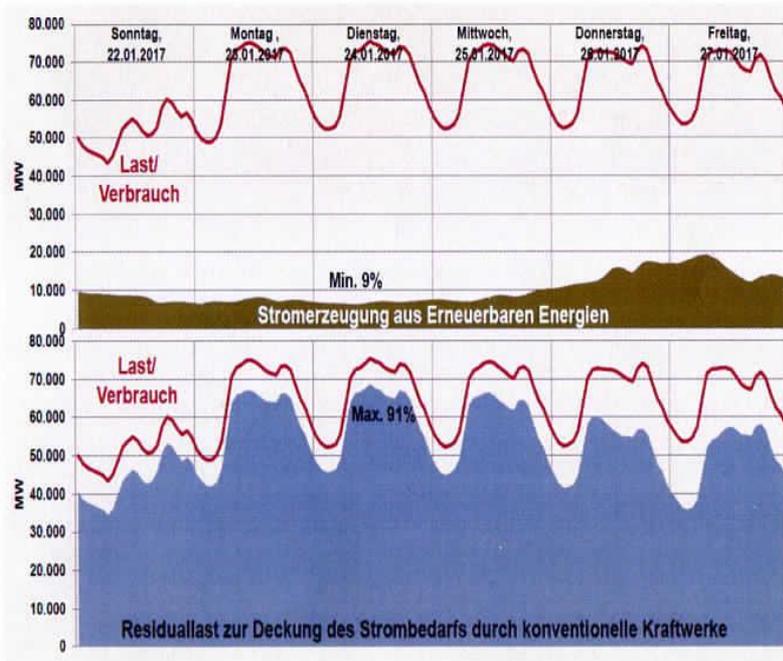


Abb. 3: Volatilität der Einspeisung aus EE – niedrige Einspeisung, Deckung des Strombedarfs 22. Januar – 27. Januar 2017

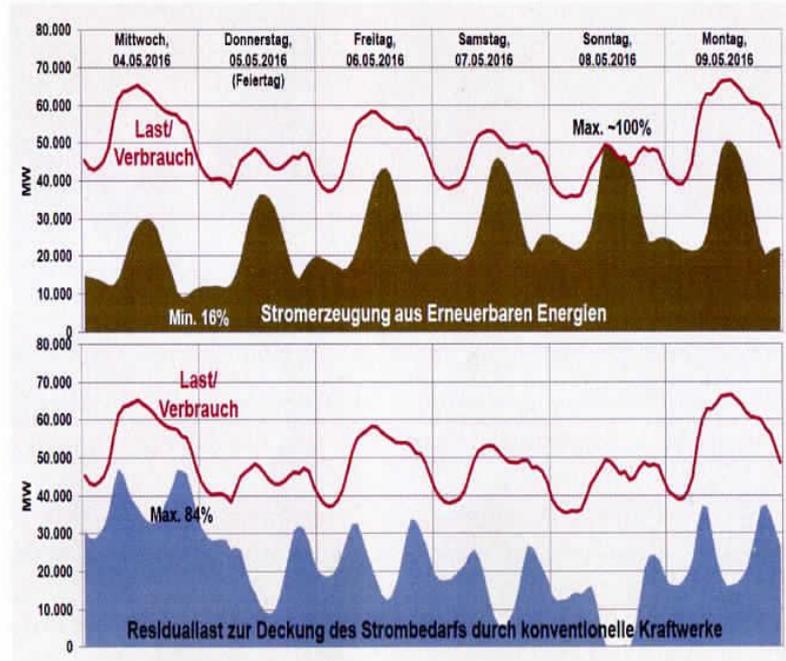


Abb. 4: Volatilität der Einspeisung aus EE – hohe Einspeisung, Deckung des Strombedarfs 04. Mai – 09. Mai 2016 [12]

Die Dampfmaschine gilt als viertwichtigste Erfindung, weil sie Industrie und Transport unabhängig machte von den Launen der Natur. Mit den erneuerbaren Energien rudern wir ein Stück zurück. **Die rote Kurve zeigt den Strombedarf, die braune Fläche die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien (im besten Fall deckt sie kurzzeitig 100% des Bedarfs, im schlechtesten nur 9%). Die blaue Fläche zeigt den Strombedarf, der durch konventionelle Kraftwerke gedeckt werden muss.**

# Grosskraftwerk Mannheim GKM



**Der Block 9 des GKM ging 2015 als eines der modernsten Kohlekraftwerke der Welt ans Netz. Dampfdaten für Dampfturbinen: 290 bar, 600°C; Industriedampf: 20bar; Elektrische Leistung: 900 MW, davon 350 MW für die Deutsche Bahn DB; Elektrischer Wirkungsgrad: 46.4%, mit Kraft-Wärme-Koppelung: 70%. Vier Speicherlokomotiven, die mit Dampf von 20 bar geladen werden, ziehen Kohlenzüge von bis zu 4'000 t ins Werk.**

# 5. Mobile thermische Energiespeicher

Bei der *Dampfspeichertechnik* wird die Fähigkeit von Wasser genutzt, unter Druck grosse Energiemengen zu speichern.

1882 entstand die erste Dampfspeicherlokomotive. Bis 1986 wurden allein in Deutschland rund 3'500 Dampfspeicherlokomotiven gebaut, von denen einige bis heute im Einsatz sind. Mit der Ablösung der alten Dampflokomotiven gerieten leider auch die genial einfachen Dampfspeicherlokomotiven in Vergessenheit. Mit heutiger Technik modernisiert wären sie eine wirtschaftliche, effiziente und umweltfreundliche Alternative zur umweltbelastenden Dieseltraktion im Nah- und Werkverkehr.

# Vorteile der Dampfspeichertechnik

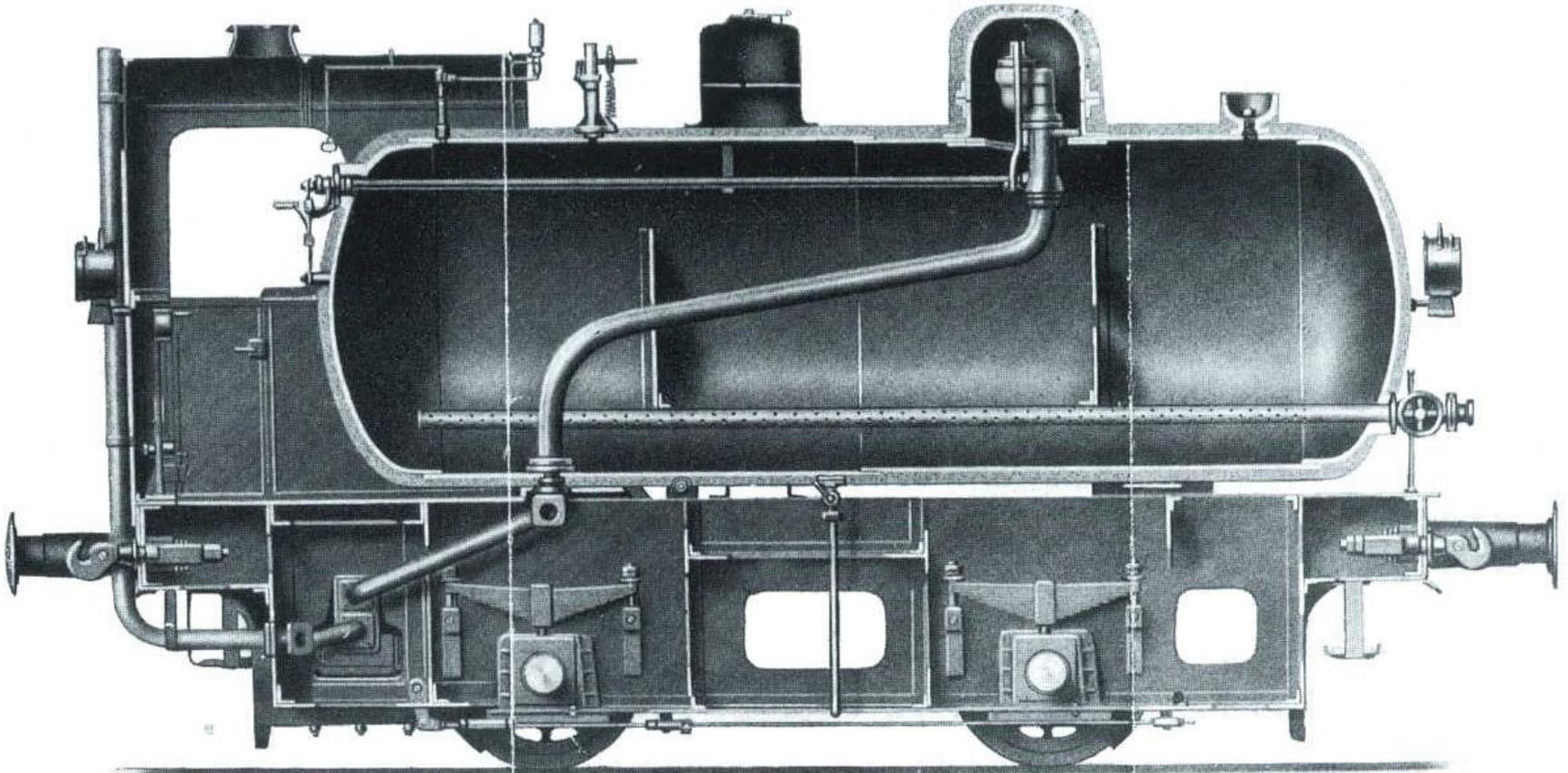
- Externe Energieerzeugung:
  - ▶ Abwärme, alle Brennstoffe, Geothermie, Solarthermie u.a.
- Emissionsfrei, keine Abgase
- Leise im Betrieb, lautlos im Stillstand
- Kein Energieverbrauch im Stillstand/Leerlauf
- Explosionsgeschützt, kein Sauerstoffbedarf (Tunnel)
- Schnelles Nachladen (5 - 20 Minuten)
- Maximales Drehmoment (Zugkraft) beim Anfahren
- Überlastbar, unbegrenzte Energieentnahme
- Einfach, robust, zuverlässig, tiefe Unterhaltskosten
- Lange Lebensdauer (Batterie: 5-10 Jahre, Speicher: 60-100 Jahre)

# Dampfspeicherlokomotiven

wirtschaftlich – sauber – leise – umweltfreundlich – CO<sub>2</sub>-neutral



# Funktionsschema einer Speicherlokomotive



**Niederdruck-Speicherlokomotiven haben Speicherdrücke bis 20 bar.  
Die Dampfzylinder arbeiten mit Satttdampf, von 20 bis 8 bar mit  
voller Zugkraft, von 8 bis 2 bar mit reduzierter Zugkraft.**

# Nachladen einer Speicherlokomotive



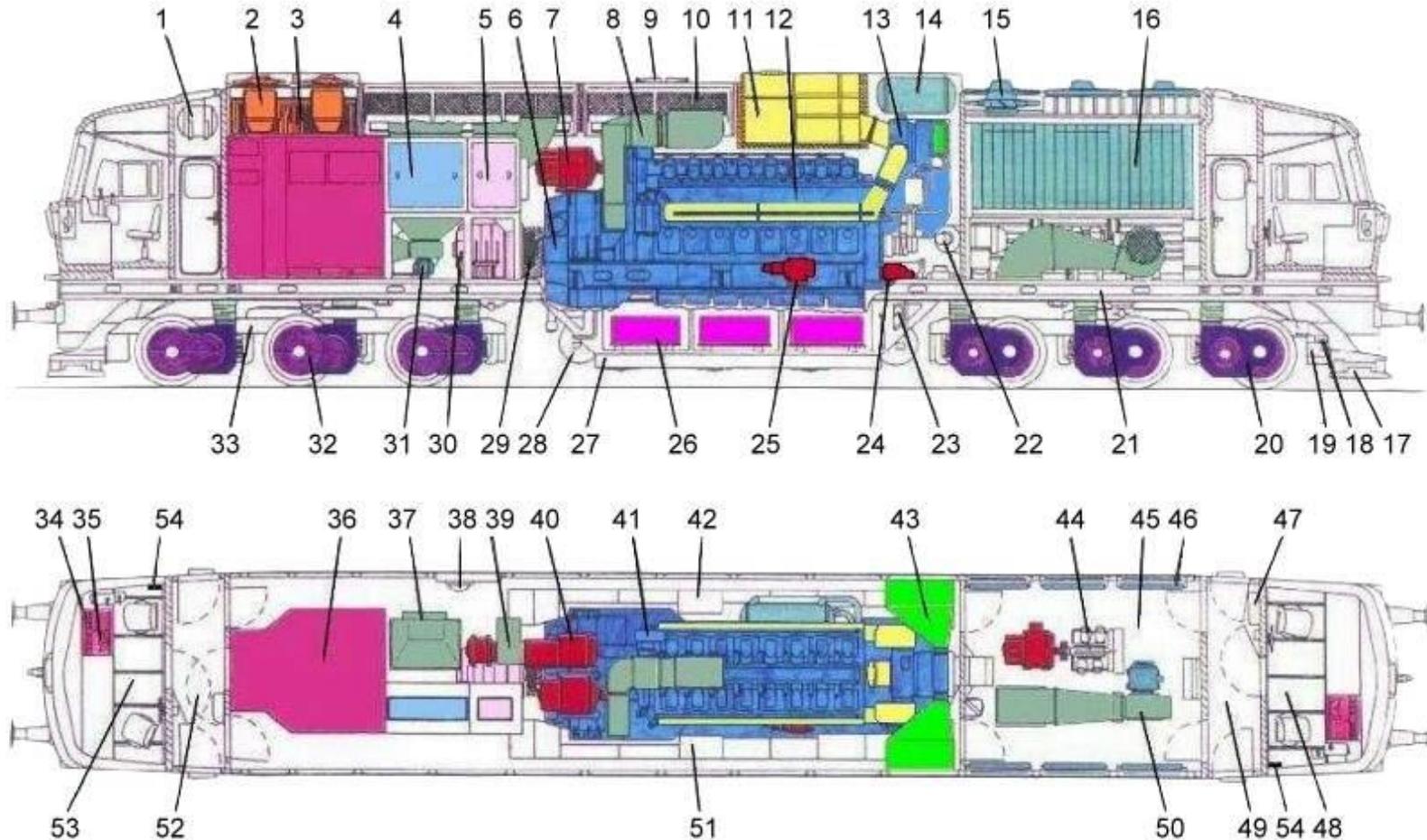
Eine der beiden vierachsigen Dampfspeicherlokomotiven des GKM (Grosskraftwerk Mannheim) an der Ladestation. Das nachladen erfolgt mit kraftwerkseigenem Dampf von 20 bar in nur 15 bis 25 Minuten. Diese Lokomotiven ziehen 4'000 t-Züge.

# Nachteile der Diesellokomotiven

Die heute im Werkverkehr eingesetzten Diesellokomotiven haben erhebliche Nachteile, wie die drei folgenden Folien zeigen:

- **Kein Direktantrieb vom Motor zum Rad**
  - diesel-elektrisch, -hydraulisch oder -hydrostatisch
  - ▶ **Komplexer Antrieb ▶ Hohe Unterhaltskosten**
  - ▶ **75% Leerlauf ▶ Energieverschwendung, Lärm**
- **Sehr schlechte Abgaswerte**
  - ▶ **Russpartikelfilter und Katalysatoren notwendig**
  - ▶ **erhöht Komplexität, Kapital- + Unterhaltskosten**
- **Hoher Lärmpegel bei Fahrt und im Stillstand**
- **Abhängigkeit von Erdöl**

# Funktionsschema einer Diesellokomotive



Diesellokomotiven sind an Komplexität kaum zu überbieten. Im praktischen Einsatz ist der «gute Wirkungsgrad» nicht so toll.

# Effiziente Diesellokomotiven?

## Entladen von Tonerde-Zügen im Martinswerk Bergheim



- Entladezeit des Zuges: 4 Stunden
- Laufzeit des Dieselmotors: 4 Stunden **=> Leerlaufanteil: 95%**
- Dieserverbrauch: 64 l = 640 kWh Kosten: ca. 90.- Euro
- Schmierölverbrauch: 7 l Kosten: ca. 20.- Euro
- Rangierarbeit ca. 10 kWh **=> Wirkungsgrad: 1.6%**

**Energiekosten Diesellokomotive für 10 kWh: 110.- Euro**

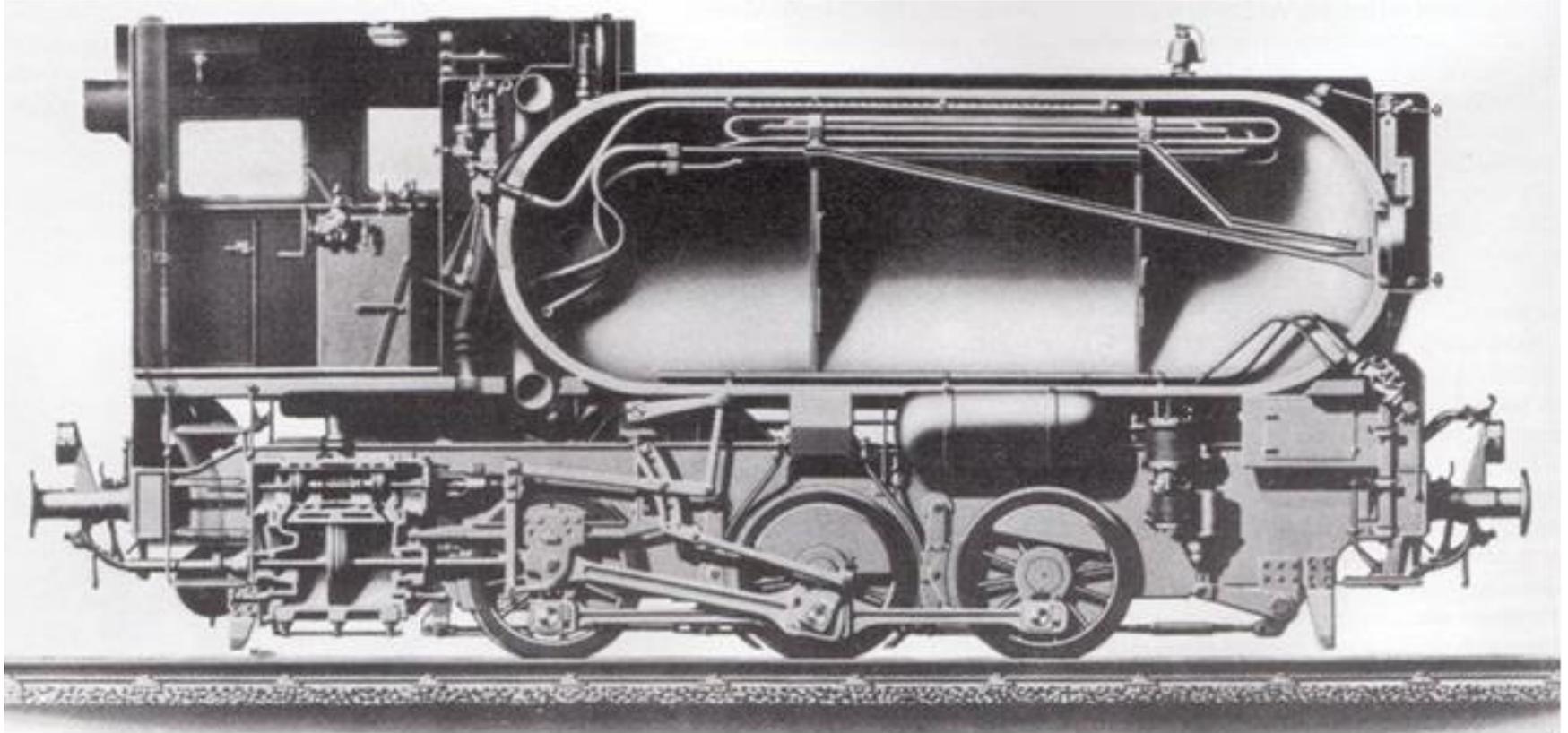
**Energiekosten einer Speicherlokomotive für 10 kWh: 2.- Euro**

# Hochdruck-Speicherlokomotive, 85 bar



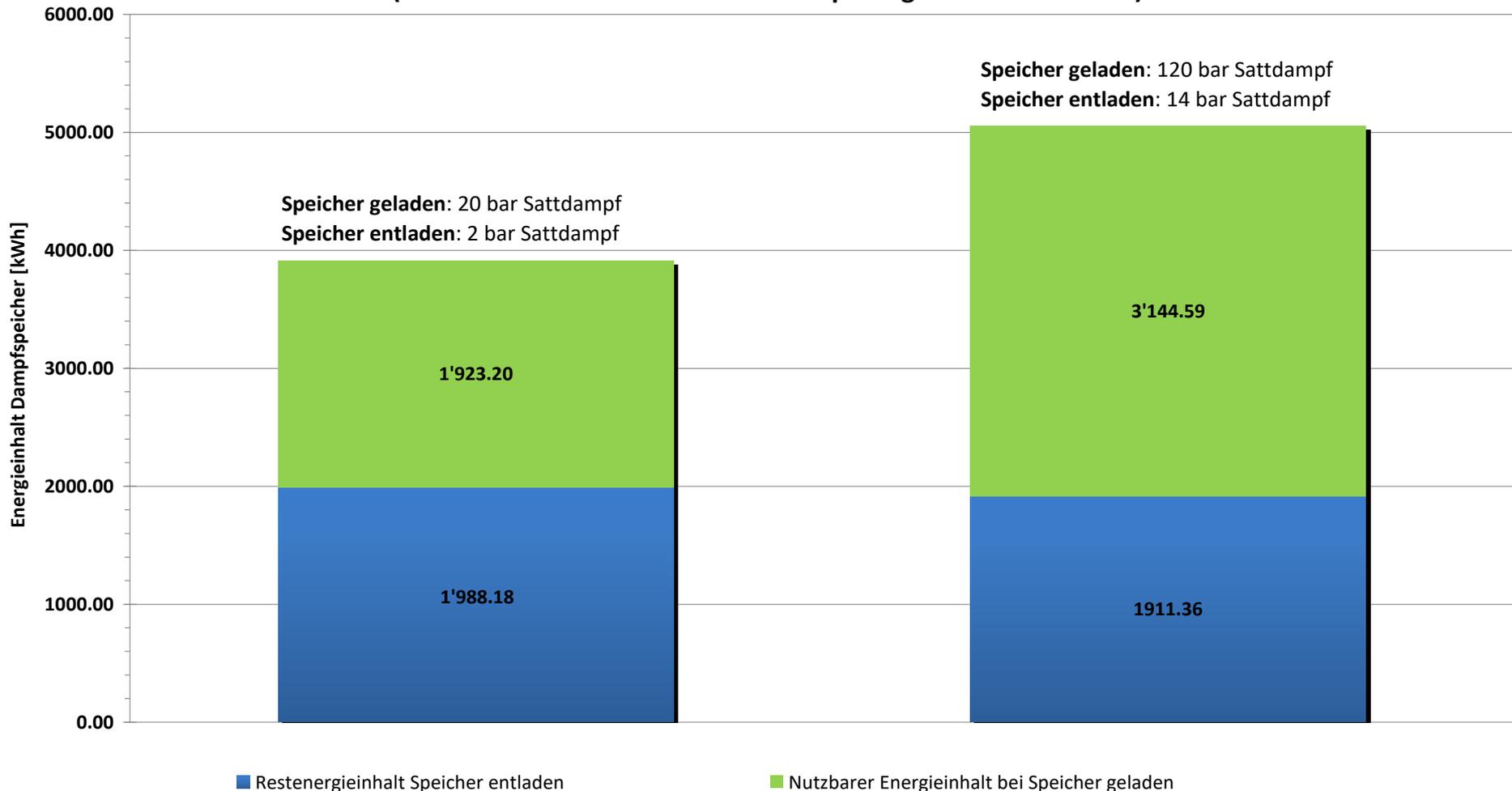
Hochdruckspeicherlokomotiven werden für Ladedrücke bis 120 bar gebaut. Nach der Drosselung des Speicherdampfes auf den Arbeitsdrucks von 16 bar wird der Dampf überhitzt (besserer Aktionsradius).

# Funktionsschema einer Hochdruck-Speicherlokomotive



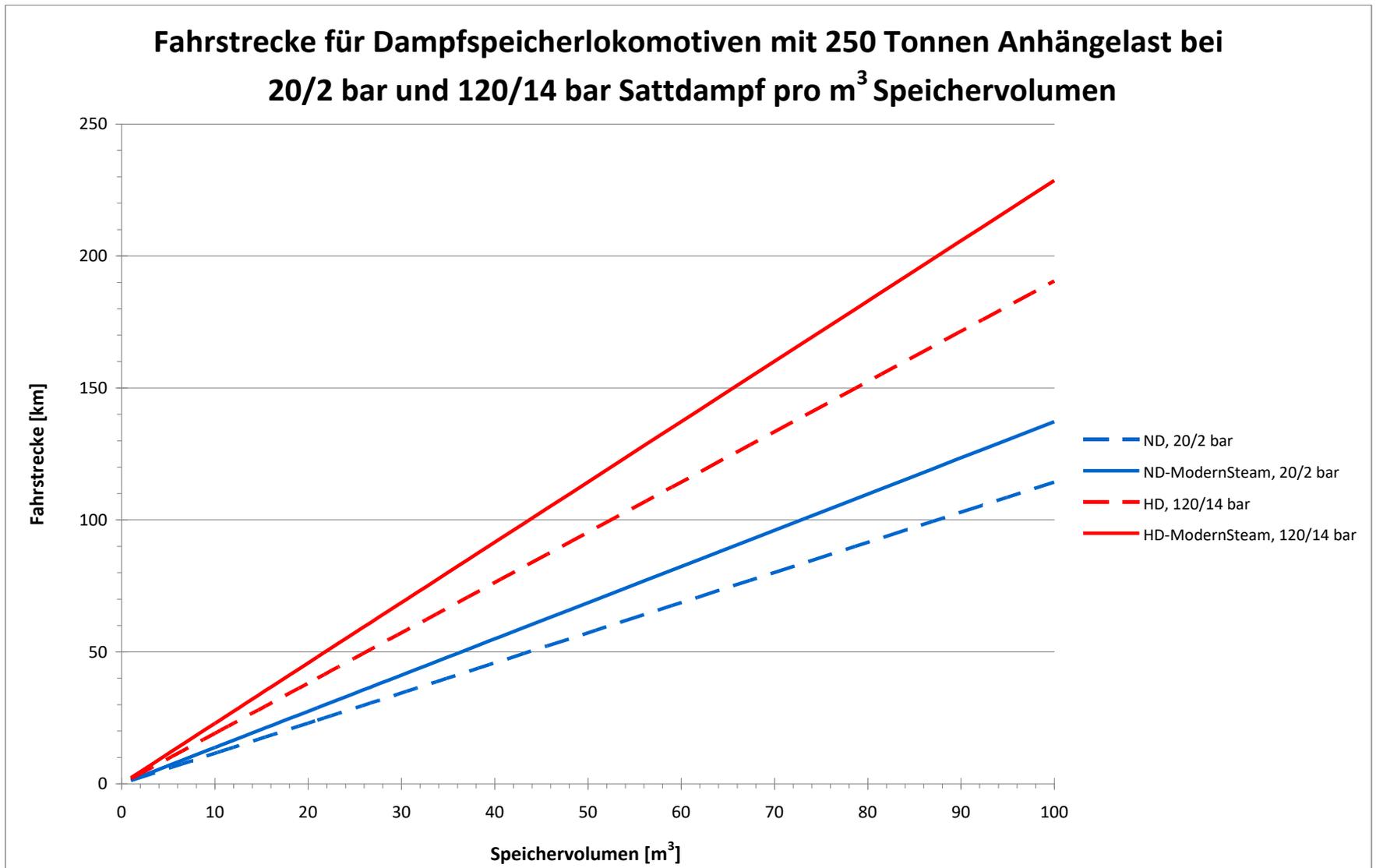
Das Funktionsschema von Hochdruck-Speicherlokomotiven unterscheidet sich nur wenig von jenem der klassischen Dampfspeicherlokomotiven. Der Überhitzer ist im oberen Bereich des Druckbehälters zu sehen.

# Energieinhalt Dampfspeicher bei Speichervolumen = 21 m<sup>3</sup> (davon 18 m<sup>3</sup> Wasser und 3 m<sup>3</sup> Dampf im geladenen Zustand)



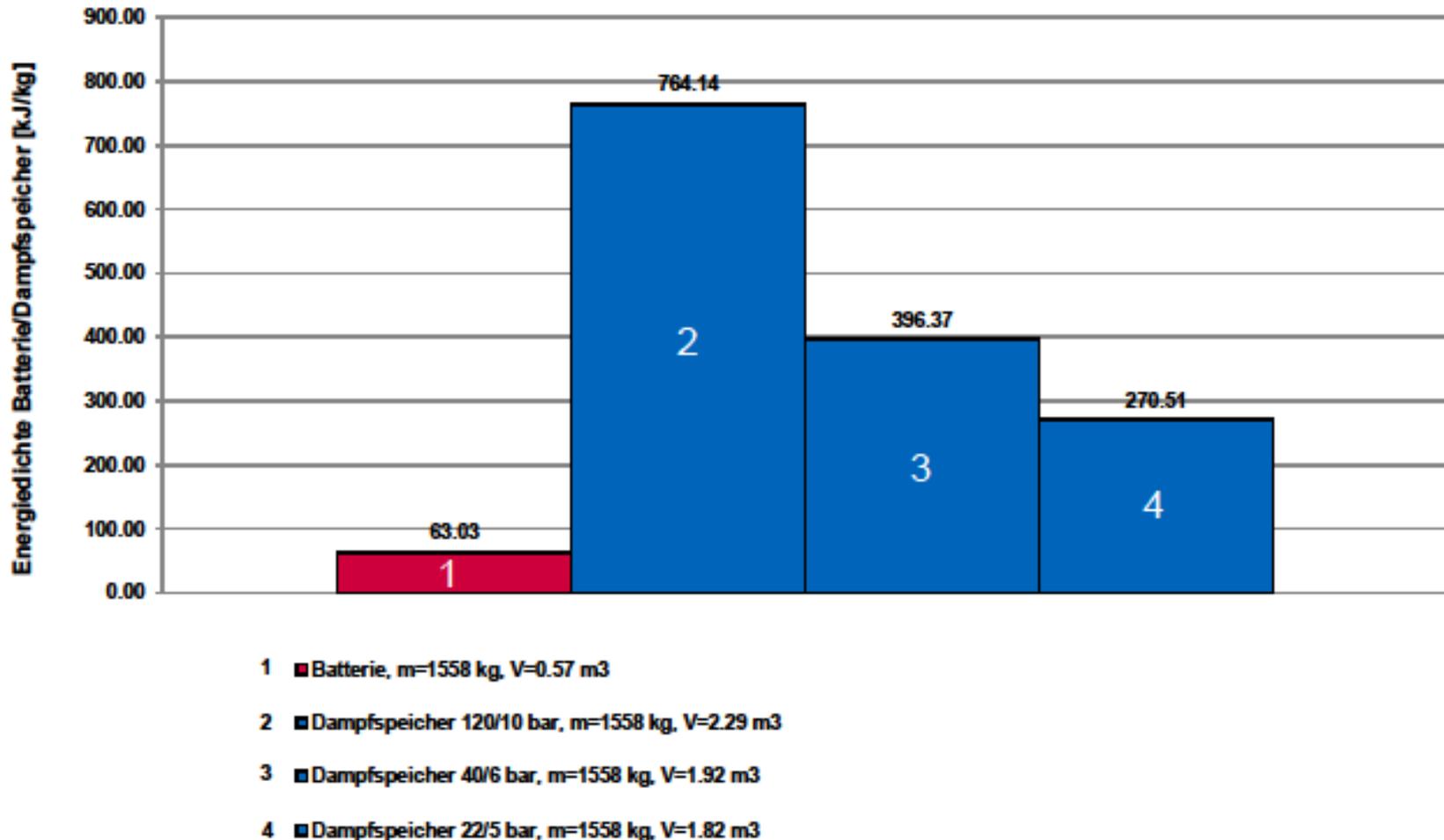
**Vergleich der Speicherkapazität von Nieder- und Hochdruckspeicherlokomotiven für eine dreiachsige Rangierlok. Martin Schneider ZHAW**

# Aktionsradius moderner Speicherlokomotiven



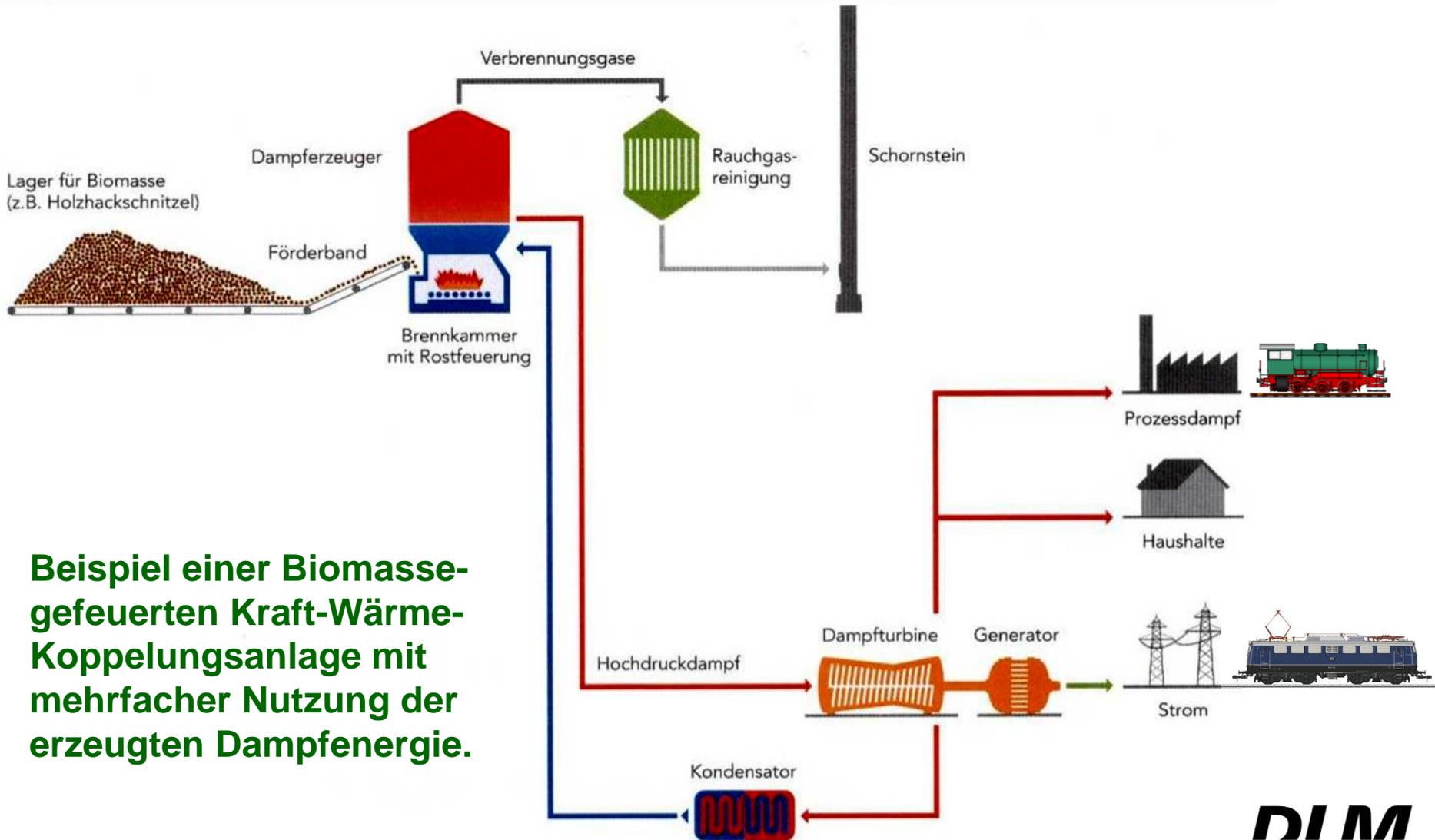
# Vergleich der Energiedichte mit einer Speicherladung

(Energiedichte der Bleisäurebatterie vs. Energiedichte des Dampfspeichers)



**Vergleich der nutzbaren Energie einer Bleibatterie mit jener von Heisswasserspeichern bei gleichem Gewicht. Martin Schneider ZHAW**

# 6. Kraft-Wärme-Koppelung KWK



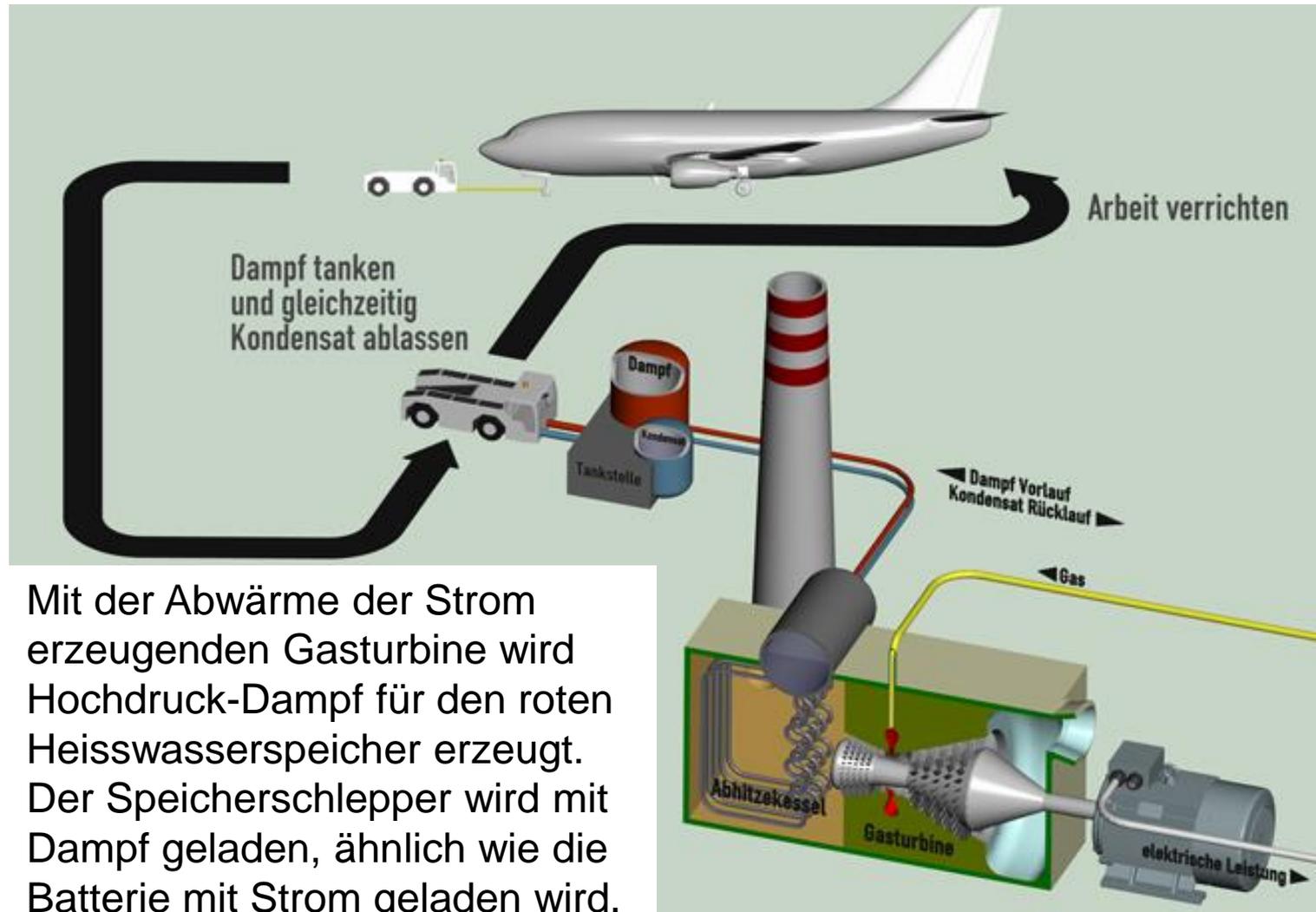
Beispiel einer Biomasse-gefeuerten Kraft-Wärme-Koppelungsanlage mit mehrfacher Nutzung der erzeugten Dampfenergie.

# 7. Kraft-Mobilitäts-Kopplung **KMK**

Bei der **Kraft-Wärme-Kopplung KWK** wird die Abwärme für saisonale Heizzwecke verwendet. Durch den Klimawandel und die effizientere Gebäudetechnik nimmt der Bedarf an Heizenergie jedoch ab.

Bei der **Kraft-Mobilitäts-Kopplung KMK** wird die Abwärme ganzjährig für die Mobilität genutzt. Mit der Abwärme wird in einem Abhitze-Kessel unter Druck stehendes Heisswasser erzeugt, dessen Dampf moderne Speicherfahrzeuge antreibt. Wie die Beispiele zeigen, eignen sich alle im Nahbereich eingesetzten Fahrzeuge für die Speichertechnik.

# Kraft-*Mobilitäts*-Koppelung



# Flughafenschlepper und Busse



Die Speichertechnik eignet sich für alle lokal verkehrenden Nutzfahrzeuge. Auf Flughäfen liessen sich mit KMK sehr viel CO<sub>2</sub> einsparen.



**DLM**

Dampflokomotiv- und  
Maschinenfabrik DLM AG

# Fähren mit Speicherbetrieb



**Beispiel: Autofähre Horgen – Meilen auf dem Zürichsee**

**Fahrzeit: je 10 min.; Zeit für den Fahrzeugwechsel: 5 min.**

**Energieverbrauch 2012: 1.5 Mio. Liter Dieselöl (zum Heizölpreis)**

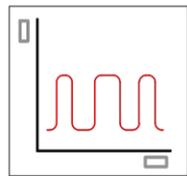
**Konzept: Dampfmotoren anstelle der Dieselmotoren**

**Das Nachladen erfolgt während des Fahrzeugwechsels**

**Dampfquelle: Kehrlichtverbrennungsanlage Horgen**

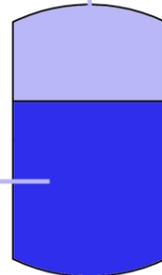
# Abwärmennutzung bei Stahlwerken

## I Für Stromproduktion: Kraftwerk notwendig

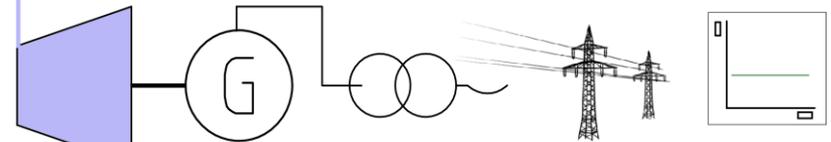


Unsteter  
Wärmefluss

Dampf



Speicher

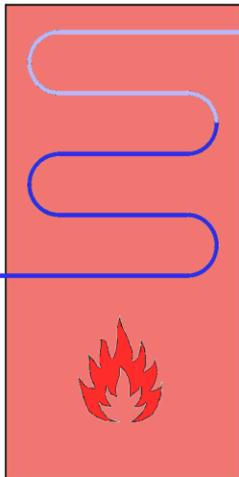


Stromverlauf

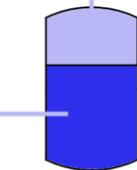
Kraftwerk mit Stromnetz

Teuer in Betrieb und Unterhalt, unrentabel

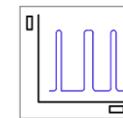
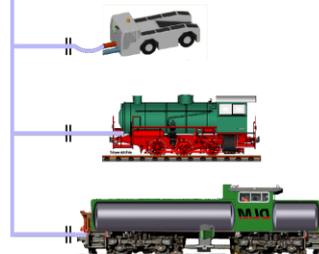
## II Für Mobilität: Ersatz von Dieselfahrzeugen



Abhitzekessel



Speicher



Synchrone  
Ladezyklen

Kostengünstig, rentabel

# Moderne Speicherlokomotive



**Diesellokomotiven des Typs Am 843 könnten als Basis für moderne Hochdruck-Speicherlokomotiven dienen.** Foto oben: Georg Trüb / Schnittbild Entwurf DLM





***Dampflokomotiv- und Maschinenfabrik DLM AG***

***Lagerhausstrasse 3 CH-8400 Winterthur***

***[www.dlm-ag.ch](http://www.dlm-ag.ch)***