

# Energieeffizienz Bahnsysteme

S-Bahn versus Regionalbahn

von Martin Eiselt

# Energetischer Systemvergleich



Foto © gg

# Einflussgrößen

- ▶ Spannung
- ▶ Strom
- ▶ Abstand Speisepunkte
- ▶ Anzahl Speisepunkte
- ▶ Leitungsquerschnitt
- ▶ Masse Fahrzeug
- ▶ Geschwindigkeit
- ▶ Regenerative Energiequellen
- ▶ Eignung für häufiges Anfahren
- ▶ Fähigkeit zur Verbesserung der Effizienz

# Energie bei Bahn: Wozu konkret?

- ▶ Transport von Fahrgästen auf einer bestimmten Strecke
- ▶ Beschleunigung des Fahrzeugs
- ▶ Rollreibung Rad-Schiene und Reibung in Achslagern bewirkt Verluste
- ▶ Luftwiderstand bewirkt Verluste
- ▶ Energieübertragung zum Fahrzeug bewirkt Verluste
- ▶ Wirkungsgrad von Antriebstechnik

# Energieübertragung

- ▶ S-Bahn: 750 V (Gleichspannung)      Regionalbahn: 15.000V (Wechselspannung)
- ▶ Strom: 20 mal höher bei S-Bahn (bei gleicher Masse und Geschwindigkeit)
- ▶ Berechnung der Verlustleistung:  $P = I^2 \times R$
- ▶ Strom geht quadratisch in Übertragungsverluste ein
- ▶ Widerstand wirkt nur linear
- ▶ Beispiel: Zug braucht Leistung 750 Kilowatt zum Anfahren mit Formel  $P = u \times I$ 
  - S-Bahn:  $750 \text{ kW} / 750 \text{ V} = 1000\text{A}$       R-Bahn;  $750 \text{ kW} / 15000\text{V} = 50\text{A}$
  - Annahme: gleiche Leitungslänge z.B. 3km, gleicher Leitungsquerschnitt  $1300 \text{ mm}^2$
  - Widerstand: 0,06 Ohm
  - S-Bahn:  $(1000 \text{ A})^2 \times 0,06 \text{ Ohm} = 60 \text{ kW}$       R-Bahn:  $(50 \text{ A})^2 \times 0,06 \text{ Ohm} = 0,15 \text{ kW}$

# Widerstandsberechnung

- ▶ Für Stromschiene S-Bahn
- ▶  $R = \rho \cdot l / A$
- ▶ mit  $\rho$  (Aluminium) =  $0.026 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$  und  $l = 3000 \text{m}$  und  $A = 1300 \text{mm}^2$
- ▶  $R = 0,06 \Omega$

# Korrekturen

- ▶ Regionalbahn hat weniger Einspeisepunkte, Annahme 5 mal weniger
- ▶ → Verluste steigen um Faktor 4 weil durchschnittlicher Übertragungsweg vom Einspeisepunkt zum Fahrzeug weiter
- ▶ Anstatt 0,15 kW Erhöhung auf 0,6 kW
- ▶ Aber: weniger Einspeisepunkte heißt auch weniger technische Anlagen, deren Herstellung ebenfalls Energie kostet und weniger Fläche → Bewertung nur mit Datenmaterial von Bahnbetreibern möglich
- ▶ Querschnitt der Stromschiene bei S-Bahn größer als Fahrdrabt bei R-Bahn, Annahme: 6 mal größerer Leiterquerschnitt
- ▶ Aber: Eine 6 mal höhere Masse an Leitermaterial braucht auch mehr Energie in der Herstellung
- ▶ Anstatt 0,6 kW Erhöhung auf 3,6 kW
- ▶ S-Bahn: 60 kW Verlustleistung, R-Bahn: 3,6 kW
- ▶ Prozentual: S-Bahn: 8% Verlust, R-Bahn: 0,5% Verlust durch Energieübertragung
- ▶ **Unterm Strich: Es bleibt noch genug Potential übrig!**

# Bewertungsübersicht

| Größe                                   | S-Bahn  | R-Bahn | Abhängigkeit | Einfluss auf Verluste | Bemerkung                                  |
|---|---------|--------|--------------|-----------------------|--|
| Spannung                                | 0,75 kV | 15 kV  |              | hoch                  |  |
| Strom                                   |         |        | quadratisch  | hoch                  |  |
| Abstand Speisepunkte                    | klein   | groß   | linear       | gering                |  |
| Anzahl Speisepunkte                     | hoch    | klein  | linear       | gering                | Energieverbrauch für Herstellung           |
| Leitungsquerschnitt                     | groß    | klein  | linear       | gering                | Stromschiene vs. Leiterseil                |
| Masse Fahrzeug                          | mittel  | höher  | linear       | sehr gering           | bei Anfahren<br>Beschleunigung der Masse   |
| Geschwindigkeit                         |         |        |              |                       | Berechnung bei gleicher<br>Geschwindigkeit |
| Eignung für regenerative Energiequellen | gut     | gut    |              |                       |  |
| Eignung häufiges Anfahren               | gut     | gut    |              |                       | Masse entscheidend                         |

# Schlussfolgerung

- ▶ S-Bahn ist bezüglich der Übertragungsverluste deutlich schlechter als Regionalbahn
- ▶ Zugrunde liegende Annahmen zeigen klare Tendenz, müssen aber durch genauere Untersuchungen zu Verlustleistungen der Bahnsysteme verifiziert werden (z.B. an TU Berlin)
- ▶ Kein Zubau neuer S-Bahnstrecken in Berlin und Hamburg (andere Städte haben bereits neuere Systeme)
- ▶ S-Bahn trägt deutlich zu ÖPNV bei und kann natürlich nicht abgeschaltet werden und ist bei guter Auslastung deutlich energieeffizienter als Straßenverkehr
- ▶ Bestehende Strecken müssen weiter betrieben bis durch energieeffizientere Technik ersetzbar, gemeinsame Nutzung eines Gleises durch alte und neue Technik denkbar (realisiert bei Birkenwerder)
- ▶ Untersuchungen müssen erfolgen, welche S-Bahnstrecken durch energieeffizientere Technik mit Oberleitungsversorgung (15 kV) ersetzt werden können - Potential: 90 bis 95 % der Übertragungsverluste oder 7% des Gesamtenergieverbrauchs

# Backup- Datensammlung

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Länge über Kupplung:    | 36.200 mm   |
| Breite:                 | 3.000 mm  |
| Drehzapfenabstand:      | 12.100 mm   |
| Drehgestellachsstand:   | 2.200 mm  |
| Leermasse:              | 59,0 t  |
| Höchstgeschwindigkeit:  | 90 km/h   |
| Stundenleistung:        | 600 kW  |
| Beschleunigung:         | 0,68 m/s <sup>2</sup>                               |
| Motorentyp:             | Gleichstromreihenschluss                            |
| Stromsystem:            | 750 V =   |
| Stromübertragung:       | seitliche, von unten<br>bestrichene<br>Stromschiene |
| Anzahl der Fahrmotoren: | 4   |
| Kupplungstyp:           | Scharfenbergkupplung                                |
| Sitzplätze:             | 110   |
| Stehplätze:             | 253   |
| Fußbodenhöhe:           | 1.120 mm  |

Typische Werte S-Bahn

## Aufgaben:

- Masseverhältnis von S-Bahn zu Regionalbahn bezogen auf 500 Menschen und Bewertung hinsichtlich Energie zur Beschleunigung der Leermasse und Rollreibung bei realistischem mittleren Abstand zwischen 2 Haltepunkten (z.B. 2 km)
- Mittlerer Abstand zwischen Unterwerken (Einspeisepunkte) im Vergleich von S-Bahn und Regionalbahn im Stadtgebiet
- Vergleich Querschnitte Stromschiene zu Fahrdrabt (Annahme war 1300 zu 220)
- Energetische Bewertung von unterschiedlichem Materialeinsatz für Übertragungssysteme und Unterwerke

# Back-Up Weitere Aufgaben

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Hersteller:             | Stadler Rail  |
| Baujahr(e):             | seit 2004   |
| Achsformel:             | je nach Ausführung  |
| Spurweite:              | 1435 mm (Normalspur)  |
| Länge:                  | je nach Ausführung  |
| Höhe:                   | 4185 mm<br>4120 mm (Flirt 3) <sup>[2]</sup>                                   |
| Breite:                 | 2820 - 2880 mm<br>3200 mm (NSB)<br>3480 mm (Flirt G)                          |
| Radsatzfahrmasse:       | bis zu 20,0 t<br>(Triebdrehgestelle) <sup>[3]</sup>                           |
| Höchstgeschwindigkeit:  | 120–200 km/h je nach Ausführung   |
| Stundenleistung:        | 1300–4500 kW je nach Ausführung   |
| Dauerleistung:          | 1000–3000 kW je nach Ausführung   |
| Anfahrzugkraft:         | 200 kN<br>175 kN (Flirt 3) <sup>[2]</sup><br>240 kN (NSB)<br>300 kN (Flirt G) |
| Anzahl der Fahrmotoren: | je nach Ausführung  |
| Sitzplätze:             | je nach Ausführung  |
| Fußbodenhöhe:           | 1120 mm   |

## Typischer Regionalbahnzug

- Züge der Regionalbahn sind per se schwerer, da sie auch höhere Geschwindigkeiten fahren können und mehr Passagiere aufnehmen können
- Das wirkt sich natürlich negativ auf den Energiebedarf aus
- Deshalb wäre es angebracht, sowohl den verfügbaren Zug mit der S-Bahn zu vergleichen als auch einen fiktiven Zug, der die gleiche Beförderungskapazität und Geschwindigkeit wie die S-Bahn hätte
- Da der an Bord befindliche Trafo nur in einer Größenordnung von 1 bis 2% in die Masse eingeht, könnte es in Ordnung sein, anzunehmen, dass der fiktive Zug die gleiche Masse wie die S-Bahn hätte
- Oder es wird ein mit 15 kV betriebenen S-Bahnzug aus anderen Städten (München, Frankfurt, Ruhrgebiet) zum Vergleich herangezogen