

POTENZIALE UND FINANZIERUNGSBEDARF VON HYBRID-OBERLEITUNGS-LKW

Till Gnann, Martin Wietschel, Patrick Plötz und André Kühn
Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI



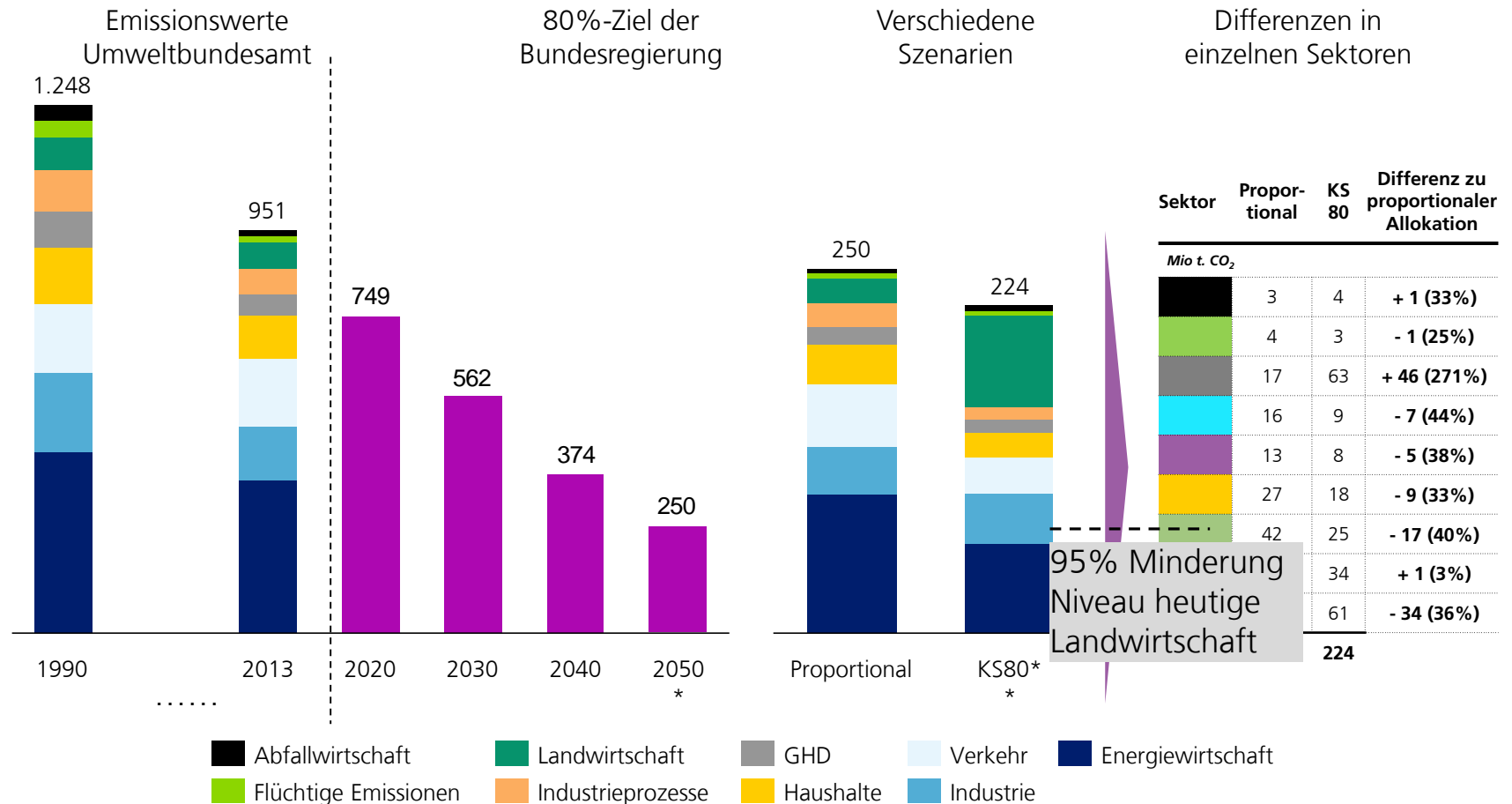
Bildquelle: Siemens AG

Agenda

- 1. Hintergrund und Motivation**
2. Marktpotenzial von HO-Lkw
3. Potenziale zur Emissionsminderung
4. Finanzierung einer Oberleitungsinfrastruktur
5. Fazit, Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Die ThG-Ziele sind drastisch und es wird die Sektoren unterschiedlich treffen

Deutschland: Szenarien zur THG-Emissionsreduktion [Mio. t. CO₂e]

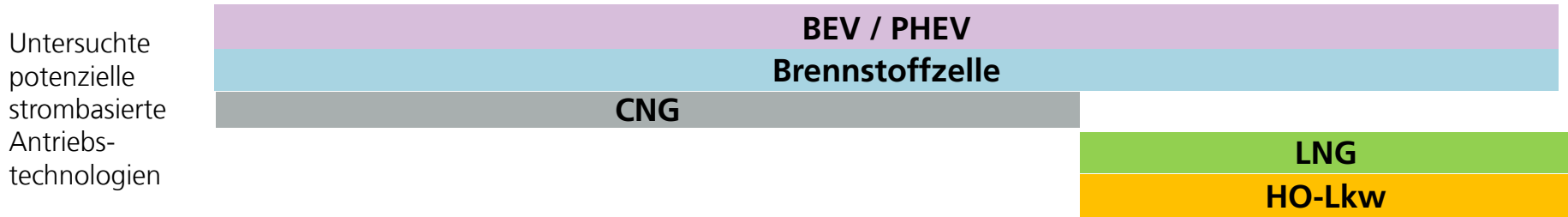


* Max Szenario der Bundesregierung 80% Reduktion bis 2050

** KS80 Szenario der Studie „Klimaschutzszenarien“, von Öko Institut e. V. und Fraunhofer ISI

Kennzahlen und untersuchte strombasierte Antriebstechnologien

Größenklasse (GK)	GK1	GK2	GK3	GK4	Sattelzüge
Zul. GGW [t]	[0 ; 3,5t]	(3,5t ; 7,5t)	(7,5t ; 12t)	(12t ; 26t)	40t
Ø JFL* [km/a]	ca. 13 Tsd.	ca. 27 Tsd.	ca. 66 Tsd.	ca. 74 Tsd.	ca. 106 Tsd.
Bestand [Fzg.]	ca. 2 Mio.	ca. 262 Tsd.	ca. 77 Tsd.	ca. 161 Tsd.	ca. 183 Tsd.
Fahrleistung [Fzg.-km/a]	26 Mrd.	7,1 Mrd.	5,1 Mrd.	11,9 Mrd.	19,4 Mrd.
CO ₂ -Emission ¹ WTW [g/Fzg.-km]	241	431	594	781 ²	1.016
CO ₂ -Emission WTW [Mio. tCO ₂ /a]	6,3	3,0	3,0	9,3	19,7
Energiebedarf TTW [TWh/a]	19,0	9,2	9,1	28,1	59,5



1) ø alle Straßenkategorien, Euro-VI, Auslastung 50%

2) mit dem Bestand gewichtetes Mittel aus 'LKW >14-20t' und 'LKW >20-26t'

* Jahresfahrleistung

Quelle: KBA (2013), FZ 25 und VD3; HBEFA 3.1 sowie Stichprobe Gebrauchtfahrzeuge (truckscout24)

Projektübersicht

MKS-Hybrid-Oberleitungs-Lkw

- „Hybrid-Oberleitungs-Lkw: Potenziale zur Elektrifizierung des schweren Güterverkehrs“
 - Projekt innerhalb der **Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS-II)**
 - Laufzeit: **10/2015 bis 09/2016**
 - Projektpartner:
 - Fraunhofer ISI** (Martin Wietschel, Patrick Plötz, André Kühn, Cornelius Moll, Daniel Speth, Jan Buch, Tobias Boßmann, Till Gnann)
 - PTV AG** (Volker Waßmuth, Daniela Paufler-Mann, Werner Balz, Helmut Frik)
 - Fraunhofer IML** (Sebastian Stütz, David Rüdiger, Maximilian Schellert)
 - TUHH** (Anne Rödl)
 - M-Five** (Wolfgang Schade, Simon Mader)
 - Zwei **Expertenworkshops**:
 - „Hybrid-Oberleitungs-Lkw: Potenziale zur Elektrifizierung des schweren Güterverkehrs“ (März 2016)
 - „Auswirkungen auf die Energiewirtschaft“ (Mai 2016)
 - **Download** der Studie unter: <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/MKS/hybrid-oberleitungslkw.html?nn=214206>
-

Übersicht Inhaltsverzeichnis und Auswahl der relevanten Kapitel



Studie im Rahmen der Wissenschaftlichen Beratung des BMVI zur Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie

Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitungs-Lkw

Auftraggeber:
Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI)

Autorinnen und Autoren

Fraunhofer ISI
Prof. Dr. Martin Wietschel, Dr. Till Gnann, André Kühn, Dr. Patrick Plötz, Cornelius Moll, Daniel Speth, Jan Buch, Dr. Tobias Boßmann

Fraunhofer IML
Dr. Sebastian Stütz, Maximilian Schellert, David Rüdiger

PTV Transport Consult GmbH
Werner Balz, Helmut Frik, Dr.-Ing. Volker Waßmuth, Daniela Paulfer-Mann

TU Hamburg-Harburg – IUE
Dr. Anne Rödl

M-Five
Dr. Wolfgang Schade, Simon Mader

Karlsruhe, Februar 2017

TEIL 1 – TECHNO-ÖKONOMISCHE ANALYSE

- Infrastruktur
- Fahrzeuge

TEIL 2 – MARKTENTWICKLUNG

- Ausbau der HO-Infrastruktur
- Markthochlaufberechnung

Teil 1 des Vortrags

TEIL 3 – AUSWIRKUNGEN VON HO-LKW

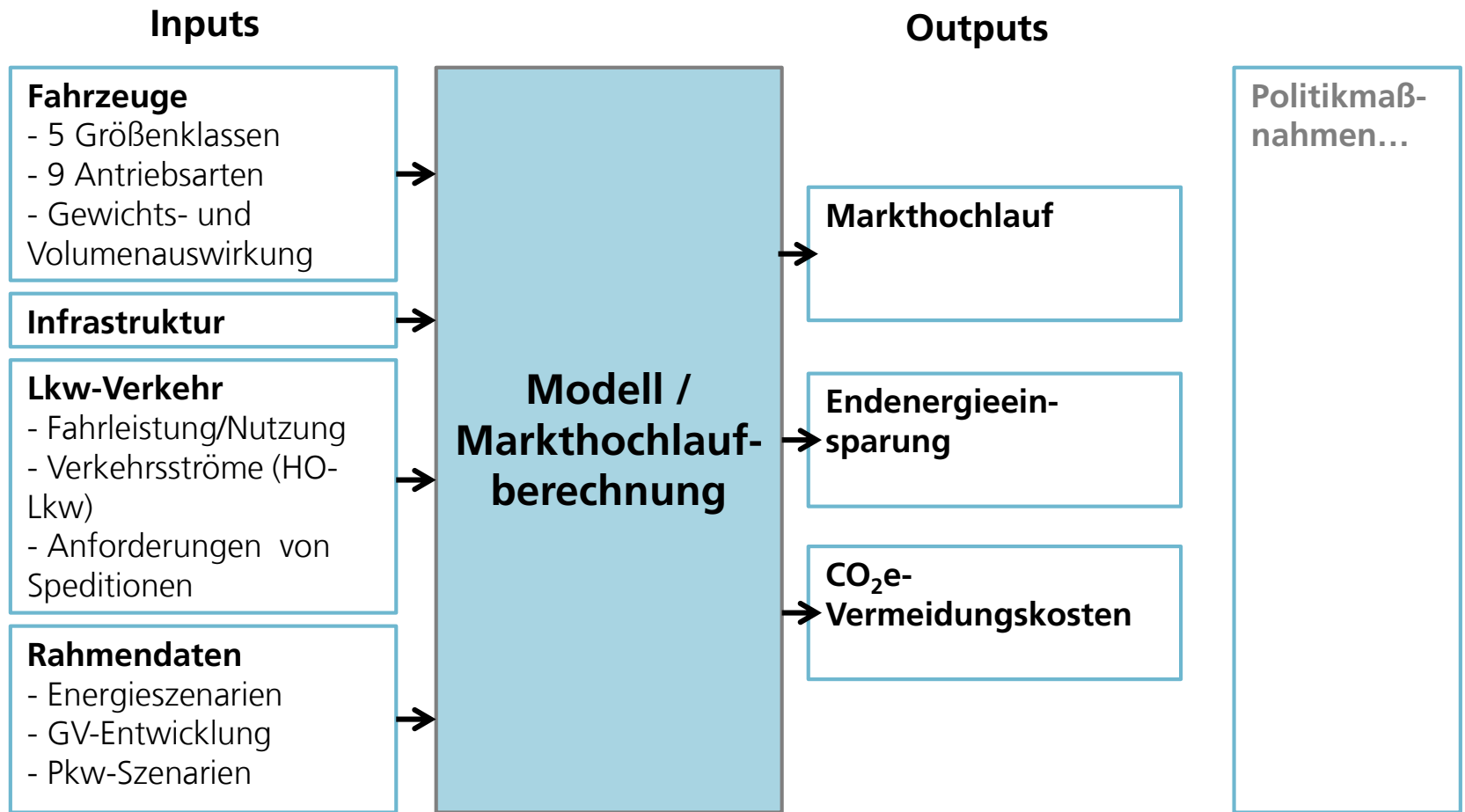
- THG-Bilanz mit LCA
- Energiewirtschaftliche Auswirkungen
- Folgen für Hersteller und Logistik
- Finanzierungsmodelle
- Europäische Dimension

Teil 2 des Vortrags

Agenda

1. Hintergrund und Motivation
- 2. Marktpotenzial von HO-Lkw**
 - 1. Annahmen und Modellierung**
 2. Ergebnisse
3. Potenziale zur Emissionsminderung
4. Finanzierung einer Oberleitungsinfrastruktur
5. Fazit, Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Ziel ist die Erstellung eines TCO-Modells, das alle relevanten Inputs berücksichtigt



Daten & wichtigste Parameter

Daten

- **Stichprobe von Nutzfahrzeugen** auf Basis der KiD → **Stichprobengröße etwa 6.000 Fzg.** in sieben Gewichtsklassen; Ermittlung der **Jahresfahrleistungen** auf Basis der Tachostände (truckscout24.de) und 1.017 SZM aus KiD2010

Die wichtigsten Parameter wurden auf Workshop am 01.03.2016 abgestimmt.

Neuzulassungen nach Größenklassen (deutsche Neuzulassungen)

Jahr	GK4* (12-26t)	SZM*
Neuzulassungen 2015	6.200	34.000
Neuzulassungen 2030	6.200	39.950
Nutzungsdauer	10	6
Bestand 2030	62.000	239.700

Energieträgerpreise**

Jahr	Dieselpreis	Gaspreis	Strompreis Industrie
2015	0,98 €/l	0,87 €/kg	0,14 €/kWh
2030	1,53 €/l	1,11 €/kg	0,16 €/kWh

* Ohne Baufahrzeuge aufgrund von Spezialaufbauten und geringer Autobahnnutzung.

** Alle Preise ohne MwSt.

Besonderheiten der Fahrzeuge und resultierende Zusatzannahmen

Im Jahr **2015** steht **keine Oberleitung** zur Verfügung.

Für **HO-Lkw** werden **für 2030** folgende **Zusatzannahmen** getroffen:

Der Anteil des Fahrens an der Oberleitung hängt davon ab,

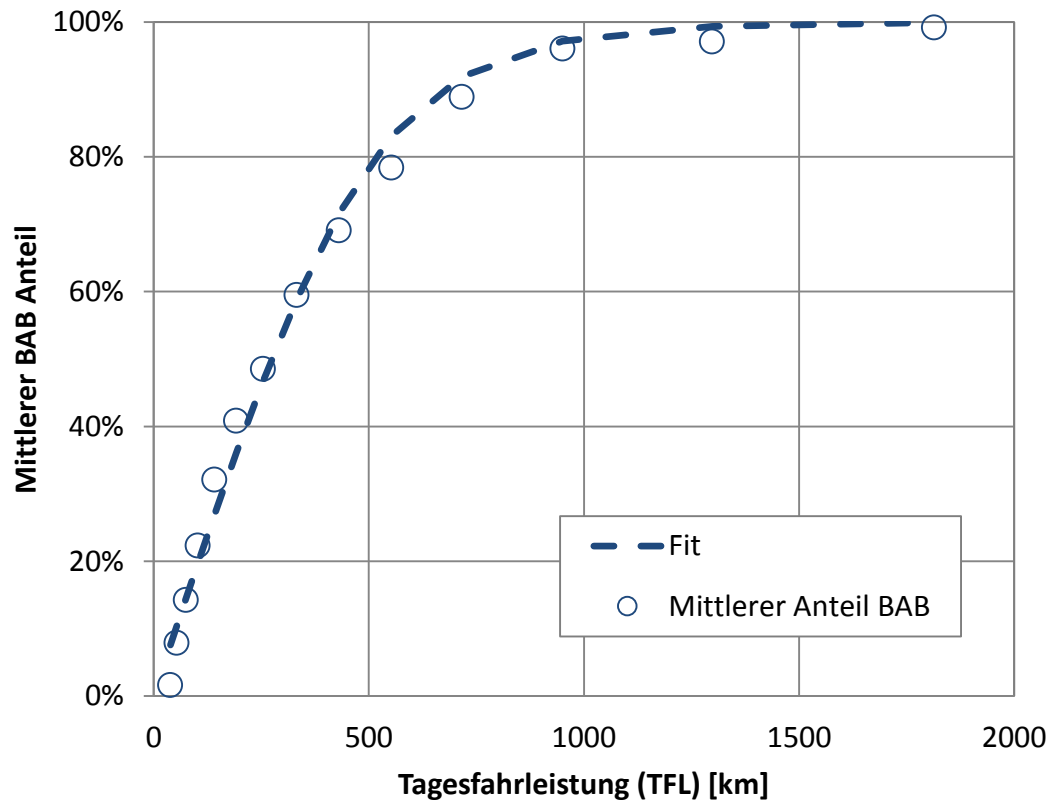
1. ob das Fahrzeug viel auf der Autobahn fährt (= **individueller Autobahnanteil**)
2. mit welcher Wahrscheinlichkeit dieses Fahrzeug auf der elektrifizierten Autobahn unterwegs ist (= **DE-Anteil**)
3. und welche Menge an Autobahn elektrifiziert ist (= **HO-Ausbau**)

Für alle Fahrzeuge wird eine beschränkte Verfügbarkeit des Fahrzeugangebots angenommen (vgl. Plötz et al. 2013 und Wietschel et al. 2017).

Plötz, P.; Gnann, T.; Kühn, A.; Wietschel, M. (2013): Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge. Studie im Auftrag der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und der Arbeitsgruppe 7 der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE). Karlsruhe: Fraunhofer ISI, 211 S.

Wietschel, M. et al. (2017): „Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitungs-Lkw“, Studie im Rahmen der wissenschaftlichen Beratung des BMVI zur Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung, Fraunhofer ISI, Karlsruhe, Fraunhofer IML, Dortmund, PTV Transport Consult GmbH, Stuttgart, Karlsruhe, TU Hamburg-Harburg, Hamburg, M-Five, Karlsruhe, Germany 2017.

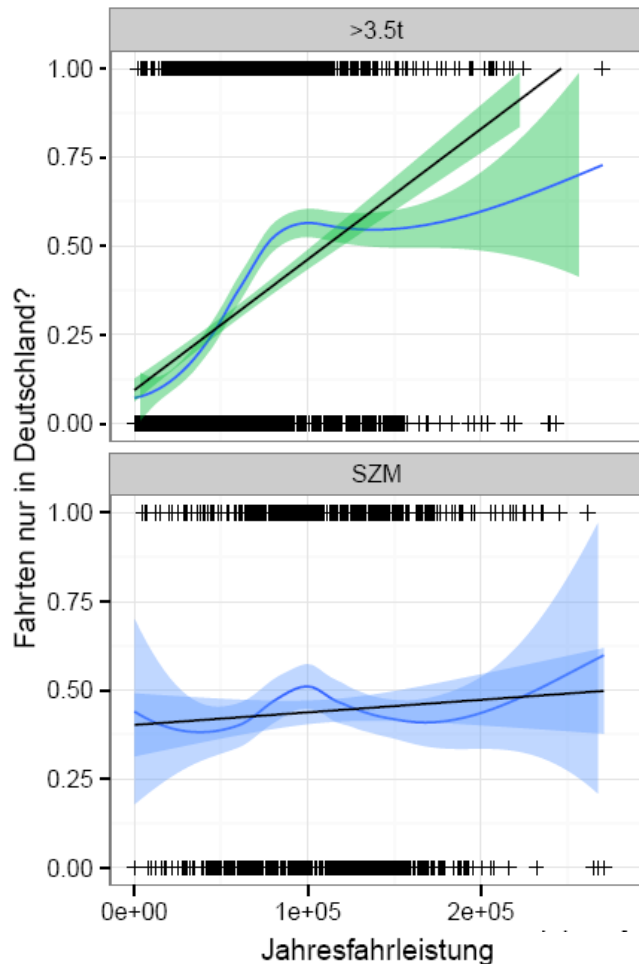
1. Individueller Autobahnanteil



- „Je höher die Jahresfahrleistung, desto größer der Autobahnanteil“
→ Aber wie viel?
 - Auswertung von KiD2010 und Daten aus PTV Validate
- Der Autobahnanteil hängt schätzungsweise gemäß der Formel von der Tagesfahrleistung ab:

$$\text{BAB-Anteil} = 1 - \exp(-\text{TFL}/381)$$

2. DE-Anteil: Fahrten **nur** in Deutschland (über 90%)?

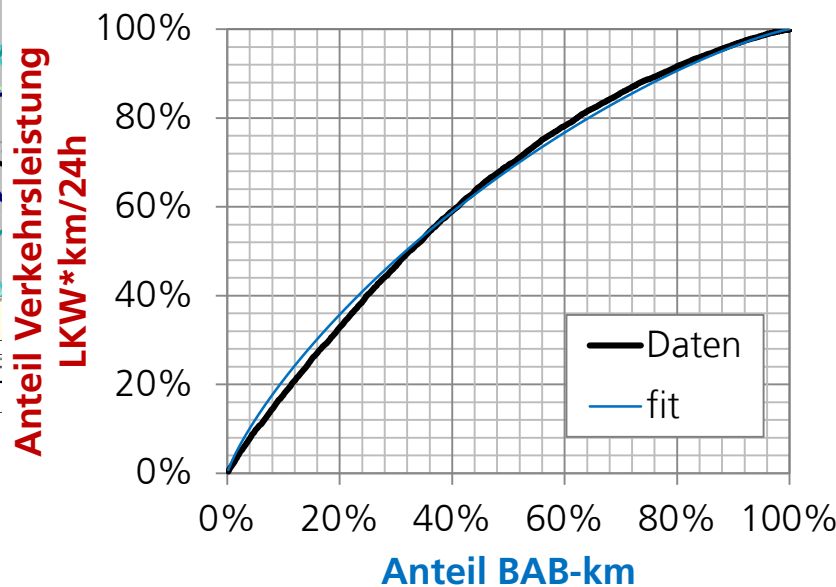
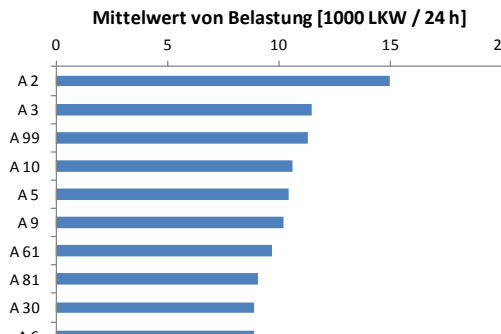
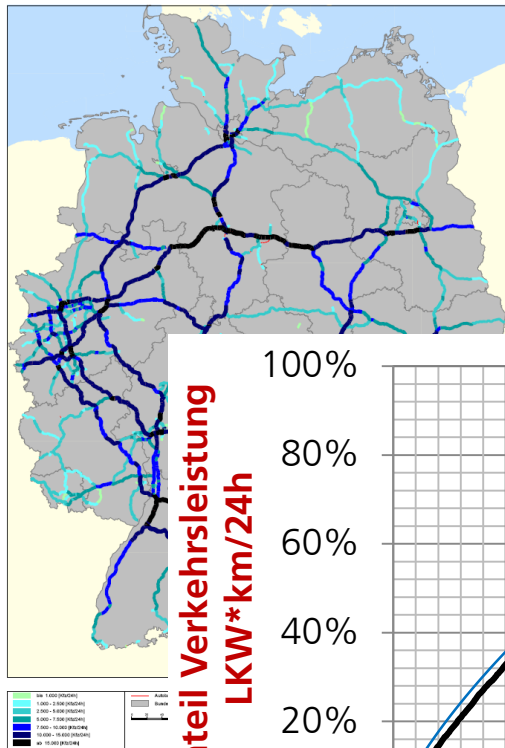


- Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass der HO-Lkw auf einer elektrifizierten Autobahn fährt?
- Auswertung von KiD2010 (Frage nach häufigstem Einsatzgebiet: Regional, National, International)
- Lkw mit geringen Fahrleistungen eher regional, mit sehr hohen Fahrleistungen eher international unterwegs
- Wahrscheinlichkeit für HO-Strecke analog mit DE-Anteil (steigt mit Jahresfahrleistung)

Fahrzeugtyp	Achsenabschnitt	Steigung (1e-6)
Nur Deutschland (Anteil > 90%)		
">3.5t"	0.094	3.672
"SZM"	0.398	0.402

WVI, IVT, DLR, und KBA (2010). Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2010 (KiD2010). WVI Prof. Dr. Wermuth Verkehrsforschung und Infrastrukturplanung GmbH, Braunschweig, IVT Institut für angewandte Verkehrs und Tourismusforschung e. V., Heilbronn, DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt - Institut für Verkehrsforschung, Berlin, KBA Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg

3. HO-Ausbau über Nutzen von Autobahnen



- Ausbau von verschiedenen Autobahnabschnitten hat unterschiedlichen Nutzen
 - Autobahnen mit höherer Belastung sollen zuerst elektrifiziert werden
 - Reihenfolge der Autobahnen wurde gebildet über (manuelle Zählung BAST 2010 & Mauttabelle 2015)
- Mit 30% Ausbau erreicht man 50% des Verkehrs
- Nutzen eines Ausbaus am Anfang hoch und über die Zeit abnehmend:
- $$u_{BAB} = 1 - \Phi \left(\Phi^{-1} \left(1 - \frac{km_{el}}{12980} \right) - 1,19^2 \right)$$

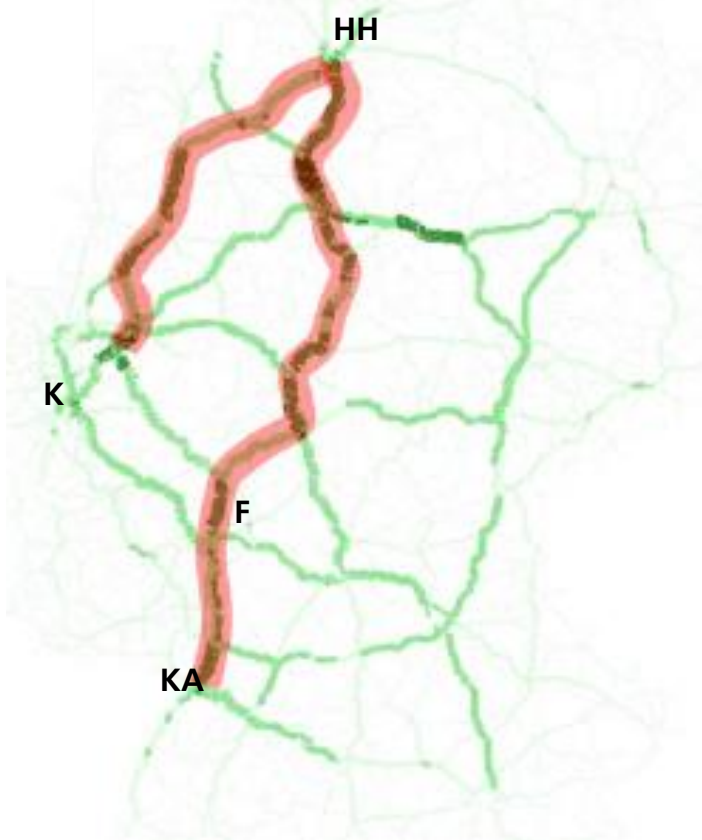
<http://www.bast.de/DE/Statistik/Verkehrsdaten-Downloads/2010/Manuelle-Zaehlung-2010.html> und <http://www.mauttabelle.de/maut.html> sowie Berechnungen der PTV AG

Agenda

1. Hintergrund und Motivation
- 2. Marktpotenzial von HO-Lkw**
 1. Annahmen und Modellierung
 - 2. Ergebnisse**
3. Potenziale zur Emissionsminderung
4. Finanzierung einer Oberleitungsinfrastruktur
5. Fazit, Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Ausbau der Elektrifizierung Autobahnen für HO-Lkw mit höchster Nutzung

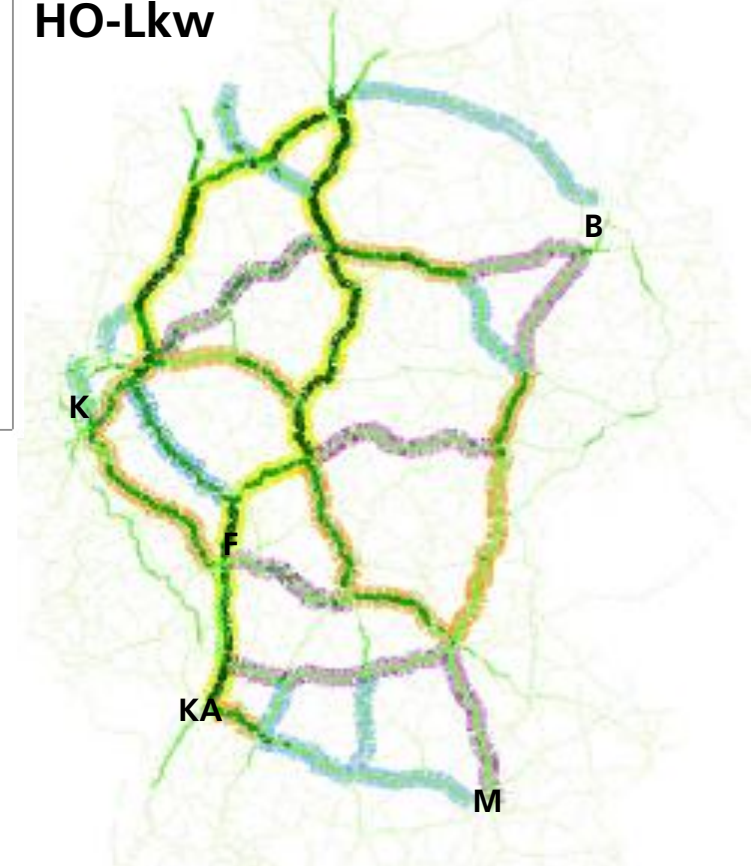
1000 km HO-Lkw (rot)



Belastung Sattelzug Deutschland

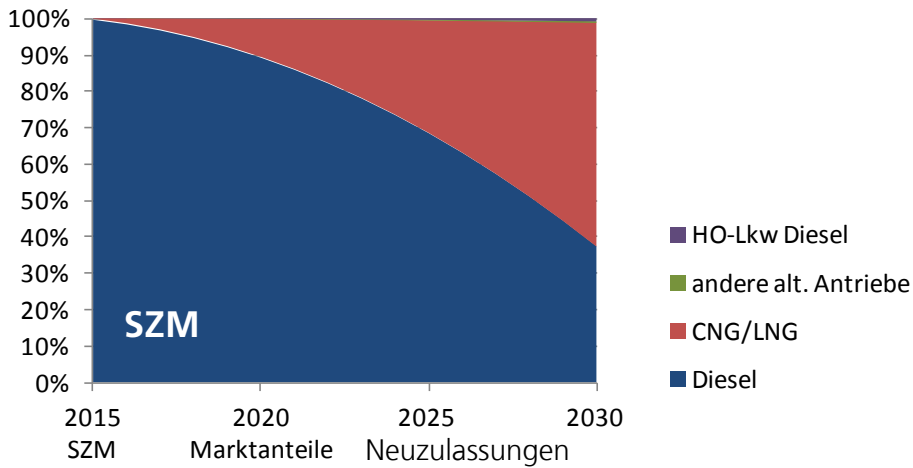
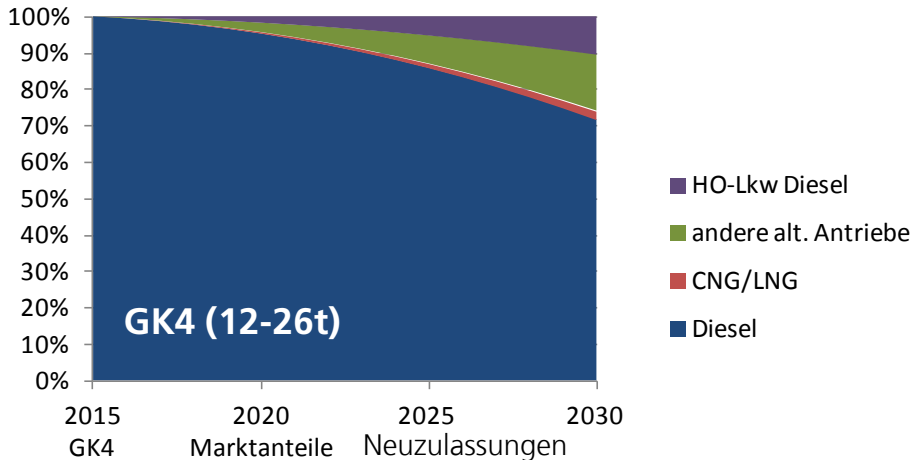


1000 - 4000 km HO-Lkw



Berechnungen der PTV AG und des Fraunhofer ISI

Ergebnisse ab 12t mit HO-Infrastruktur- ausbau von **1000 Kilometern** bis 2030



GK4

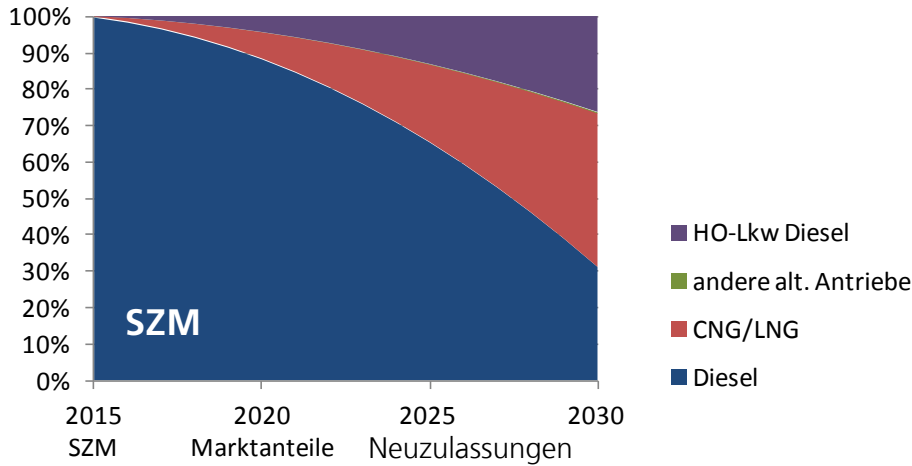
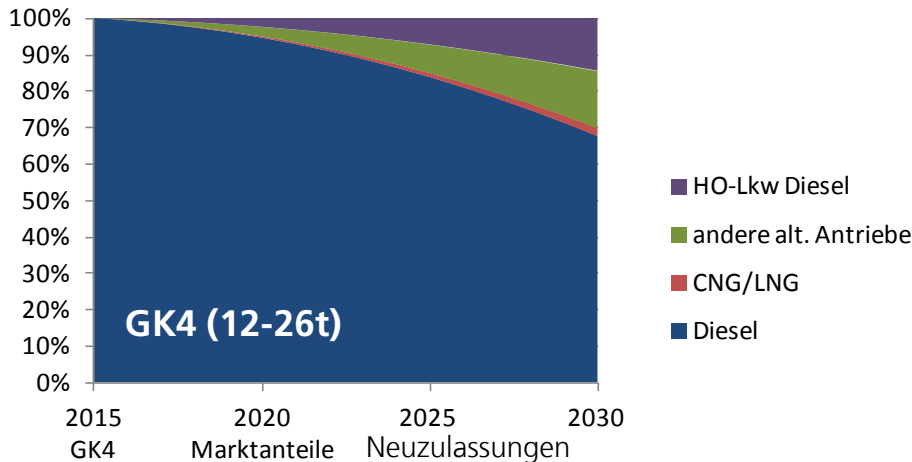
- HO-Diesel Lkw ist mit 10% Marktanteil bei den Neuzulassungen vertreten
- Hauptkraftstoff bleibt Diesel

SZM

- Bei den SZM kann nur eine sehr kleine Menge mit HO-Lkw betrieben werden (1000km Infrastruktur)
- CNG/LNG mit 60% Marktanteil

Modellergebnisse

Ergebnisse ab 12t mit HO-Infrastruktur- ausbau von **4000 Kilometern** bis 2030



GK4

- HO-Diesel Lkw legt von 10% (1000km) auf 15% Marktanteil bei den Neuzulassungen zu (Reduktion des Dieselanteils)
- Neuzulassungen weiter durch Dieselfahrzeuge geprägt

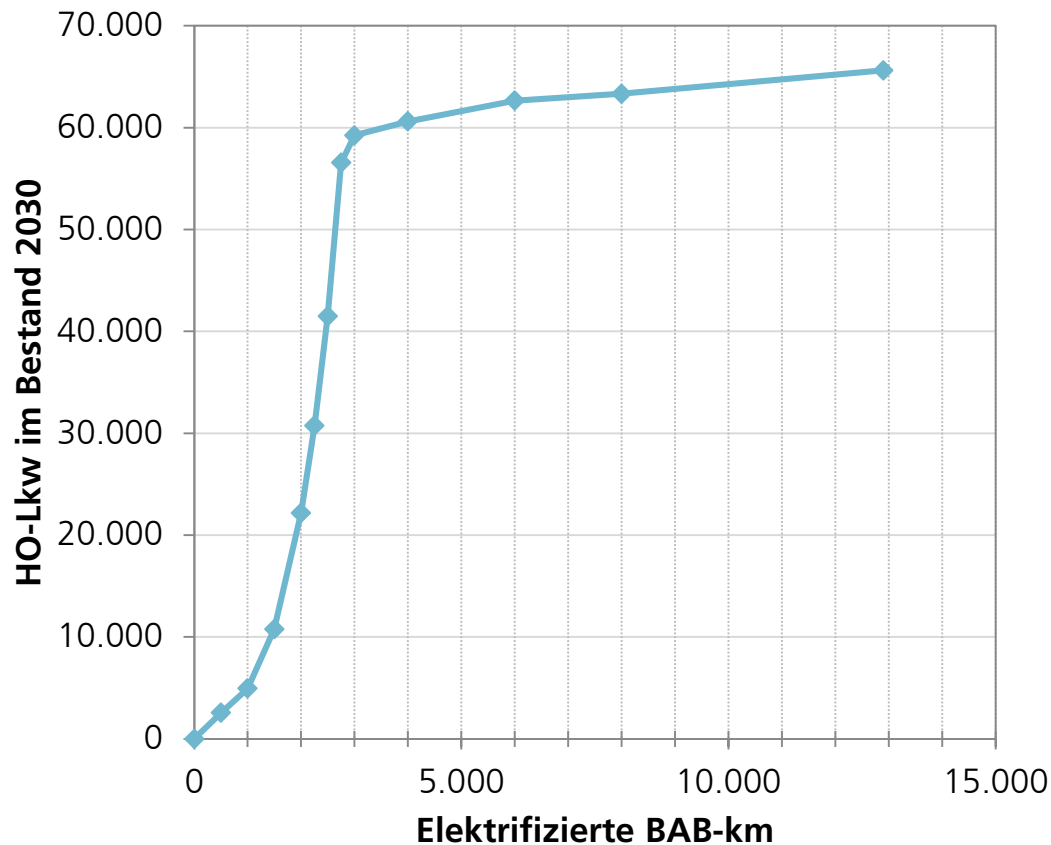
SZM

- 25% Marktanteil von HO-Diesel-Lkw (in Vergleich zu einigen wenigen Prozent bei 1000km)
- Reduktion der Marktanteile von CNG und Dieselfahrzeugen

→ **Großer Einfluss der Infrastruktur, aber wie hoch?**

Modellergebnisse

Anteile der HO-Lkw im Bestand und Infrastrukturausbau



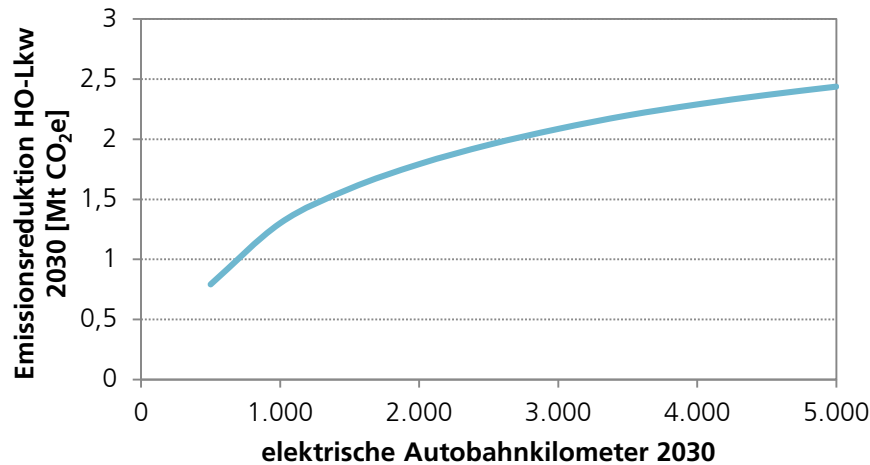
- Die größten Zuwächse werden mit einem Ausbau auf bis zu 3000 km Autobahn erzielt
- Danach kaum mehr Änderung im Bestand
- Zusammenhang zwischen Fahrleistungsverteilung der SZM und Ausbau, da kleine Menge an Infrastruktur reicht für große Menge an Lkw
- *Aber auch Beschränkung auf DE und beschränktes Fahrzeugangebot spielt eine Rolle*

Modellergebnisse

Agenda

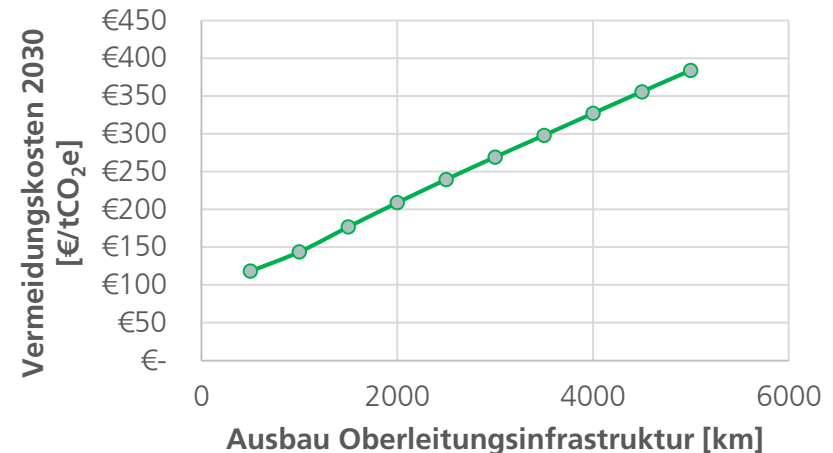
1. Hintergrund und Motivation
2. Marktpotenzial von HO-Lkw
- 3. Potenziale zur Emissionsminderung**
4. Finanzierung einer Oberleitungsinfrastruktur
5. Fazit, Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Die eingesparten CO₂-Emissionen hängen auch vom Infrastrukturausbau ab



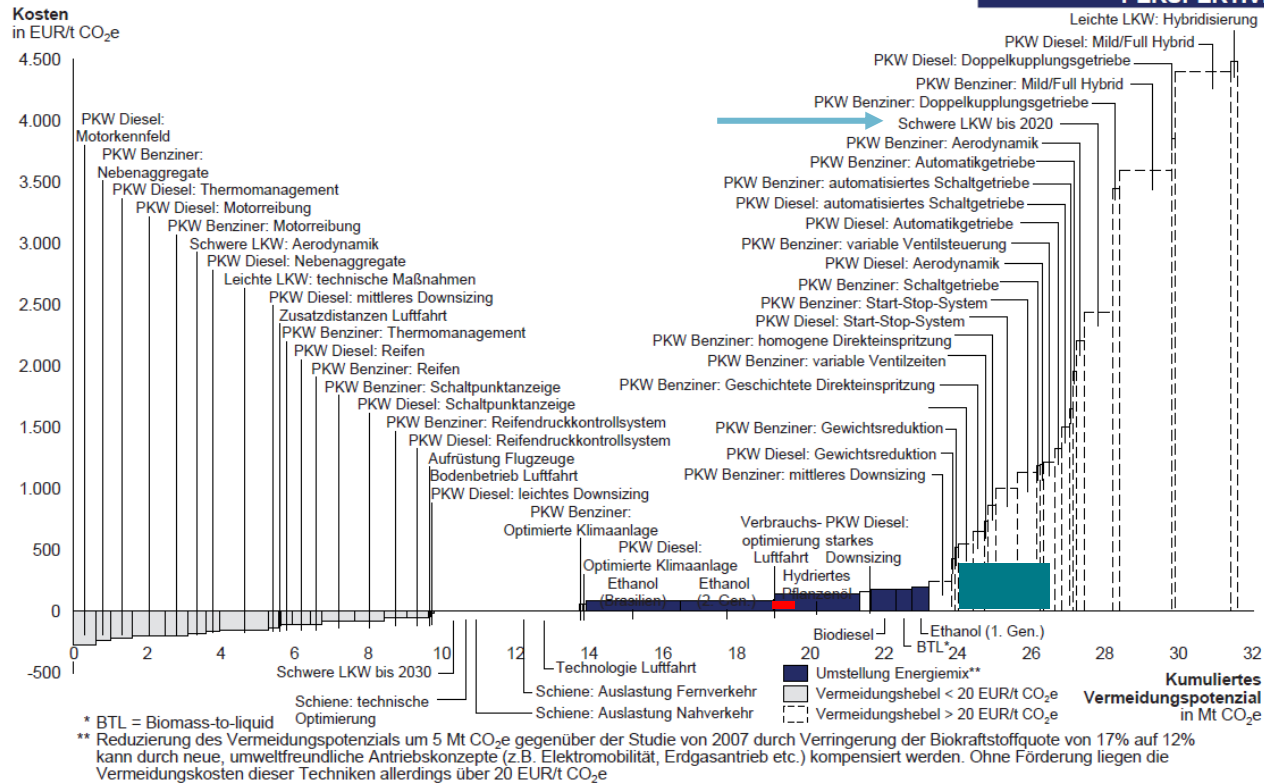
- CO₂-Emissionen hängen vom Infrastrukturausbau ab
- Über 3000 km wenig zusätzliche Fahrzeuge, aber höhere elektrische Fahranteile → höhere CO₂ Einsparung mit höherem Ausbau

- Vermeidungskostenkurve ohne Sättigungseffekt
- Maßnahme, aber bezahlbar im Vergleich zu anderen Verkehrsoptionen zur CO₂-Vermeidung



Vermeidungskosten im Verkehrssektor

Transportsektor: Vermeidungskostenkurve – Deutschland 2020



ACHTUNG:

- Studie aus dem Jahr 2007, aber gute Darstellung
- Wenige Maßnahmen aus dem schweren Lkw-Bereich

Kosten aus HO-Lkw-Studie:

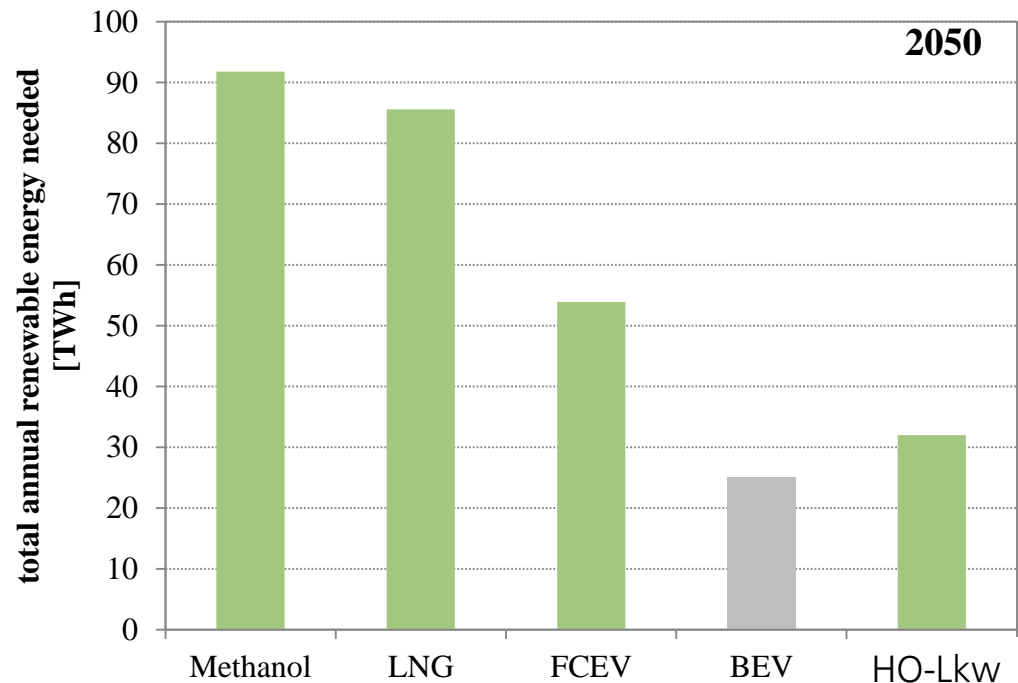
- 120 €/t CO₂ bei 0,8 Mt CO₂
- 400 €/t CO₂ bei 2,5 Mt CO₂

Quelle: Studie "Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland" von McKinsey & Company, Inc., im Auftrag von "BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz" – AG Transport

Der Primärenergiebedarf anderer Lkw-Optionen ist deutlich höher

Wie viel Strom bräuchte man zur vollständigen Umstellung aller Sattelzugmaschinen?

- HO-Lkw* mit klaren WtW-Wirkungsgradvorteile ggü. gasförmigen (H₂) oder flüssigen Kraftstoffen (LNG, Methanol)
- Reine Batteriefahrzeuge (=BEV) am effizientesten, aber ohne klare Fortschritte bei Batterietechnologie oder Ladeinfrastruktur nicht praktikabel; Unklar, ob überhaupt möglich



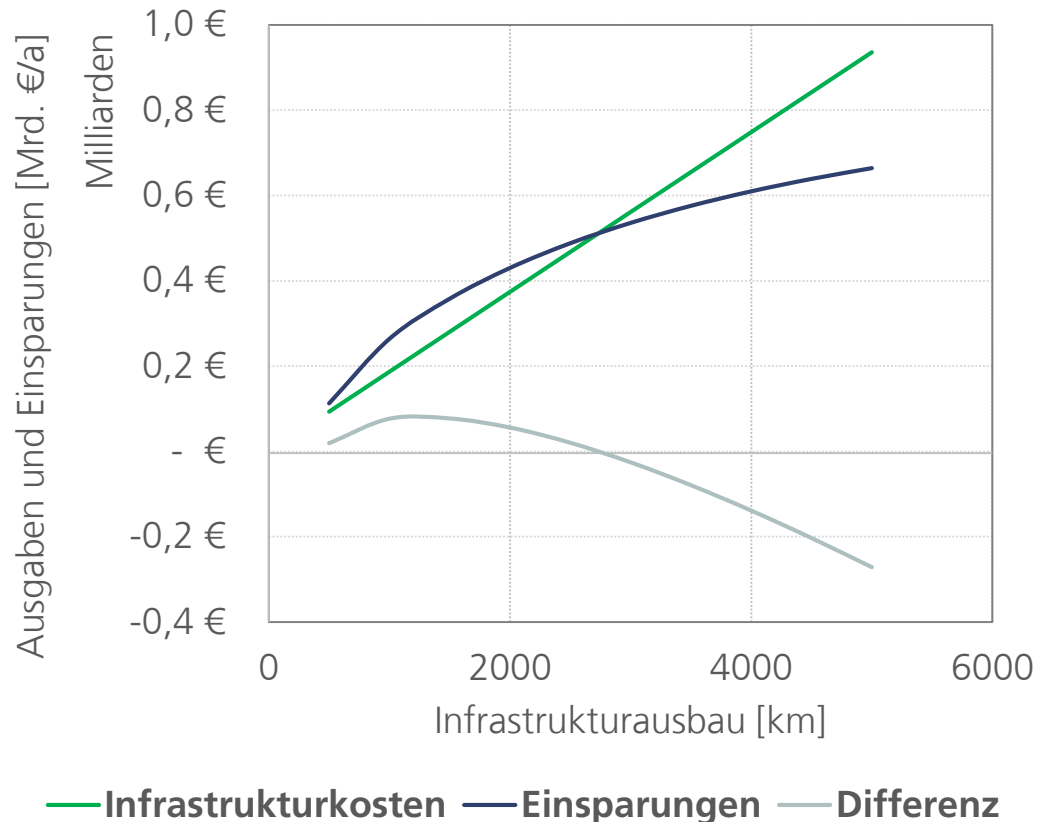
* hier mit 100% elektrischem Fahren angenommen

Grafik aus: Gnann, T., Plötz, P., Wietschel, M., Kühn, A.: What is the best alternative drive train for heavy road transport? EVS30 Symposium Stuttgart, Germany, October 9 - 11, 2017, accepted paper

Agenda

1. Hintergrund und Motivation
2. Marktpotenzial von HO-Lkw
3. Potenziale zur Emissionsminderung
- 4. Finanzierung einer Oberleitungsinfrastruktur**
5. Fazit, Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Vergleich der Einsparungen und Infrastrukturkosten 2030



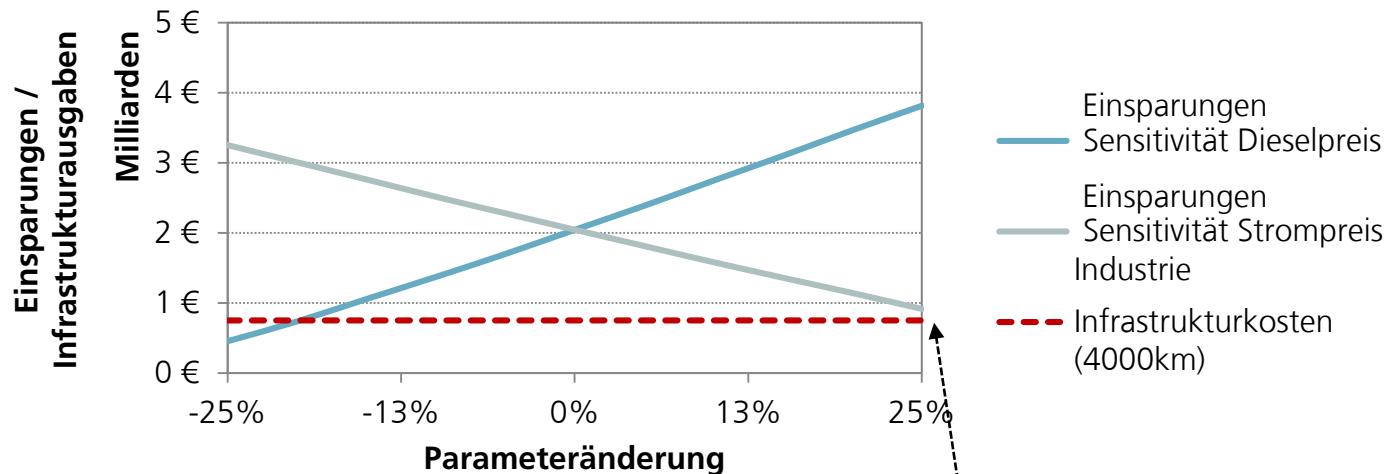
Gesamtwirtschaftliche Perspektive:

- Kosten der Infrastruktur vs. Einsparungen durch die effizienteren HO-Antriebe
- Einsparungen über den Kosten bei Oberleitungsausbau bis 2700 km
ODER
Nutzerfinanzierung bis 2700 km denkbar
- ABER: Beschränkung der Infrastruktur auf Deutschland (→ *Europäische Rechnungen derzeit in Arbeit*) und vollständiges „Abschöpfen“ der Gewinne der Nutzer

Nutzungsabhängige Finanzierung im eingeschwungenen Zustand möglich

Eingeschwungener Zustand (ohne DE-Beschränkung, 250.000 Fahrzeuge im Bestand)

- Welche Kosten entstehen durch Infrastrukturaufbau? ~800 Mio. €/a für 4.000 km (Kapitalkostenannuität und laufende Kosten (2%)).
- Welche Einsparungen sind zu erzielen (4000km)? 2 Mrd. €/a (Differenz Ausgaben HO-Lkw und Diesel).
- Welche Maut müsste man verlangen (4000km)? ca. 5,3 €ct/km (bei 60% HO-Anteil und 100.000km JFL)



- Welche Maut könnte man verlangen (4000km)? ca. $0,16\text{€/kWh} \cdot 30\% \cdot 1,6\text{ kWh/km} = 7,7\text{ €ct/km}$
(Strompreis) (Erhöhung) (Verbrauch)

→ Langfristig ist eine Nutzerfinanzierung möglich.

Möglichkeiten der Finanzierung beim Aufbau (1/2)

Finanzierung von 10-12 Mrd. Euro für Aufbau durch Staat oder Privatwirtschaft oder von beiden (PPP)?

Optionen des Staats:

- Haushaltsfinanzierung:
 - 10%-Erhöhung der Kfz-Steuer: 750 Mio. €/Jahr
 - 0,05€/l Abschlag auf Kraftstoffpreis: 3 Mrd. €/Jahr
 - ABER: Finanzierung der Straßeninfrastruktur geringer, Interessenskonflikt mit Schiene?
- Nutzerfinanzierung:
 - über Maut (wenn HO-Infrastruktur Teil der Verkehrsinfrastruktur)
 - über Nutzer der HO-Infrastruktur
- Fonds können aus Haushaltsmitteln gefüllt werden und sind nutzungsgebunden

Optionen der Privatwirtschaft:

- vollständige Finanzierung
- Teil-Förderung, z.B. aus EFSI-Fonds (Juncker-Plan)

Möglichkeiten der Finanzierung beim Aufbau (2/2)

Public-Private-Partnerships (PPP) mit Begrifflichkeiten des BMVI:

- A-Modell (=Aufbaumodell): privater Betreiber erhält Konzession zum Bau und Betrieb, dafür erhält er die Einnahmen, die er für die Nutzung veranschlagt. I.d.R. Anschubfinanzierung und Vertragslaufzeit von 30 Jahren.
 - V-Modell (=Verfügbarkeitsmodell): Bau und Betrieb in privater Hand, aber festgelegtes „Verfügbarkeitsentgelt“ vom öffentlichen Partner, d.h. unabhängig von der Nutzung.
 - F-Modell (=Fernstraßenbaufinanzierungsgesetz-Modell): Bau und Betrieb durch private Hand, aber vom Staat festgelegtes Nutzungsentgelt, das (teilweise) an den privaten Betreiber geht.
- ***Am wahrscheinlichsten erscheinen derzeit PPP (V- oder F-Modell), aber beste Finanzierungsform bislang unklar.***

Agenda

1. Hintergrund und Motivation
2. Marktpotenzial von HO-Lkw
3. Potenziale zur Emissionsminderung
4. Finanzierung einer Oberleitungsinfrastruktur
- 5. Fazit, Ausblick und weiterer Forschungsbedarf**

Fazit, Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Was lässt sich festhalten bezüglich Potenzialen und Finanzierungsbedarf?

- Für rein deutsche Lösung könnte der **Anteil der HO-Lkw nennenswert** sein (**30% des Bestands 2030**), aber:
 - bedingt durch den **Ausbau der HO-Infrastruktur**
 - Nicht alle Lkw nutzen die elektrifizierten Autobahnen (komplexe Rechnung für elektrischen Fahranteil)
 - Entwicklung der **Konkurrenztechnologien beachten** (z.B. CNG/LNG – Besteuerung Kraftstoffe)
- Deutliche CO₂-Einsparung zu vergleichsweise **geringen Vermeidungskosten** (150-400€/t CO₂e)
- **Langfristig über Nutzer finanzierbar**, beim **Aufbau** erscheinen **PPP eine gute Alternative** zu sein

Welche Punkte müssen noch weiter untersucht werden?

- **Marktakzeptanz** der Technologie (Flexibilität, Zuverlässigkeit) und **Nutzerakzeptanz** v. Fahrer/ Anwohner
- **Bewegungsprofile** von Lkw zur detaillierten Bestimmung von Autobahnanteilen (**GPS-Tracking**)
- Strategien zur Elektrifizierung des **Quell-/ Ziel- und Transitverkehrs**
- **Europäische Lösung** in Sicht? Konflikt durch unterschiedliche verkehrspolitische Zielsetzungen?
- **Gibt es Verlagerungseffekte** (Schiene/Binnenschiff → Straße)?
- Weitere **Detaillierung der Finanzierungsmodelle** beim Aufbau der Infrastruktur

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

Weitere Informationen zum Projekt unter:

<http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/MKS/hybrid-oberleitungslkw.html?nn=214206>

ANHANG

Sind Oberleitungs-Lkws ein sinnvoller Weg? Gibt es bessere Alternativen?

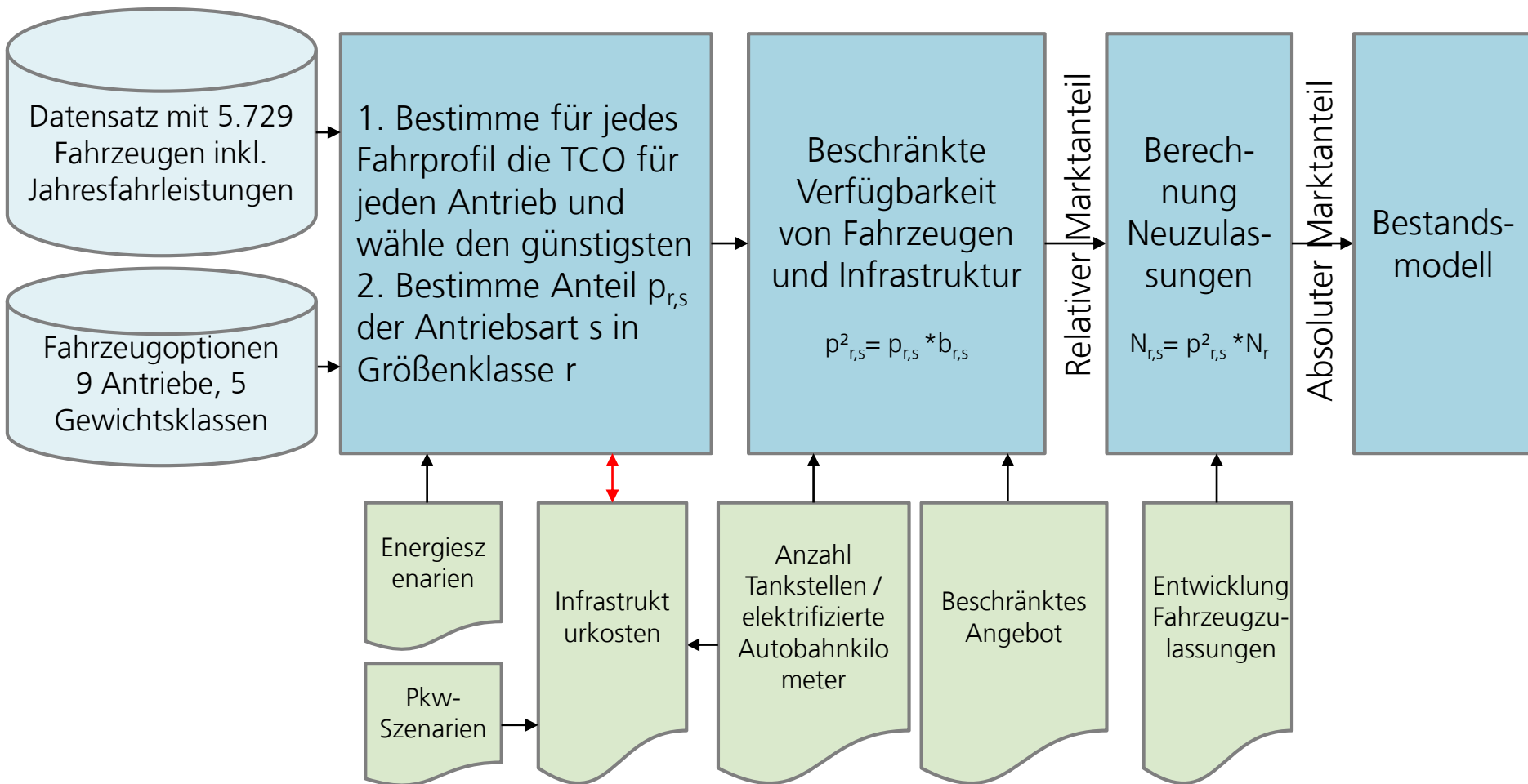
- Systeme mit oberleitungsgebundenen elektrischen Betrieb von schweren Nutzfahrzeugen auf vielbefahrenen Autobahnen.
- I.d.R. Hybridantriebe (elektrischen Antrieb, konventioneller Antrieb, Batterien zum Zwischenspeichern)



Kontroverse Diskussion:

- „Henne-Ei-Problem“ (Geschäftsmodell, Betreibermodelle)
- Technische Herausforderungen
- Fehlen detaillierterer Wirtschaftlichkeitsrechnungen
- Grenzüberschreitender Verkehr
- Standardisierung
- Rechtliche & sicherheitsrelevante Fragen
- Fahrzeugangebot
- Alternativen (z.B. Umstieg Schiene)
- Akzeptanz
 - Bevölkerung
 - Nutzer
-

Überblick Modell



Systemgrenzen und wichtige Annahmen

Neuzulassungen nach Größenklassen (deutsche Neuzulassungen)

Relevant für HO-Lkw

Jahr	GK1 (<3,5t)	GK2 (3,5-7,5t)	GK3 (7,5-12t)	GK4* (12-26t)	SZM*
Neuzulassungen 2015	228.000	18.000	9.000	6.200	34.000
Neuzulassungen 2030	278.000	18.000	10.000	6.200	39.950
Nutzungsdauer	8	12	10	10	6
Bestand 2030	2.224.000	216.000	100.000	62.000	239.700

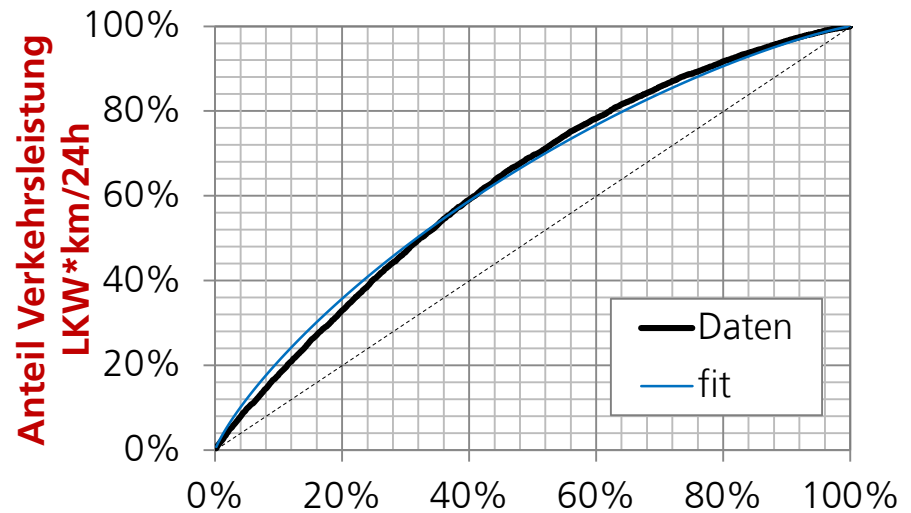
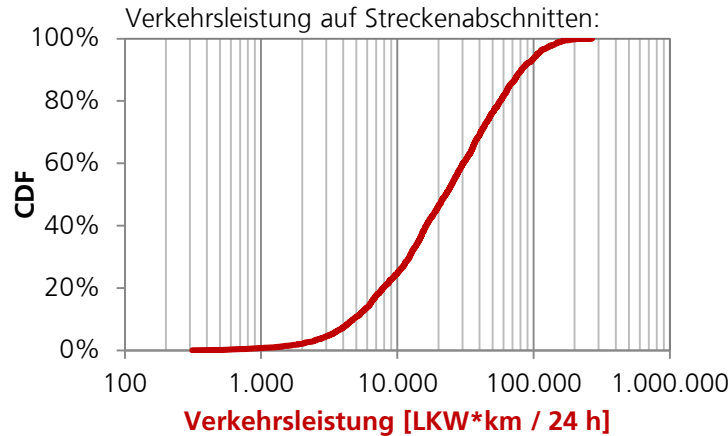
* Ohne Baufahrzeuge aufgrund von Spezialaufbauten und geringer Autobahnnutzung.

Energieträgerpreise**

Jahr	Dieselpreis	Gaspreis	Strompreis Industrie	Strompreis Gewerbe	Wasserstoff- preis
2015	0,98 €/l	0,87 €/kg	0,14 €/kWh	0,21 €/kWh	8,60 €/kg
2030	1,53 €/l	1,11 €/kg	0,16 €/kWh	0,22 €/kWh	5,00 €/kg

** Alle Preise ohne MwSt.

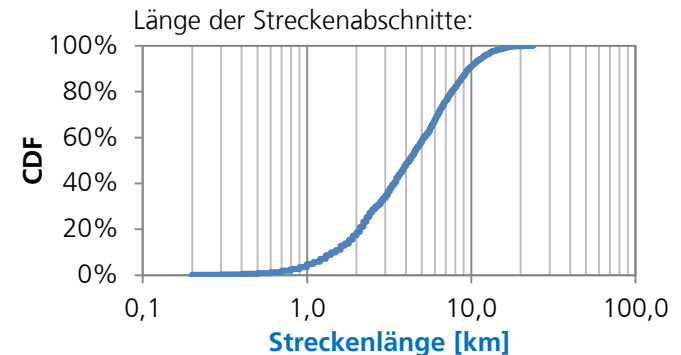
Anteil elektrischer Verkehrsleistung bei festem Anteil elektrischer Autobahn?



- Vergl. Einkommensungleichheit
Hier: Gini = 0.37 (BRD 0.3, US 0.4, Brasilien 0.6)
- Datenbasis: manuelle Zählung BAST 2010 & Mauttabelle 2015
→ Belastung und Länge von 1900 BAB-Abschnitten
- Beispiele elektrisches Potenzial (gesamt 13.000 BAB-km):

Anteil elektr. BAB-km	0%	1%	5%	10%	20%	50%	80%
Anteil elektr. LKW-km	0%	3%	12%	21%	36%	68%	91%

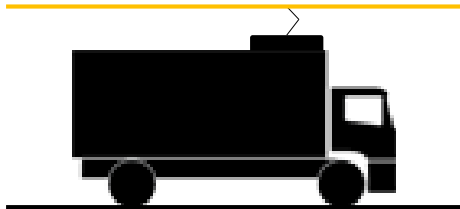
Anteil BAB-km



<http://www.bast.de/DE/Statistik/Verkehrsdaten-Downloads/2010/Manuelle-Zaehlung-2010.html> und <http://www.mauttabelle.de/maut.html> sowie Berechnungen der PTV AG

Differenzierung bei HO-Lkws

Oberleitungs-Lkw



Stromschienen-Lkw



Induktiv geladener-Lkw



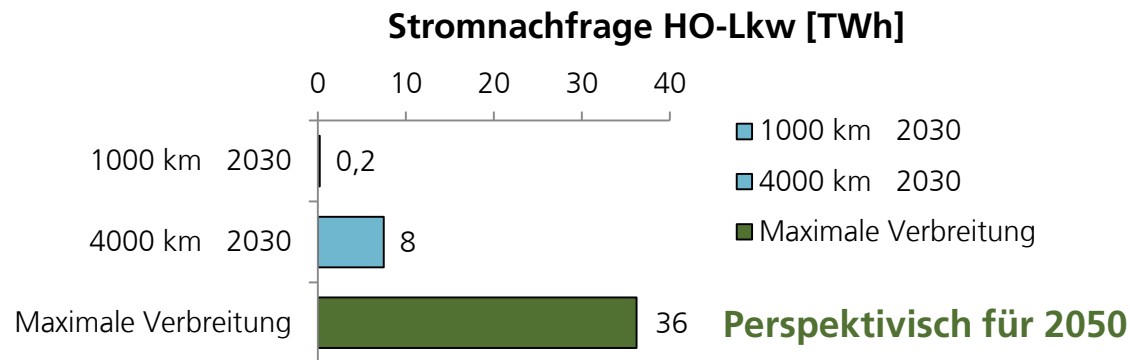
Zwei denkbare Ausführungsvarianten

Elektromotor und
Traktionsbatterie 200 kWh

Serieller Diesel-Hybrid mit kleiner
Traktionsbatterie (~1 kWh)

Übersicht Energiebedarf alternativer Antriebe für das Jahr 2030

- Vergleich von drei Varianten:
 - Markthochlauf bis 2030 bei 1000 km Oberleitungsausbau
 - Markthochlauf bis 2030 bei 4000 km Oberleitungsausbau
 - *Maximal*: Alle Fahrzeuge über 12t und Oberleitung auf gesamten Autobahnnetz

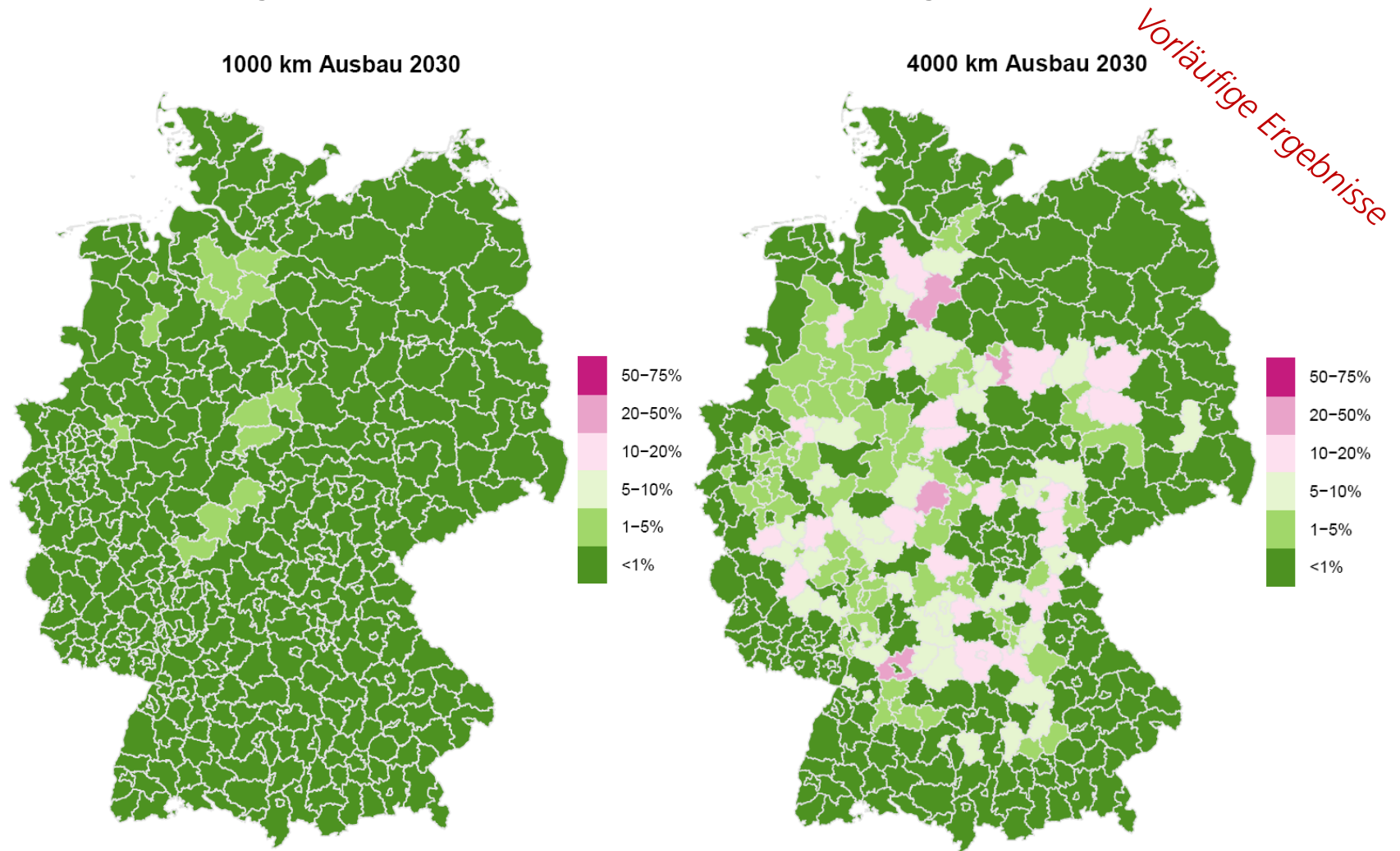


- Vergleich 1: 6 Mio. Elektroautos (@0,16 kWh/km & 14.300 km/a) sind ca. 14 TWh/a
- Vergleich 2: Bruttostrommenge in den Klimaschutzszenarien (BMU 2015) im Jahr 2030: 501 TWh (KS95) - 593 TWh (AMS)

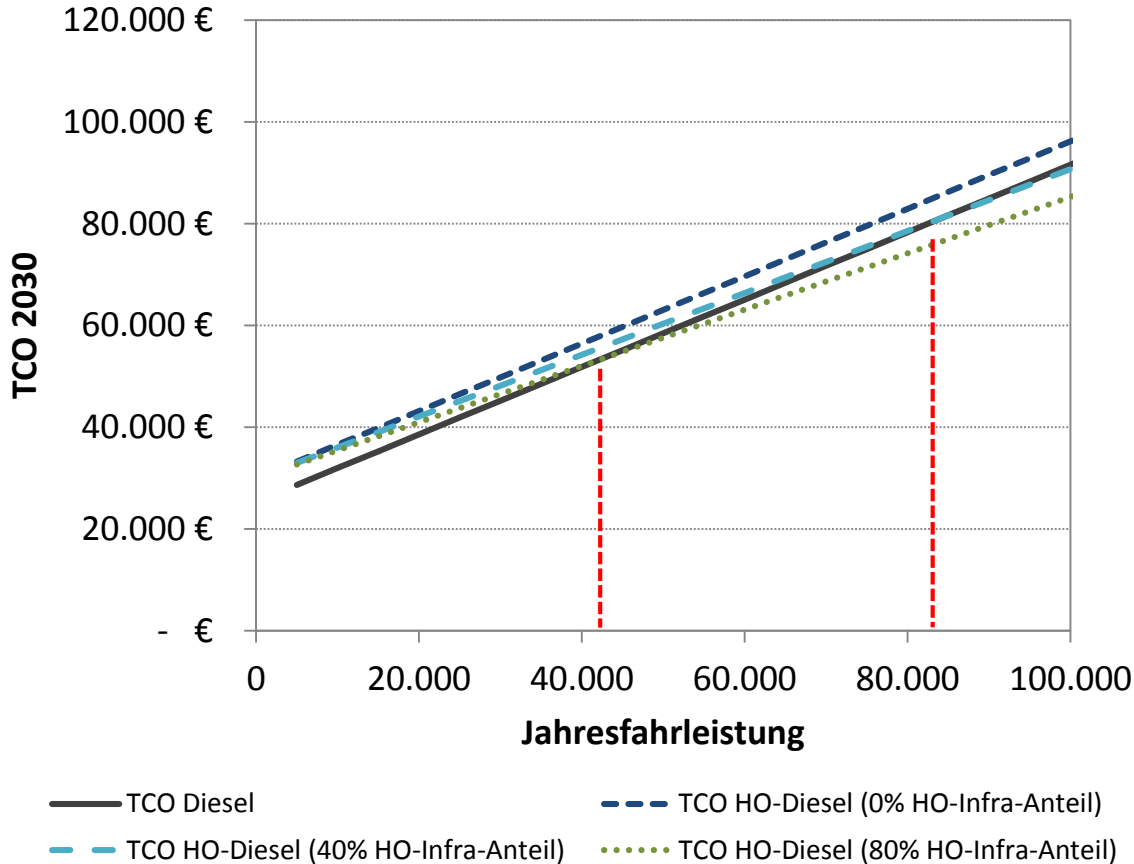
Modellergebnisse

Regionale Effekte nach Markthochlauf 2030

Änderung der lokalen Stromnachfrage durch HO-Lkw

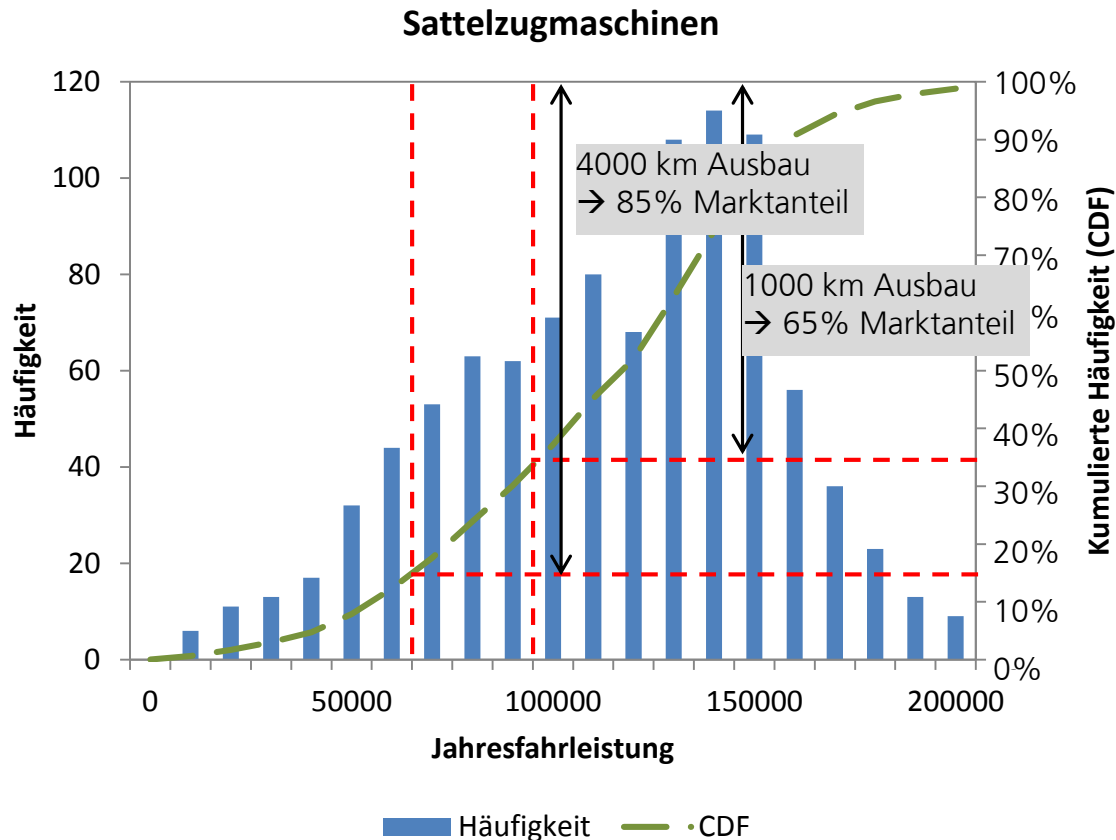


Ab wann werden HO-Diesel-Lkw 2030 wirtschaftlich? (ohne Infrastrukturkosten)



- Die Kosten der HO-Lkw hängen vom Anteil des elektrischen Fahrens an der Oberleitung ab
- Ein hoher Anteil an der Oberleitung bedeutet eine schnellere Amortisation („Es rechnet sich bei geringeren Jahresfahrleistungen“)
- Ca. 30.000 elektrische Kilometer notwendig zur Amortisation 2030
- **ABER:** Elektrische Kilometer hängen vom Ausbau der Oberleitung ab

Die Menge der wirtschaftlichen HO-Lkw liegt oberhalb einer Mindestfahrleistung



- Der Marktanteil von HO-Lkw hängt von der Menge der Lkw mit Jahresfahrleistungen oberhalb einer **Break-Even-Fahrleistung** ab
 - Diese hängt vom Infrastrukturausbau ab
- ACHTUNG:**
- Rechnungen ohne andere alternative Antriebe, diese können die Schwellen beeinflussen
 - Tagesfahrleistungen schwanken (im Modell berücksichtigt)