



TrolleyMotion Leipzig

Herausforderung Elektromobilität

Wie weiter mit dem öffentlichen Verkehr?

Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan

Leipzig, 23.10.2012





Herausforderung ELEKTROMOBILITÄT - *Wie weiter mit dem öffentlichen Verkehr?*



Veranstalter:
Fakultät Verkehrs-
wissenschaften
„Friedrich List“



in Kooperation mit



**23. Verkehrs-
wissenschaftliche Tage**
29. - 30. 03. 2012

Herausforderung ELEKTROMOBILITÄT – *Wie weiter mit dem öffentlichen Verkehr?*

Schwerpunkte:

- Auswirkungen auf Mobilitätsverhalten und Verkehrsnachfrage
- Anforderungen an die Stadt- und Regionalplanung
- Wirtschaftlichkeit, Finanzierung, Nachhaltigkeit
- Technik und Betrieb

Weißbuch der Europäischen Kommission KOM (2011)14

„Zehn Ziele für ein wettbewerbsorientiertes und ressourcenschonendes Verkehrssystem“ (Auswahl):

- **Halbierung der Nutzung „mit konventionellem Kraftstoff betriebener Pkw“ im Stadtverkehr bis 2030 und vollständiger Verzicht bis 2050 (1)**
- **CO₂-freie Stadtlogistik in städtischen Zentren bis 2030 (2)**
- Anbindung aller Flughäfen an das Schienennetz (2050) (6)
- Verkehrssicherheit: Senkung der Zahl der Unfalltoten im Straßenverkehr auf Null bis 2050 (Halbierung bis 2020) (9)
- Prinzip der Kostentragung durch Nutzer und Verursacher (10)

Was ist Elektromobilität (besser: Elektroverkehr)?

- elektrisch betriebene Schienenfahrzeuge des Nah- und Fernverkehrs (U-Bahn, S-Bahn, Straßenbahn, Stadtbahn, Fernzüge)
- Busse (O-Bus, Elektro-Batterie-Bus, Hybrid-Bus)
- Pkw mit Batterieantrieb, Hybridantrieb, Brennstoffzellenantrieb
- Nutzfahrzeuge mit Elektroantrieb oder Hybrid-Antrieb
- neuartige Kleinstfahrzeuge (Drei- oder Vierräder) **öffentl. Wahrnehmung**
- batteriebetriebene Zweiräder (Pedelec, Segway, E-Bike)
- Unkonventionelle Bahnen (PeopleMover, Magnetbahn, ...)
(Energiezuführung: Stromschiene, Oberleitung, Induktion, Speicher, Brennstoffzelle, ...)

Elektroverkehr ist ein zentraler Baustein des „postfossilen Verkehrs“

elektrisch mobil ...



... 130 Jahre
Elektromobilität
auf der Schiene

Öffentliches Interesse an der Elektromobilität

- Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie der BRD (2007)
- Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität (2009)
 - Politische Strategien und Ziele für die Bundesrepublik Deutschland
 - Leitanbieter „Elektromobilität“
 - Leitmarkt „Elektromobilität“
- KoPa II – z.B. „Modellregionen Elektromobilität“ (2009-2011)
- Einrichtung der Nationalen Plattform Elektromobilität (2010)
- Ausschreibung von 3-6 „Schaufensterprojekten“ (2011)
- → Chancen für einen Perspektiven-/Paradigmenwechsel



ÖPNV in Förderprogrammen des BMVBS (2009 – 2011)

- **NIP - Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie:**
Neue Generation von Brennstoffzellenbussen (rd.10 Mio. €)
- **Modellregionen Elektromobilität:**
Hybrid- und Elektrobusse (rd. 26 Mio. €)
 - Test von ca. 60 Hybridbussen in 7 Modellregionen
 - mehr als 1 Mio. km Laufleistung, Ø 14 Std. Einsatz/Tag
 - 180t CO₂-Emissionen bzw. 60.000l Diesel eingespart
- **Sonderprogramm innovativer ÖPNV (rd. 6 Mio. €), z. B.:**
 - Diesel-Hybrid-Triebwagen
 - induktive Energieübertragung für elektrische Nahverkehrsfahrzeuge

Elektromobilität: Modellregionen Deutschland (2010-2012)



Ziel der Modellregionen ist eine zunächst zeitlich begrenzt laufende weitere Entwicklung und Erprobung aktueller und neuer Ansätze einer Elektromobilität.

Hamburg (Nutzung von regen. Energien, diskriminierungsfreier Zugang zur Ladeinfrastruktur und Integration der Ladesäulen in urbanes Umfeld),

Oldenburg/Bremen (Anbindung an bestehende Mobilitätsangebote für emissionsarmen Innenstadt- und Pendlerverkehr),

Potsdam/Berlin (Integration der Elektromobilität in den öffentlichen Verkehr, Tourismus sowie in die Wohnungsdienstleistung und City-Logistik),

Rhein-Ruhr (Elektroautos, -roller und -nutzfahrzeuge im Verbund mit der Ladeinfrastruktur testen),

Rhein-Main (Elektromobilität im ÖPNV in Form von Elektro- und Hybridbussen sowie Carsharing für Elektroautos an großen Bahnhöfen),

Sachsen/Dresden-Leipzig (elektrifizierter ÖPNV),

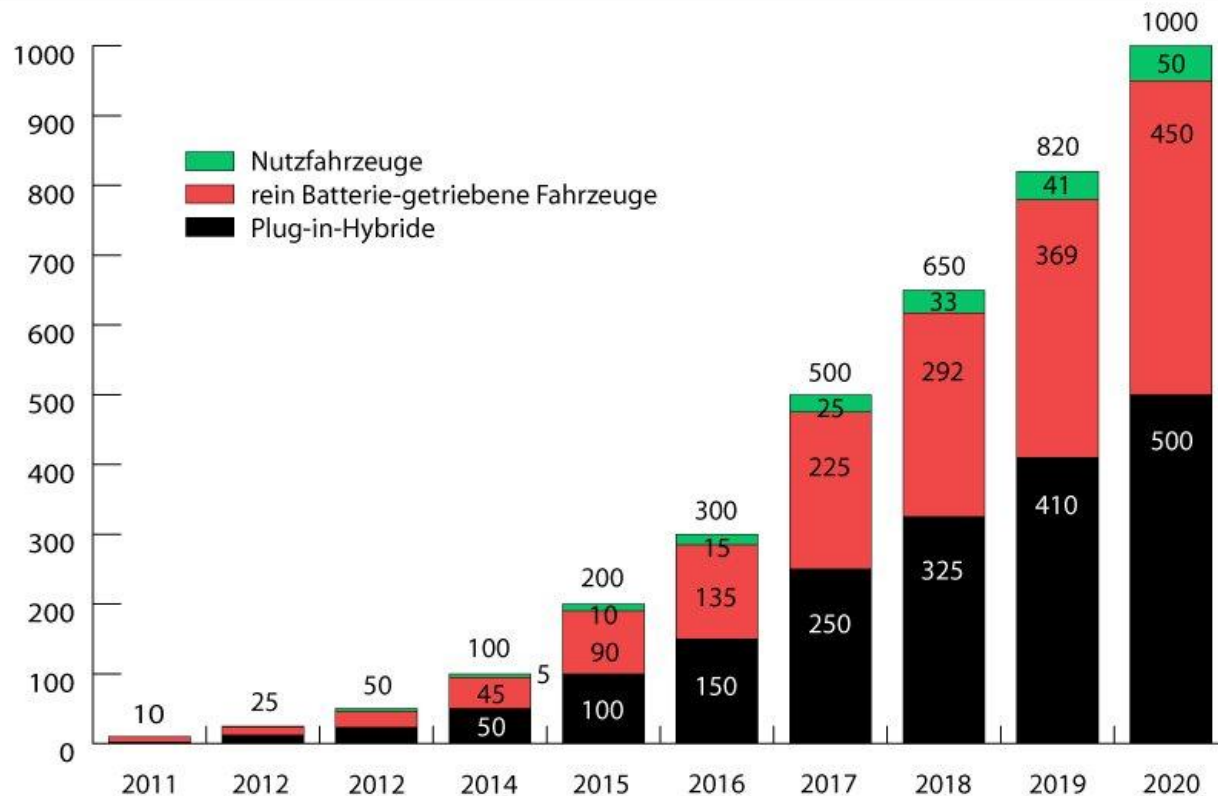
Region Stuttgart (elektrische Kleintransporter und Busse im Alltagsbetrieb) und der

Region München (Hybridbusse mit unterschiedlichen Hybridtechniken im Vergleich sowie Schnellladesysteme)

Individuelle Elektromobilität: Anspruch und Wirklichkeit

Großer E-hrgeiz

Wie Deutschland auf 1 Million Elektrofahrzeuge im Jahr 2020 kommen soll, Fahrzeuge in Tausend

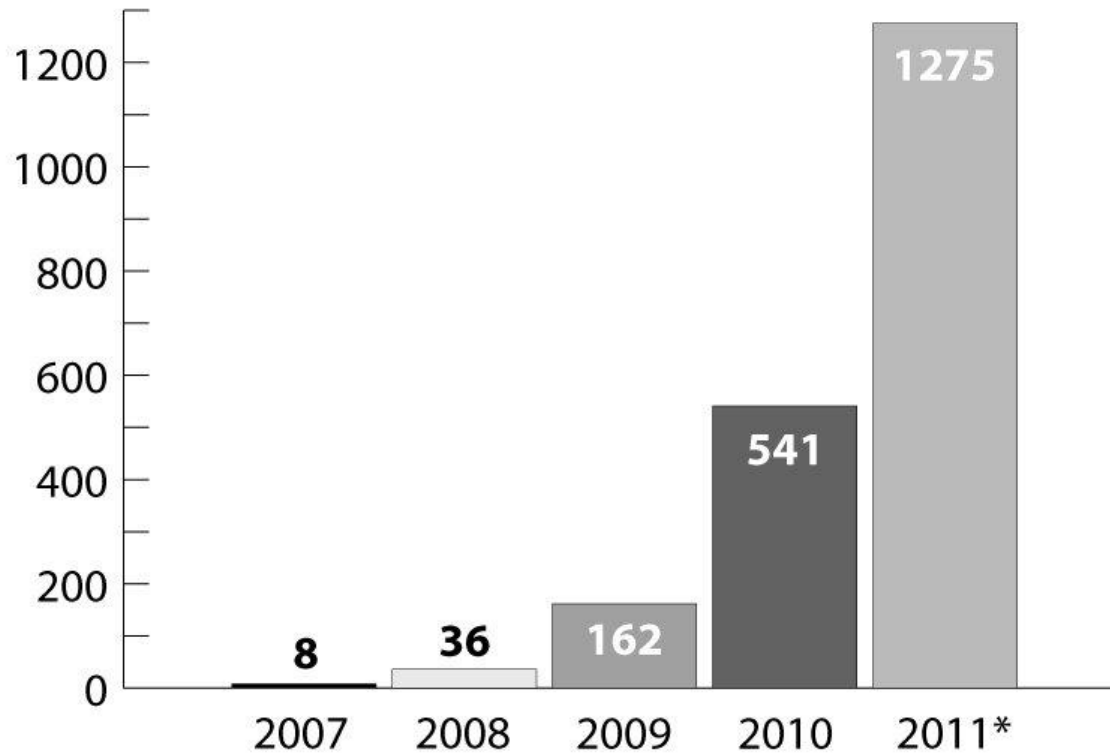


Quelle: Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, Mai 2011

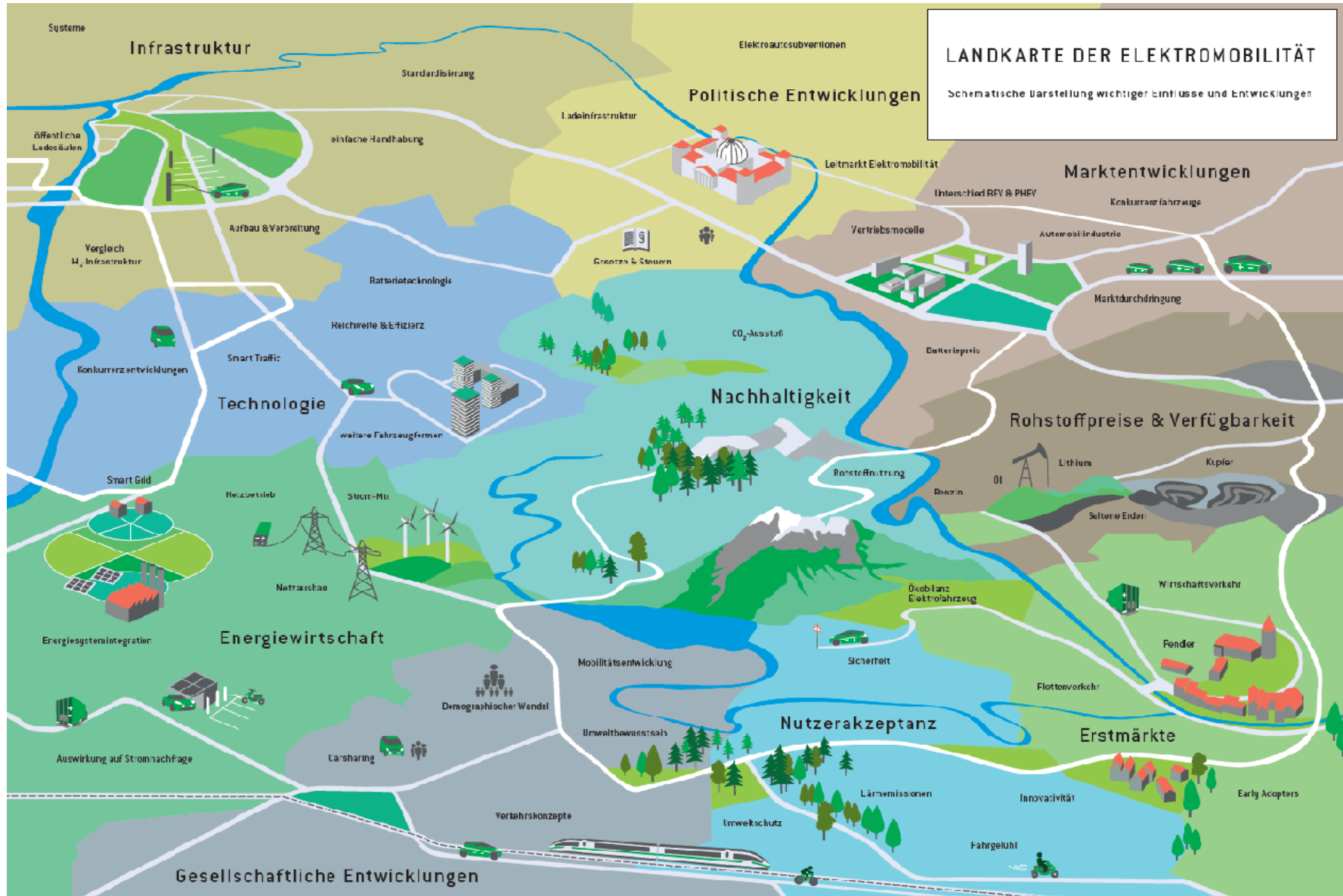
Individuelle Elektromobilität: Anspruch und Wirklichkeit

Langsam aufwärts

Zulassungen von Elektroautos in Deutschland



*1. Halbjahr
Quelle: Kraftfahrtbundesamt 2011



Entwicklungstendenzen: Individuelle Elektromobilität

- Das **Themenfeld der Elektromobilität ist komplex** mit einem umfangreichen Produkte- und Konfigurationsraum (z.B. keine eindeutige Mobilitätslösung definierbar, Diversifizierungstendenz groß).
- Eine **massentaugliche, nachhaltige Elektromobilität ist aktuell nicht erkennbar**, diese ist weniger ein technisches Problem sondern eher eine ökonomische (preisliche) und gesellschaftliche (Akzeptanz und Rahmenbedingungen) Fragestellung.
- Eine höhervolumige Produktion rein elektrisch fahrender Fahrzeuge ist **nicht vor 2013ff** in Deutschland zu erwarten.
- Die Produktvermarktungsstrategie wird sich wie folgt ausprägen: **Verkauf/Leasing des E-Fahrzeugs, Leasing des Batteriesystems.**
- Vermittler einer Durchdringung können sein:
 - eine weitere **Standardisierung** (z.B. bei Ladestationen),
 - die **Anwendung mobiler Kommunikationssysteme** zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Flankierung durch additive Geschäftsmodelle

Warum elektrisch ?

Grundlagen: Leistungsfähigkeit E-Traktion

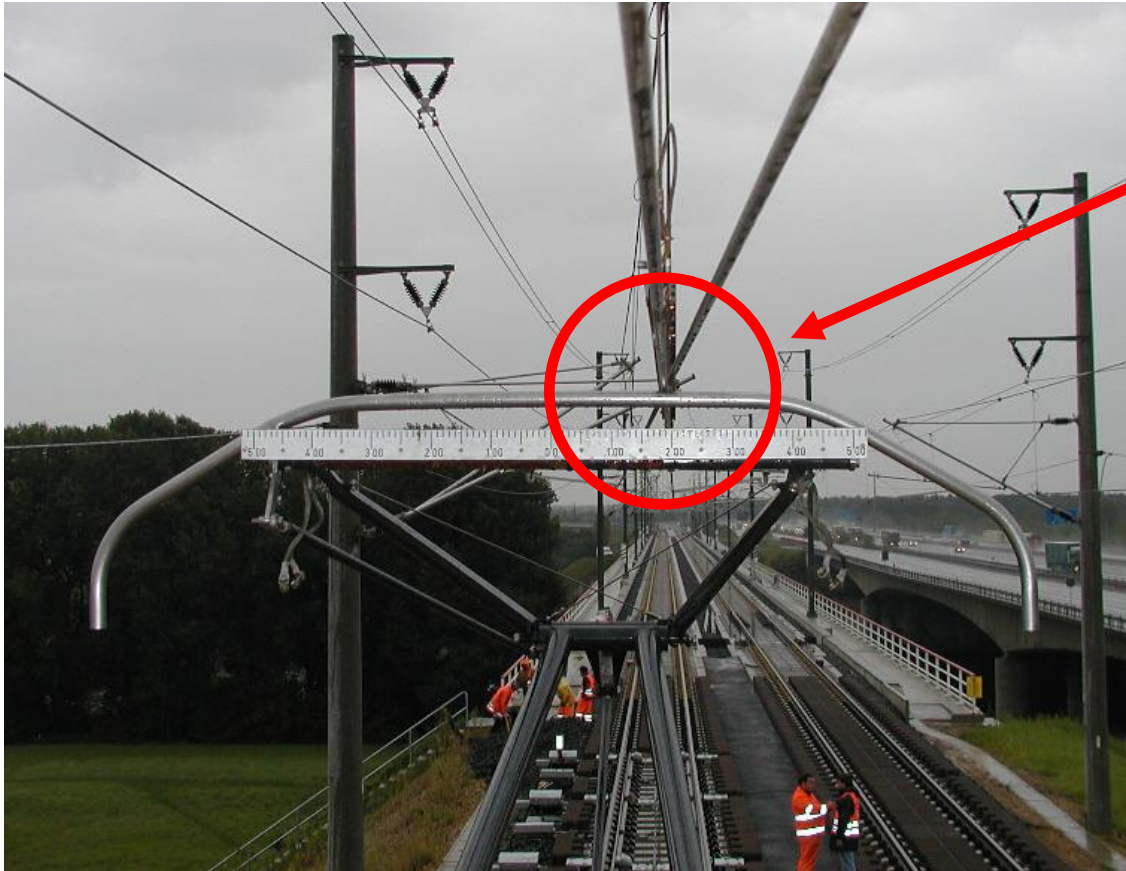


Bo' Bo'
86 t, 4 Achsen
8,0 MW



Co' Co' + Co' Co' + Co' Co' + Co' Co'
520 t, 24 Achsen
4 x 2,0 MW = 8,0 MW

Grundlagen: Leistungsbereitstellung und -übertragung

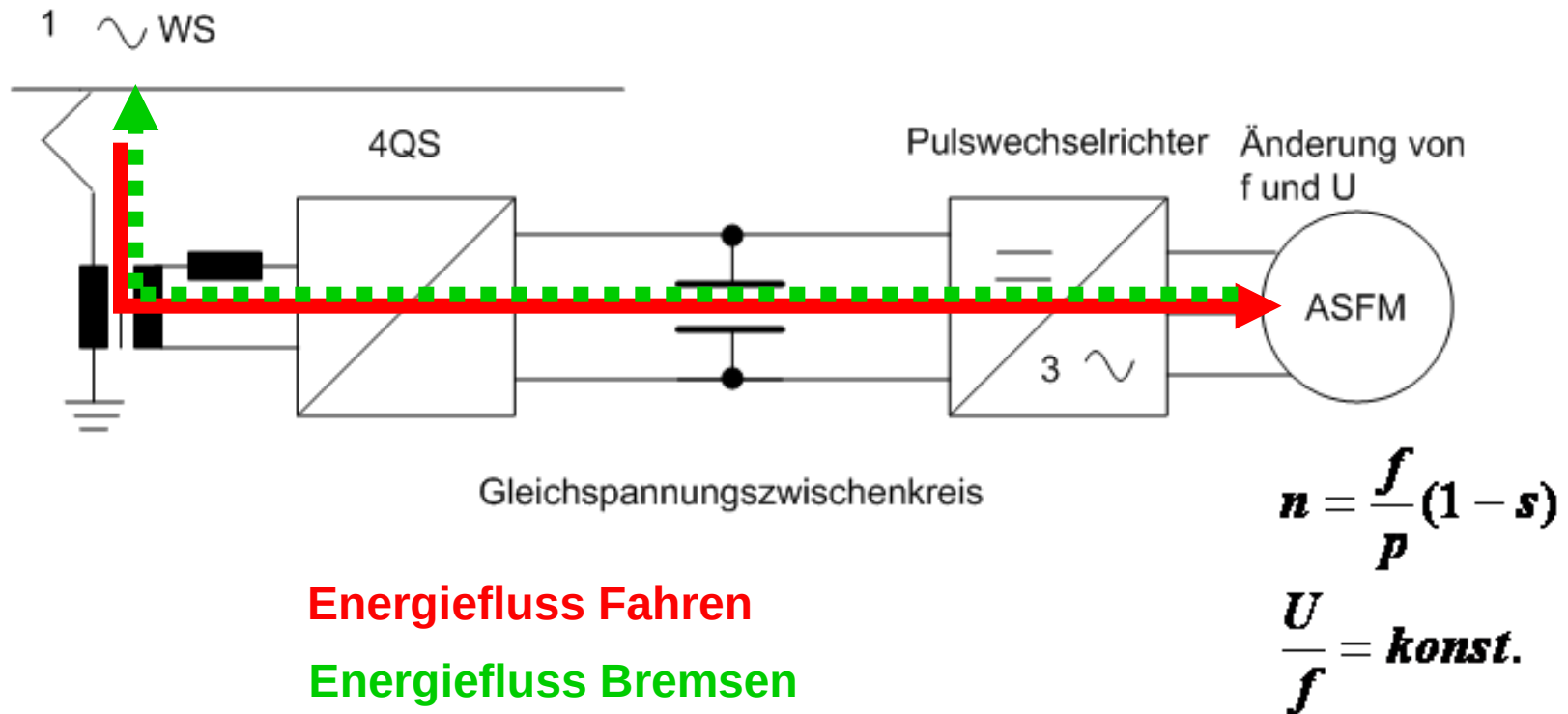


11 MW auf 2 cm²

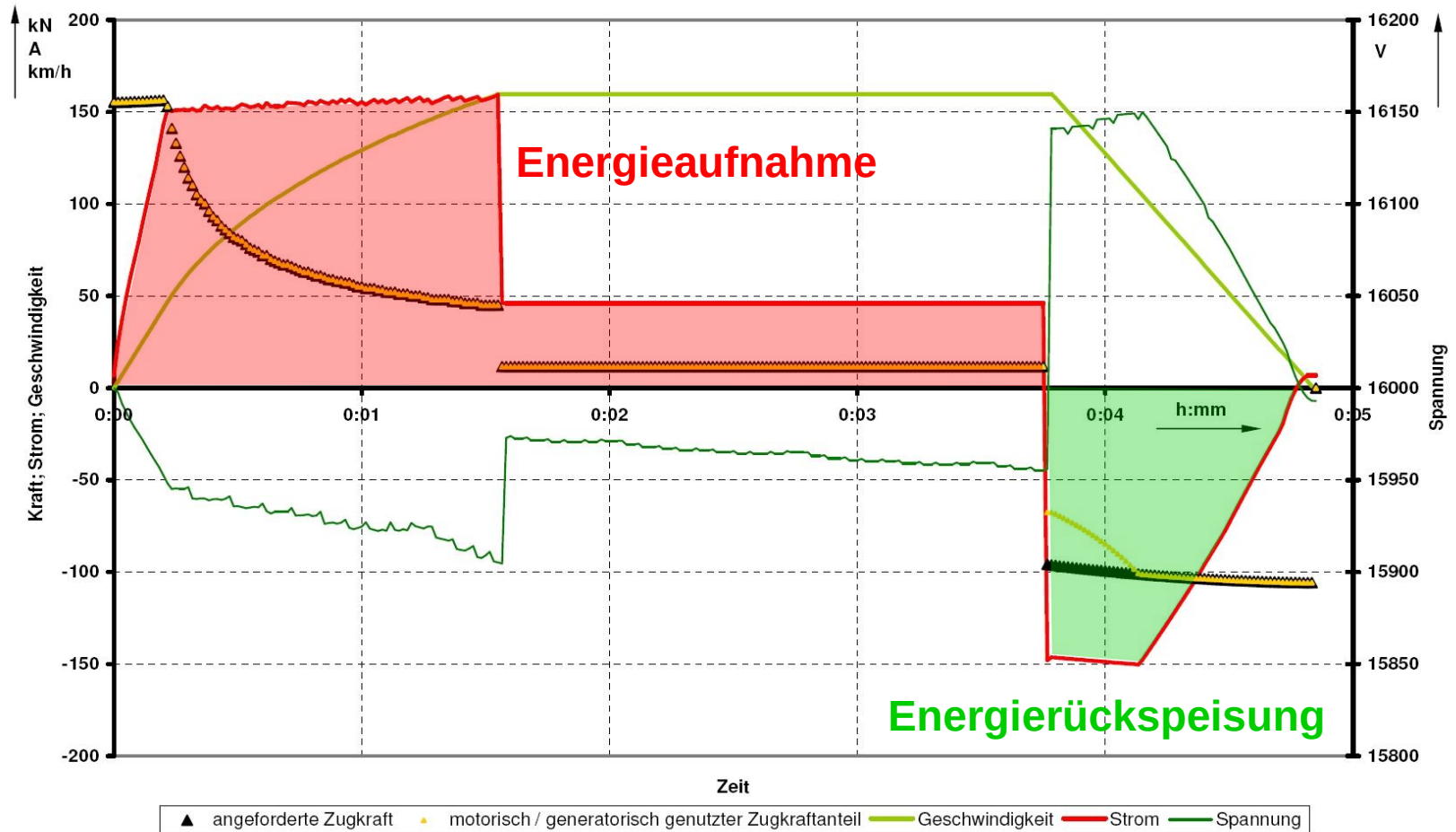
350 km/h

schwingungsfähiges
System!

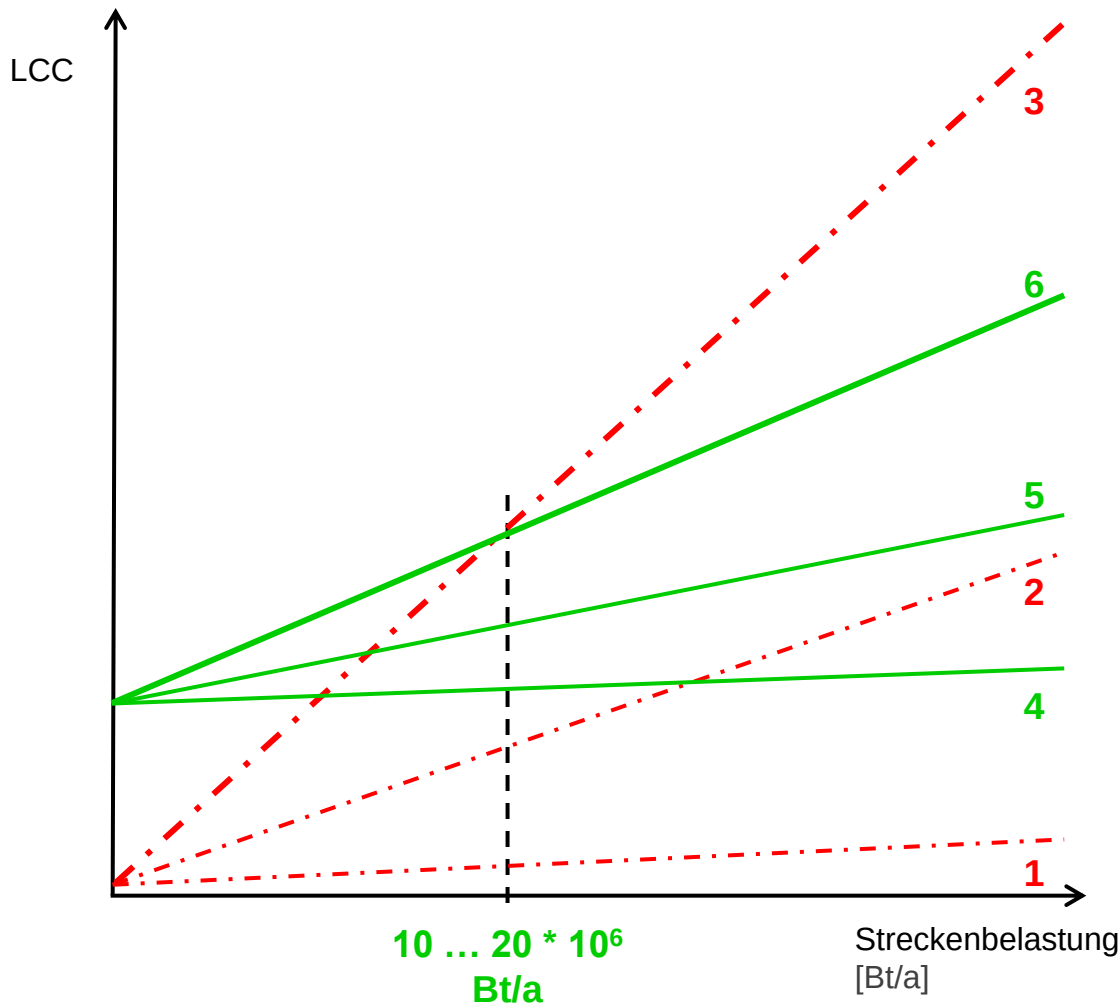
Grundlagen: Antriebsstruktur und Energieflüsse



Grundlagen: Energieaufnahme und Rückspeisung



Elektrifizierungswürdigkeit – Lebenszykluskosten (LCC)



LCC in Abhängigkeit der Streckenbelastung

--- Dieseltraktion

- 1 Kapitalkosten für Streckenausrüstung der Dieseltraktion (Tankanlagen, Instandhaltungsanlagen)
- 2 1 + Kapitalkosten für Dieseltriebfahrzeuge
- 3 2 + Betriebskosten der Dieseltraktion (Kraftstoff, Instandhaltung, Personal)

— Elektrische Traktion

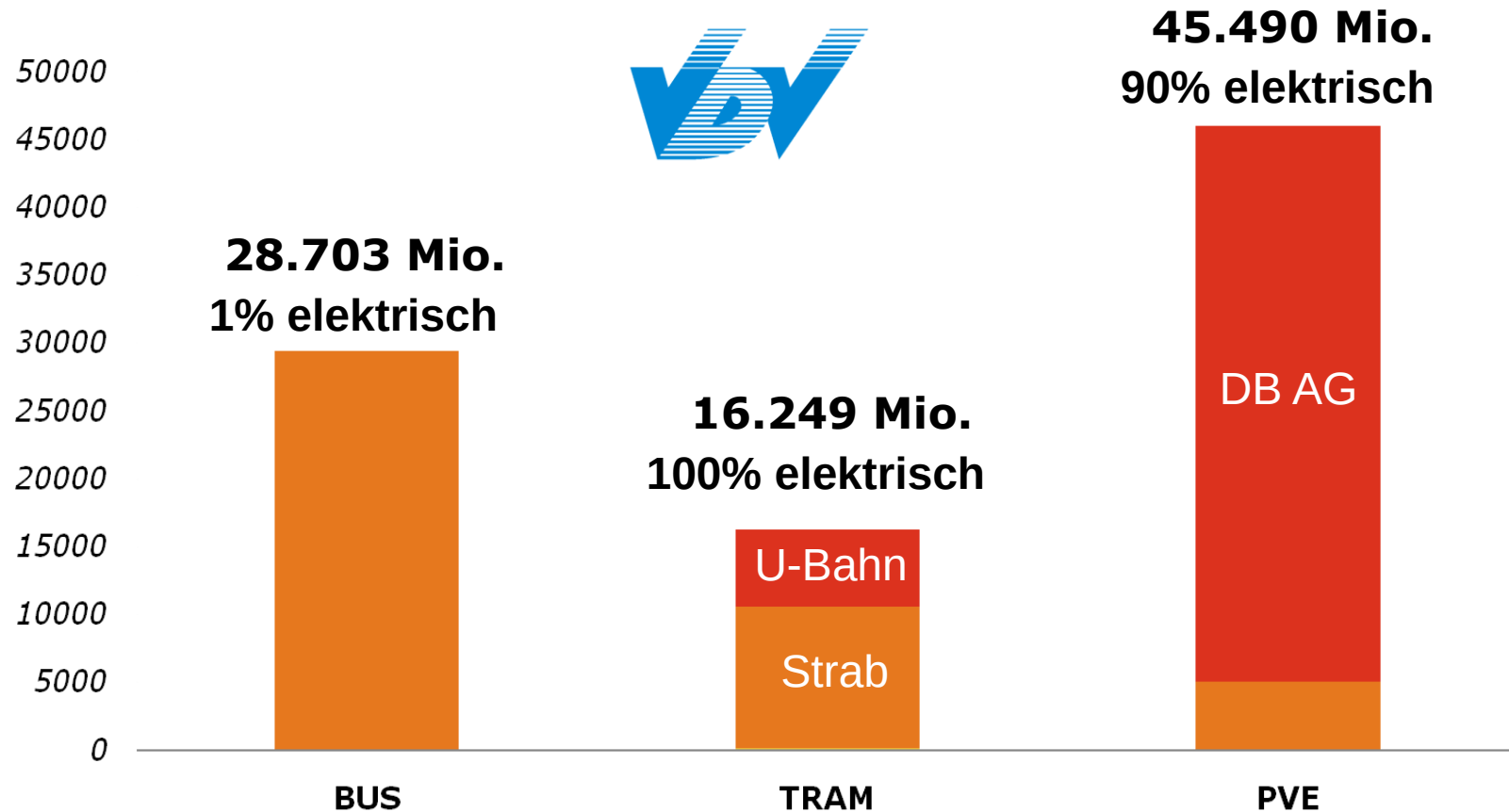
- 4 Kapitalkosten für Streckenausrüstung der elektrischen Traktion (Bahnstrom-, Fahrleitungs-, Instandhaltungsanlagen)
- 5 4 + Kapitalkosten für elektrische Triebfahrzeuge
- 6 5 + Betriebskosten der elektrischen Traktion (Elektroenergie, Instandhaltung, Personal)

ÖPNV - Originäres Anwendungsfeld der Elektromobilität

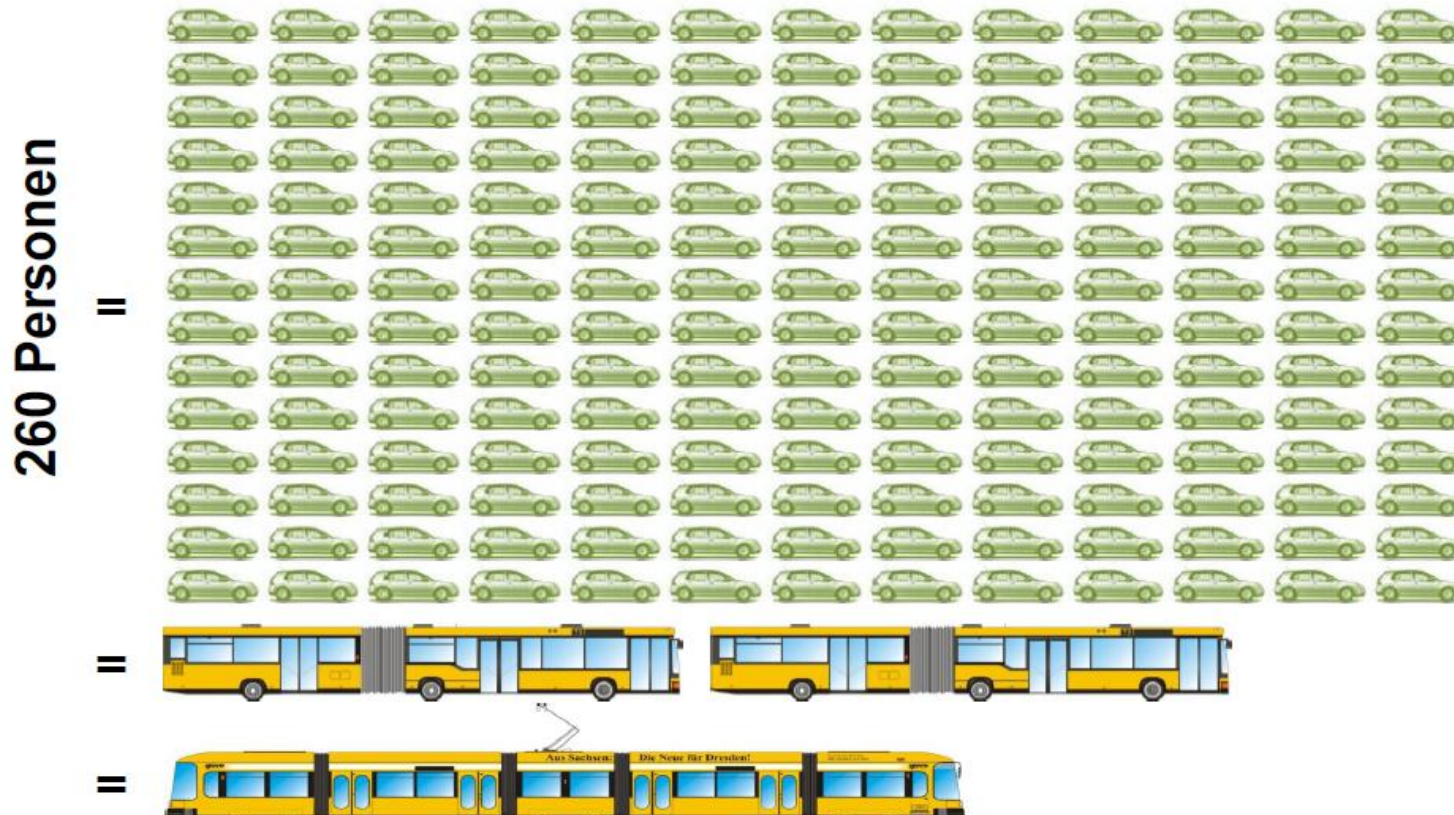
- 2009 wurden bereits ca. 66% der Verkehrsleistung im ÖPNV in Deutschland mit elektrischer Energie erbracht (VDV, 2011).
- bietet insbesondere dann Potenziale, wenn Verknüpfungen zu anderen Verkehrsträgern und Mobilitätskonzepten hergestellt werden können
 - Pedelecs und Sharing-Systeme
 - Intermodale Nutzungsroutinen
 - Pedelecs für Berufs- und Pendlermobilität



ÖPNV - Originäres Anwendungsfeld der Elektromobilität



Elektromobilität – Konkurrenz für den ÖPNV?



- **1:1 Ersatz der Pkw löst keine innerstädtischen Verkehrsprobleme (Flächenbedarf, Zunahme von Zweit-/Drittswagen)**

Elektromobilität – Konkurrenz für den ÖPNV?

- Kontraproduktiver Effekt für den ÖPNV bei nicht-monetären Anreizen, wie bspw. Nutzung von E-Fahrzeugen auf Busspuren
- Gefahr, dass angestrebte Effekte der Busbeschleunigung, Zuverlässigkeit sowie Anschlusssicherheit nicht mehr erreicht werden
- bereits relativ kleine Flotte (bspw. 20.000 E-Autos in Berlin) könnten Verzögerungen und Behinderungen des Busverkehrs auslösen



© www.fotonline.de Bildnr./Image no: 2370396

Elektromobilität – Konkurrenz für den ÖPNV?

- **Öko-Image:**
 - No_x/NO_2 , PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$ -Reduktion vorhanden, aber bei geringen Anteilen der Elektrofahrzeuge nicht wirksam;
 - höhere Effekte durch Emissionsbeschränkungen für Verbrenner
 - CO_2 -Reduktion nur bei Einsatz „zusätzlichen“ regenerativen Stroms („Gesamt- und Lebenszyklusbilanzierung“)
- **Sicherheit:**
 - Unfallsituation unverändert, soweit nicht veränderte Geschwindigkeitsregelungen (z.B. Regelgeschwindigkeit 30km/h in Städten)
- **Lärm:**
 - Lkw-Lärm, zu geringer Anteil Elektrofahrzeuge
 - Dominanz Rollgeräusche > 30 km/h, Lkw, Busse)

Elektromobilität – Chancen für den ÖPNV

- Verkehrsmittelwahl erfolgt situativ, flexibel und pragmatisch und immer öfter unter dem Motto „Nutzen statt Besitzen“
 - Intermodale Vernetzung und multimodale Verkehrsmittelnutzung erfordert Denken in ganzheitlichen Strategien
 - „Mobilitätsgemeinschaft“ statt „Automobilgesellschaft“
 - **Effiziente Mobilität braucht mehr ÖPNV**
 - Stadtverkehr als Experimentierfeld mit hoher Sichtbarkeit und vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten
 - „Öko-Image“
-
- ⇒ ÖPNV vor allem in Kombination mit neuen Mobilitätsoptionen attraktiv (ÖPNV+Pedelec, ÖPNV+Car Sharing)
 - ⇒ Bildung strategischer Partnerschaften
 - ⇒ Öffnung zu neuen Verkehrskonzepten und Geschäftsmodellen

Elektromobilität – Risiken für den ÖPNV

- Öko-Image ist nicht mehr ausschließlich an den ÖPNV gebunden (Car Sharing, Pedelecs – Einbüßen des Umweltvorteils)
- Partielle Kannibalisierung des ÖPNV (Car2Go, Aushöhlung des klassischen ÖPNV)
- „Falsche“ Anreize für alternative Antriebe, z.B. Öffnung der Busspuren für E-Pkw
- Neue Anbieter und neue Konsortien auf heiß umkämpftem Markt reagieren oft schneller als Verkehrsunternehmen
- ÖPNV-Unternehmen „schwerfälliger“ und mit geringerem „Innovationsdruck“

⇒ **Der öffentliche Verkehr muss sich anstrengen!**

Fahrleitungsanlagen – eine Herausforderung



Energiebedarf / Energieeffizienz – eine Herausforderung

Vergleich der Emissionen einzelner Verkehrsträger im Personenverkehr

Bezugsjahr: 2008

Emissionen aus Bereitstellung und Umwandlung der Energieträger in Strom, Benzin, Diesel und Kerosin sind berücksichtigt.

		Pkw	Reisebus	Eisenbahn Fernverkehr	Flugzeug	Linienbus	Metro/Tram	Eisenbahn Nahverkehr
Kohlenmonoxid	g/Pkm	1,2	0,05	0,01	0,35	0,16	0,02	0,04
Kohlendioxid	g/Pkm	138	31	46	356*	70	78	77
Flüchtige Kohlenwasserstoffe	g/Pkm	0,14	0,02	0	0,08	0,06	0,01	0,02
Stickoxide	g/Pkm	0,29	0,3	0,06	0,55	0,65	0,08	0,29
Partikel	g/Pkm	0,006	0,006	0	0,001	0,008	0	0,003
Verbrauch Benzinäquivalent	l/100 Pkm	6	1,4	2,5	5,6	3,1	4,3	4
zugrunde gelegte Auslastung		1,5 Pers./Pkw	60%	46%	73%	21%	18%	26%

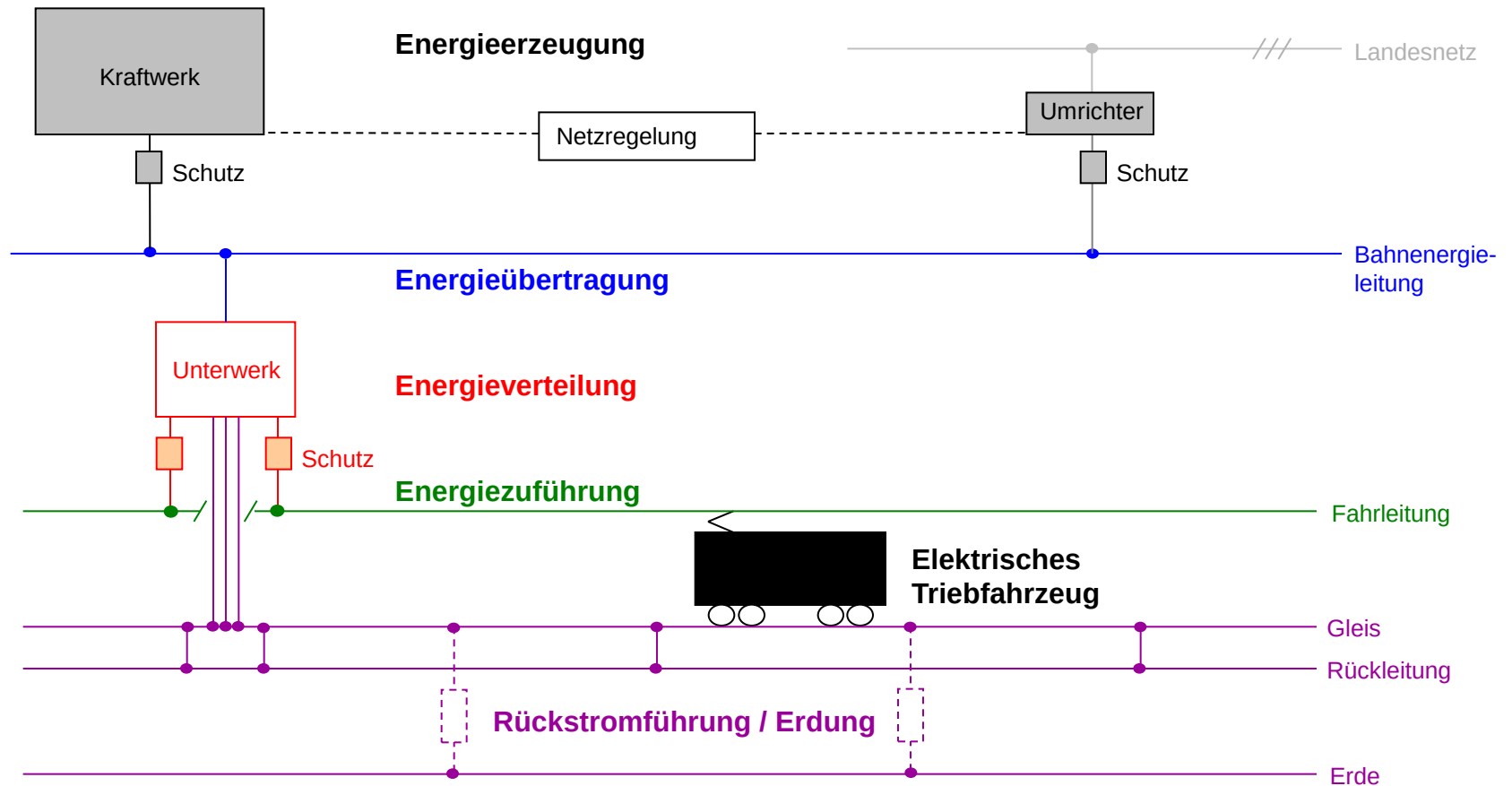
g/Pkm = Gramm pro Personenkilometer; l/100Pkm = Liter pro 100 Personenkilometer

* unter Berücksichtigung aller klimawirksamen Effekte des Flugverkehrs

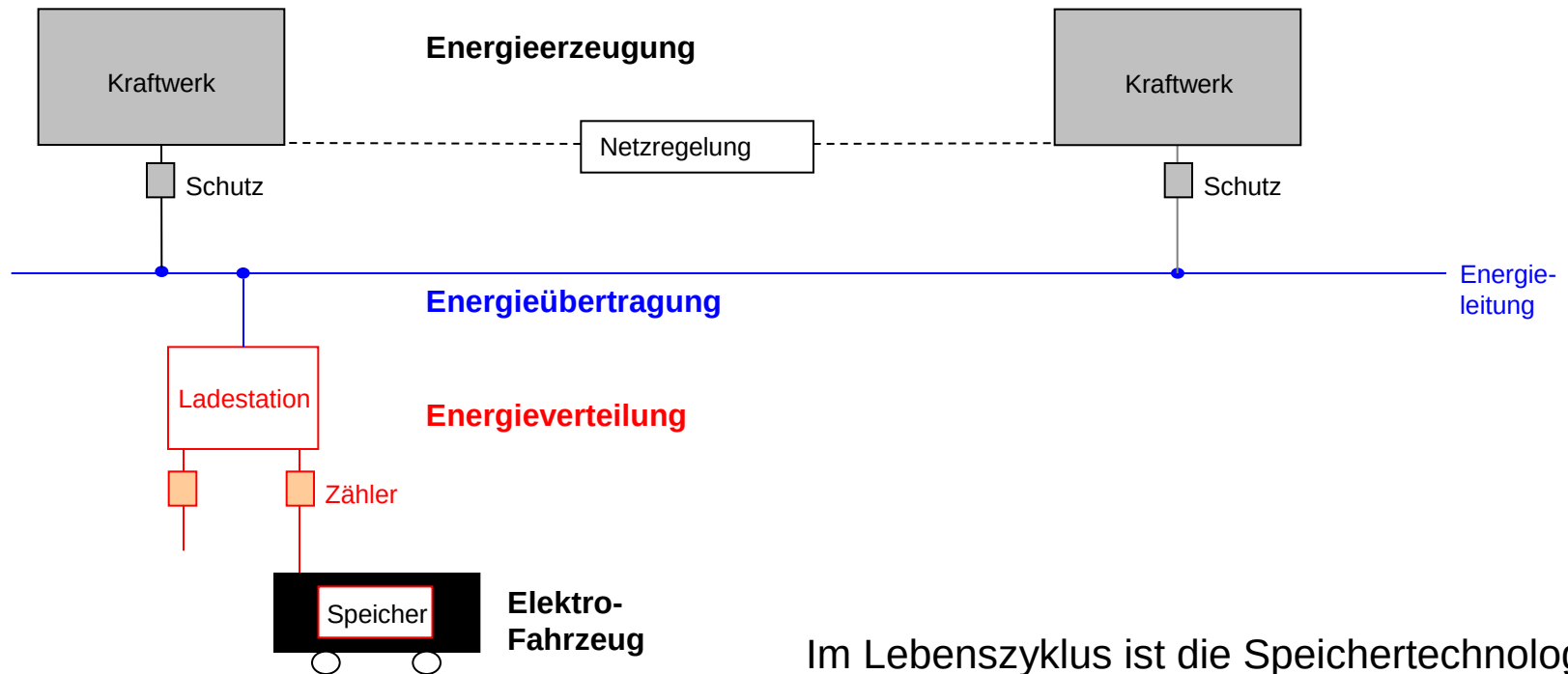
Quelle: TREMOD 5.04

Ansprechpartner: Umweltbundesamt, Fachgebiet I 3.1 - Umwelt und Verkehr: Gunnar Gohlisch, Nadja Richter

Grundlagen: Systemübersicht Elektrische Bahn



Grundlagen: Systemübersicht Elektromobilität Straße



Im Lebenszyklus ist die Speichertechnologie heute noch deutlich **unwirtschaftlicher** als kontinuierliche Energiezuführungssysteme.

Energieeffizienz, Wirkungsgrade, Energieäquivalente

Sekundärenergiebedarf (Fahrzeug):

- abhängig vom Wirkungsgrad des elektrischen Antriebs: 0,80 ... 0,95

Wirkungsgrade der Energieübertragung:

- Energiezuführung (Fahr- und Rückleitung): 0,90 ... 0,98
- Energieverteilung (Unterwerke): 0,95 ... 0,99
- Energieübertragung (Freileitung, Kabel): 0,94 ... 0,97
- Energieerzeugung (Kraftwerk): 0,35 ... 0,85

Primärenergiebedarf:

- abhängig vom Gesamtwirkungsgrad 0,25 ... 0,70
- *zum Vergleich: Wirkungsgrad Dieselmotor* 0,33 ... 0,38

Umrechnung Elektroenergie mit Benzin- oder Dieseläquivalent:

- Benzinäquivalent: 8,77 kWh / l
- Dieseläquivalent: 9,86 kWh / l

Beispiel: elektrischer S-Bahnzug: **< 1,0 l Diesel** pro Person und 100 km
ab Kraftwerkseingang

Energieeffizienz elektrischer Verkehrssysteme

Beispiel 2: S-Bahn / Metro

Leermasse	59 t
Sitzplätze	94
Stehplätze	200
Übertragungswirkungsgrad Bahnstrom (D)	83,0 %
Erzeugungswirkungsgrad Bahnstrom (D)	38,5 %

Primärenergiebedarf (D)

Besetzung	spezifisch elektrisch		spezifisch Diesel l/P/100 km
	Wh/t/km	Wh/P/km	
32%	156,43	110,62	1,12
100%	156,43	43,91	0,45



← Berlin (Deutschland)

Primärenergiebedarf bei Erzeugung aus Wasserkraft

Besetzung	spezifisch elektrisch		spezifisch Diesel l/P/100 km
	Wh/t/km	Wh/P/km	
32%	70,85	50,10	0,51
100%	70,85	19,89	0,20

← Stockholm (Schweden)

Energieeffizienz elektrischer Verkehrssysteme

Beispiel 3: TRAM NGTD 12 DD

Leermasse	56,7 t
Sitzplätze	107
Stehplätze	153
Übertragungswirkungsgrad Bahnstrom (D)	86,6 %
Erzeugungswirkungsgrad Bahnstrom (D)	38,5 %

Primärenergiebedarf (D)

Besetzung	spezifisch elektrisch		spezifisch Diesel l/P/100 km
	Wh/t/km	Wh/P/km	
41%	218,9	326,60	3,30
100%	218,9	65,24	1,61

Primärenergiebedarf bei Erzeugung aus Wasserkraft

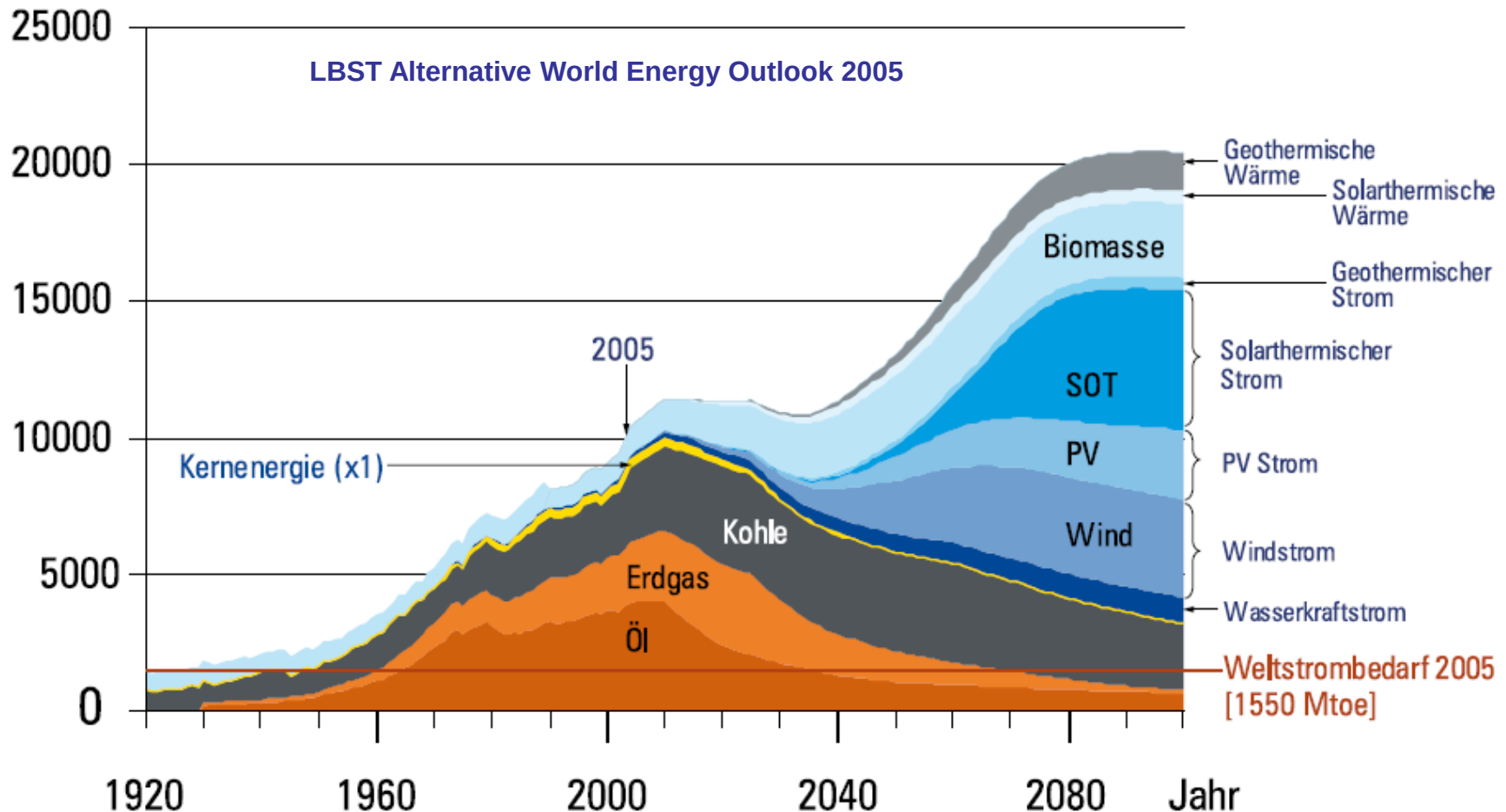
Besetzung	spezifisch elektrisch		spezifisch Diesel l/P/100 km
	Wh/t/km	Wh/P/km	
41%	99,14	147,90	1,49
100%	99,14	29,55	0,73



← Dresden (Deutschland)

← Zürich (Schweiz)

Herausforderung: Energieversorgung der Zukunft



Herausforderung: Energieversorgung der Zukunft





TrolleyMotion Leipzig

Herausforderung Elektromobilität

Wie weiter mit dem öffentlichen Verkehr?

Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan

TU Dresden
Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“
Professur für Elektrische Bahnen
Hettnerstr. 1-3
01062 Dresden
EBahnen@mailbox.tu-dresden.de
www.e-vs.de

