

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 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 ρ (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 Beschleunigung der Masse
Geschwindigkeit					Berechnung bei gleicher 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 ²
Motorentyp:	Gleichstromreihenschluss
Stromsystem:	750 V =
Stromübertragung:	seitliche, von unten bestrichene 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 4120 mm (Flirt 3) ^[2]
Breite:	2820 - 2880 mm 3200 mm (NSB) 3480 mm (Flirt G)
Radsatzfahrmasse:	bis zu 20,0 t (Triebdrehgestelle) ^[3]
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 175 kN (Flirt 3) ^[2] 240 kN (NSB) 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