
MKS-FACHWORKSHOP „STAND DER FORSCHUNG, MARKTPOTENZIALE UND FORSCHUNGSBEDARF FÜR BRENNSTOFFZELLEN-LKW“

Prof. Dr. Martin Wietschel, Dr. Till Gnann, Dr. Axel Thielmann, André Kühn



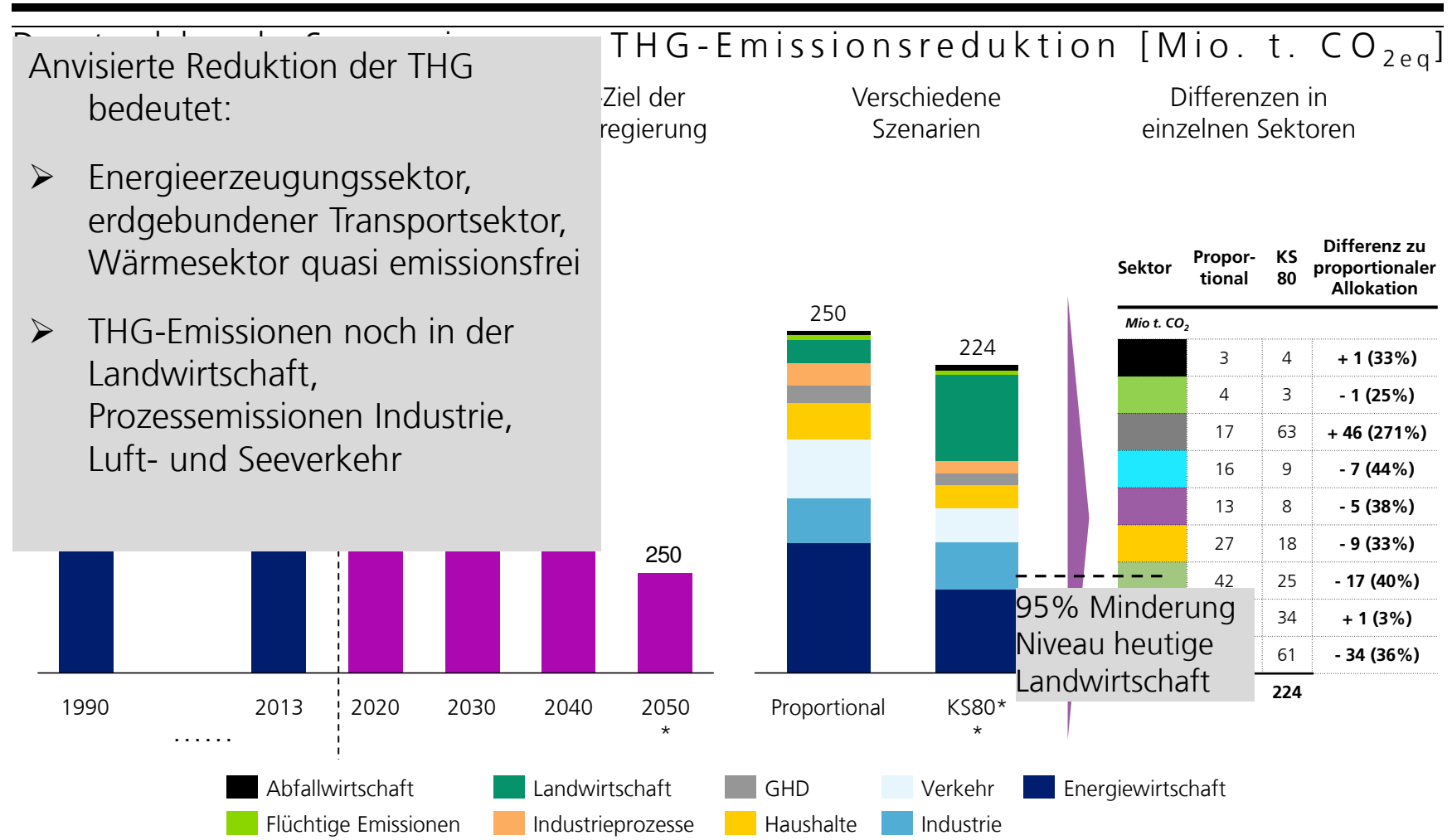
30. Mai 2016, Berlin

Bildquelle: 2014 Proton Motor Fuel Cell GmbH

Agenda

- 1. Einführung in die wissenschaftliche Untersuchung**
2. Schwerpunktthema 1: Marktpotenzial für Brennstoffzellen-Lkw
3. Schwerpunktthema 2: Stand der Forschung und Entwicklung
4. Schwerpunktthema 3: Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen für die Politik

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

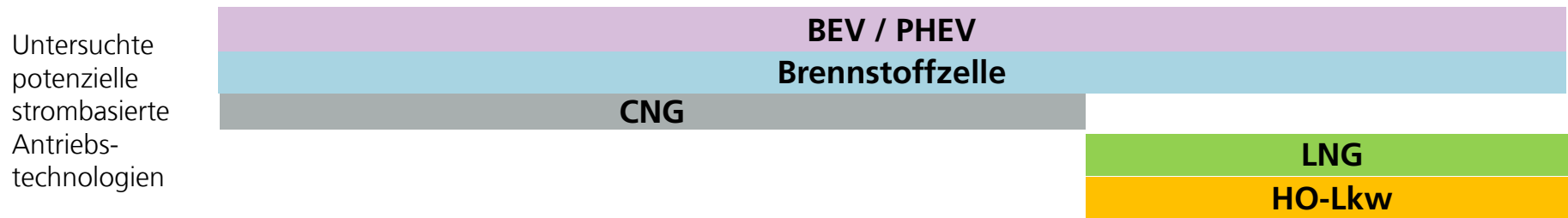


* Max Szenario der Bundesregierung 80% Reduktion bis 2050

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

Kennzahlen und untersuchte strombasierte Antriebstechnologien

Größenklasse	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)

Brennstoffzellen-Lkws als Lösung?

- Chancen:
 - Globale Lösung (Einschränkung: Vorfinanzierung der Infrastruktur)
 - Umfassende Mobilitätslösung (Pkw, Lkw, Binnenschiffe,...)
 - Entkarbonisierungsoption (Basis: erneuerbarer Strom)
 - Gegenüber anderen flüssigen, strombasierten Kraftstoffen
 - Wirkungsgradvorteile (geringerer Ausbau Erneuerbarer und Stromnetze)
 - Benötigen kein CO₂ (entkarbonisierte Welt: primär über Luftabscheidung)
 - ...

Wirkungsgradvergleich Well-to-Wheel (zukünftig, optimistisch, erneuerbare Strom)

Leichte Nutzfahrzeuge	Diesel	H ₂ -FCEV	BEV	ICE Methan	Methanol-FCEV
WTW	22%	32%	75%	16%	25%
Sattelzugmaschinen	Diesel-Lkw	H ₂ -FCEV	HO-Lkw	ICE Methanol	
WTW	32%	33%	65%	23%	

Brennstoffzellen-Lkws als Lösung?

- Herausforderungen:
 - Gegenüber direkter Stromnutzung deutlich geringe Wirkungsgrade
 - Tankstelleninfrastrukturaufbau (läuft derzeit schleppend)
 - Zeitfenster für Pkws gegebenenfalls nur noch beschränkt offen (Konkurrenz Batteriefahrzeuge) – Wenig Spill-Over-Vorteile?
 - Derzeit wenig im F&E-Fokus
 -

MKS-BZ-Lkw

Projektübersicht

		2015			2016					
		10.	11.	12.	01.	02.	03.	04.	05.	06.
AP1	Nationaler und internationaler Forschungs- und Entwicklungsstand									
AP2	Marktpotenzial von BZ-Lkws									
AP3	Identifikation der kritischen Erfolgsfaktoren									
AP4	Identifikation des F&E Bedarfs									
AP5	Ableitung von Handlungsempfehlungen									
AP6	Koordination									

Projektziel: Darstellung des F&E-Bedarfs für BZ-Lkw in Deutschland

Nächste Aufgaben nach dem Workshop:

- Überarbeitung der F&E-Empfehlungen
- Abschlussbericht

Ablauf des Workshops

Unser Ziel für den Workshop ist...

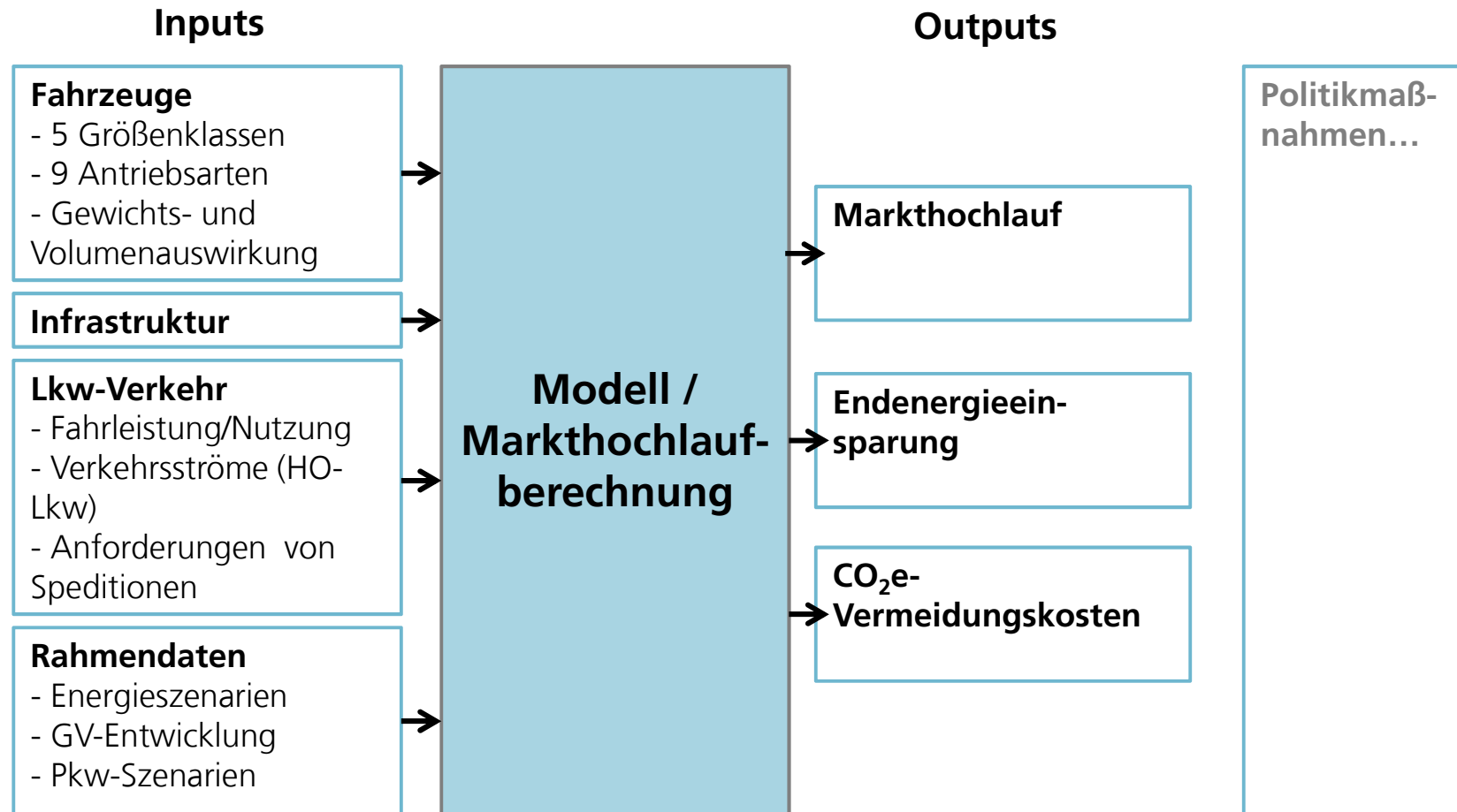
1. die Thesen zu diskutieren
2. und zu ergänzen / abzuändern,
3. sie zu priorisieren
4. (Und evtl. zeitlich einzuordnen).

Uhrzeit	Programmpunkt
11.00 Uhr	Begrüßung <ul style="list-style-type: none"> • <i>Dominik Borowski, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)</i>
11.05 Uhr	Einführung in die Veranstaltung <ul style="list-style-type: none"> • <i>Christian Klasen, IFOK GmbH</i>
11.10 Uhr	Einführung in die wissenschaftliche Untersuchung im Rahmen der MKS <ul style="list-style-type: none"> • <i>Prof. Dr. Martin Wietschel & Dr. Till Gnann, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung</i>
11.25 Uhr	Praxisvorträge: Die Entwicklung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie im Lkw-Verkehr <ul style="list-style-type: none"> • <i>Prof. Dr. Werner Tillmetz, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)</i> • <i>Thomas Melcer, Proton Motor Fuel Cell GmbH</i>
12:15 Uhr	Schwerpunktthema I – Marktpotenzial für Brennstoffzellen-Lkw <ul style="list-style-type: none"> • <i>Dr. Till Gnann, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ Vorstellung der erlangten Untersuchungs-Ergebnisse ○ Diskussion der Studienergebnisse mit den Teilnehmenden
13.00 Uhr	<i>Mittagspause</i>
13.45 Uhr	Schwerpunktthema II – Stand der Forschung und Entwicklung <ul style="list-style-type: none"> • <i>Dr. Axel Thielmann, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ Vorstellung der erlangten Untersuchungs-Ergebnisse ○ Diskussion der Studienergebnisse mit den Teilnehmenden
14.30 Uhr	Schwerpunktthema III – Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen für die Politik <ul style="list-style-type: none"> • <i>André Kühn, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ Vorstellung der erlangten Untersuchungs-Ergebnisse ○ Diskussion, Ergänzung und Priorisierung der Studienergebnisse mit den Teilnehmenden
15.50 Uhr	Zusammenführung der Diskussion <ul style="list-style-type: none"> • <i>Christian Klasen, IFOK GmbH</i> • <i>Prof. Dr. Martin Wietschel, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung</i>
15.55 Uhr	Ausblick und Verabschiedung <ul style="list-style-type: none"> • <i>Dominik Borowski, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)</i>
16.00 Uhr	Gemeinsamer Ausklang der Veranstaltung

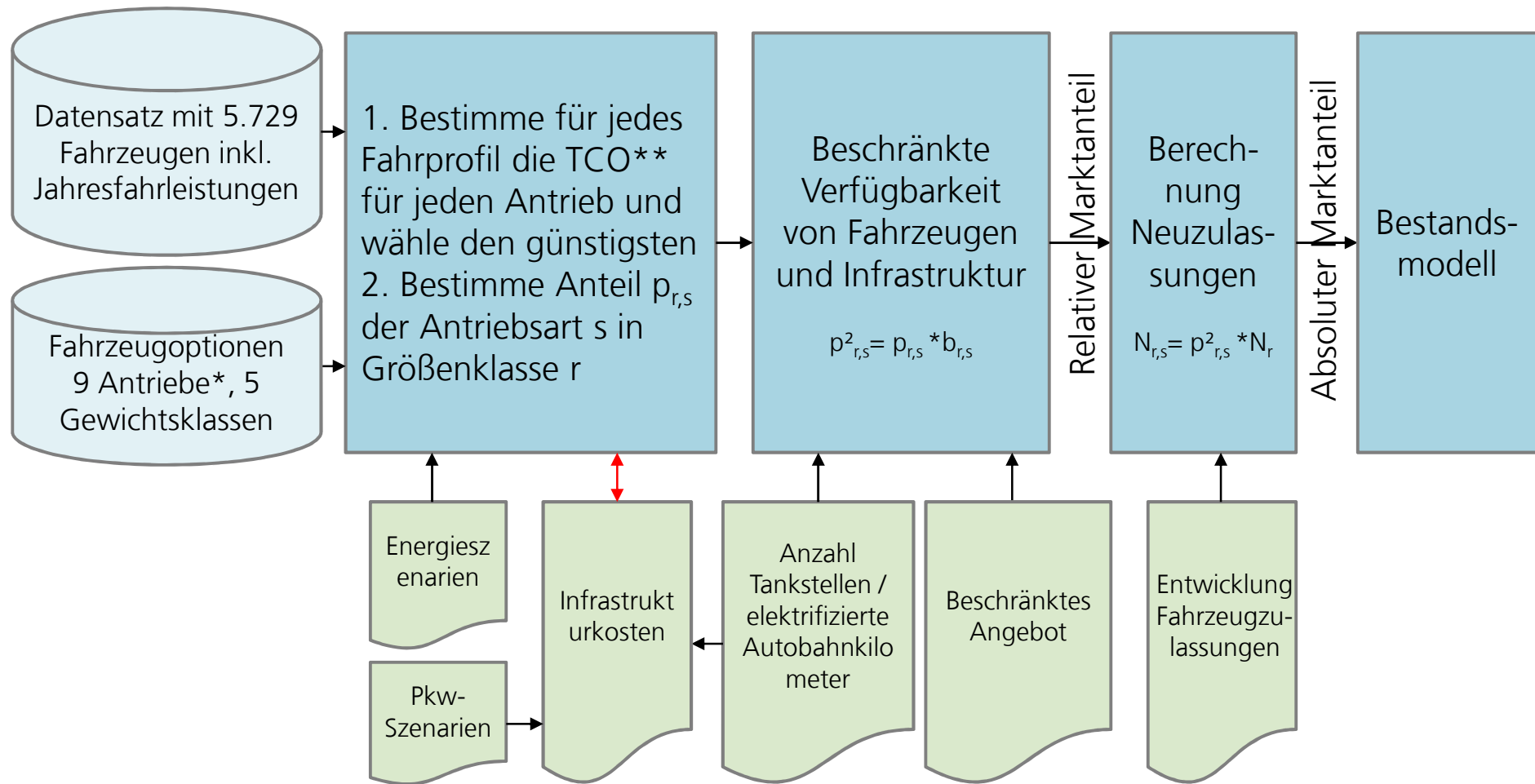
Agenda

1. Einführung in die wissenschaftliche Untersuchung
- 2. Schwerpunktthema 1: Marktpotenzial für Brennstoffzellen-Lkw**
 - 1. Markthochlaufmodell, Eingangsdaten und Berechnungslogik**
 2. Ergebnisse Markthochlauf H2-Lkw
3. Schwerpunktthema 2: Stand der Forschung und Entwicklung
4. Schwerpunktthema 3: Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen für die Politik

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



Das Modell basiert auf einer Vollkostenrechnung für neun Antriebsarten.



* Diesel, CNG/LNG, BEV, PHEV, FCEV, HO-Lkw (Dieselhybrid), HO-Lkw (vollelektrisch), Stromschienen-Lkw (vollelektrisch), Induktions-Lkw (vollelektrisch)

** TCO = Total Cost of Ownership oder Gesamtnutzungskosten, hier: Kapitalkosten, Verbrauchskosten, Wartung und Instandhaltung, Nutzlast-/Nutzvolumenverlustkosten, CO2-Kosten.

Eine große Stichprobe von Fahrzeugen wird für die Analysen verwendet.

Daten

- **Stichprobe von Nutzfahrzeugen** auf Basis der KiD → **Stichprobengröße etwa 6.000 Fzg.** in sieben Gewichtsklassen (Aufbauarten: Seitenplaner, Kühlkoffer, Wechselbrücke, Kipper); Ermittlung der **Jahresfahrleistungen** auf Basis der Tachostände

Parameter

- Parameterliste für verschiedene Antriebsarten:
 - IML: HO-Lkw, Gas-Lkw
 - PTV-S: HO-Infrastruktur
 - ISI: BEV, PHEV, FCEV, Konsistenzprüfung
- Abstimmung der wichtigsten Parameter für HO-Lkw auf Workshop am 01.03.2016

Die Analysen sind auf Deutschland begrenzt und Energieträgerpreise sind vorgegeben.

Neuzulassungen nach Größenklassen (deutsche Neuzulassungen)

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	Wasserstoffpreis
2015	0,98 €/l	0,87 €/kg	0,14 €/kWh	0,21 €/kWh	8,60 €/kg
2030	1,53 €/l	1,48 €/kg	0,16 €/kWh	0,22 €/kWh	6,65 €/kg

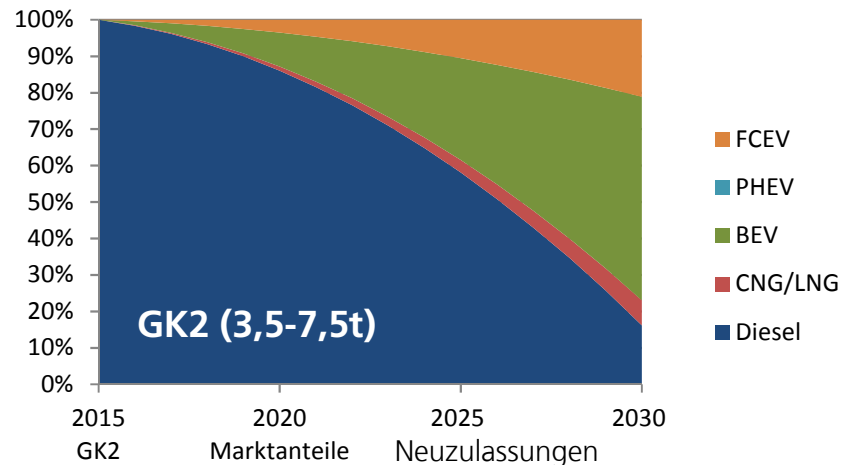
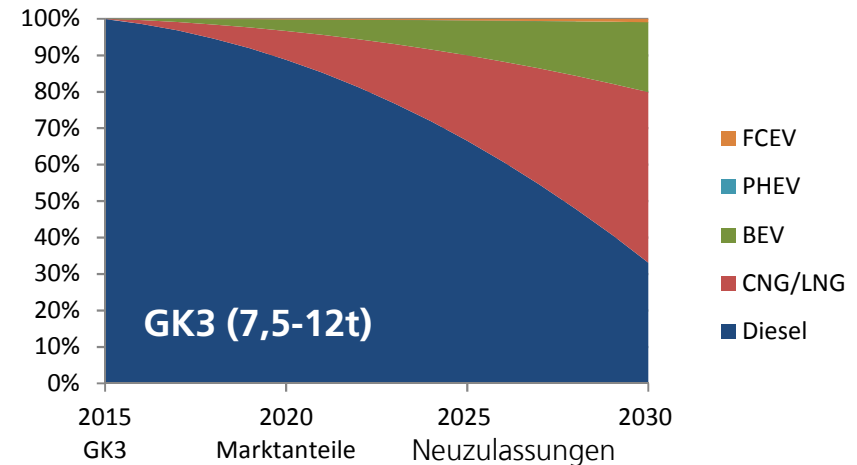
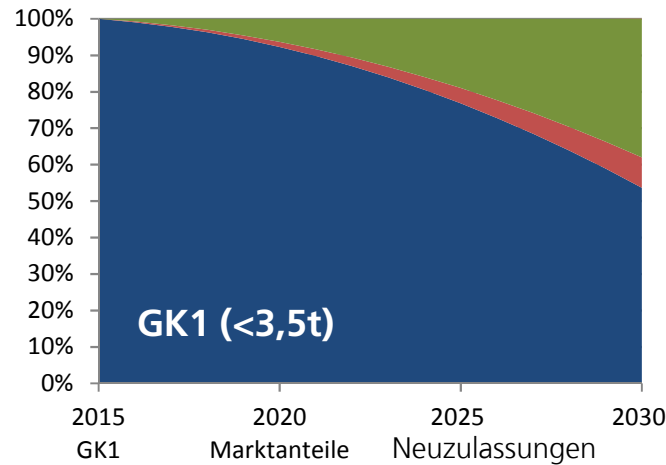
** Alle Preise ohne MwSt.

Quellen: Kraftfahrt-Bundesamt (2016), Schubert, M. et al. (2014): Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Los 3: Erstellung der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen unter Berücksichtigung des Luftverkehrs. Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH (Freiburg); Intraplan Consult GmbH (München); Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG (Aachen); Planco Consulting GmbH (Essen).; **Auf der Maur, A.**, Rommerskirche, S., Strassburg, S. (2015): Aktualisierung des Referenzszenarios für die Einsparpotenziale der Treibhausgas-Emissionen und des Endenergieverbrauchs im Verkehr für die Zeithorizonte 2020 und 2050; Prognos, 30.01.2015 (vertraulich); **McKinsey & Company et al.(2010)**: A Portfolio of Power-Trains for Europe: A Fact-Based Analysis.

Agenda

1. Einführung in die wissenschaftliche Untersuchung
- 2. Schwerpunktthema 1: Marktpotenzial für Brennstoffzellen-Lkw**
 1. Markthochlaufmodell, Eingangsdaten und Berechnungslogik
 - 2. Ergebnisse Markthochlauf H2-Lkw**
3. Schwerpunktthema 2: Stand der Forschung und Entwicklung
4. Schwerpunktthema 3: Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen für die Politik

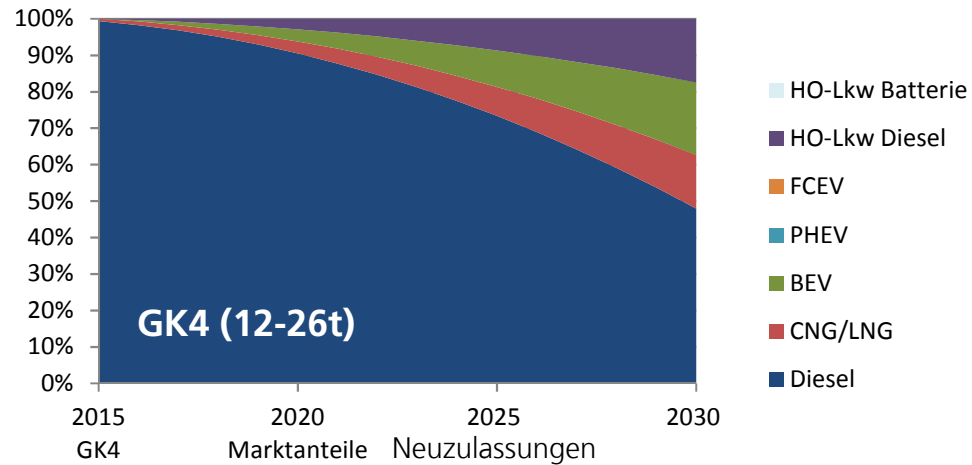
Ergebnisse für die Größenklassen bis 12t (GK1, GK2, GK3) zeigen Potenziale für FCEV.



Wesentliche Ergebnisse:

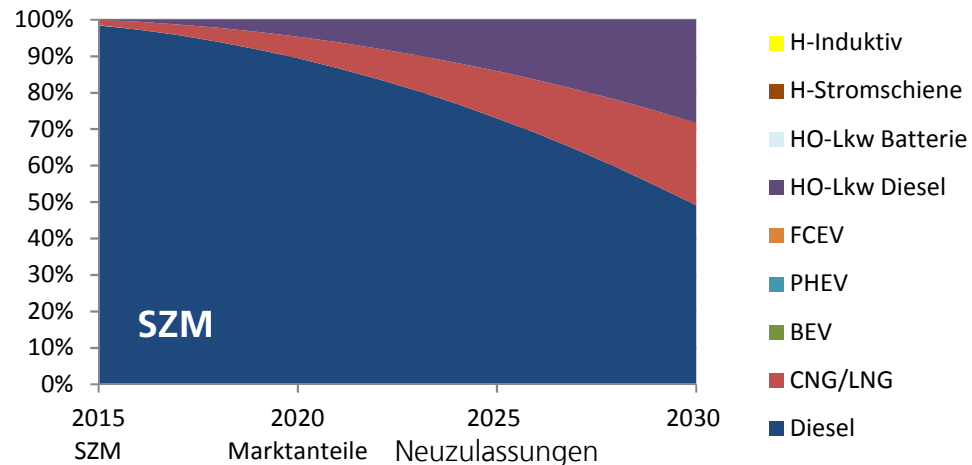
- BEV in allen Größenklassen, PHEV nicht in den Lösungen
- FCEV vor allem in GK2 (3,5-7,5t)
- CNG/LNG in GK3 (7,5-12t)
- Hauptkonkurrent für Wasserstoff sind die Gasfahrzeuge

Ergebnisse für die Größenklassen ab 12t (GK4, SZM) ohne große FCEV-Potenziale.



GK4

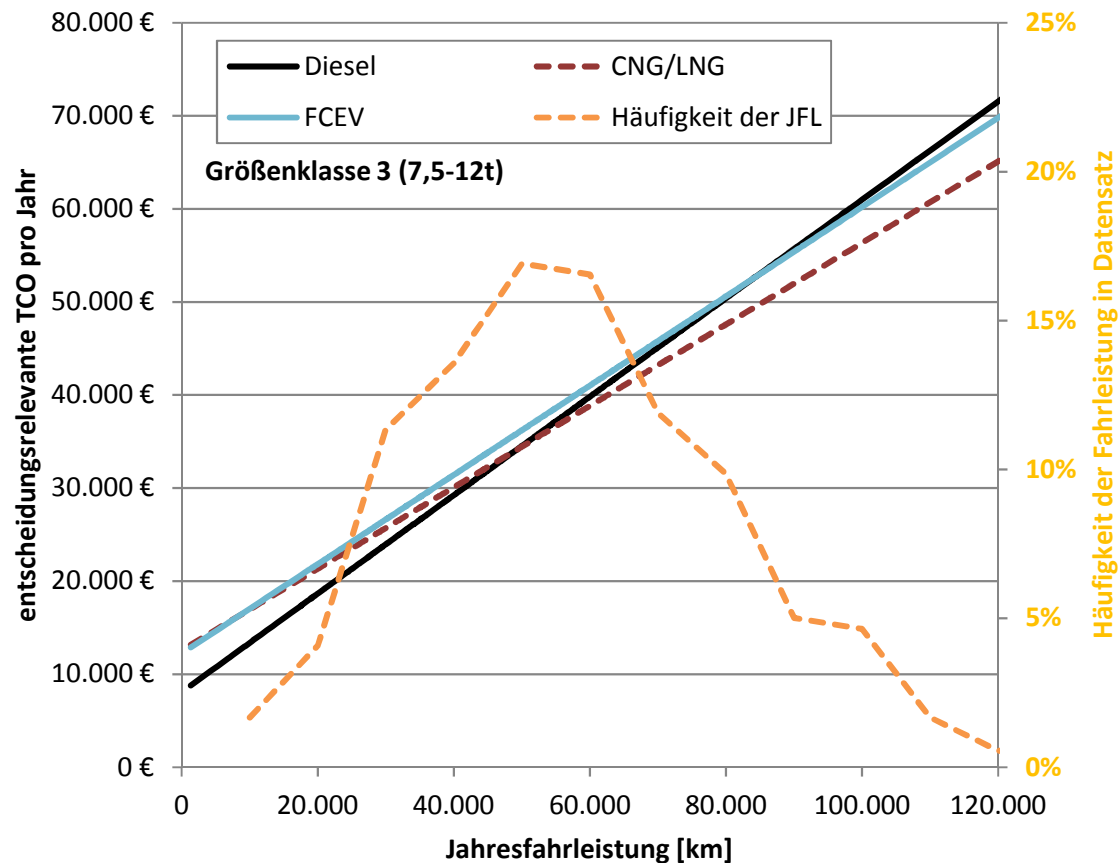
- FCEV ist unter den getroffenen Annahmen immer teurer als Diesel oder Gasfahrzeuge
- BEV für Fahrzeuge mit geringen Reichweiten
- Hauptkraftstoff bleibt Diesel



SZM

- Keine Brennstoffzellenfahrzeuge, da Investitionen im Vergleich zu Gasfahrzeugen zu groß
- HO-Lkw als zusätzliche Konkurrenz

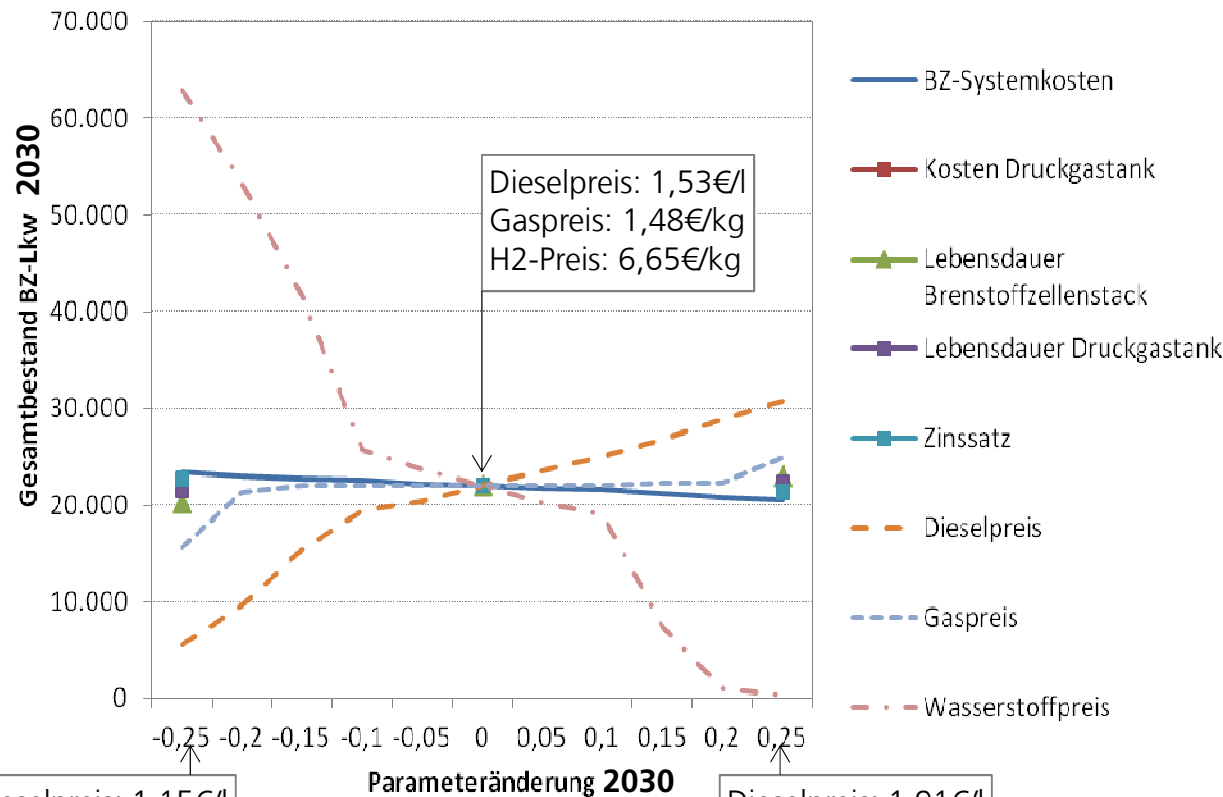
Vollkostenrechnung zeigt die Energiepreis-Abhängigkeit des FCEV-Marktpotenzials.



- (Entscheidungsrelevante) Laufende Kosten ab bereits ab 20.000 km Jahresfahrleistung (GK3) mit höherem Gewicht als Investition
- Kein Schnittpunkt mit FCEV und Gasfahrzeuge unter den getroffenen Annahmen
- **Gasfahrzeuge sind die relevante Konkurrenztechnologie für FCEV**

Alle Annahmen für 2030.

Die Potenziale von FCEV 2030 sind sehr stark von den laufenden Kosten abhängig.



Wichtige Ergebnisse

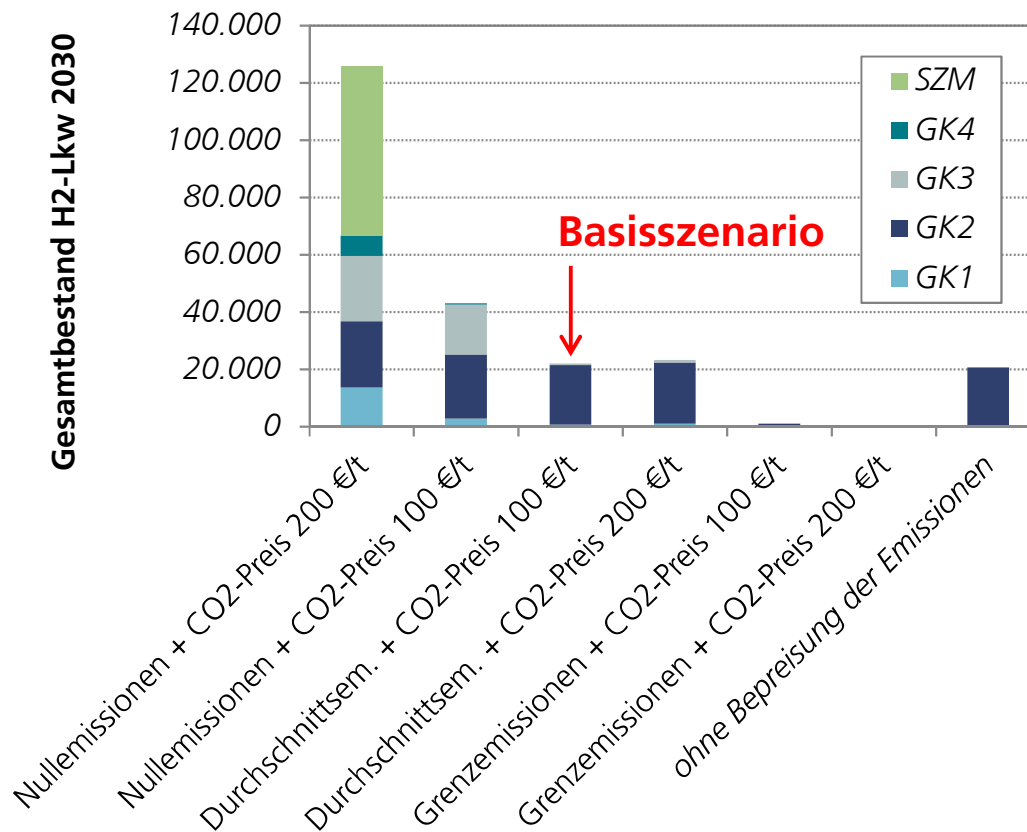
- Preise der Kraftstoffe sind entscheidend für den Markterfolg der Fahrzeuge (Dieselpreis und H2-Preis)
- Investitionen der Fahrzeuge spielen keine große Rolle (selbst mehrmaliger Ersatz der Brennstoffzellen ist kein Problem)

Dieselpreis: 1,15€/l
Gaspreis: 1,11€/kg
H2-Preis: 5,00€/kg

Dieselpreis: 1,91€/l
Gaspreis: 1,85€/kg
H2-Preis: 8,31€/kg

Weitere Parameterwerte 2030 (ohne Änderung): BZ-Systemkosten 80€/kW; Kosten Druckgastank 14€/kWh; Lebensdauer BZ-Stack 400.000km; Lebensdauer Druckgastank 483.000km; Zinssatz 5%

Der Einbezug der Kosten für Emissionen und ihre Einrechnung spielen eine wichtige Rolle.



- Wenn FCEV und BEV mit „null“ Emissionen bewertet werden, ist das Potenzial für FCEV deutlich größer.
- Bei einer Betrachtung der Durchschnittsemissionen sind die Potenziale unabhängig von CO2-Preis (auch ohne CO2-Preis)
- Bei der Bewertung mit Grenzemissionen* ist das Potenzial von FCEV kaum vorhanden (Umwandlungsverluste)

*Grenzemissionen sind die Emissionen, die bei Zuschaltung eines zusätzlichen Kraftwerks zur Deckung der Nachfrage entstehen, dem sogenannten Grenzkraftwerk. Durchschnittsemissionen 2030: 0,192t CO₂/MWh; Grenzemissionen 2030: 0,448t CO₂/MWh; Werte beruhen auf eigenen Simulationen.

Zusammenfassung der Marktpotenziale für Brennstoffzellen-Lkw

- FCEV mit **Marktpotenzialen eher in kleinen Größenklassen**, aber verschiedene Technologien stellen Konkurrenz dar:
 - **Gasfahrzeuge sind Konkurrenz** in allen Größenklassen (niedrigere Investitionen, aber meist höhere Verbrauchskosten).
 - In den **kleinen Größenklassen** sind **zudem BEV** eine Konkurrenztechnologie.
 - In GK4 und GK5 sind HO-Lkw eine alternative Technologie.
- **Marktanteile für BZ-Lkw** liegen bei **1-3% im Bestand 2030** und können durch das Verdrängen anderer Technologien größer sein.
- **Nichtberücksichtigung der Emissionen** führt zu **keiner signifikanten Veränderung**, aber bei Bewertung mit Nullemissionen oder Grenzemissionen ändern sich die Potenziale.
- **Marktanteile** sind weniger durch technische Parameter als **durch Konkurrenztechnologien und Energiepreise determiniert**.

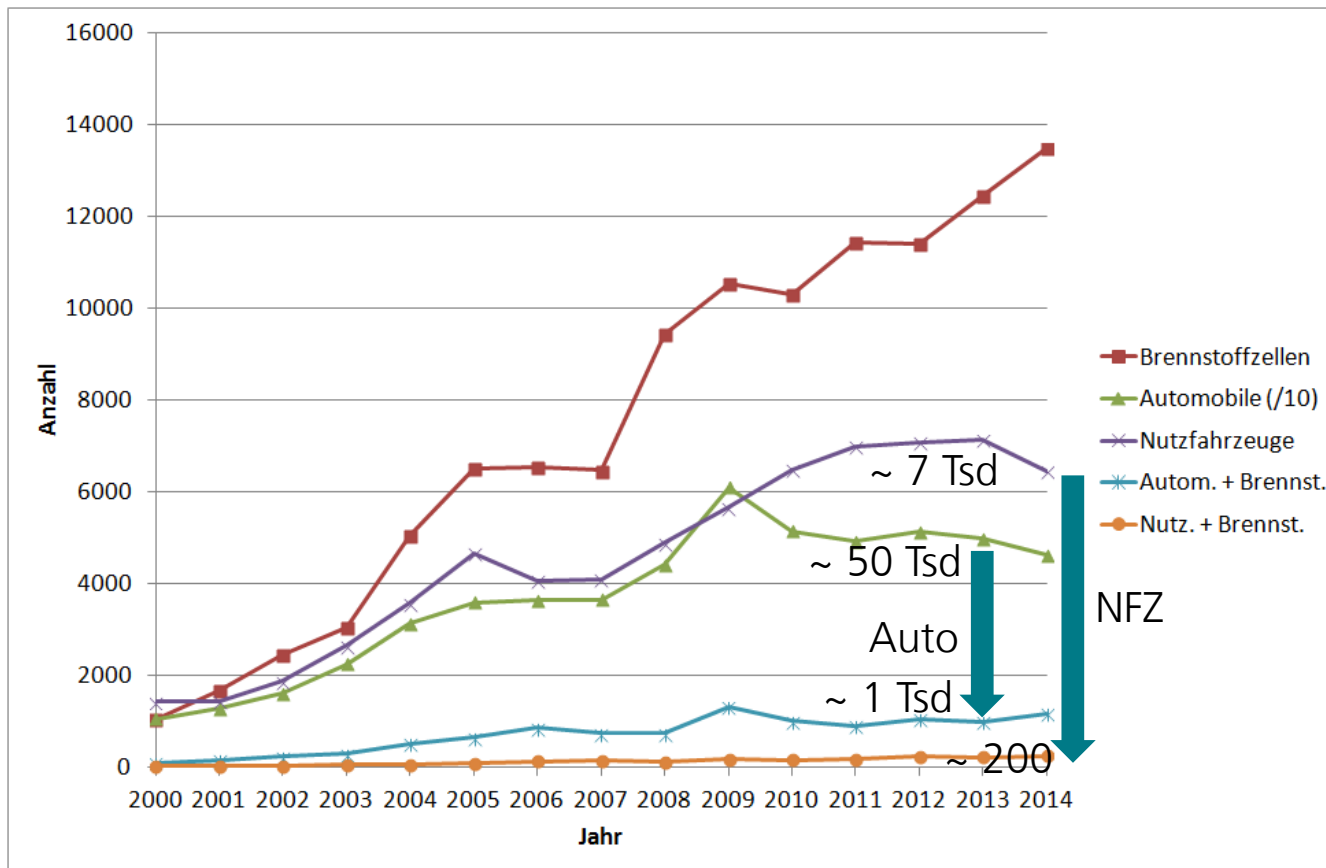
Agenda

1. Einführung in die wissenschaftliche Untersuchung
2. Schwerpunktthema 1: Marktpotenzial für Brennstoffzellen-Lkw
- 3. Schwerpunktthema 2: Stand der Forschung und Entwicklung**
4. Schwerpunktthema 3: Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen für die Politik

Nationaler und internationaler Stand der FuE bei Brennstoffzellen (BZ)-LKW - Vorgehen

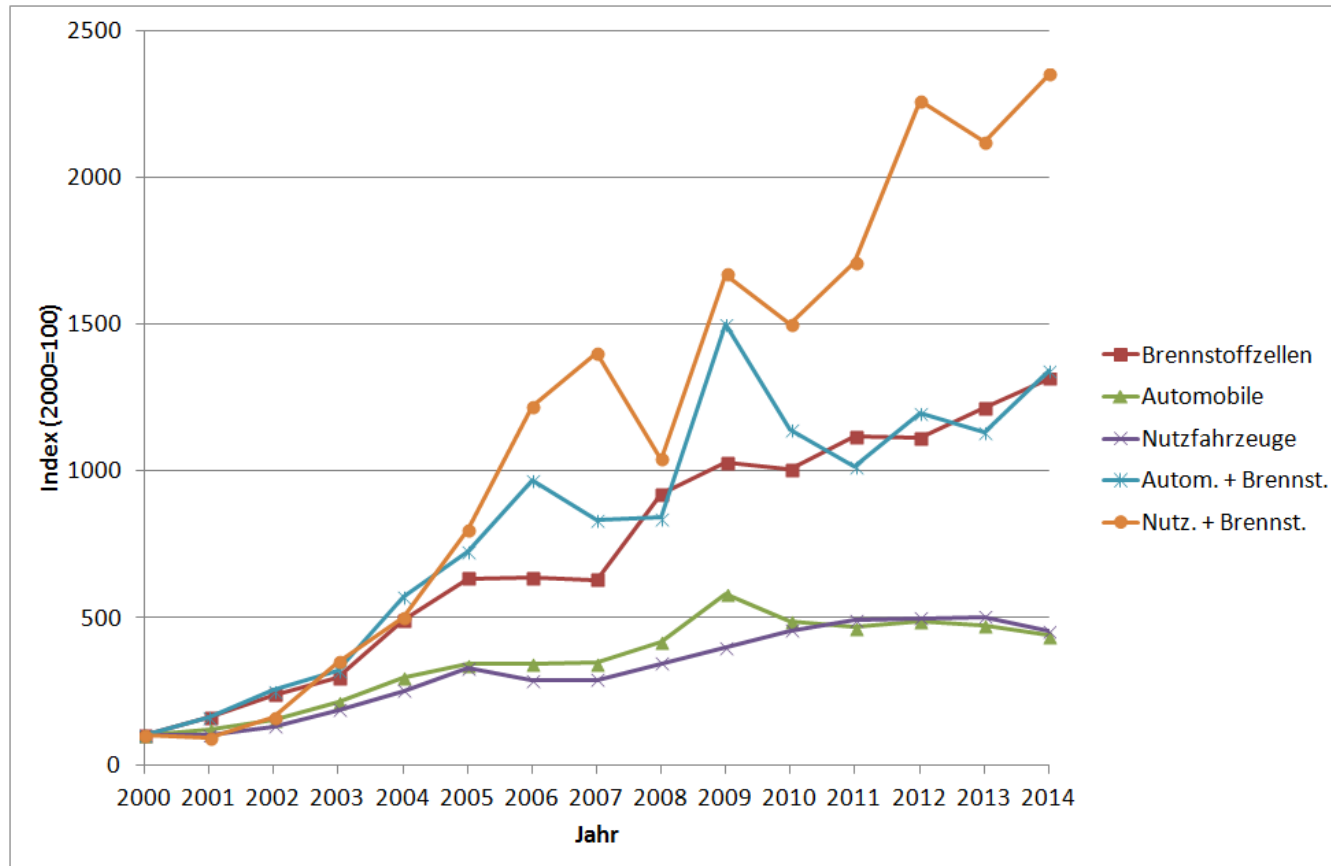
- ✓ **Publikationsanalysen**
 - Suchstrategien für Brennstoffzellen, Automotive, Nutzfahrzeuge, LKW, Busse
 - Datenbank COMPENDEX, da stärker Schwerpunkt auf Ingenieurwissenschaften
- ✓ **Patentanalysen**
 - Suchstrategien für Brennstoffzellen, Automotive, Nutzfahrzeuge, LKW, Busse
 - Datenbank WPI (World Patent Index), da für Stichwortsuchen geeignet
 - EP/PCT Anmeldungen für transnationale Vergleiche
- ✓ **Internationale Studien und Förderprogramme**
 - z.B. DOE/CEC/CARB (US); METI/NEDO (JP); NIP/NOW (DE); FPs, FCHJU, etc. (EU)
 - Plausibilisierung der Ergebnisse der Publikations- und Patentanalysen
 - Identifikation internationaler Experten für Interviews
- ✓ **Experteninterviews (Ergebnisvalidierung, Ergänzung und „FuE-Gap-Analyse“)**
 - Bestätigung vorheriger Ergebnisse und Vertiefungsfragen zum Stand der FuE

Publikationen im Bereich BZ-Fahrzeuge: ~2% BZ-Auto zu Autos; ~3% BZ-NFZ zu NFZ



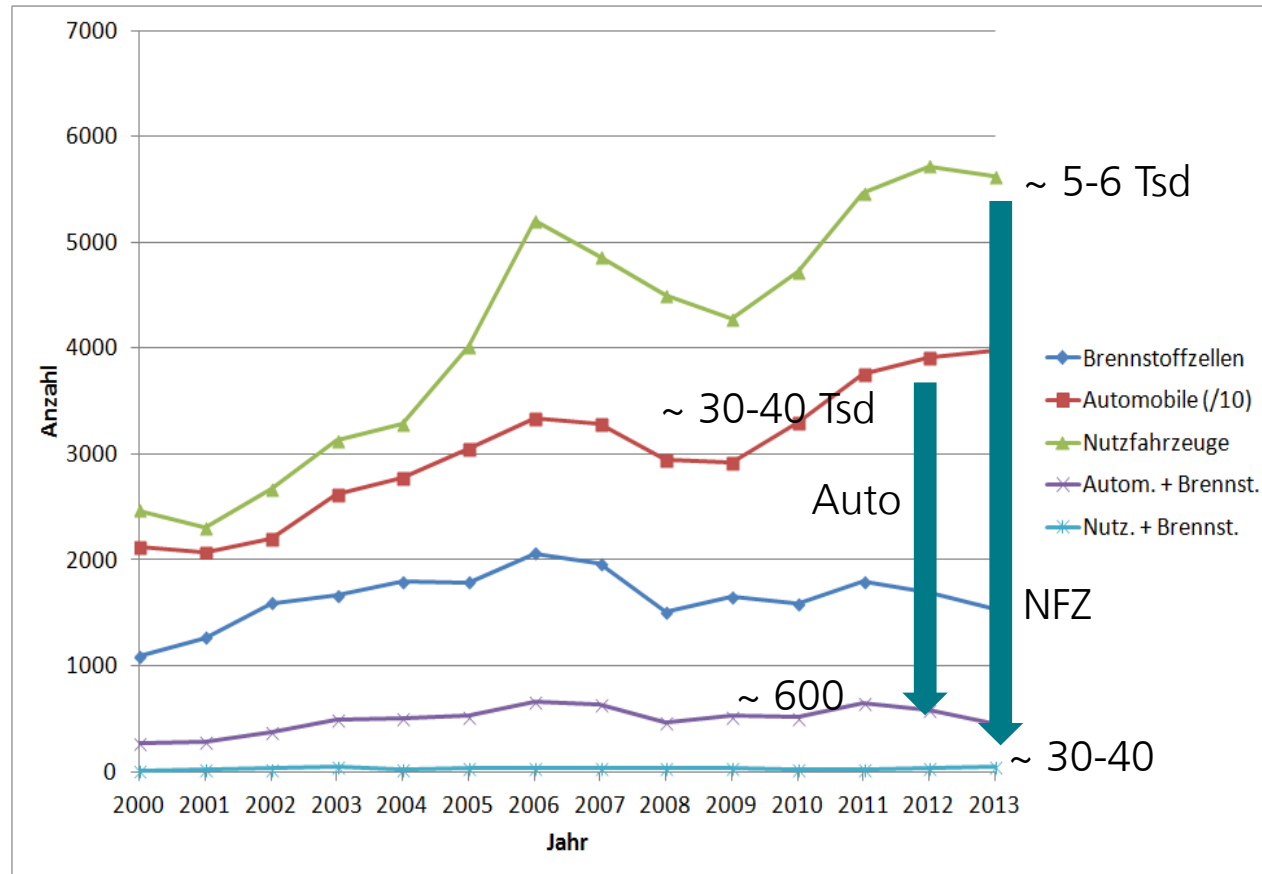
- Zahl der neuen Publikationen zu Brennstoffzellen nimmt stetig zu
- Publikationen zu Nutzfahrzeugen und Automobil (insgesamt) stagnieren
- Zu Nutzfahrzeugen und Brennstoffzellen gibt es deutlich weniger Publikationen (aber: hohes Wachstum → siehe nächste Folie)

Publikationsdynamik normiert auf das Jahr 2000 – höchste Dynamik bei BZ-NFZ



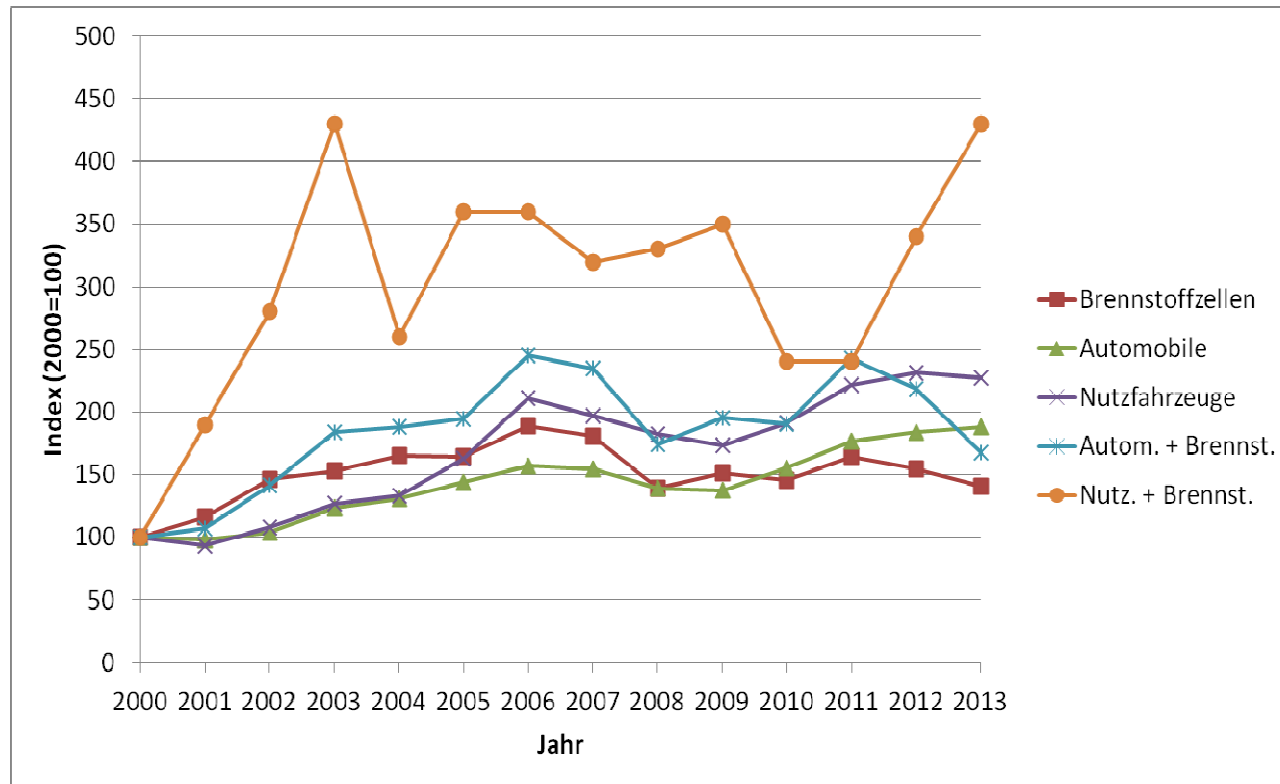
- Die Wachstumsraten bei BZ-NFZ sind sehr groß (aber niedriges Anfangsniveau)
- Das Wachstum bei BZ und BZ-Autos ist stark ausgeprägt
- Stagnation hingegen bei Publikationen im Bereich Automobil und Nutzfahrzeuge (gesamt), was auf die hohe Reife des „klassischen“ Sektors hinweist

Transnationale Patente zu BZ-Fahrzeugen: ~ 1-2 % BZ-Auto zu Auto; <1 % BZ-NFZ zu NFZ



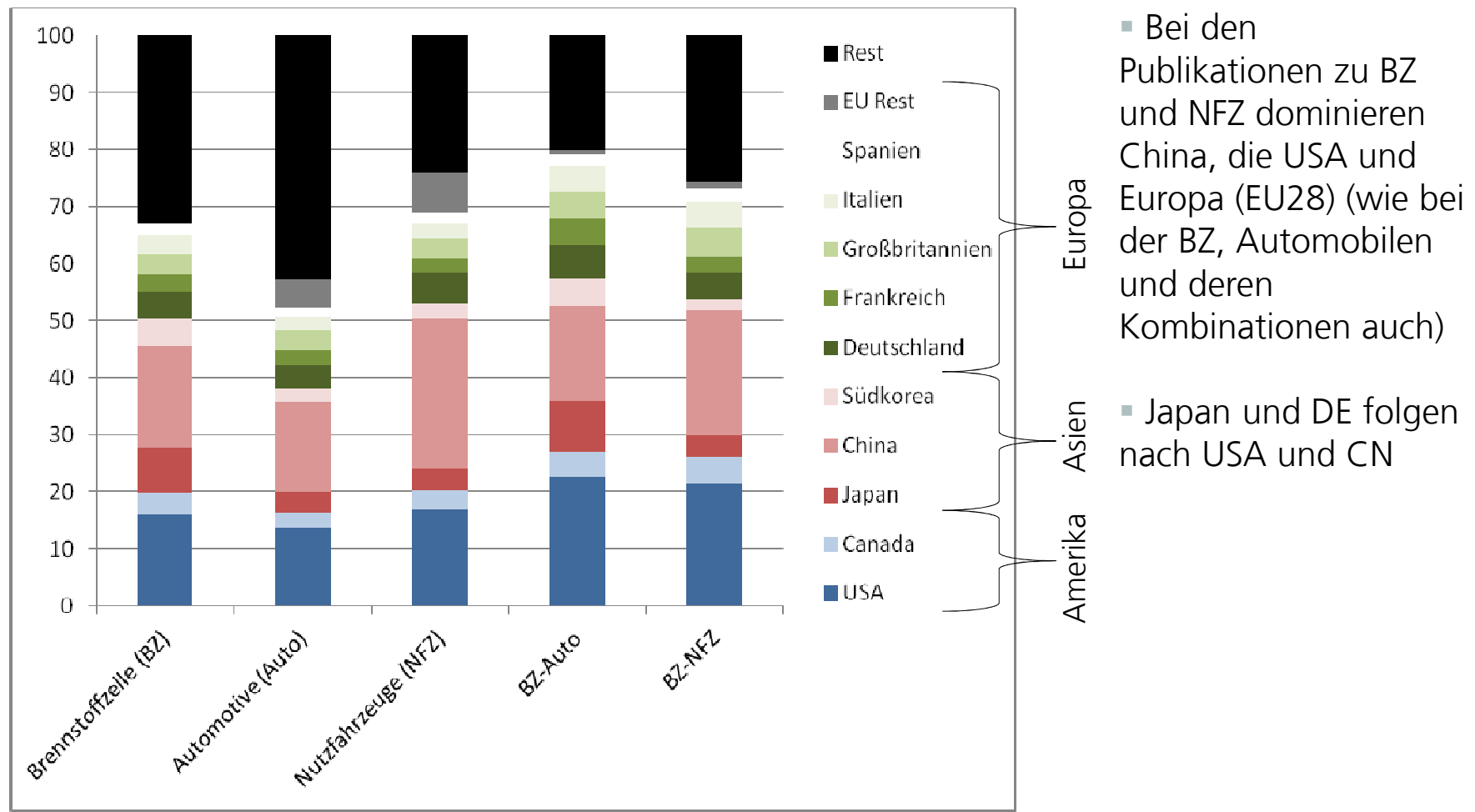
- Bei den Patentanmeldungen gibt es für NFZ und Automobil ein Wachstum in den letzten Jahren
- Leichter Rückgang für BZ nach 2005
- deutlich weniger Anmeldungen zu BZ-NFZ

Patentdynamik normiert auf das Jahr 2000 – höchste Dynamik bei BZ-NFZ

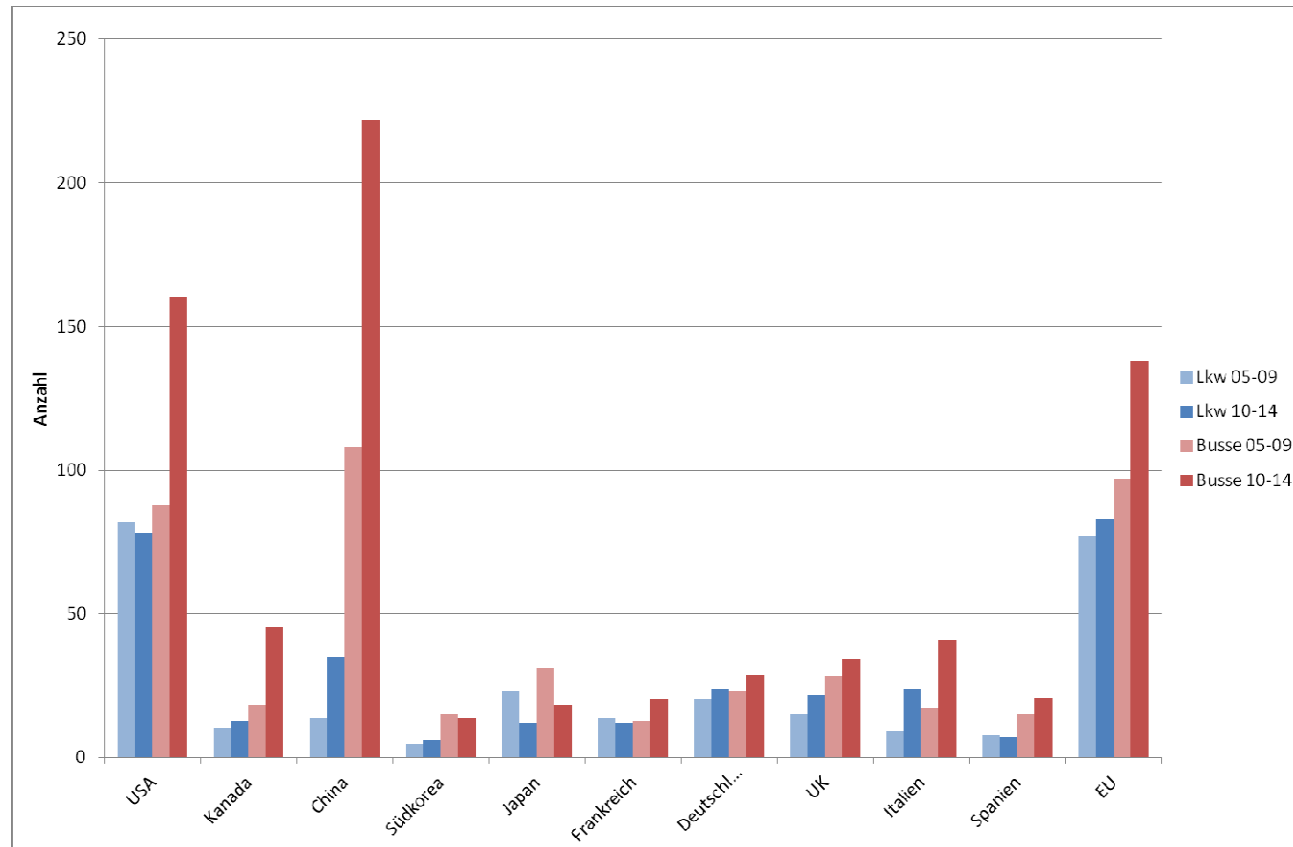


- Starke Dynamik bei BZ-NFZ zu erkennen, aber niedriges Anfangsniveau
- ca. Verdopplung der Patentanmeldungen in den anderen Bereichen

Publikationsverteilung (letzte 10 J.) nach Ländern: USA und China sind Hauptakteure

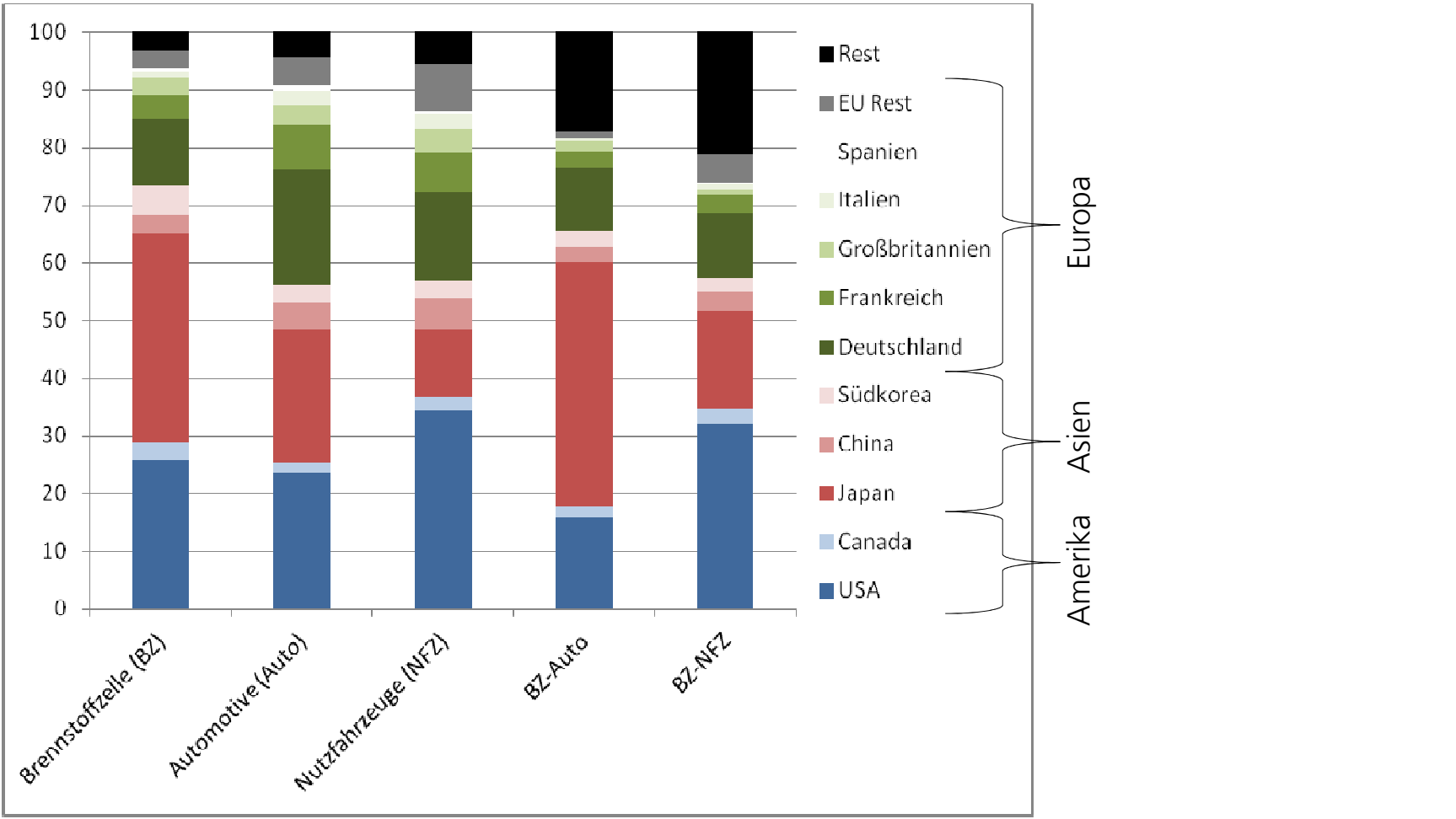


Publikationen & Dynamik ausgew. Länder zu BZ für LKWs (→ USA) und Busse (→ CN)

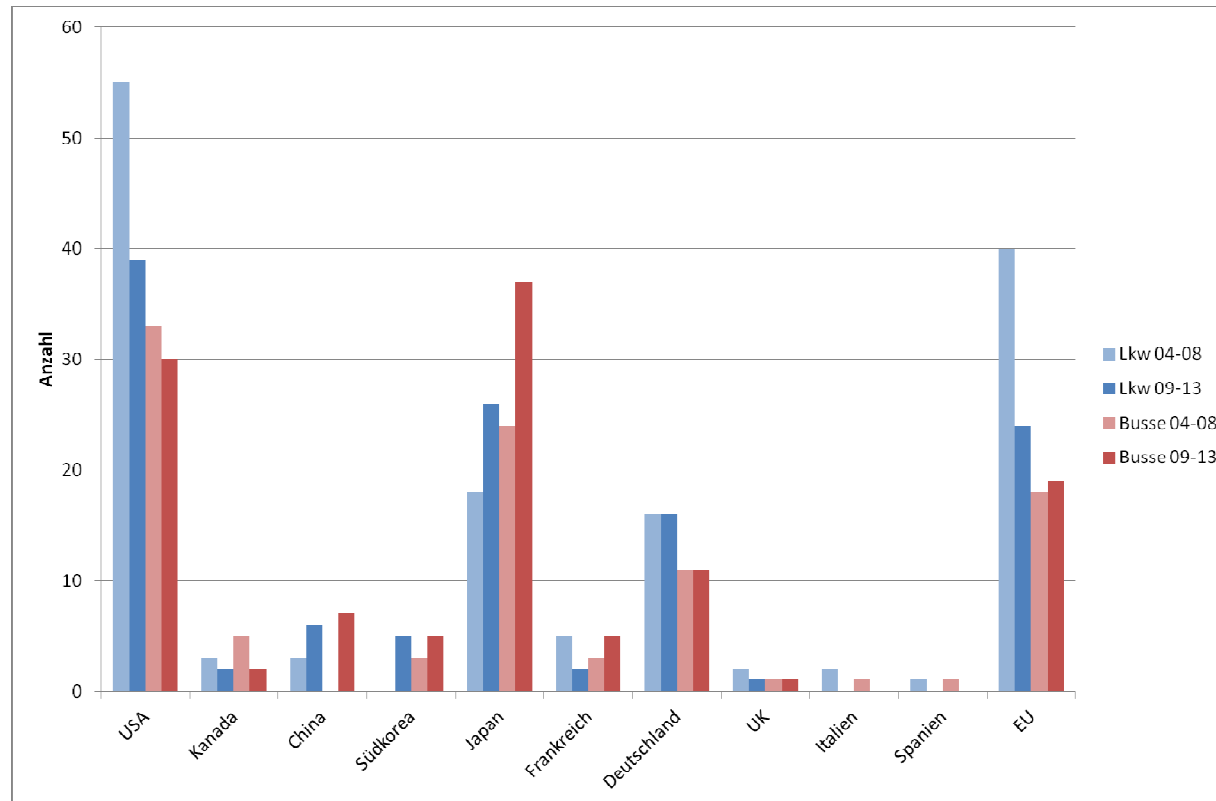


- Vor allem in China, der EU(28) und den USA wird am stärksten zu BZ-NFZ publiziert
- Insbesondere BZ-Busse sind in den letzten Jahren deutlich Gegenstand der FuE (v.a. in China)
- Bei den BZ-LKW publizieren die USA und EU28 am stärksten

Patentverteilung (letzte 10 J.) nach Ländern: USA, JP und DE sind Hauptakteure



Patentanmeldungen & Dynamik ausgew. Länder BZ für LKWs und Busse



- Vor allem USA, JP und DE dominieren die Patentanmeldungen zu FC-Bussen und LKW
- JP stark in der Technologieentwicklung
- CN stark in Publikationen, muss diese aber auf Weltpatente (transnational) erst übertragen
- DE führend in EU
- Dynamik: USA verliert, JP gewinnt an Dynamik, DE hält Niveau

Fazit aus Publikations- und Patentanalysen

- **USA** und **CN** dominieren die Entwicklungen bzgl. **Publikationen**
 - **USA, JP, DE** sind Hauptanmelder von transnationalen **Patenten** (CN → stark national, Patente folgen aber)
 - BZ-Auto Publikationen und Patente zeigen Höhepunkte eher vor 5-10 Jahren (2005-2010) und sind aktuell weniger dynamisch bzw. stagnieren.
 - BZ-NFZ Publikationen und Patente zeigen gerade in den letzten Jahren (nach 2010/2011) eine hohe Dynamik (besonders auf BZ-Busse zurückzuführen) und könnten in den kommenden Jahren einen Höhepunkt wie BZ-Autos (gemessen an FuE) erleben
 - FuE Stand zu **BZ-LKW/Bussen** scheint also dem zu BZ-Autos **10-15 Jahre später zu folgen**
 - **Synergieeffekte nutzbar**
- Inhaltliche Analysen** („Author Keywords“)
- Themen: Energie-/Kosten-/Verbrauchsoptimierung, Engineering/Design/System/Power Train, APU/ PEM/ LIB/Hybrid, Capacitors, etc.
 - Akteure (Patente): Daimler, Nissan, Hyundai, Toyota, BASF, Sanyo, etc.
 - Publikations- und Patentzahlen zu gering für weitergehende quantitative Analysen

Bislang nur wenige Förderprojekte zu BZ-LKW in DE/EU (USA bisher am fokussiertesten)

Projekte innerhalb der EU (Beispiele)	Land/ Projektende	Schwerpunkte
Brennstoffzellensystem als Antrieb für Rotopress- Müllfahrzeug	DEFörderkennz. 03BS212B-D) (unter NIP/ 2013	Entwicklung eines Brennstoffzellen-Hybrid-Entsorgungsfahrzeugs mit deutlich reduzierten Lärm- und Abgasemissionen
REX - Brennstoffzellen Range Extender für Nutzfahrzeuge	DE (Förderkennz. 03BS107) unter NIP/ 2014	Entwicklung und Betriebsbegleitung eines BZ-Range Extender-Systems für elektrisch angetriebene Nutzfahrzeuge als konzeptionelle, modulare Lösung für unterschiedliche Plattformen bzw. Anwendungsbereiche
H2 Intradrive - Einsatz von H ₂ -betr. Flurförderzeugen in der Intralogistik unter Produktionsbed.	DE (Förderkennz. 03BS112A-C) unter NIP/ 2016	Umweltfreundlichen und effizienten Wasserstoffantrieb für Flurförderzeuge unter realen Produktionsbedingungen erproben und zur Serienreife weiterzuentwickeln
Sustainable Hydrogen Evaluation in Logistics	EU (ProjektNr. 256837, gefördert unter FP7-JTI)/ 2014	Demonstration der Marktreife von zehn BZ-Gabelstaplern mit der dazugehörigen Wasserstoff-Ladeinfrastruktur an vier Logistik-Standorten in Europa als Alternative zu Blei-Säure-Batterien oder Verbrennungsmotoren
Fuel Cell Based Power Generation	EU (ProjektNr. 277844, gefördert unter FP7-JTI)/ 2015	Proof-of-concept sowie Labordemonstration einer BZ-basierten LKW-Hilfsstromeinheit (engl. „auxiliary power unit“, APU) mit Protonenaustauschmembran-BZ (engl. „proton exchange membrane fuel cell“, PEM-FC)
Demonstration of 1st European SOFC Truck APU	EU (ProjektNr. 278899, gefördert unter FP7-JTI)/ 2015	Demonstration der allerersten europäischen LKW-APU auf Basis einer Festoxid-BZ (engl. "solid oxide fuel cell", SOFC)
Sofc Apu For Auxiliary Road-truck Installations	EU (ProjektNr. 325323, gefördert unter FP7-JTI)/ 2016	Entwurf, Optimierung und Einbau/Integration von fünf SOFC-Stacks in zwei mit Flüssigerdgas (engl. „liquefied natural gas“, LNG) betriebene LKW-Plattformen als APU
Large scale demonstration of substitution of battery electric forklifts by hydrogen fuel cell forklifts in logistics warehouses	EU (ProjektNr. 325381, gefördert unter FP7-JTI)/ 2017	Demonstration von Wettbewerbsfähigkeit, technischer Reife und Kundenakzeptanz BZ-Gabelstaplern als Alternative zu Batterie-betriebenen Gabelstaplern in der Warenhauslogistik
LKW mit BZ-Batterie-Hybridsystem: Maxity Elektro 4,5 Tonnen	FR (La Poste, Renault Trucks / 2016	Einjähriger Test zur Verlängerung der Reichweite von ZEV-Fahrzeugen und Begünstigung der Entstehung eines französischen Wasserstoff-Transportsektors
Zero Emission Heavy Duty Drayage Truck Demonstration	South Coast AQMD (Project ID# VSS115)/ 2015	Entwicklung und Demonstration von vier verschiedenen ZEV-Umfuhr-LKW-Modellen im realen Kontext, Messung und Analyse ihrer Leistungsfähigkeit sowie Beschleunigung ihrer Verbreitung

* oftmals andere NFZ, oder LKW-APU, Demonstrationsprojekte

Länderergebnisse – USA

Zwei Interviews geführt



■ Politische Rahmenbedingungen

- Eine gezielte Förderung von BZ-LKW findet praktisch ausschließlich in Kalifornien (CA) statt: CA ist mit seinen Aktivitäten (auf Basis einer strengen ZEV-Gesetzgebung) als weltweit führend anzusehen.
- In CA sind besonders die California Energy Commission (CEC) sowie das California Air Resources Board (CARB) der California Environmental Protection Agency (CEPA) aktiv. Das CARB hat gerade erst im Oktober 2015 den Call zu "Zero-Emission Truck and Bus Pilot Commercial Deployment Projects" herausgegeben, welcher am 29. Januar 2016 mehr als 10-fach überzeichnet schloss.

■ Demonstrationsprojekte

- Einige Demonstrationsprojekte werden bereits durchgeführt, die häufigsten Anwendungen sind Umfuhr-LKW in Häfen, Gabelstapler, kleine Kurzstrecken-LKW für Speditions- und Logistikhöfe und Müllautos. Dazu kommen Logistik-Nischenanwendungen, um Diesel-Stromgeneratoren zu ersetzen.

■ FuE-Aktivitäten

- Die im Jahr 2014 angemeldete Insolvenz der Vision Industries Corporation, einem Unternehmen für Entwicklung und Vertrieb von BZ-LKW, gilt innerhalb Industriekreisen als abschreckendes Beispiel.
- Noch fehlt die grundsätzliche Selbstverpflichtung von potenziellen US-Herstellern zu BZ-LKW.

■ Offene Problemstellungen

- Demonstration emissionsfreier Elektromobilität mit BZ-LKW auf kurzen und regionalen Strecken.
- Die Etablierung einer für BZ-LKW kompatiblen Wasserstoff(lade)infrastruktur.

Länderergebnisse – Deutschland

Zwei Interviews geführt



■ Politische Rahmenbedingungen

- Förderung „schwerer“ BZ-Fahrzeuge bisher vor allem im „Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)“ (Laufzeit: 2007-2016) , Vorstellung einer umfassenden Wasserstoffstrategie mit Fortsetzung des „NIP II“ im April 2016 (Laufzeit: 2016-2018).
- Europ. Förderprogramme, zum Beispiel das “Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking” (FCHJU)*; “Trans-European Transport Network” (TEN-T) sowie “Connecting Europe Facility” (CEF)
- Förderung umfasst wie in den USA neben H₂-betrieb. Fahrzeugen für den Straßenverkehr (PKW und Flottenfahrzeuge, wie z.B. Busse – aber auch LKW) Anwend. der Logistik, Lagertechnik-Fahrzeuge (zum Beispiel Gabelstapler), aber auch Sonderfahrzeuge (zum Beispiel Servicefahrzeuge).

■ Demonstrationsprojekte

- Fachlich-inhaltliche Prüfung und Vorauswahl von Demonstrationsprojekten durch die NOW GmbH.

■ FuE-Aktivitäten

- Entwicklungsfokus auf BZ-Elektrofahrzeugen (FCEV), BZ-Bussen, erst dann auf Nutzfahrzeugflotten.
- Es besteht großes Potential, bestehendes Wissen von FCEV und BZ-Bussen in die FuE von BZ-LKW zu übertragen, dies wird bisher jedoch noch nicht wirklich ausgenutzt bzw. es ist nichts bekannt.

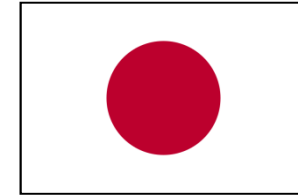
■ Offene Problemstellungen

- Es fehlt noch die industrielle Selbstverpflichtung, sich in der FuE von BZ-LKW zu engagieren.
- Die Etablierung einer für BZ-LKW kompatiblen Wasserstoff(lade)infrastruktur.

* aktueller Call im FCH2: Validation of fuel cell urban trucks and related infrastructures (3. Mai 2016)

Länderergebnisse – Japan

Austausch mit mehreren jap. Kontakten



■ Politische Rahmenbedingungen

- Die starke Selbstverpflichtung Japans zur FuE und Marktanwendung von Brennstoffzellen in der Elektromobilität (FCEV und BZ-Busse) ist noch nicht auf BZ-LKW ausgeweitet worden: Es gibt aktuell keine Förderprogramme und/oder Demonstrationsprojekte für BZ-LKW in Japan.
- Der Fokus liegt auf dem erfolgreichen Markthochlauf von FCEV. Die Olympiade (Tokio 2020) bzw. damit zusammenhängende Lieferverkehre könnten einen starken Treiber für BZ-LKW darstellen.

■ Demonstrationsprojekte

- Demonstrationsprojekte für BZ-Busse, Gabelstapler und einige Sonderfahrzeuge (zum Beispiel Müllverdichtungsfahrzeuge) werden durchgeführt (zum Beispiel „FCHV-BUS2 fuel cell hybrid bus at EXPO 2005 Aichi“), wobei auf Technologie/Erfahrung der Toyota Motor Corp. zurückgegriffen wird.

■ FuE-Aktivitäten

- Die Anstrengungen Japans in Bezug auf die BZ-Technologie sind direkt mit dem Ziel der japanischen Automobilindustrie verbunden, einen globalen Wettbewerbsvorsprung zu gewinnen. Mit der Toyota Motor Corp. befindet sich einer der weltweiten Pioniere für FCEV in Japan.
- Hino Motors Ltd. hat als Tochtergesellschaft der Toyota Group das größte Potential, bestehendes Wissen von FCEV und BZ-Bussen in die FuE von BZ-LKW zu übertragen.

■ Offene Problemstellungen

- Es fehlt noch das explizite politische und industrielle Engagement in der FuE von BZ-LKW.

Länderergebnisse – China

Austausch mit mehreren chin. Kontakten



- **Politische Rahmenbedingungen.**
 - Brennstoffzellen werden von der chinesischen Regierung als eine Schlüsseltechnologie innerhalb des „Energy Development Strategy Action Plan“ (Laufzeit: 2014-2020) angesehen und gefördert.
 - Mit BZ angetriebene Fahrzeuge werden bereits heute finanziell gefördert: Ein einzelner BZ-Bus und BZ-LKW wird dabei mit 500 000 RMB subventioniert, was etwa 68.000 Euro entspricht. BZ-Fahrzeuge aller Kategorien bleiben steuerfrei. Auch die Kraftstoffsubventionen für herkömmliche Busse werden gesenkt, damit mehr elektrische Busse auf die Straße kommen
 - Es ist noch kein Förderprogramm und/oder Demonstrationsprojekt für BZ-LKW in China vorhanden.
- **Demonstrationsprojekte**
 - Nach Demonstrationsprojekten im Rahmen der Olympiade (Peking 2008) und der Weltausstellung in Shanghai 2010 zeigt sich großes Engagement bei BZ-Bussen. Die Technologie wird allerdings auch weitgehend von außen eingekauft und in die im eigenen Land produzierten Fahrzeuge integriert.
- **FuE-Aktivitäten**
 - Einige LKW-Hersteller zeigen Interesse an BZ-LKW und sind anscheinend auch schon in der FuE aktiv. Die anvisierte Anwendung für die BZ-LKW sind auch hier Hafentransporte.
- **Offene Problemstellungen**
 - Weil die Kosten für die landesweite Einrichtung einer Wasserstoff(lade)infrastruktur als viel zu hoch gelten, liegt der Fokus ihrer Verbreitung eher auf städtischen Gebieten bzw. Metropolregionen.

Zusammenfassung: CN und USA (Ausnahme CA) hinken mit einer BZ-LKW Strategie hinterher; JP und DE hohes Entwicklungspotenzial (FuE, Projekte, Politik, Infrastr.)

Länder	Publikationen	Patente	Demonstrationsprojekte (zu BZ-LKW)	Politisches Interesse	Flächendeckende Infrastruktur
USA	+++ →	+++ ↘	Wenige	+ (in CA ++)	Schwierig
Korea	0	0 ↗	- (keine Konkreten)	0	Neutral
China	++ ↗	0 ↗	- (keine Konkreten)	0	Schwierig (Fokus Metropolen)
Japan	+ ↘	++ ↗	- (keine Konkreten)	0	Einfacher
Deutschland	++ →	++ →	Sehr wenige	+	Einfacher

Status quo ↑
Tendenz ↑

0 = keine(s) bzw. nicht sichtbar; + gering bzw. erkennbar; ++ vgl. hoch bzw. deutlich; +++ sehr stark

Forschungsstand von BZ-LKW (1)

Stand der Technik

- Mit welcher **Lebensdauer** der BZ ist je nach Gewichtskl. zu rechnen – gibt es Unterschiede?
 - Aktuelle Demoprojekte: je nach Anwendungsprofil und techn. Auslegung der BZ Unterschiede, **Lebensdauer** aber für getestete Anwend. **ausreichend eingeschätzt**
 - **Zuverlässigkeit** der BZ nach den Erfahrungen mit Demonstrationsprojekten von BZ-Bussen **sehr hoch** bzw. vorhandene Ausfallzeiten sehr gering
 - **Lebenslaufleistung** einer Bus-BZ ebenso wie Lebensdauer **vergleichbar mit** der von **Diesel**-Bussen (~ 800.000 km), daher prinzipiell Konkurrenzfähig. Diesel-betriebene Busse alle 12 Jahre ausgetauscht, scheint auch für BZ-Busse erreichbar (bzw. BZ laufen länger).
 - **BZ-Busse** bei Demoprojekten von beteiligten Betrieben **gut angenommen**. Jedoch zu früh, um Frage der Lebensdauer bzw. Reichweite auch für BZ-LKW abschl. zu beantw.
- Mit welchen **Fahrleistungen** der BZ ist demzufolge je nach Gewichtsklasse zu rechnen?
 - Zu leistende Fahrleistungen werden **von Gewichtsklasse zu Gewichtsklasse** abweichen und je nach Anwendungsfall auch **unterschiedlich hoch** ausfallen können: Sog. „Umfuhr-LKW“ z.B. kommen aus dem Fernverkehr, werden aber z.B. in Häfen für kürzere Strecken eingesetzt, wo sie ~ 300 km Fahrleistung pro Tag erbringen.
 - Bei **Anwendungsspezifizierung** können BZ-LKW daher konkurrenzfähig sein.

Forschungsstand von BZ-LKW (2)

Stand der Technik / FuE-Herausforderungen

- Ist die BZ für den LKW-Bereich je nach Gewichtsklasse problemlos **skalierbar** bis 350 kW?
 - An 350 kW-BZ wird nach Expertenaussagen noch nicht gearbeitet. Sog. „Umfuhr-LKW“ arbeiten mit 150 kW, wobei die Leistung nicht als alleiniges Merkmal ausreichend für die Charakterisierung ist. – Prinzipiell 350 kW-BZ denkbar, wenn LKW das Gewicht von BZ-System und Wasserstofftank tragen sowie **Volumen** des BZ-Systems im LKW integrieren kann, ohne zu viel Ladekapazität einzubüßen. Faktor des Modells (Hybride vs. Range extender) kommt hinzu. Höchstgrenze vermutlich 200 bis 240 kW sowie Kombination mit Batterie bzw. Auslegung innerhalb BZ-Batterie-Hybridsystem
- Was sind die größten **FuE-Herausforderungen** (an der BZ-Technologie) für BZ-LKW?
 - Herausforderung nicht in der BZ an sich, sondern der Speicherung von ausreichenden Mengen Wasserstoff. **Volumen des H2-Tanks** unterscheidet sich je nach Gewichtsklasse des Fahrzeugs bzw. des Anwendungsfalls (für große LKW problematischer).
 - Bestehende Herausforderungen für BZ-LKW heute hauptsächlich nicht-techn. Natur (Stichwort: **Wasserstoff(lade)infrastruktur**), viele techn. Probleme in FCEV bereits gelöst. Größte Herausforderung für BZ-PKW in **Kostenzielen** (damit: Skaleneffekte).
 - **Integration** von BZ aus FCEV und BZ-Bussen in BZ-LKW **für spez. Anwendungen**

Agenda

1. Einführung in die wissenschaftliche Untersuchung
2. Schwerpunktthema 1: Marktpotenzial für Brennstoffzellen-Lkw
3. Schwerpunktthema 2: Stand der Forschung und Entwicklung
- 4. Schwerpunktthema 3: Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen für die Politik**

Vorgehen zur Ableitung des FuE-Bedarfs für Brennstoffzellen-Lkw

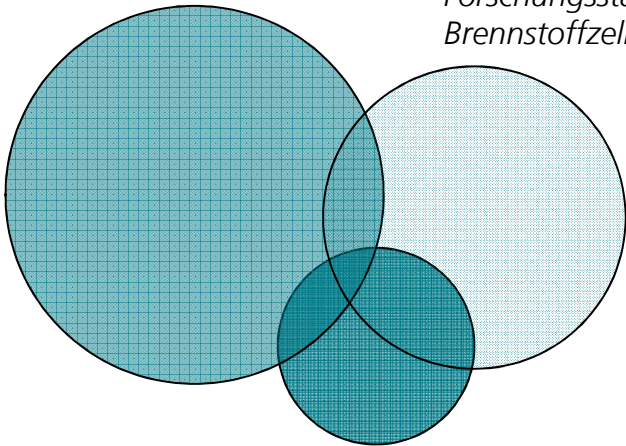
Aktueller Stand der Forschung



Anwendungsanforderungen

Forschungsstand
Brennstoffzelle bei Pkw

Forschungsstand
Brennstoffzelle bei Bussen



Forschungsstand
Brennstoffzelle bei Lkw

Lkw-spezifische Anforderungen
an die Brennstoffzelle

Marktpotentiale für
Brennstoffzellen-Lkw

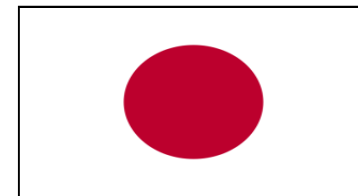
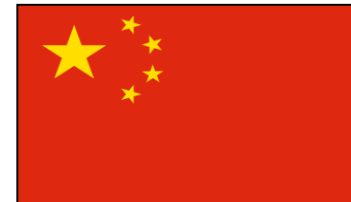
FuE-Bedarf für Brennstoffzellen-Lkw

Agenda

1. Einführung in die wissenschaftliche Untersuchung
2. Schwerpunktthema 1: Marktpotenzial für Brennstoffzellen-Lkw
3. Schwerpunktthema 2: Stand der Forschung und Entwicklung
- 4. Schwerpunktthema 3: Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen für die Politik**
 - 1. Hintergrund und Synergieeffekte aus dem Pkw-Bereich**
 2. Spezielle Anforderungen für den Brennstoffzelleneinsatz bei Lkw
 3. Der FuE-Bedarf für Brennstoffzellen-Lkw

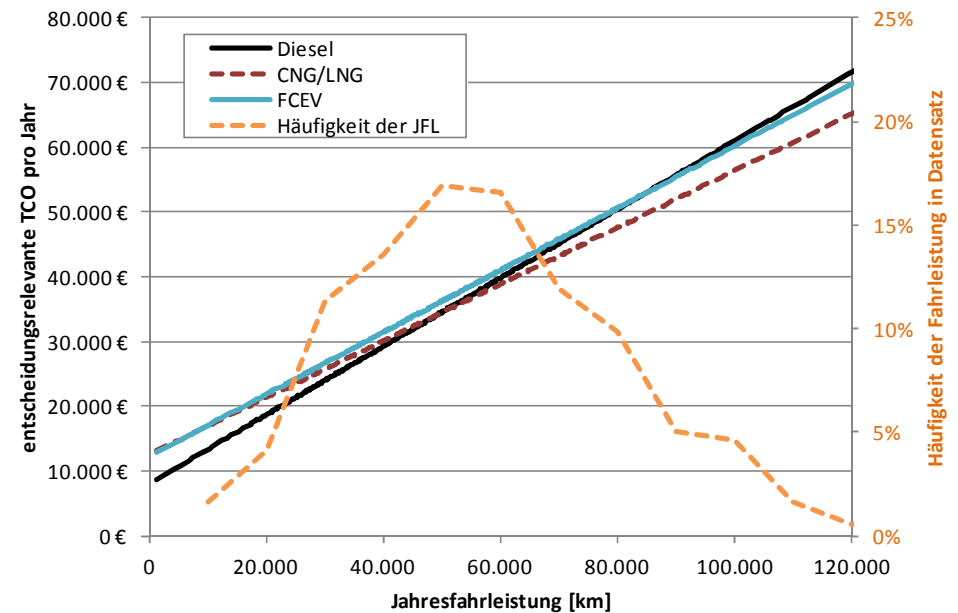
Status-Quo weltweite Forschungsaktivitäten bei BZ- Lkw

- Die Anzahl der **Publikationen** und der **Patentanmeldungen** ist ein Indikator für die **FuE-Aktivitäten bei BZ-Lkw**
- Neben **USA** und **Deutschland** nehmen **Japan** und **China** eine führende Rolle ein
- **Demoprojekte aber Stagnation** der Indikatoren in **Deutschland** und **USA**
- **Anstieg** von Patentanmeldungen und Publikationen **in China** (und Japan)
- **Forschungsstand** bei BZ-Lkw heute **vergleichbar** mit Forschungsstand bei **BZ-Pkw vor 10 bis 15 Jahren** (bezogen auf Antrieb incl. Elektrifizierung)
- Wichtiger Impulsgeber für Lkw: **BZ-Stadtbus-Forschung**



Marktpotential von BZ-Lkw abhängig von der Konkurrenz durch andere Antriebe und den gesetzlichen Rahmenbedingungen

- **Marktpotential** basierend auf TCO-Modell von BZ-Lkw bis **2030 etwa 2 – 3%** der Lkw mit **zGG. unter 12t**
- Bei **Lkw über 12t zGG.** hohe TCO-Lücken und Nutzlast- / Nutzvolumenverluste, daher derzeit kein Marktpotential
- **Starke Konkurrenz** durch alternative **Antriebstechnologien** (besonders CNG/LNG aber auch HO-Lkw) durch ähnlich hohe TCO
- **Marktpotential** maßgeblich abhängig von **zukünftiger Besteuerung** der Kraftstoffe (CNG, H₂) → CO₂ – Problematik von CNG/LNG
- **Game Changer im Verteiler-Verkehr: Luftschadstoff-Problematik** und eventuelle Einfahrverbote in Verdichtungsräume für konventionelle Lkw



Forschungsschwerpunkte bei BZ- Pkw und BZ-Bussen → Synergien für Lkw

Forschungsthemen bei BZ-Pkw und BZ-Bussen mit Relevanz für Lkw:

- 1. Kaltstartfähigkeit** – Störungsfreier Betrieb der BZ bei allen Temperaturen
- 2. Lebensdauer** – Ziel: BZ-Lebensdauer = Nutzungsdauer Fahrzeug
- 3. Produktionskosten** – Absenkung der Produktionskosten zur Senkung der Kaufpreise
- 4. Volumen Brennstoffzelle** – Verringerung Platzbedarf im Fahrzeug
- 5. Standardisierung** - Sauberkeit des Kraftstoffs, Messung der Sauberkeit
- 6. Sicherheitsanforderungen** – Sicherheit bei Unfällen, Betankung,...
- 7. Akzeptanz** – Erhöhung Nutzerakzeptanz für alternative Antriebe

 **Die Mehrzahl der Forschungsaktivitäten auch für Lkw relevant
→ Synergieeffekte nutzen**

Agenda

1. Einführung in die wissenschaftliche Untersuchung
2. Schwerpunktthema 1: Marktpotenzial für Brennstoffzellen-Lkw
3. Schwerpunktthema 2: Stand der Forschung und Entwicklung
- 4. Schwerpunktthema 3: Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen für die Politik**
 1. Hintergrund und Synergieeffekte aus dem Pkw-Bereich
 - 2. Spezielle Anforderungen für den Brennstoffzelleneinsatz bei Lkw**
 3. Der FuE-Bedarf für Brennstoffzellen-Lkw

Spezielle Anforderungen für den Brennstoffzelleneinsatz in Lkw

Die Anforderungen im Pkw Bereich unterscheiden sich von denen im Lkw-Bereich:
Lkw fahren mehr als Pkw, tanken an anderen Orten und dürfen kaum ausfallen.



Erweiterte Anforderungen an BZ-Lkw (gilt für alle Lkw-Größenklassen):

- Hohe **Wirkungsgrade** zur Reduktion der variablen Kosten
- Auf den Bedarf der Lkw abgestimmte **Tankstelleninfrastruktur**
- Höhere Anforderungen an die **Zuverlässigkeit des Fahrzeuges** (= Produktionsmittel) und der **Tankstellenverfügbarkeit**

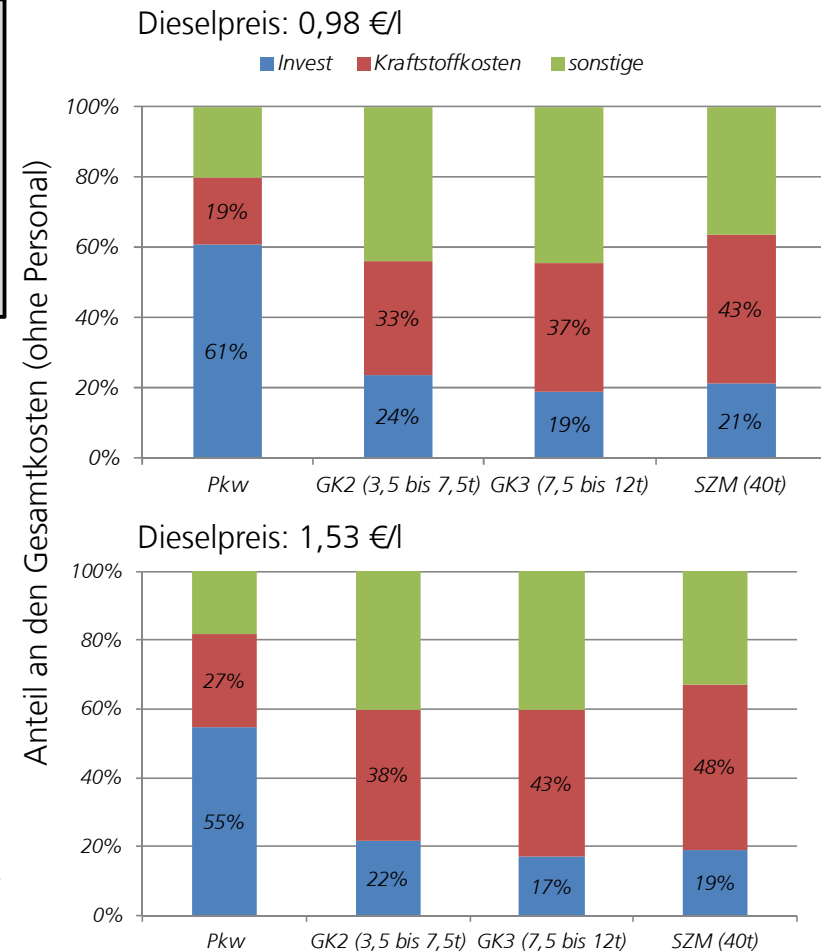
Wirkungsgradverbesserungen beeinflussen die TCO der Lkw stark

Vergleich TCO Pkw versus Lkw:

- **Invest** bei Lkw etwa 2- bis 3-mal höher
- **Kraftstoffverbrauch** etwa 3 bis 4,5-mal höher
- **JFL** etwa 4 bis 8-mal höher



- Anteil variable Kosten bei Lkw deutlich höher → **Wirkungsgradverbesserungen beeinflussen Gesamtkosten deutlich stärker als beim Pkw**
- **Hoher Wirkungsgrade** im Fernverkehr bei Betrieb der **Dieselantriebe im „optimalen Bereich“**
- Wirkungsgrad bei **BZ-Antrieben** derzeit etwa **45 bis 59%** (TTW)
- **Theoretisches Potential** liegt höher → Wie viel ist davon noch realisierbar?



Quellen: Gnann (2015) sowie Modellergebnisse;

JFL:

Pkw: 15.000km/a;

GK2: 35.000km/a;

GK3: 55.000km/a; SZM: 114.000km/a

Pehnt und Höpfner (2009), Yokoyama, T. (2009)

Nutzungsdauer:

Pkw: 6 Jahre;

GK2: 12 Jahre;

GK3: 10 Jahre; SZM: 6 Jahre

© Fraunhofer ISI

Seite 55

Die Betankung der Lkw darf die Routenplanung nicht in größerem Maße beeinflussen

Vergleich Betankung Pkw/Bus versus Lkw:

- Pkw **tanken** in der Nähe von **Wohngebieten, in Innenstädten und an Autobahnen**; Busse bei den **Stadtwerken**
 - **Abgabemenge** bei Pkw **geringer** (etwa 5-10% der Menge bei Sattelzügen)
-
- Lkw-Tankstellen benötigen deutlich **höhere Kapazität / Durchsatz** (schnellerer Druckaufbau, Dimensionierung Kompressoren und Druckspeicher)
 - **Tankstellennetz** derzeit zu dünn (16 H₂-Tankstellen in D; 34 in Planung)
 - **Technische Verfügbarkeit der** Tankstellen derzeit **zu gering**
 - Tankstellenstandorte müssen in die **Routen- und Tourenplanung der Speditionen** integrierbar sein (Akzeptanz von Umwegen selbst bei Pkw-Nutzern gering)
 - Umgang mit dezentralen **Tankstellen auf Betriebsgeländen**
→ günstige, flexibel, dezentrale Kleinanlagen



Quelle: LBST (2016); H2-mobility (2016); Wietschel et al. (2009)

BZ-Lkw müssen genauso zuverlässig sein wie Diesel-Lkw

Vergleich Zuverlässigkeit Pkw versus Lkw:

- Lkw stellen für Transportdienstleister **Produktionsmittel** dar
→ **Maluszahlungen und Umsatzrückgang bei verminderter Einsatzfähigkeit**
- Ansprüche der Unternehmen bezüglich **Einhaltung von Anlieferfenstern** steigt → Maluszahlungen/Mehrkosten bei Nichteinhaltung
- **Zuverlässigkeit der Lieferungen** bei Transportdienstleistungen zunehmend **vertraglich festgelegt**
- Bei Fahrzeugausfällen muss daher **Ersatzfahrzeug** eingesetzt werden → Steigerung Fixkosten
- Laut Experten erreichen die Brennstoffzellen in Bussen und Pkw jedoch ähnliche **hohe Zuverlässigkeit** wie der Diesel-Antrieb (**Benchmark**)

 **Kein zusätzlicher FuE-Bedarf zur Pkw- und Bus-Forschung**

Spezielle Anforderungen für große Lkw mit zGG. über 12t

Die Anforderungen für große Lkw grenzen sich von den allgemeinen Anforderungen aller Lkw wie folgt ab:

Große Lkw fahren mehr als kleine Lkw, benötigen eine hohe Zuladungskapazität und mehr Motorleistung als kleine Lkw.



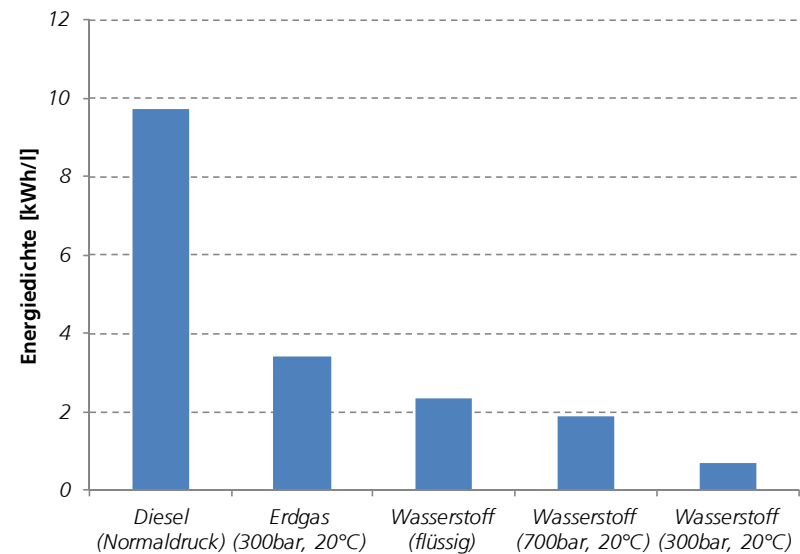
Spezielle Anforderungen an BZ-Lkw mit zGG. über 12t:

- Möglichkeit der Speicherung einer **großen Energiemenge im Tank**
- Skalierbarkeit von Brennstoffzellen / Hybridsysteme zur **Erhöhung der BZ-Leistung**
- **Akzeptanz** von möglichen Einschränkungen im Betrieb

Mobile Speicherung von Wasserstoff I: Energienmenge in den Tanks muss erhöht werden

- **Energiedichte [kWh/l]** von Wasserstoff im Vergleich zu sonstigen Kraftstoffen unter Normaldruck **sehr gering**
- Energiedichte kann durch folgende Maßnahmen erhöht werden:
 - **Druck erhöhen** (derzeit bis 700bar)
 - **Temperatur absenken** (→ Verflüssigung)
- **Drucktanks** mit gleicher Reichweite wie bei Diesel-Lkw nehmen etwa das **5-fache Volumen** ein (700bar) und **wiegen etwa das 3 bis 4-fache**
- Speicherung im **Fahrzeug** und **Tankinfrastruktur** müssen **einander entsprechen**

Energiedichte der Kraftstoffe:



Quelle: Auto-Presse (2011), Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR)

Mobile Speicherung von Wasserstoff II: Platzbedarf in den Fahrzeugen beschränkt

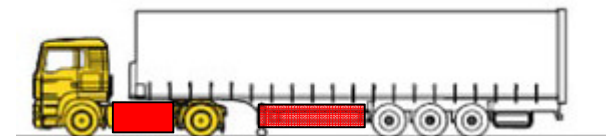
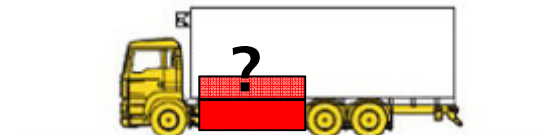
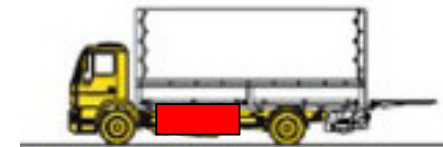
- Wasserstofftanks bei **Stadtbussen und Lkw bis 12t** bereits **erfolgreich im Einsatz**
- Verwendung von Tanks zu Speicherung von Wasserstoff in Fahrzeugen limitiert durch:
 - mangelnden **Platzbedarf** (Tank bei Bussen auf dem Dach)
 - Beschränkte **Achslast**
- Große Fahrzeuge** (im speziellen Sattelzüge) haben einen **hohen Verbrauch, erfordern eine hohe Reichweite**, haben aber durch geringe Achsabstände **wenig Raum zum Verbauen der Tanks**



- Erweiterter Tank** im Sattelanhänger, **Veränderte Auflieger/Wechselbrücken** → **Flexibilität** im Betrieb muss erhalten bleiben
- Verlängerung der Fahrzeuge/Erhöhung zGG.** (DIRECTIVE (EU) 2015/719)
- Speicherung von H₂ in **flüssiger Form oder Hydridspeicher**

Positionierung des Tanks am Fahrzeug:

 H₂-Tank



?

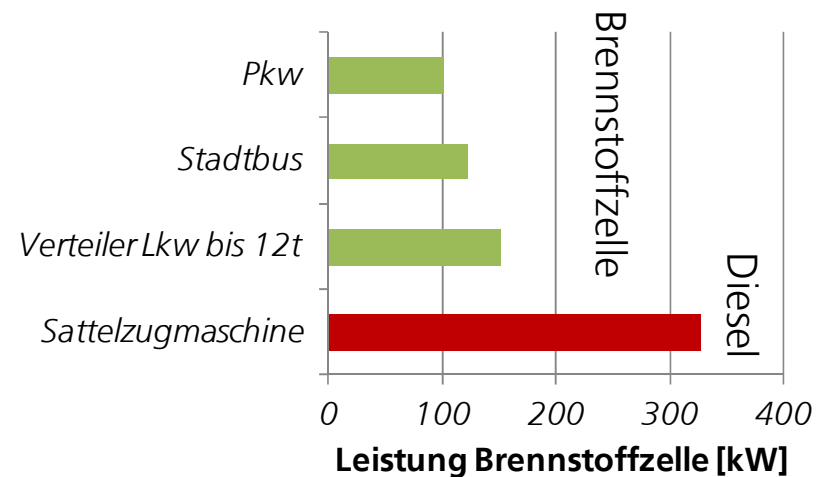
Quelle: Hoepke und Breuer (2013): Nutzfahrzeugtechnik, S.59

Motorleistung bei großen Lkw: Skalierbarkeit der Brennstoffzelle / Hybridvarianten

- Lkw benötigen **höhere Motorleistung** als Pkw
- Die meisten SZM werden mit Motorleistungen zwischen **300** und **350kW** verkauft
- **Bisherige** BZ-Anwendungen erreichen **etwa 150kW**



- **Bei Skalierung der Pkw-BZ** für den Einsatz in Lkw lassen sich von **Skalen-Effekten** mit der BZ-Pkw- und Bus- Produktion profitieren.
- **Beliebige Erweiterung** der Leistung durch hinzufügen von Stacks sind laut Experten jedoch bisher **Grenzen gesetzt**
→ **Hybridisierung mit Batterie/Range- Extender?**
- Eventuell Anpassung der **Anforderungen** von leistungsstarken BZ-Systemen bezüglich **Platzbedarf, Temperaturmanagement,...**



Quelle: Herstellerangaben (EvoBus, Toyota) sowie Experteninterview

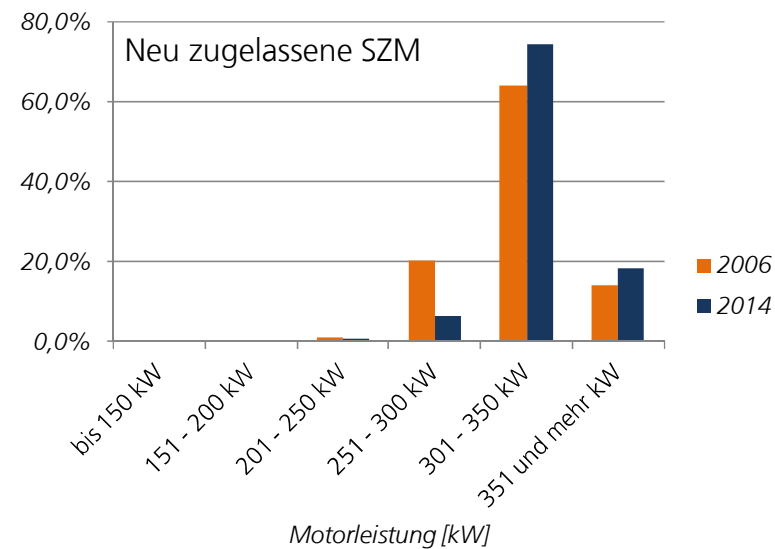
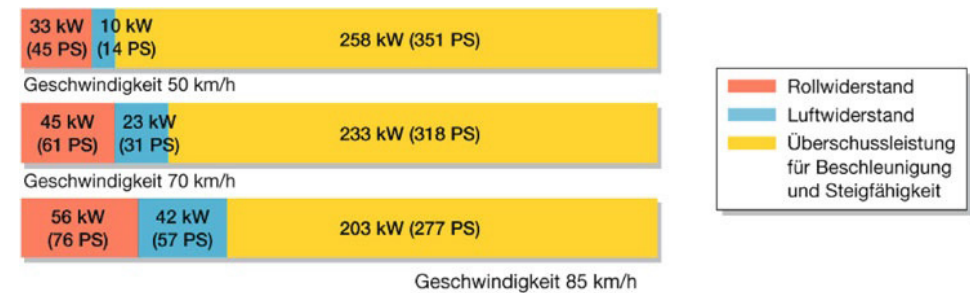
Markt-Akzeptanz:

Was sind die realen Anforderungen an den BZ-Lkw I

Motorleistung:

- Bei Sattelzügen besteht bei einer Fahrgeschwindigkeit von 85 km/h eine deutliche **Überschussleistung** für **Beschleunigung und Steigfähigkeit**
 - Trotz Leistungsreserven **stieg** die durchschnittliche **Leistung von SZM** zwischen 2006 und 2014 **an**
 - Welche **minimale elektrische Motorleistung** ist für den Betrieb von Lkw über 12t zGG. bzw. Sattelzügen nötig?
 - **Häufigkeit der Abrufung** von „Überschussleistung“
- **Minimal-Dimensionierung** der Brennstoffzelle

Aufteilung Gesamtfahrwiderstand 40-t-Sattelzugs mit etwa 300 kW:



Quelle: Hoepke und Breuer (2013): Nutzfahrzeugtechnik, S.58, Kraftfahrt-Bundesamt (KBA)

Markt-Akzeptanz:

Was sind die realen Anforderungen an den BZ-Lkw II

Tankgröße / Reichweite:

- Dieseltanks SZM: 1.120 Liter → Reichweite: > 3.000km; Gewicht: etwa 1,5t
 - H₂-Tank: 1.520 Liter (700bar; 20°C) → Reichweite: ~ 800km; Gewicht: etwa 1,4t
- **Geringere Reichweite** von BZ-Lkw

Tankstelleninfrastruktur:

- **Anzahl der H₂-Tankstellen** deutlich **geringer** als Dieseltankstellen
 - **H₂-Tankstellen auf Betriebsgeländen** derzeit eher **unwahrscheinlich**
 - **Derzeit technische Verfügbarkeit** und **Informationssysteme mangelhaft**
- **Umwege** zur Betankung nötig (Umfragen zeigen bei Pkw-Nutzern nur geringe Umwegebereitschaft)

Akzeptanzfragen an die Transportdienstleister:



Sind Tanksysteme mit **Reichweiten** von 400 bis 500km im Fernverkehr denkbar?

Kann die **Motorleistung** reduziert werden?

Welche **Umwege** zum Tanken sind denkbar?

→ **Identifikation marktgerechte Anforderungen an BZ-Lkw**

Sozio-politische Akzeptanz und Vor-Ort-Akzeptanz

- **Sozio-politische Akzeptanz** (→ allg. Haltung von Gesellschaft, Politik und Stakeholdern)
 - In Deutschland derzeit eher ein wenig diskutiertes Thema
 - Evtl. Spill-Overs aus Bus- oder Bahnbrennstoffzellenprojekte?
 - Luftschadstoffe und Lärm? (Handlungsdruck der Städte und Kommunen)
- **Vor-Ort-Akzeptanz** (Projekte / individuelle Akzeptanz (Übernahme) → passive Akzeptanz)
 - Wenige Kenntnisse
 - Luftschadstoffe und Lärm? (Geräuschlose Nachtlogistik, Luftschadstoffproblematik in Innenstädten): Betrifft hauptsächlich Verteiler Lkw (bis 12t zGG.); es profitieren auch BEV

Agenda

1. Einführung in die wissenschaftliche Untersuchung
2. Schwerpunktthema 1: Marktpotenzial für Brennstoffzellen-Lkw
3. Schwerpunktthema 2: Stand der Forschung und Entwicklung
- 4. Schwerpunktthema 3: Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen für die Politik**
 1. Hintergrund und Synergieeffekte aus dem Pkw-Bereich
 2. Spezielle Anforderungen für den Brennstoffzelleneinsatz bei Lkw
 - 3. Der FuE-Bedarf für Brennstoffzellen-Lkw**

Der FuE-Bedarf für BZ-Lkw

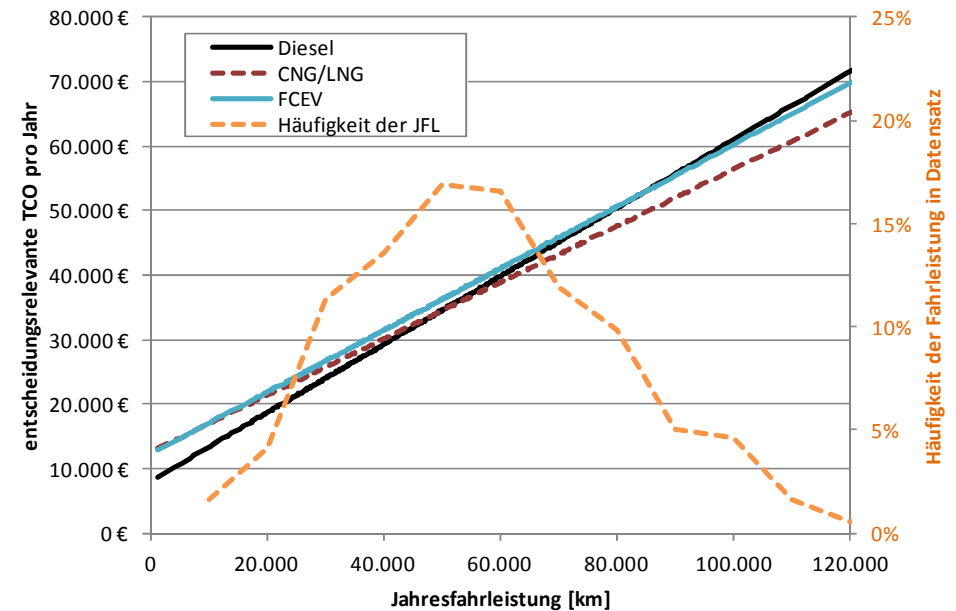
Fazit aus dem Marktumfeld und der Pkw-und Bus-Forschung:

1. Konkurrenztechnologien angemessen berücksichtigen

Im Verteilerverkehr besteht Konkurrenz durch BEV und CNG, im Fernverkehr durch HO-Lkw und CNG/LNG. → TCO-Unterschiede teilweise gering. Die Betriebskosten der Technologien hängen in nicht unerheblichen Maße von der zukünftigen Besteuerung der Kraftstoffe ab (z.B. CNG/LNG, Wasserstoff).

2. Spillover-Effekte aus dem BZ-Pkw und Bus nutzen, aber nicht überschätzen

Fortschritte bei Kaltstartfähigkeit, Zuverlässigkeit, Akzeptanz und Sicherheit können auch für Lkw nützlich sein. Allerdings existieren für Lkw abweichende Anforderungen (z.B. Tankvolumen, Tankstellen,...).



Der FuE-Bedarf für BZ-Lkw

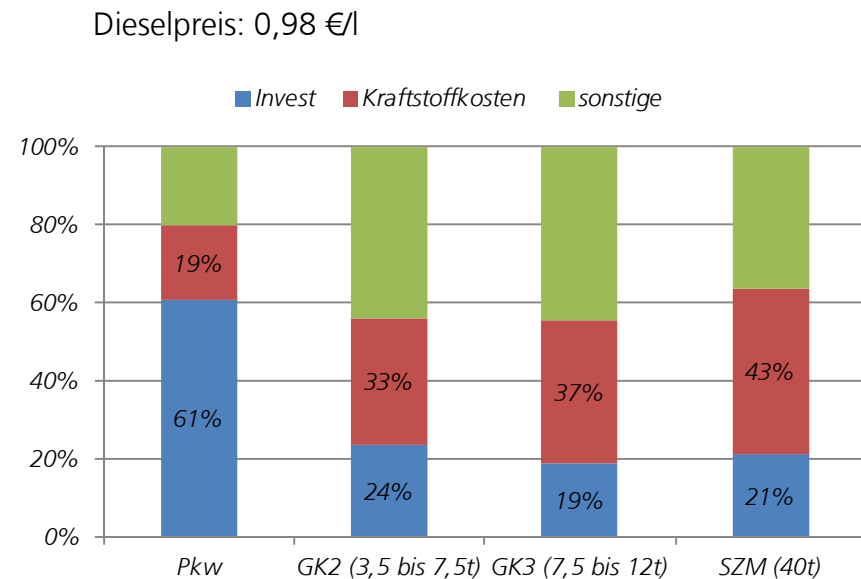
FuE-Bedarf für BZ-Lkw allgemein:

3. Verbesserung des Wirkungsgrades zur Senkung der Kraftstoffkosten

Der Anteil der Kraftstoffkosten ist bei Lkw bedingt durch die hohen Fahrleistungen deutlich höher als bei Pkw. Effizienzsteigerungen bei der BZ wirken daher deutlich stärker auf die TCO.

4. Anforderungen des Lkw beim Aufbau einer Tankstelleninfrastruktur berücksichtigen

Lkw tanken nicht an den selben Orten wie Pkw oder Busse. Die Tankstelleninfrastruktur muss die Umwege für die Transportdienstleister minimieren. Konzepte für dezentrale H₂-Tankstellen auf Betriebsgeländen sind zu untersuchen.



Der FuE-Bedarf für BZ-Lkw

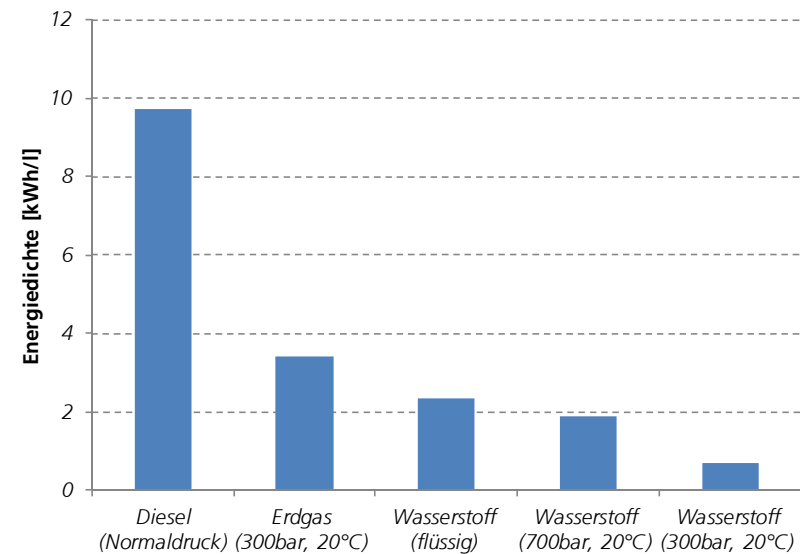
FuE-Bedarf für BZ-Lkw über 12t zGG:

5. Energiegehalt des Wasserstofftanks erhöhen

Die Energiedichte von Wasserstoff ist deutlich geringer als die des Diesels. Um ähnliche Reichweiten bei geringen Nutzlast-Nutzvolumeneinbußen zu erreichen, müssen bei Lkw über 12 t zGG. die zulässigen Maße der Lkw angepasst und / oder alternative Speichertechnologien untersucht werden (Flüssig-H₂, Hydrid-Speicherungen).

6. Akzeptanz von veränderten Reichweiten, Tankinfrastrukturen und Motorleistungen untersuchen

Minimale Marktanforderungen an die Antriebstechnologie sind zu identifizieren, um marktgerechte Lösungen anbieten zu können, die technologisch umsetzbar sind und attraktive Marktpreise aufweisen.



Der FuE-Bedarf für BZ-Lkw

FuE-Bedarf für BZ-Lkw über 12t zGG:

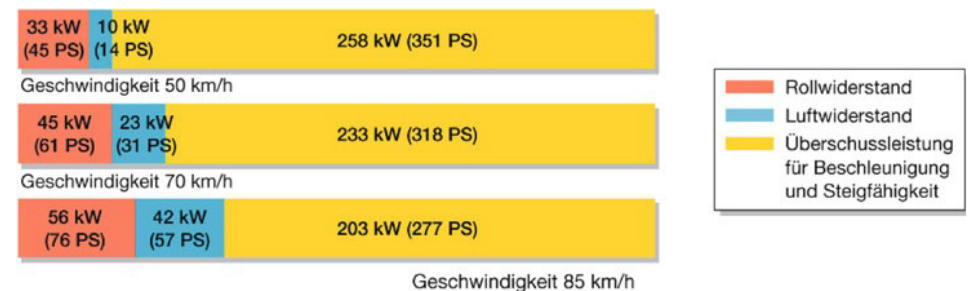
7. BZ mit hohen Leistungen bzw. Hybridsysteme

Lkw benötigen im speziellen für Beschleunigung und Steigungsfahrten hohe Leistungen. Hybrid-Technologien (z.B. mit Batterien) sind zu untersuchen, um diese Leistungsspitzen bereitstellen zu können.

8. Skalierbarkeit von Brennstoffzellen

Derzeitige BZ-Anwendungen enden bei einer Leistung von etwa 150 kW. Die Produktionskosten könnten bei der Möglichkeit einer Skalierbarkeit der Pkw-BZ auf Leistungsstufen um die 200 bis 300 kW von den Skaleneffekte aus der Pkw-Produktion profitieren.

Aufteilung Gesamtfahrwiderstand 40-t-Sattelzugs mit etwa 300 KW:



Quelle: Hoepke und Breuer (2013): Nutzfahrzeugtechnik, S.58

Diskussion der Thesen

1. Sind die Thesen so zutreffend?
2. Was muss ergänzt werden?
3. Wie sind die Prioritäten?
4. Woran sollte zuerst geforscht werden?



Im Nachgang zum Workshop

Wie geht es weiter?

	kurzfristig (bis 2020)	mittelfristig (2020 bis 2025)	langfristig (ab 2025)
These 1: Verbesserung des Wirkungsgrades ■ ■ ■	Priorität <input type="radio"/> niedrig <input checked="" type="radio"/> mittel <input type="radio"/> hoch ■ ■ ■	Priorität <input type="radio"/> niedrig <input type="radio"/> mittel <input type="radio"/> hoch ■ ■ ■	Priorität <input type="radio"/> niedrig <input type="radio"/> mittel <input type="radio"/> hoch ■ ■ ■
These 8: Skalierbarkeit von Brennstoffzellen	Priorität <input type="radio"/> niedrig <input type="radio"/> mittel <input type="radio"/> hoch	Priorität <input type="radio"/> niedrig <input type="radio"/> mittel <input type="radio"/> hoch	Priorität <input type="radio"/> niedrig <input type="radio"/> mittel <input checked="" type="radio"/> hoch

exemplarisch

Ihre Ansprechpartner am Fraunhofer ISI



Prof. Dr. Martin Wietschel

Deputy Head of the Competence Center Energy Technology and Energy Systems

+49 721 6809-254

martin.wietschel@isi.fraunhofer.de



Dr. Till Gnann

Project Manager in Competence Center Energy Technology and Energy Systems

+49 721 6809-460

till.gnann@isi.fraunhofer.de



André Kühn

Project Manager in Competence Center Sustainability and Infrastructure Systems

+49 721 6809-467

andre.kuehn@isi.fraunhofer.de



Dr. Axel Thielmann

Deputy Head of the Competence Center Emerging Technologies

+49 721 6809-299

axel.thielmann@isi.fraunhofer.de