Prof. Dr.-Ing. Markus Hecht
Salzufer 17-19 / FG Schienenfahrzeuge
TU - Berlin / Sekr. SG 14 / D-10587 Berlin

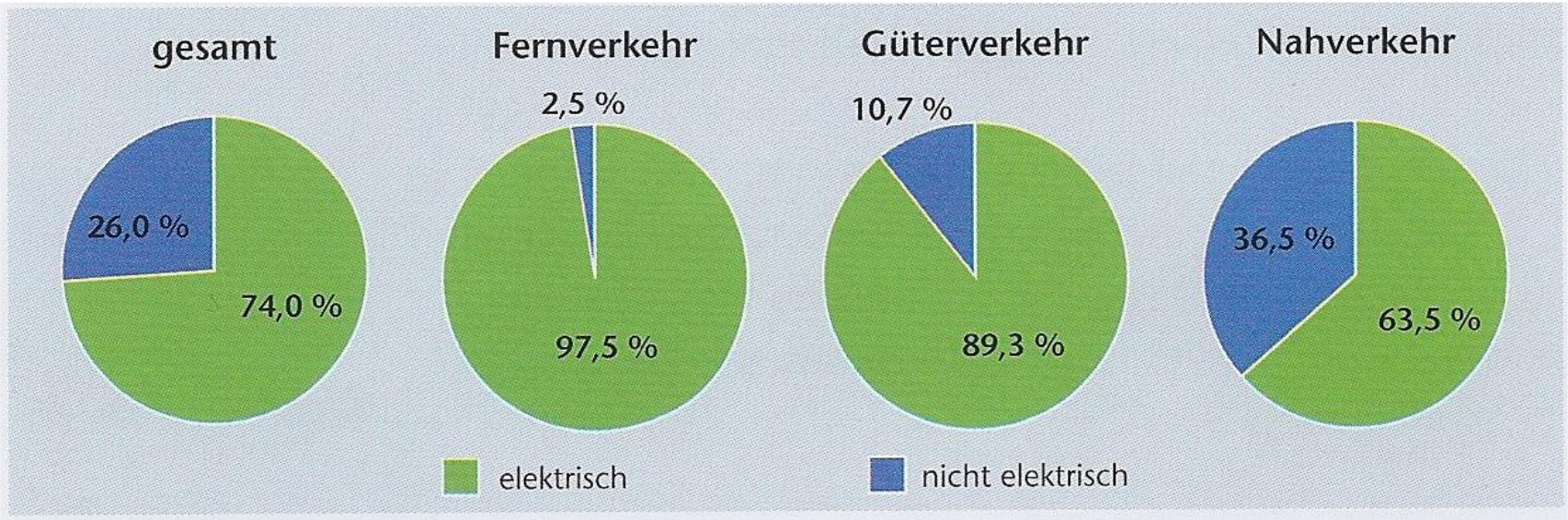
Technische Universität Berlin

Wie der SPNV sich das Dieseln abgewöhnen kann

Talk im Takt des Bundesverbandes Schienennahverkehr 06.07.2021

www.schienenfzg.tu-berlin.de; **markus.hecht@tu-berlin.de**

Ausgangslage:
gefahrene Zugkm in Deutschland nach DB-Netz



[N.N.; Elektrifizierungsprogramm des Bundes; Elektrische Bahnen 4/2021, Seite 124}

CO_2 Emissionen t/a TTW von Dieselfahrzeugen heute

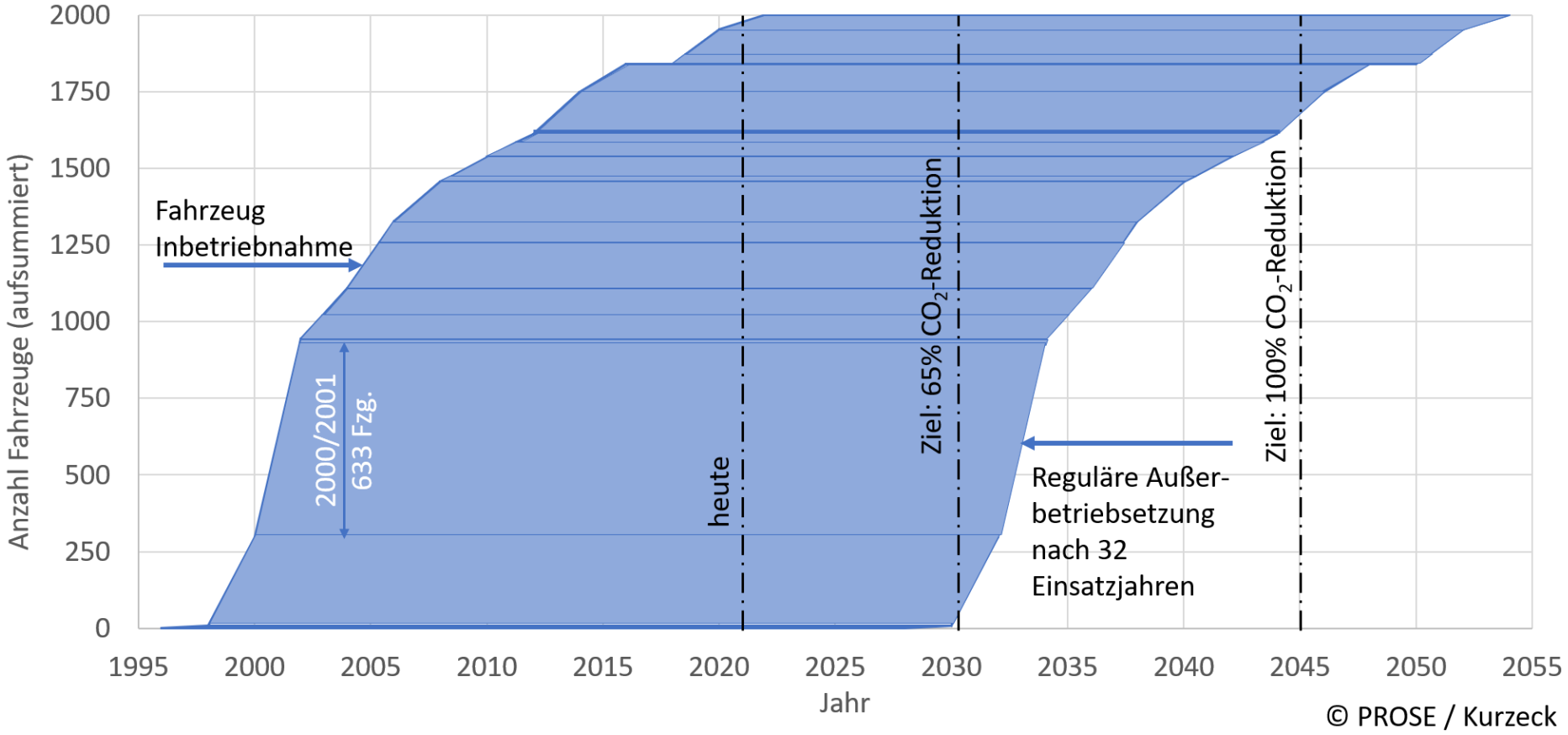
ein PKW 2,25 t/a	**alle PKW 108 Mio t/a**
ein LKW (auch Lieferwagen) 14,5 t/a	**alle LKW 48 Mio t/a**
Ein DMU 300 t/a	**alle DMUs 0,6 Miot/a**
Eine Diesellok 600 t/a	**alle Diesellok 0,4 Mio t/a**

Berechnet aus „BMVI, Verkehr in Zahlen 2020/21“

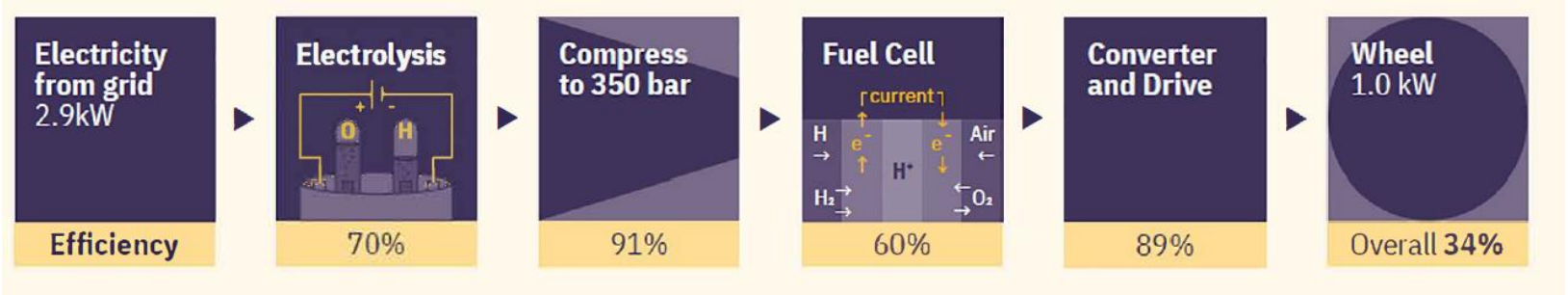
Wenig bewusst:
jeder Liter Diesel erzeugt 2,7 kg CO_2, egal wie alt der Motor ist

TTW = Tank to Wheel, im Gegensatz zu WTW = Well to Wheel

Zeitliche Situation Diesel-Regionalverkehrstriebwagen in D



Wirkungsgrad Brennstoffzellenantrieb:



Shrinnes et al: Why Rail Electrification, April 2021

Technische Universität Berlin

Systemvergleich a)

Antrieb	μ	Rekuperation	Leistung [kW]	V_{ts}	Kosten [2]
Fahrdrahtelektrisch	90%	90%	100%	92%	100%
Diesel hydraulisch	30%	0	40 %	85%	200%
Dieselelektrisch	35%	10%	40 %	85%	200%
Brennstoffzelle	34% [1]	40%	30 %	87%	300%
Batterieelektrisch [3]	80%	70%	70 %	90%	150%

μ Wirkungsgrad, Leistung [kW] bei gleicher Fahrzeugmasse,
V_{ts} technische Verfügbarkeit (Nichtverfügbar: Instandhaltung, Tanken)

1) Nur etwa die Hälfte der Abwärme zum Heizen nutzbar
2) Nur Betrieb ohne Personal
3) Mit Zwischenladung nur unter Fahrdraht

Rekuperation = Nutzbremsung

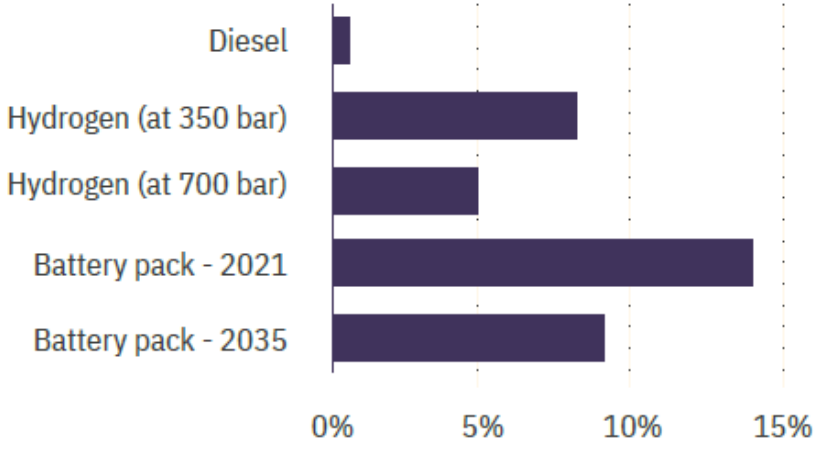
Systemvergleich b)

Antrieb	Investkosten Fahrzeug	Flottengröße	Fahrzeiten
Fahrdrahtelektrisch	100%	100%	100%
Dieselhydraulisch	100%	120%	130 %
Dieselelektrisch	100%	120%	130 %
Brennstoffzelle	160%	130%	135 %
Batterieelektrisch 3)	140%	110%	110 %

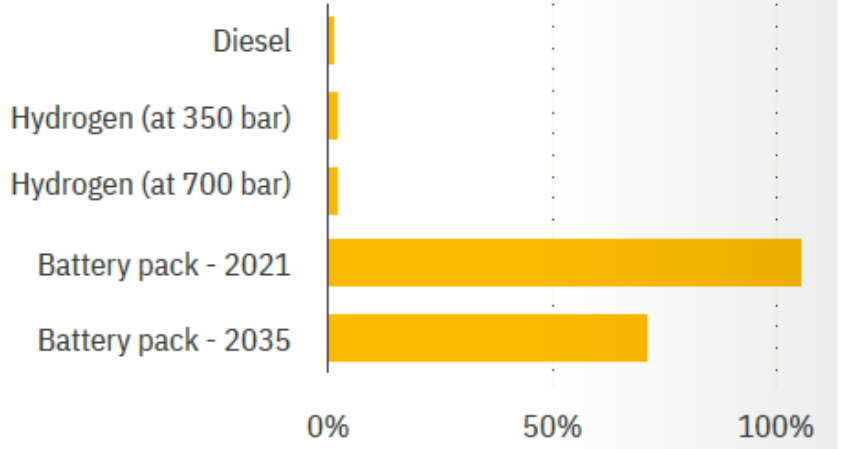
3) Mit Zwischenladung nur unter Fahrdraht

Alternative Antriebe im Vergleich zum Diesel, gleiche Reichweite angenommen, fahrzeugbezogen

Platzbedarf [m³]



Masseanteil [t]



Shrinnes et al: Why Rail Electrification, April 2021

Konsequenz: reiner Batteriezug ohne Nachladung geht nicht, reiner Brennstoffzellenzug geht

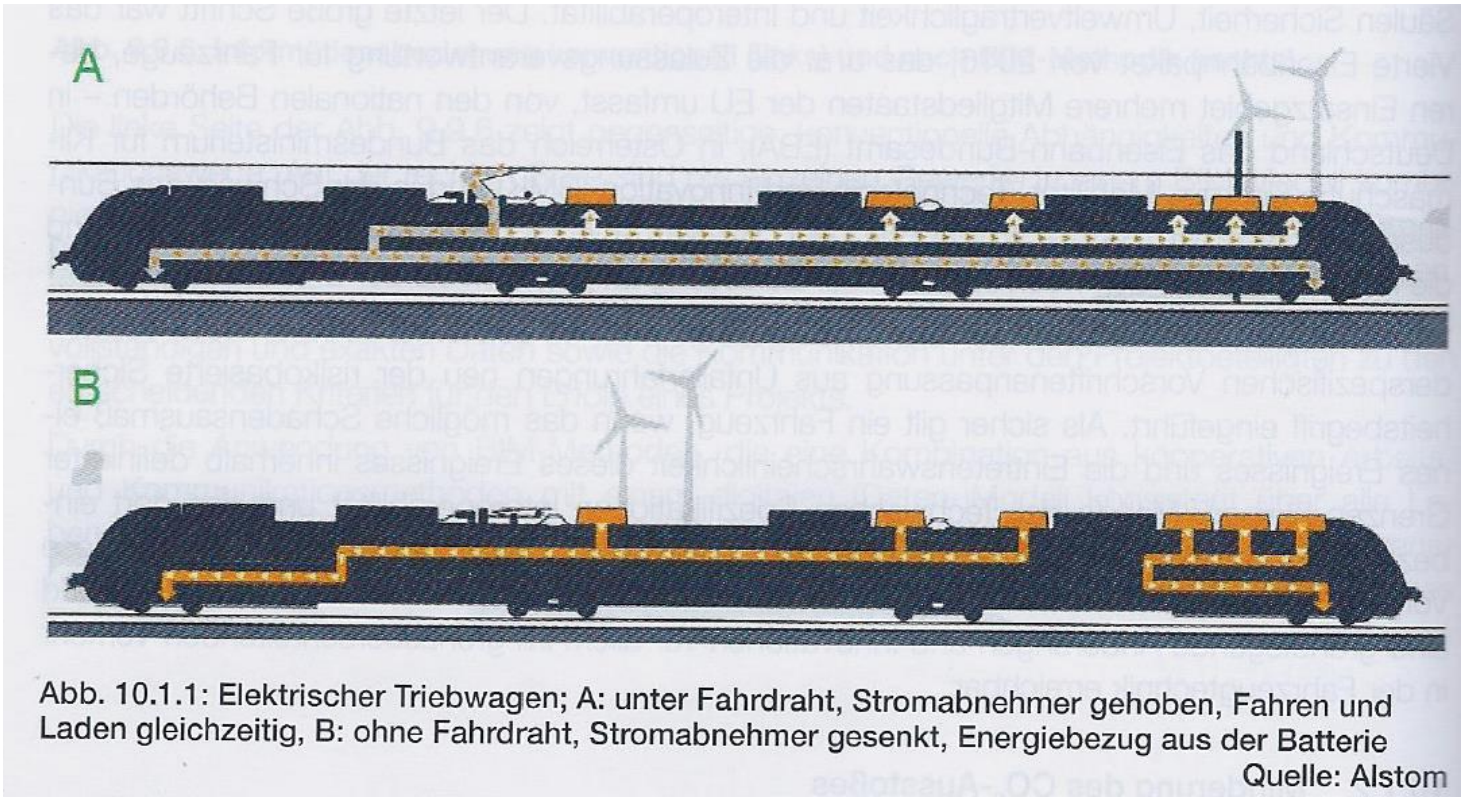


Abb. 10.1.1: Elektrischer Triebwagen; A: unter Fahrdraht, Stromabnehmer gehoben, Fahren und Laden gleichzeitig, B: ohne Fahrdraht, Stromabnehmer gesenkt, Energiebezug aus der Batterie
Quelle: Alstom

[Niels Nießen et al; Handbuch das System Bahn, 3. Auflage, Eurail press, Leverkusen, 2021]

Heute sind bei DB Netz 61% (20000 km) von 33000 km elektrifiziert

Neu-Elektrifizierungsrealität durch DB Netz:
Ulm – Friedrichshafen – Lindau 126 km (Inbetriebnahme 2021) und die Ausbaustrecke Oldenburg – Wilhelmshaven 52 km (Inbetriebnahme 2022).
Planung weitere ca 1000 km bis 2030, das bedeutet 64% bis 2030!

Im aktuellen Koalitionsvertrag, Zeilen 3565 und 3566, steht:
„Bis 2025 wollen wir 70 Prozent des Schienennetzes in Deutschland elektrifizieren. Mit einer neuen Förderinitiative wollen wir regionale Schienenstrecken elektrifizieren.“

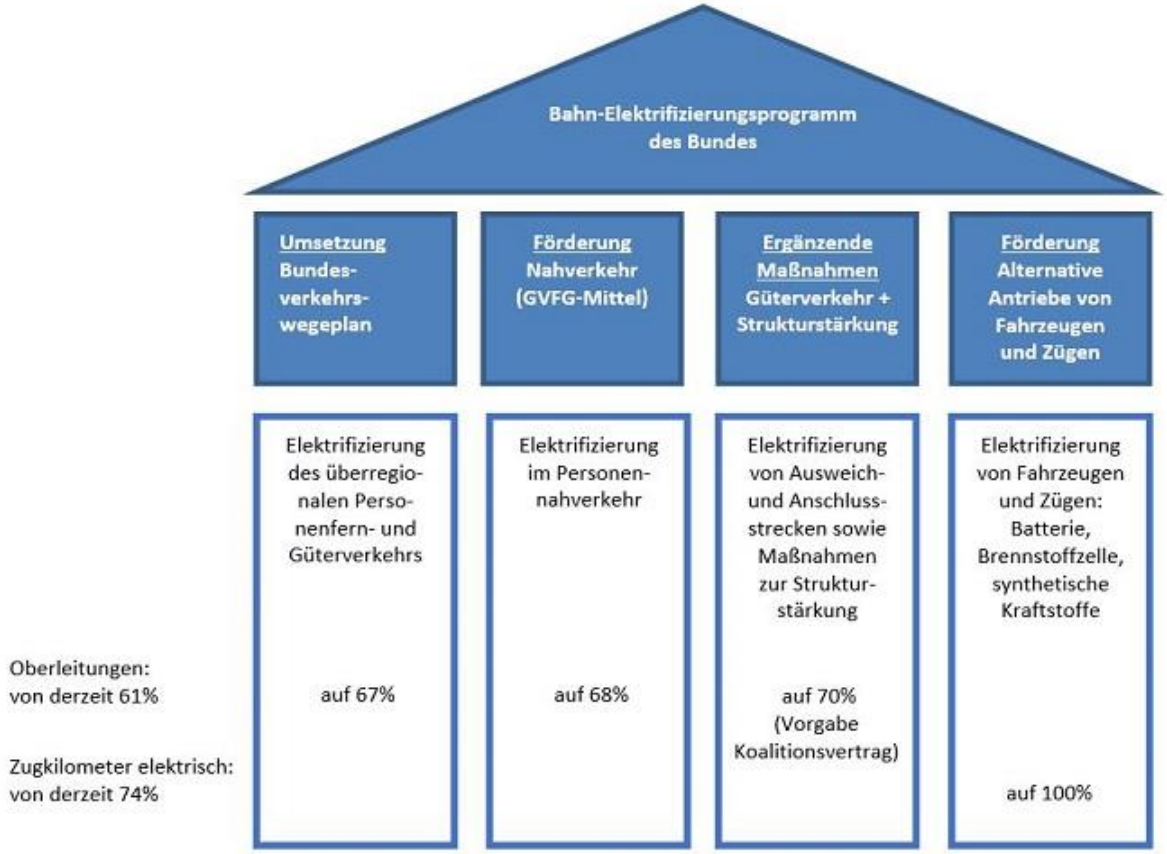
Nach Koalitionsvertrag wären 2025 23100 km elektrifiziert, also 3100 km neu und nicht 1200 km neu bis 2030

Lösung des BMVI: Bezeichnungsänderung:

für Zielverfehlung neue Kennziffer einführen:

Nicht mehr elektrifizierte Strecken-km sondern alle Linien mit alternativen Antrieben auch als elektrisch betrieben ausweisen, Neuer Kennwert „Elektrische Betriebsleistung“

Bei einem so mit schlechtem Image kämpfenden Verkehrssystem wie der Schiene kann das nur zusätzlich schaden



Quelle : https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2021/023-scheuer-schiene-unter-strom.html

Technische Universität Berlin

Ersatz Elektrifizierung durch alternative Antriebe bedeutet:

1. **Kostenverlagerung vom Bund zu den Ländern (abgefedert durch Förderprogramme)**
2. **wesentlich höhere Betriebskosten als unter Fahrdraht**
3. **Schlechtere Fahrdynamik**

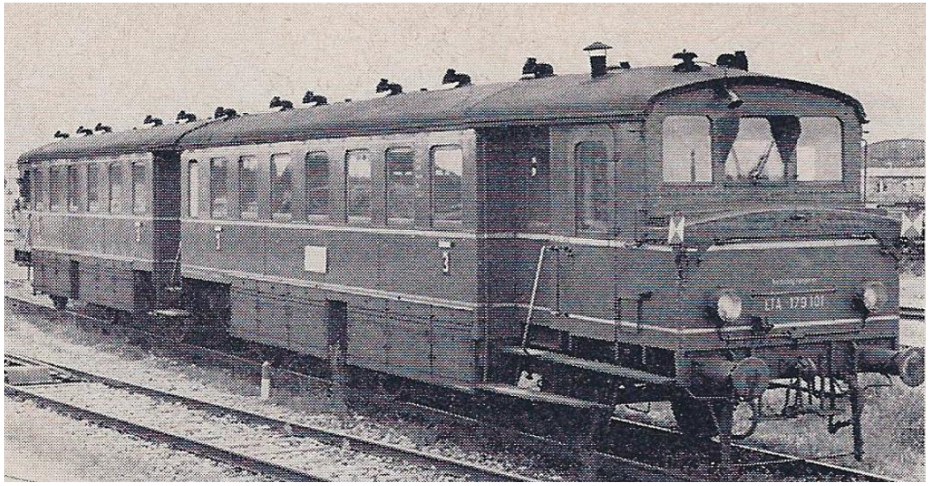
   (= längere Fahrzeiten, mehr Personal, mehr Züge)

4. **Sehr viel höhere Kosten für größere Bedienhäufigkeit**

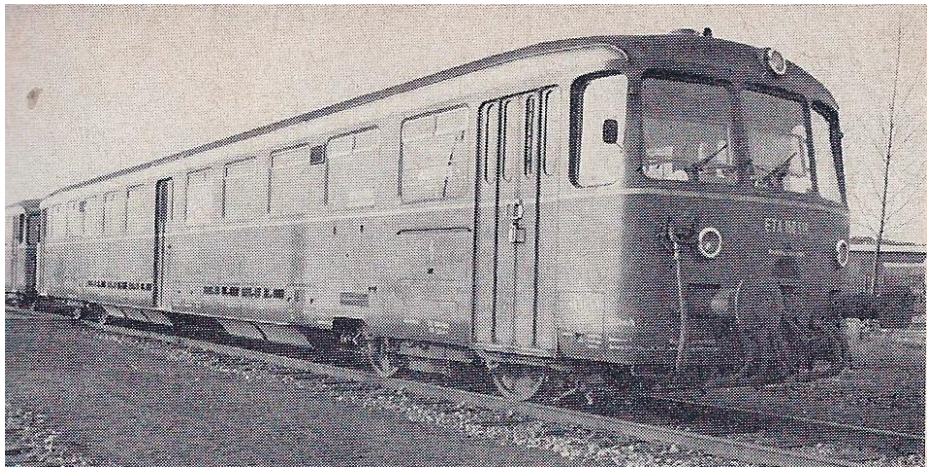
   (= Qualitätshindernis)

Beispiele aus Geschichte der DB: Akkutriebwagen

ETA 177 bis 179 ca 80 Stück
Einsatz zwischen 1907 und 1964
Reichweite bis 250 km/Ladung



ETA 150/BR 515 232 Stück
Einsatz zwischen 1954 und 1994
Reichweite bis 400 km/Ladung
Ausmusterung 1994, da Nach-rüstung Panto+Trafo nicht ging



[Bilder: Obermayer, Taschenbuch Deutsche Triebwagen, Franckh´sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1973]

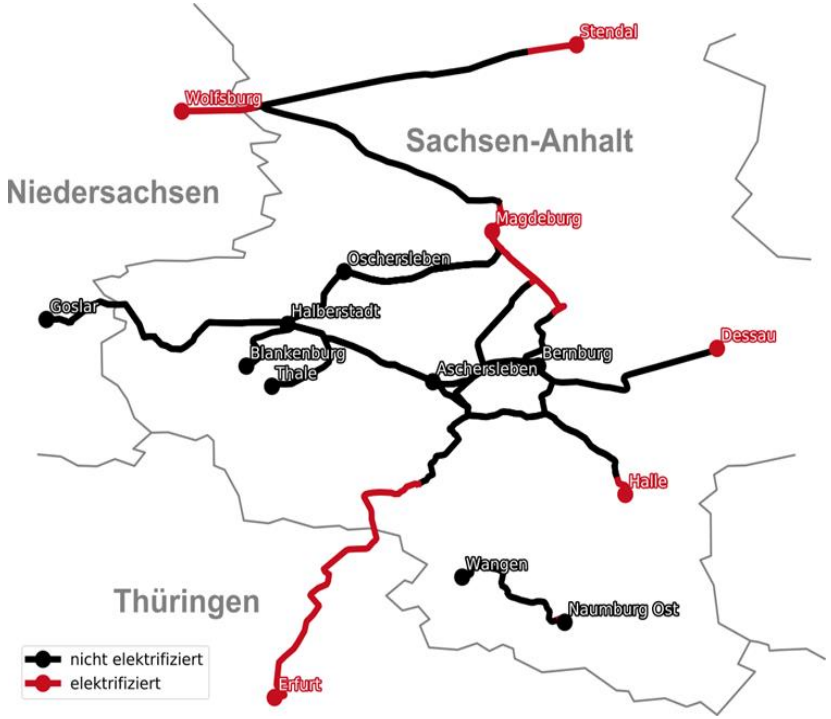
Konsequenz aus Bisherigem:

Fahrdraht nutzen , wo vorhanden,

wenn irgend möglich schnell weiter

elektrifizieren

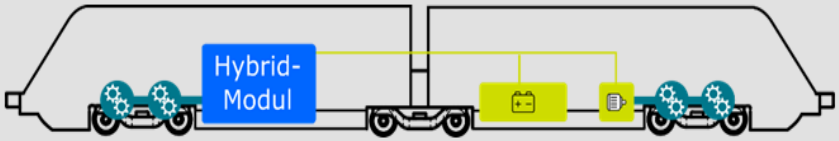
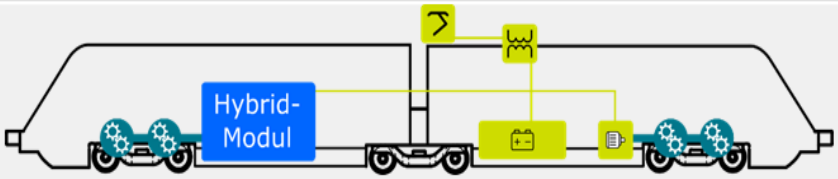
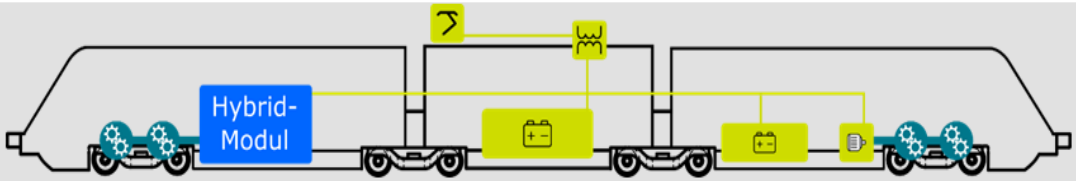
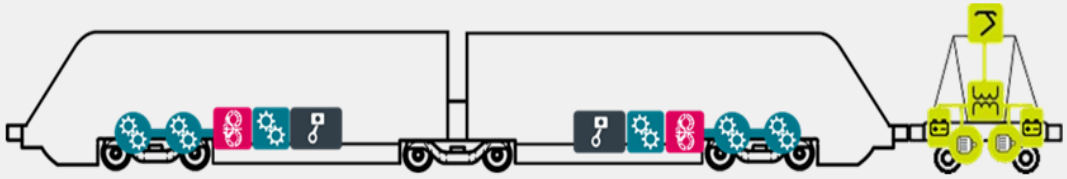
Abschlussbericht zur Machbarkeitsstudie „Umrüstung der Abellio LINT 41 Diesel-Triebwagen für das DISA-Netz zum Zweck der CO2-Emissionsreduzierung“, Wissenschaftliche Beratung des BMVI zur Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie, Berlin, 28.02.2020
Ersteller: Fraunhofer, Prose, TU-Berlin, K+V und Ing. Büro Rieckenberg



Dieselnetz Sachsen Anhalt, 18% Linienlänge elektrifiziert

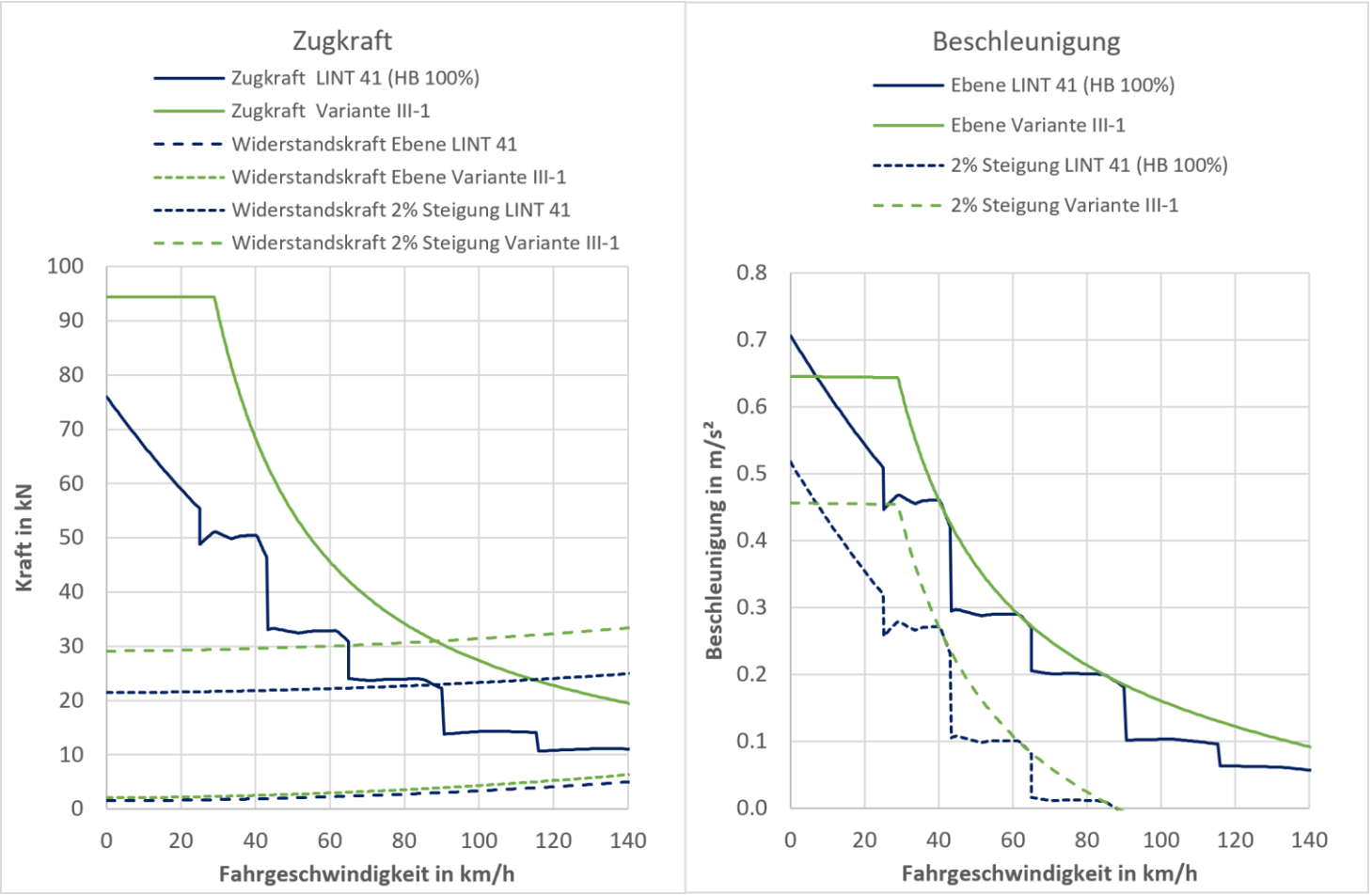
54 DMUs Lint 41

4 Grundvarianten, Hybridmodul: Dieselmotor, E-Motor und Generator

Variante	Ausbaustufe 1	Diesel-Einsparung
I		22%
II.1		50%
III.1		69%
IV.a		15%

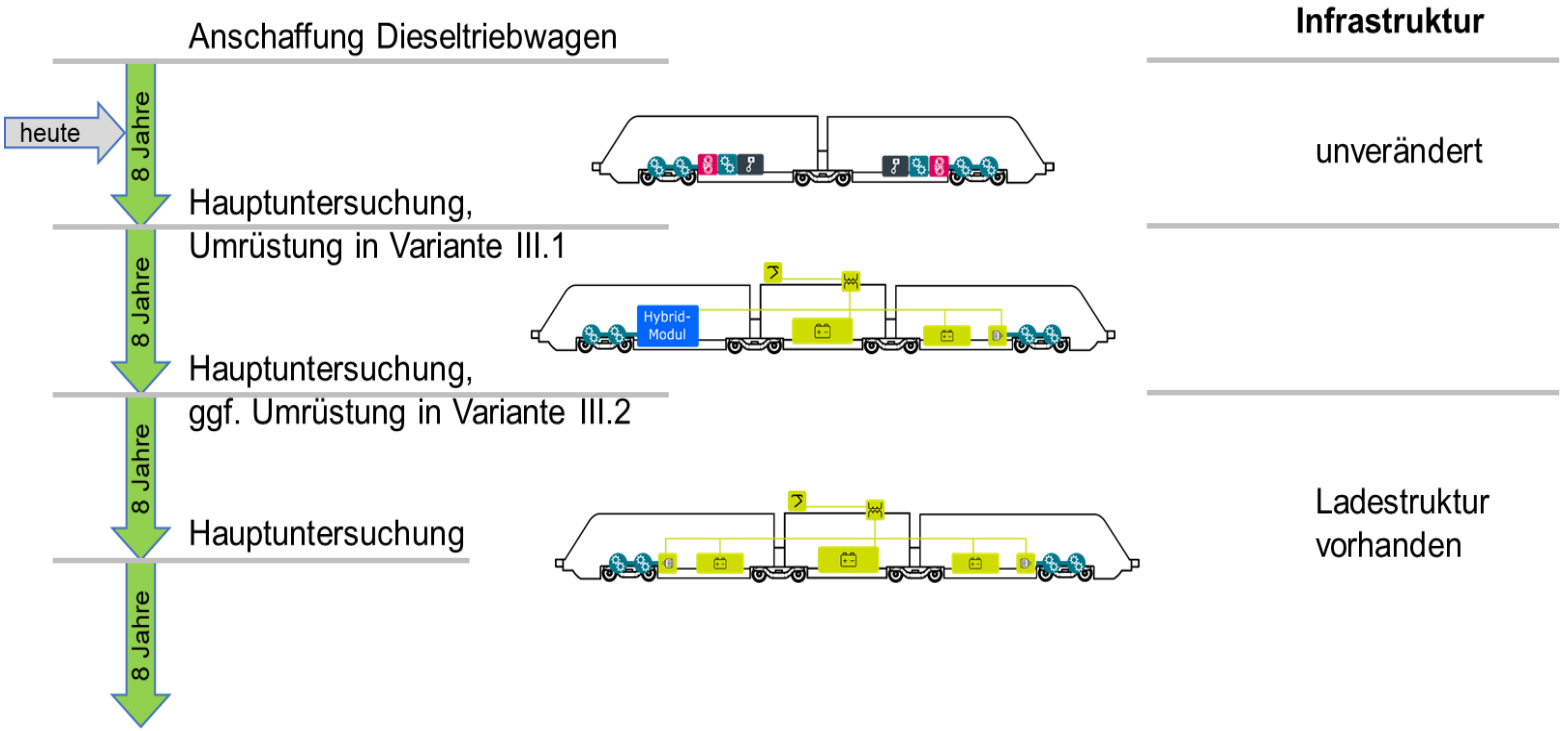
Graphik Dr. Kurzeck/Prose

Technische Universität Berlin



Graphik Dr. Kurzeck/Prose

Variante III über 69% zu 100% Einsparung durch Nachladeinseln



Graphik Dr. Kurzeck/Prose

Technische Universität Berlin

Forderung Außenlärm Triebfahrzeuge zum Vergleich DMU EMU NOI TSI 2014

		DMU	EMU	Empfehlung
Stillstand	$L_{pAäqT}$[dB]	72	65	58
Stillstand + Kompressor	$L_{pAäqT}$[dB]	76	68	60
Stillstand + Luftrockner Auslassluftstrom	$L_{pAF,max}$[dB]	85	85	65
Auf-/Abrüsten	$L_{pAF,max}$[dB]			70
Anfahrt und Bremsen	$L_{pAF,max}$[dB]	82 [1)]	80	72
Vorbeifahrt	$L_{pAäq,TP(80km/h)}$ [dB]	81	80	74
Bogenfahrt R 270-350m Pegel+ ΔL	[dB]			4
Bogenfahrt R 380-500m Pegel+ ΔL	[dB]			2

[1)] bis 560 kW Motorleistung, darüber 83 dB

Hecht 01/2021

Technische Universität Berlin

Fazit

Für Priorisierung Elektrifizierung neue KNU-Kriterien:
Steigungen, Bogenradienanteil, CO2-Minderung
Übergangsphase bis 100 % Elektrifizierung:
nur Batterieelektrische Züge,
Nachladung mit 50 oder 16,7 Hz, 15 kV,
jüngere Dieseltriebwagen umrüsten,
Umläufe und Nachladeabschnitte so,
dass keine Stillstandszeiten für Ladung auftreten
ab 100% Elektrifizierung der gefahrenen Strecken
batterieelektrische Züge in reine E-Triebwagen rückbauen

These/Forderung:
Wasserstoff für Industrie, Landwirtschaft, Luftfahrt, ev. Straße,
überall da verwenden, wo keine Fahrleitung möglich ist