

6. Internationale E-Bus-Konferenz, 2018

Bewertung der Elektrifizierungs- würdigkeit von Busverkehren

Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan, TU Dresden

Solingen, 21.11.2018

Professur für Elektrische Bahnen

Planung und Betrieb elektrischer Verkehrssysteme



- Energieerzeugung/ -übertragung
- Energieverteilung/ -zuführung
- Elektrisches Fahrzeug
- Rückstromführung, Beeinflussung
- Fahrzeug- und Anlagenbetrieb



Elektrifizierungswürdigkeit – Begriffsklärung

Ursprung: Bahnelektrifizierung

Bewertungsverfahren, ob sich die Elektrifizierung von Bahnstrecken im Vergleich zum Betrieb mit anderen Antriebstechnologien, wie

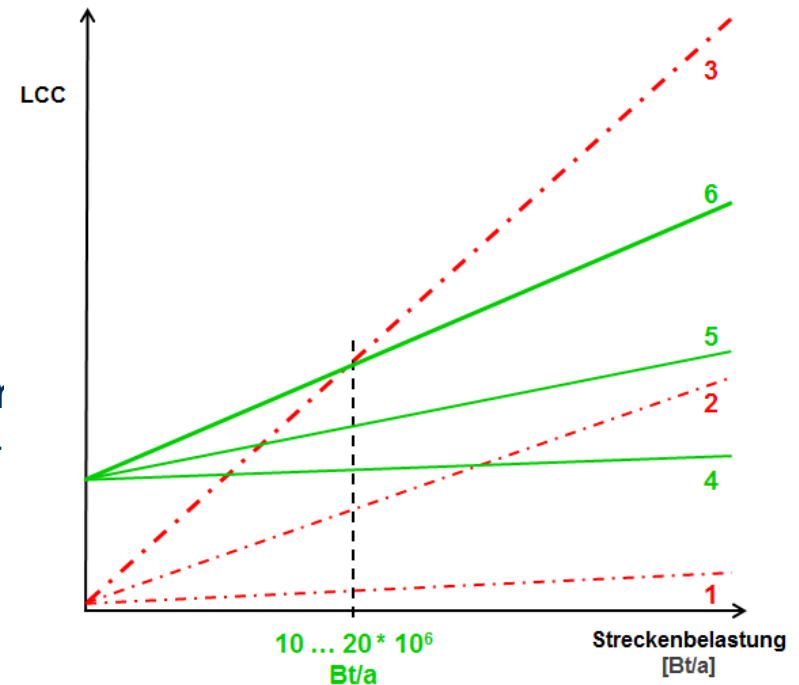
- zunächst: Dampf
- dann: Diesel
- heute: Hybrid, Wasserstoff

gesamtwirtschaftlich lohnt.

Ziel:

- langfristig belastbare **Entscheidungskriterien** zur Technologieauswahl und für Umsetzungsstrategien

➔ **Vor der gleichen Frage stehen wir bei Busverkehren heute auch.**



Blick in die Vergangenheit ... (1)

Pferdebahn → Elektrische Straßenbahn, ca. 1880 ff

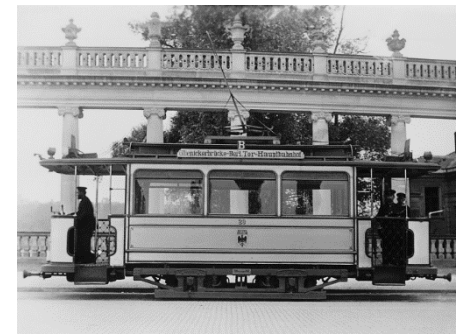
- in weniger als 10 Jahren, **weltweit!!!**
- Koppelgeschäft mit Elektrizitätswerken: Straßenbahnen waren erste (und zunächst einzige) Abnehmer

Migrationsaspekte:

- Großteil der **INFRASTRUKTUR** war mit den Gleisanlagen schon **vorhanden**
- nur geringe Weiterentwicklungen im Fahrzeugbau
- Elektrizitätswerke versprachen hohen Gewinn mit Perspektive der umfassenden Stadtelektrifizierung
- **unternehmerisches Risiko gering**
- einziger Vorbehalt: Technik musste funktionieren

Technische Lösungen:

- Oberleitung an Häusern, Elektrizitätswerke streckennah, Fahrzeuge nachgerüstet



Blick in die Vergangenheit ... (2)

Dampflokomotive → Elektrische Lokomotive, ca. 1910 ff

- Alles versprach, **besser** zu werden:
- Leistung, Fahrdynamik, Reichweite - ohne Nachladung/ Betankung, Energiebedarf, Instandhaltung, Verfügbarkeit, Bedienung, ...

Migrationsaspekte:

- Nachrüstung in bestehender **INFRASTRUKTUR** an Masten mit fester Geometrie zum Gleis
- zentrale Energieversorgung - auf Zuwachs ausgelegt
- Weiterentwicklung der Fahrzeuge (Hochphase Dampf!)
- **Aber:** höhere Beanspruchungen im Betrieb und landesweite **Standardisierung** der INFRASTRUKTUR notwendig
- Schließlich dauerte es **über 20 Jahre**, bis es stabil war.



Elektrifizierungswürdigkeit:

- brauchte keine wissenschaftliche Methodik, aber INFRASTRUKTUR-Programme

Blick in die Vergangenheit ... (3)

Straßenbahn → O-Bus, ca. 1930 ff

- umfangreiche Re-Investition in verschlissene Gleisanlagen wurden notwendig (Liegedauer z.T. über 50 Jahre)
- preiswerte Ersatzidee: 2. Fahrrad und elektrische Busse statt erneuerte Gleise, damit:
Vorteile der E-Traktion – mit **weniger INFRASTRUKTUR**

Migrationsaspekte:

- Weiternutzung der elektrischen INFRASTRUKTUR
- Verzicht auf Gleis-INFRASTRUKTUR
- alltagstaugliche Busse mittlerweile verfügbar
- Standardisierung der Fahrleitung weitgehend vorhanden
- schnelle Umsetzbarkeit gegeben

Elektrifizierungswürdigkeit:

- stand damals nicht zur Debatte, wohl aber später beim Re-Invest ...



... zurück in die Gegenwart

Elektrifizierung von Busverkehren heute

- Randbedingungen (und Erfolgsaussichten) sind heute deutlich anders als in der Historie der frühen Straßenbahn- und Eisenbahnelektrifizierung
- **Konkurrent** ist der weltweit etablierte, antriebstechnisch vergleichsweise einfache, betrieblich hoch flexible und wirtschaftlich sehr erfolgreiche **Dieselsbus**.
- ... seine betriebliche Infrastruktur: **Tankstelle und Parkplatz**. Mehr nicht.

Migrationsaspekte heute:

- Es wird zunächst nichts wirklich besser (wie 1880, 1910, 1920) sein, sondern erstmal alles **komplizierter**: technisch, betrieblich, wirtschaftlich, ökologisch – wenn wir wirklich alles betrachten).
- Ganz gleich, ob elektrische Busse mit Batterien oder Brennstoffzellen: wir brauchen dafür neue Infrastrukturen.
- Diese INFRASTRUKTUREN müssen in **Räumen** mit umfangreichen anderen Infrastrukturen (und dokumentiert sind) zu integrieren.
- In diesen urbanen Räumen leben **Menschen**, die neuen Verkehrsinfrastrukturen grundsätzlich **skeptisch** begegnen.

Konfliktpotenzial

Elektrifizierungswürdigkeit von Busverkehren

Betriebliche INFRASTRUKTUR bedeutet ...

- **Langlebigkeit** – d.h. es muss gut abgewogen, ausgewählt und begründet werden
- umfangreiche „**Betroffenheiten**“ – in stark individualisierter Gesellschaft
- **öffentliche Mitsprache** als Voraussetzung für Bau- und Betriebsrecht
- Einhaltung zahlreicher Gesetze, Normen, Regelwerke – technisch und rechtlich
- Langfristiger Planungs- und **Finanzierungsvorlauf**

Konsequenzen:

- Die aktuelle Phase der temporären Forschungs- und Pilotprojekte – meist ohne Planfeststellung – ist absehbar vorbei.
- Es wird länger dauern und mehr Geld kosten als wir heute erwarten.
- Alle Vorhaben müssen von Anfang an verfahrensrechtlich „wasserdicht“ gestaltet werden.
- Dies muss in Bewertungsverfahren zur Elektrifizierungswürdigkeit einfließen z.B. durch Risikoaufschläge bei Zeit und Geld.

Bewertung der Elektrifizierungswürdigkeit

Was haben wir heute schon?

- zahlreiche **Hochlaufprognosen** zur E-Mobilität ... oft und vielgestaltig untersucht (Szenarien zu CO₂-Reduzierung, Energieeffizienz Diesel/Strom, Strommix ...) → meist große Flughöhe: „**Picture of the Future**“
- spezifische **CO₂-Vermeidungskosten** ... darin aber betriebswirtschaftliche Aspekte der Betreiber nicht ausreichend berücksichtigt: die Kosten sind meist gesellschaftliche Gesamtkosten – wer sie am Ende wirklich trägt, ist noch offen
- Forschungen zu **Batterie- und Brennstoffzellen**-Technologien (nicht nur Verkehr)
- Forschung zu **Energiemanagementstrategien**
- erforschte **Einzelaspekte** z.B.: Sekundär-/ Primärenergiebilanz im Betrieb; Ladesysteme; Fahrdynamik; Leichtbau: Felgen, Chassis ...
- vereinzelte **betriebswirtschaftliche Analysen** mit spezifischen Randbedingungen

Bewertungsrahmen aktuell:

- viele Einzelthemen: häufig technisch, seltener betrieblich, wirtschaftlich meist nicht hinreichend langfristig monetarisiert inklusive möglicher Migrationsrisiken

Bewertung der Elektrifizierungswürdigkeit

Was fehlt in wissenschaftlichen Bewertungsverfahren?

Abbildung rechtlicher und gesellschaftlicher Themen:

- **Migrationsaspekte:**
 - planungsrechtliche Hürden - Genehmigungs- und Umsetzungszeiten
 - Abhängigkeiten von bzw. technisches Konfliktpotenzial mit anderen Infrastrukturen
 - Rückfallebenen bei Technologie- und Verfügbarkeitsproblemen
- **Perspektiven der Stadtentwicklung:**

Elektroverkehre brauchen (teure) Infrastrukturen in der Fläche - Investitionen erfordern lange Nutzung; mit E-Verkehren betreibt man Stadtentwicklung

Bewertung der Elektrifizierungswürdigkeit

Was fehlt in wissenschaftlichen Bewertungsverfahren?

Technische Aspekte:

- **Netzausbau Mittelspannung:** Kurzschlussleistung im Netzverbund, Spannungsqualität, Rückspeisefähigkeit
- **Netzausbau Hochspannungssysteme:** Lastzuwachs nicht nur durch Verkehr, sondern auch durch Volatilität der regenerativen Energien
- **Ladestationen im Stadtgebiet:** Eingriff in innerstädtische, unterirdische Medienstrukturen, dadurch umfangreiche Betroffenheiten, kaum brauchbare Bestandsdokumentation, deshalb vielfach aufwändig und voller Überraschungen
- **Verfügbarkeit von Grundstücken** für notwendige Infrastrukturanlagen in dicht bebauten Räumen - oft suboptimal für Betrieb und Effizienz
- Objektive Kriterien für **Beurteilung visueller Wirkungen** von Oberleitungs- und Nachladeeinrichtungen - für Durchsetzbarkeit extrem wichtig

Bewertung der Elektrifizierungswürdigkeit

Was fehlt in wissenschaftlichen Bewertungsverfahren?

Wirtschaftliche und ökologische Aspekte:

- **ökonomische Bewertung** über den gesamten Lebenszyklus - dabei: Festlegung realistischer Nutzungs- bzw. Abschreibungsdauern
- **differenzielle Sachbilanz:** Welche heutigen Materialien werden zukünftig wodurch ersetzt, wo entstehen ggf. Engpässe?
- **Ökologische Bewertung** nicht nur für die Betriebsphase, sondern inklusive Herstellung Bau und Entsorgung

Grundsätzlich bleibt der Widerspruch:

gesellschaftlich gewünschte langfristige ökologische Effekte
versus
kurzfristige wirtschaftliche Erfolge

Bewertung der Elektrifizierungswürdigkeit

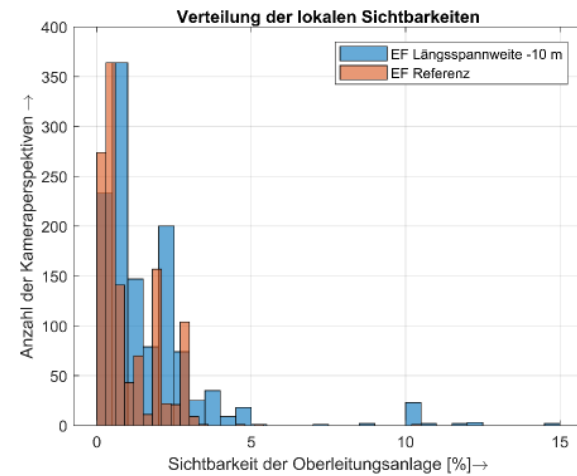
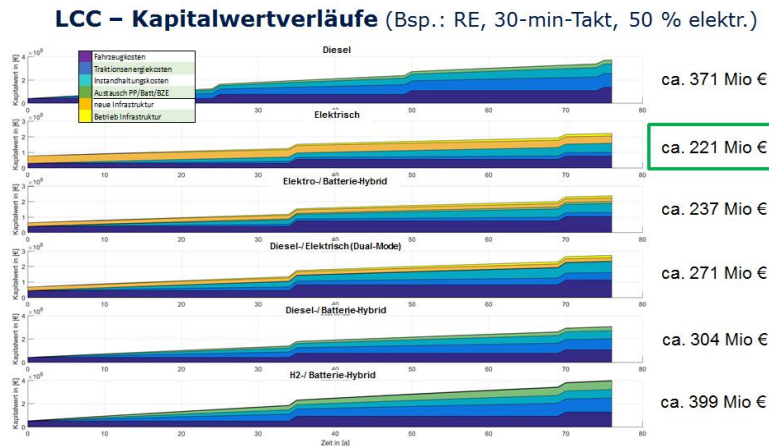
Zentrales Thema: INFRASTRUKTUR

- Mit der Infrastruktur - als Voraussetzung für die Elektrifizierung - werden sich auch in Zukunft **keine Gewinne** erzielen lassen.
- **Geschäftsmodelle** dafür müssen somit die Nutznießer des Betriebs direkt sowie ggf. die Profiteure der Stadtentwicklung indirekt einbeziehen.
- **Oder** die Infrastruktur muss als notwendiges **Allgemeingut** („hoheitliche Aufgabe“) erstellt und ggf. auch gepflegt werden - wie übrigens die Straßen, auf denen heute Busse fahren, auch ...
- Die Historie zeigt: **Ohne INFRASTRUKTUR-Programme wird es nicht gehen.**

Bewertung der Elektrifizierungswürdigkeit

Woran arbeitet die TU Dresden?

- Simulationsgestützte Auslegungsverfahren für Infrastrukturanlagen
- LCC und LCA-Modelle zur Wirtschaftlichkeits- und Umweltbewertung (dabei: Parallelen zur Bahnhybridisierung und zur Autobahnelektrifizierung - Ziel: Objektivierung der Bewertung)
- Bewertungsverfahren zur visuellen Wirkung von Oberleitungs- und Energieversorgungsanlagen



Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan

Technische Universität Dresden
Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“
Institut für Bahnfahrzeuge und Bahntechnik
Professur für Elektrische Bahnen

Hettnerstr. 1-3
Raum POT 253/ 254
01062 Dresden

Tel: +49 (0) 351 463-36730
Fax: +49 (0) 351 463-36825

E-Mail: arnd.stephan@tu-dresden.de
www.E-Bahnen.de

