

ÜBERBLICKSSTUDIE: AUSWERTUNG VON STUDIEN UND SZENARIEN DER ENERGIESYSTEMANALYSE MIT SCHWERPUNKT „MOBILITÄT“

IM AUFTRAG DER ARBEITSGRUPPE ENERGIESYSTEMANALYSE DES MINISTERIUMS FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG IM RAHMEN DES STRATEGIEDIALOGS AUTOMOBILWIRTSCHAFT

Martin Wietschel, Philipp Kluschke, Stella Oberle
(Fraunhofer ISI, Karlsruhe)

Natalja Ashley-Belbin (IREES,
Karlsruhe)

Karlsruhe, Oktober 2018



Zeichnungen: Heyko Stöber

Agenda

I. Zusammenfassung

II. Projektübersicht

III. Projektergebnisse

1. International

2. Deutschland

3. Baden-Württemberg

4. META-Studien

IV. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Im Projekt werden nationale und internationale Studien verglichen, um Handlungsempfehlungen abzuleiten

Ziele:

- Schaffung einer gemeinsamen Wissensbasis für die Diskussion unterschiedlicher Entwicklungspfade im Energie- und Verkehrssektor
- Identifikation von Informationsdefiziten
- Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Landespolitik

Methodik:

- Auswertung von 14 nationalen und internationalen Studien mit Energie- und Verkehrsschwerpunkt
- Bei den Studien handelt es sich um Szenarien, nicht um Prognosen
- Die Methoden der Studien selbst sind oft unterschiedlich
- Die Rahmenannahmen (z.B. zu Rohölpreisentwicklung oder zur Akzeptanz von Technologien) und die Datengrundlage (z.B. zu Batteriekosten) sind in den Studien unterschiedlich und beeinflussen die Ergebnisse

Erkenntnisse aus den Studien bei ambitioniertem Klimaschutz - Energiesystemperspektive

- Der erdgebundene Verkehr muss seine Treibhausgas(ThG)-Emissionen bis 2050 sehr stark mindern, bei sehr ambitionierten Klimaschutzziele auch der See- und Luftverkehr
- Die Realisierung von Energieeffizienzpotenzialen ist ein entscheidender Game Changer – wenn sie nicht erfolgreich ist, steigt der Druck der ThG-Minderung im Verkehr
- Die nationalen Klimaschutzziele für den Verkehr in 2030 werden in den meisten Studien verfehlt
- Die Lastflexibilisierungsoptionen im Verkehr sind sehr relevant zur Systemintegration der Erneuerbaren (insbesondere durch Elektromobilität, Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe)
- Der Ausbau der heimischen erneuerbaren Stromproduktion wird als beschränkt eingestuft, daraus folgt
 - höchste Effizienzstrategie (durch maximale direkte Stromnutzung)
 - zur Erreichung hoher Anteile von synthetischen Kraftstoffen wird ein Kraftstoffimport benötigt
- Große Überschussstrommengen zu Null- oder negativen Preisen werden kurz- und mittelfristig (2030) eher nicht gesehen, in vielen Szenarien auch langfristig (2050) nur in geringem Umfang
 - Abhängig vom Anteil des Erneuerbaren Stroms sowie den Annahmen zum Gelingen eines umfangreichen Stromnetzausbaus
 - Oft entscheidender Unterschied, der die Menge an synthetischen Kraftstoffen und Wasserstoff in den verschiedenen Szenarien mitbestimmt

Erkenntnisse aus den Studien bei ambitioniertem Klimaschutz - Verkehrssektor

- Verkehrsverlagerung und -vermeidung spielen in allen Szenarien eine Rolle, aber mit deutlich unterschiedlicher Gewichtung
- Die direkte oder indirekte Stromnutzung dominiert in allen Verkehrssektoren und verdrängt die fossilen Energiequellen weitgehend
- Verbrennungsmotoren spielen auch in der Zukunft eine relevante Rolle, aber oftmals mit neuen Kraftstoffen
- Deutschland wird synthetische Kraftstoffe zur Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele benötigen, die überwiegend importiert werden
- Der Bus- und Schienenverkehr wurde nicht detailliert betrachtet, er kann aber für bestimmte Technologien (z.B. für die Brennstoffzelle) ein wichtiger Einstiegsmarkt sein
- Pkw-Sektor
 - Direkte Elektrifizierung ist in allen Szenarien als früheste Maßnahme gesetzt
 - Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) haben in allen Studien relevante Marktanteile (2030: 10 bis 30 % im Bestand, 2050: 30 bis 70 %), sind aber auch begrenzt (u.a. durch Reichweitenbegrenzung, hohe Anschaffungskosten)
 - Welche weiteren Kraftstoffarten bzw. Antriebsarten (Plug-in-Hybride (PHEV), Brennstoffzellen (BZ), synthetische Kraftstoffe, Erdgas) in welchem Maße ergänzend kommen werden, wird in den Szenarien der Studien sehr unterschiedlich bewertet

Erkenntnisse aus den Studien bei ambitioniertem Klimaschutz - Verkehrssektor

- Lkw-Sektor (durch hohe prognostizierte Steigerungsraten: wird energie- und klimapolitisch künftig immer relevanter)
 - Batteriefahrzeuge (alle Szenarien sehen diese für kleinere Fahrzeuggewichtsklassen unter 12 t. bzw. Fahrzeuge, die vergleichsweise kurze Reichweiten, z.B. Verteilerverkehre, abdecken)
 - Andere Lösungen werden in den Szenarien sehr unterschiedlich bewertet:
 - Oberleitungs-Lkw (Hybrid Diesel oder Batterie) (wirtschaftlichste Lösung für größere LKW-Gewichtsklassen und hohe Reichweiten, aber hohe Einführungshürden)
 - Wasserstoff-LKW (breiter Einsatzbereich, aber hohe Unsicherheiten bezüglich Kostenentwicklung)
 - LKW mit synthetischen Kraftstoffen (breiter Einsatzbereich, aber hohe Energiekosten)
- Internationaler Schiffs- und Flugverkehr
 - Teilweise werden sehr hohe Zuwachsraten erwartet
 - Lösungsmöglichkeiten sind beschränkt wegen:
 - hohen Anforderungen an Energiedichte (i.d.R. kommen nur kohlenstoffbasierte Lösungen in Frage) sowie
 - lange Lebensdauer (Flugzeuge 25 Jahre, Schiffe 35 Jahre)
 - Erneuerbare, importierte, synthetische Kraftstoffe dominieren
 - Ergänzt um Biokraftstoffe (allerdings mit stark unterschiedlicher Bewertung in den Studien)

Handlungsempfehlungen zur Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele

- Zur Erreichung der THG-Minderungsziele in 2030 im Verkehr müssen weitreichende Maßnahmen ergriffen werden
- Die regulatorischen Rahmenbedingungen (Steuern- und Abgabenlast, gesetzliche Vorschriften) zur Nutzung der Flexibilitätsoptionen im Verkehr müssen adäquat gesetzt werden
- Festlegung auf vielversprechendste synthetische Kraftstoffrouten (Systemstudien hier alleine nicht ausreichend, weitere Faktoren wie z.B. Toxizität oder verbrennungsmotorische Eigenschaften sind relevant)
- F&E-Bedarf bei Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen (Elektrolyseur, CO₂-Quellen, Direct Air Capture von CO₂,...)
- Für den Einsatz synthetische Kraftstoffe ist eine Einführungsstrategie zu entwickeln
- Damit Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe nach 2030 eine bedeutsame Rolle spielen können, muss frühzeitig in eine Industrialisierung und den Start des Markthochlaufs eingestiegen werden
- Kostenentwicklung und Marktdurchdringung für Brennstoffzellenfahrzeuge (sowohl bei Pkw wie Lkw) sind zu klären
- Zum Import synthetischer Kraftstoffe gibt es weiteren Analysebedarf
 - Von Einzelanalysen Richtung globaler Analysen gehen (weltweite Nachfrage beachten)
 - Umsetzungsstrategien (wie kann der Produktionsaufbau in den Lieferländern erfolgen)
 - Makroökonomische Auswirkungen (Import vs. heimische Produktion)
 - Setzung von Mindeststandards (Umweltschutz, Deckung heimischer Nachfrage,...) in den Exportländern

Handlungsempfehlungen zur Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele

- Der Infrastrukturaufbau bei Markthochlauf alternativer Antriebe und Kraftstoffe im Verkehr ist detaillierter zu analysieren und in Markthochlaufszenarien zu integrieren
- Der ordnungspolitische Rahmen und Finanzierungsfragen sind zu klären
- Analyse der Rohstoffverfügbarkeiten und Auswirkungen auf nationale Beschäftigungs- und Industriestruktur
- Relevanz von Biokraftstoffen im Verkehr klären und Aufteilung der Biomasse auf die Sektoren festlegen
- Pkw-Sektor:
 - Markthochlauf für BEV weiter unterstützen und Rolle von PHEV klären, auch mit Blick auf internationale Entwicklungen (Dominanz Chinas, das derzeit Richtung BEV geht)
 - Akzeptanz für alternative Antriebe ist tiefergehend zu analysieren (u.a. Mobilitätsbedürfnis, Kaufentscheidung)
 - Auswirkungen auf Stromnetze (Verteil- und Übertragungsnetze) weiter analysieren

Handlungsempfehlungen zur Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele

- Lkw-Sektor
 - Einführungsstrategien für batterieelektrische Lkw (u.a. Lieferverkehr, kleinere Gewichtsklassen) entwickeln
 - Ansonsten hoher Studien- und Datenbedarf (u.a. zu jährlichen Fahrleistungen, Erhebung von Fahrprofilen)
 - Besonderheiten des Sektors (wie hoher Kostendruck, kleine Produktionszahlen, Rolle autonomes Fahren und Digitalisierung,...) besser verstehen
 - Relevanz der Einführungshürden von Oberleitungs-Fahrzeugen analysieren (Erfahrungen aus Pilotprojekten auswerten, Akteursanalysen)
 - Energiewirtschaftliche Einbindung der verschiedenen Lösungen (Oberleitungen, H₂-Infrastruktur, High Power Charging) analysieren
- Internationaler Schiffs- und Flugverkehr
 - F&E-Bedarf analysieren
 - Pilot- und Demoprojekte fördern

Agenda

- I. Zusammenfassung
- II. Projektübersicht**
- III. Projektergebnisse
 - 1. International
 - 2. Deutschland
 - 3. Baden-Württemberg
 - 4. META-Studien
- IV. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Im Projekt werden nationale und internationale Studien verglichen, um Handlungsempfehlungen abzuleiten

Projektübersicht

Ziele:

- Unterstützung der Arbeitsgruppe Energiesystemanalyse des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
- Schaffung einer gemeinsamen Wissensbasis für die Diskussion unterschiedlicher Entwicklungspfade im Energie- und Verkehrssektor
- Identifikation von Informationsdefiziten
- Grundlage für Abstimmung weitere Agenda der Arbeitsgruppe & Ableitung Handlungsempfehlungen für Landespolitik

Vorgehen:

- Vergleich / Untersuchung von 12 repräsentativen, nationalen und internationalen Studien nach unterschiedlichen Kriterien
- Auswertungskriterien vom Auftraggeber vorgegeben
- Extrahierung der Daten in Excel und Darstellung in PowerPoint
- Zusätzliche Aufnahme von 2 Metastudien

Projektlaufzeit:

Mai – Oktober 2018

12 Studien werden analysiert

Studienübersicht

	Ebene	Studien	Kürzel
1	International	Energy Technology Perspectives 2017	IEA 2017
		EU Reference Scenario 2016	EC 2016
		E-fuels – The potential of electricity based fuels for low emission transport in the EU	dena 2017
		ITF Transport Outlook 2017	OECD 2017
2	National	RENEWBILITY III – Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors	Öko 2016
		Klimapfade für Deutschland	BDI 2018
		dena Leitstudie - Integrierte Energiewende	dena 2018
		Klimaschutzszenario 2050	Öko/ISI 2015
3	BaWü	Energie- und Klimaschutzziele 2030	ZSW 2017
		Verkehrsinfrastruktur 2030	VM BW 2017
		Mobiles Baden-Württemberg – Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität	Öko 2017
		Kommerzialisierung der Wasserstofftechnologie	emobil 2016

+ Aussagen aus zwei Metastudien (international, national)

Bei der Interpretation der Studien ist Folgendes zu beachten

- Die Auswahl der Studien beeinflusst die Ergebnisse, sie stellt aber aus Sicht der Autoren und des Auftraggebers einen repräsentativen Querschnitt dar
- Bei den Studien handelt es sich i.d.R. um Szenarien, nicht um Prognosen
- Die Methoden der Studien sind oft unterschiedlich
- Häufig steht eine wirtschaftliche Bewertung (aber mit unterschiedlichen Ansätzen z.B. mit oder ohne Steuern und Abgaben) im Zentrum

Agenda

I. Zusammenfassung

II. Projektübersicht

III. Projektergebnisse

1. International

a. Studienübersicht

b. Prämissen

c. Ergebnisse

2. Deutschland

3. Baden-Württemberg

4. META-Studien

IV. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Studienprofil: Energy Technology Perspectives 2017 („IEA 2017“)

Verfasser: Internationale Energieagentur (IEA)
Auftraggeber: -
Erscheinungsjahr: 2017

Zeitraum: 2014 – 2060 **(THG-)Minderungsziel:** 80 und 95 % (normativ)

Schwerpunktregionen:

International National Baden-Württemberg

Methode:

- Kostenbezogene Optimierung eines Technologieportfolios durch Kombination von Backcasting und Forecasting
- Hauptanalysetool: ETP-Modell - Bottom-up-Analyse des globalen Energiesystems

Szenarienbeschreibung:

- Referenztechnologieszzenario (RS): getroffene länderspezifische Zugeständnisse zur THG-Reduzierung und Energieeffizienzsteigerung werden berücksichtigt (bis 2100 durchschnittliche Temperatursteigerung von 2,7 °C)
- 2 °C Szenario (2DS): bis 2060 sinkt THG-Emission um 70 % und bis 2100 ist das Energiesystem CO₂-neutral (T-Anstieg von max. 2,7°C)
- „über 2 °C hinaus“ Szenario (B2DS): bis 2060 ist das Energiesystem CO₂-neutral (T-Anstieg von max. 1,75°C)



Studienprofil: EU Reference Scenario 2016 („EC 2016“)

Verfasser: Capros P. (E3M-Lab) et al.
Auftraggeber: Europäische Kommission
Erscheinungsjahr: 2016

Zeitraum: 2010 – 2050 **(THG-)Minderungsziel:** - (explorativ)

Schwerpunktregionen:

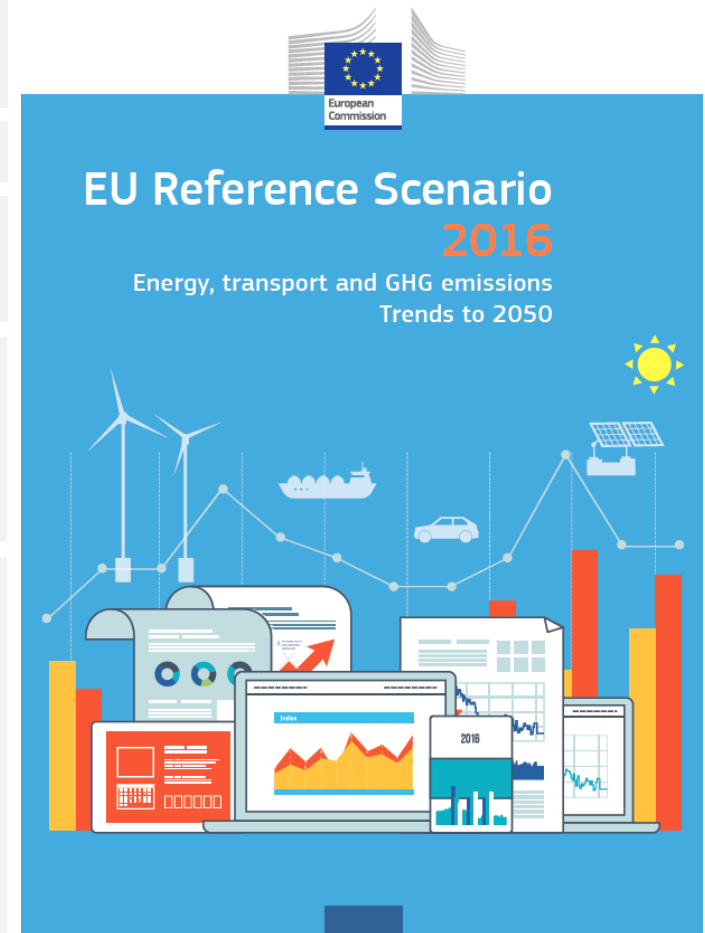
International National Baden-Württemberg

Methode:

- Modellverbund berechnet gesamtwirtschaftliches preisgetriebenes Marktgleichgewicht und kombiniert technische und wirtschaftliche Parameter für alle Sektoren
- Hauptanalysetool: PRIMES
- Hybrides Energiesystemmodell zur Erstellung von Prognosen für Verkehr, Energie und CO₂-Emissionen

Szenarienbeschreibung:

- Referenzszenario (RS): Alle bereits existierenden rechtlich verbindlichen Ziele und EU-Gesetze sind vollständig implementiert (Pariser Klimaschutzabkommen ist hierbei noch nicht berücksichtigt)



Studienprofil: The potential of electricity-based fuels for low-emission transport in the EU („dena 2017“)

Verfasser: Siegemund S. (dena) et al.
Auftraggeber: Verband der Automobilindustrie
Erscheinungsjahr: 2017

Zeitraum: 2010 – 2050 **(THG-)Minderungsziel:** 80 und 95 % (normativ)

Schwerpunktregionen:

International National Baden-Württemberg

Methode:

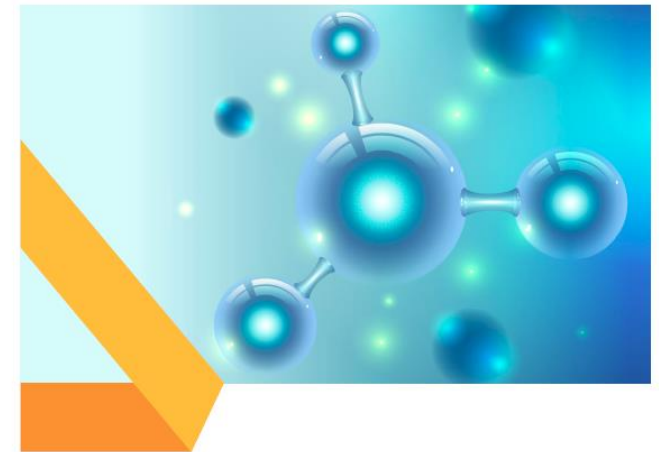
- Vergleich verschiedener Szenarien zur Zielerreichung (mit unterschiedlichen Technologie-Fächern), welche die Entwicklung von Antrieben und Kraftstoffen für alle Verkehrsträger im Personen- und Güterverkehr in der EU beschreiben, um Energiebedarfe und Investitionen zu vergleichen

Szenarienbeschreibung:

- PtL¹⁾H80 (RS): Business-as-usual, flüssige Brennstoffe dominieren, Transportaufkommen steigt stark an und THG-Reduktion von 80 % wird erzielt
- PtLL95: Business-as-usual, flüssige Brennstoffe dominieren, Transportaufkommen steigt moderat an und THG-Reduktion von 95 % wird erzielt
- PtG²⁾L95: Transportaufkommen steigt moderat an und THG-Reduktion von 95 % wird erzielt, gasförmige Brennstoffe dominieren
- eDriveL95: wie bei PtGL95, bloß dominiert hier Elektromobilität, und Einsatz von Brennstoffzellen im Güterverkehr wächst

¹⁾ PtL: Power-to Liquid

²⁾ PTG: Power-to-Gas



«E-FUELS» STUDY

The potential of electricity-based fuels for low-emission transport in the EU

An expertise by LBST and dena

Studienprofil: ITF Transport Outlook 2017 („OECD 2017“)

Verfasser: Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
Auftraggeber: -
Erscheinungsjahr: 2017

Zeitraum: 2015 – 2050 **(THG-)Minderungsziel:** explorativ

Schwerpunktregionen:

International National Baden-Württemberg

Methode:

- Modelle aufgeteilt in Stadtverkehr, Nicht-Stadtverkehr und internationaler Verkehr
- ITF internationales Frachtmodell:
 - Berechnet das gesamtwirtschaftliche Gleichgewicht des internationalen Handels für 26 Weltregionen und 25 Güter
- ITF Passagierflugmodell:
 - Prognosemodell zur Analyse der Luftverkehrspolitik

Szenarienbeschreibung:

- Referenzszenario (RS): jüngste Zusagen der Länder, die Emissionen zu begrenzen und die Energieeffizienz zu verbessern, mit dem Ziel, den langfristigen Temperaturanstieg auf 4°C zu begrenzen, werden hier berücksichtigt
- In dieser Studie gibt es mehrere Szenarien, z.B. für Güterverkehr (Stringent technology scenario, basierend auf 2DS in IEA 2017, sowie Optimisation scenario), für int. Personenflugverkehr (Static network scenario und Dynamik network scenario)



Prämissen: Internationale Studien

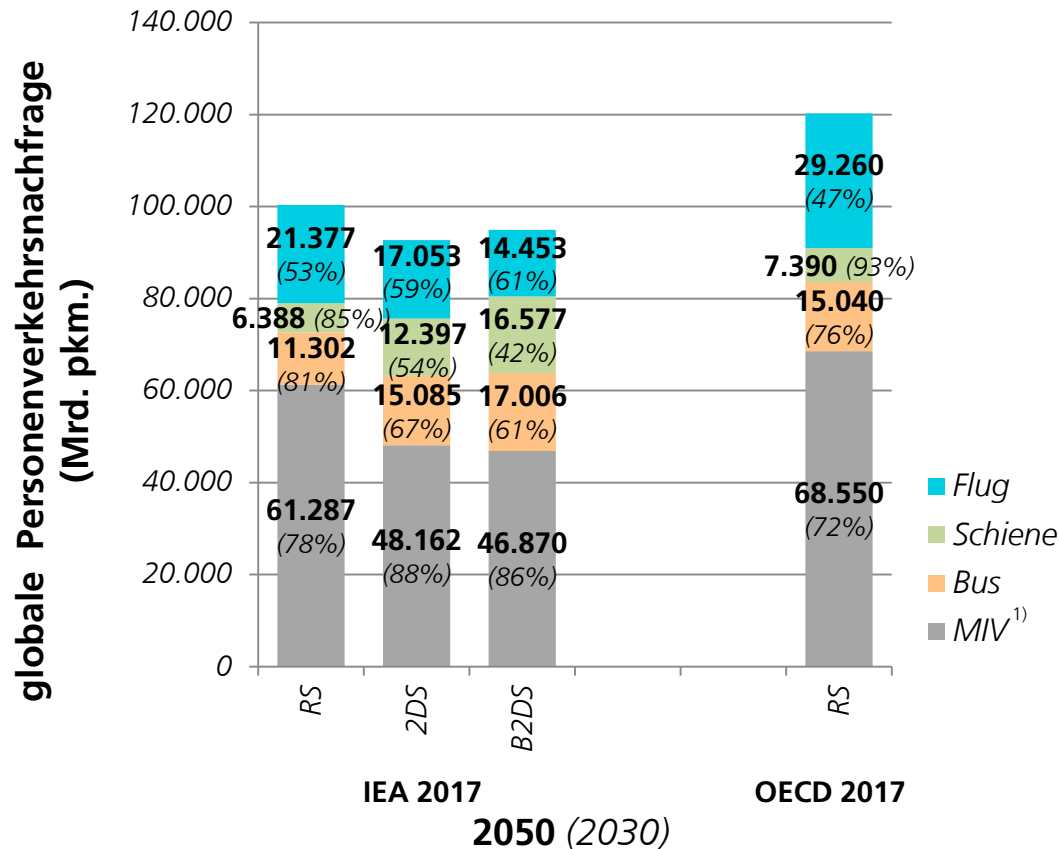
Prämisse	IEA 2017	EC 2016	dena 2017	OECD 2017
Basisannahmen <i>Bevölkerung (Mio.)</i>	2030: 8.490 (global) / 514 (EU) 2050: 9.714 (global) / 505 (EU)	2030: 516 (EU) 2050: 522 (EU)		
<i>BIP –CAGR²⁾</i>	2,5 % p.a. bis 2050 (global)	1,3 % p.a. bis 2050 (EU)	1 – 2,1 % p.a. bis 2050 (EU)	2,5 % p.a. bis 2050 (global)
<i>Erdölpreis (\$/bbl)</i>	2030: 131 (RS) / 78 – 101 (KS) 2050: 162 (RS) / 73 – 85 (KS)	2030: 109 2050: 130		
<i>CO₂-Preise (€/t CO₂)</i>	2060: 456	2030: 35 // 2050: 90		
Biomasse	Weltweite Verfügbarkeit ist bis 2060 auf ca. 75.000 PJ begrenzt. Nutzung der Biomasse in erster Linie im Fernverkehr (Luft- und Schifffahrt sowie Lkw).	Der Anteil an Biokraftstoffen am Endenergieverbrauch (Verkehr) steigt in der EU bis 2050 von 4,6 % (2015) auf 6,6 % und in DE von 5,2 % auf 6,7 %. Einsatz nur in Ländern, in denen sie auch verfügbar ist.	Die Menge an Biokraftstoffen wird auf 600 PJ festgelegt (entspricht etwa 5 % des heutigen Kraftstoffverbrauchs im Straßenverkehr). Kein Einsatz für Wasserstoff und Methanol.	Bis 2050 steigt der Anteil an Biokraftstoffen im Flugverkehr auf 50 %.
PtX ¹⁾	PtX-Technologien nehmen (in B2DS) keinen großen Anteil an kohlenstoffarmen Kraftstoffen ein.		In dieser Studie wird CO ₂ für die PtX-Produktion ausschließlich aus der Luft extrahiert. Starker Zubau an PtX-Anlagen ab 2030 in allen Klimaschutzszenarien erforderlich.	

1) PtX: Power-to-X

2) CAGR = Compound Annual Growth Rate (jährliche durchschnittliche Wachstumsrate)

Weltweit steigt die Personenverkehrsnachfrage deutlich - der Flugverkehr nimmt am stärksten zu

Verkehrssektor – globale Personenverkehrsnachfrage



Infobox:

IEA 2017

- Personenverkehrsnachfrage ändert sich von 50.781 Mrd. pkm in 2014 bis 2050 auf 100.354 / 92.697 / 94.906 Mrd. pkm (2030: 73.585 / 69.028 / 66.821 Mrd. pkm, RS / 2DS / B2DS)

OECD 2017

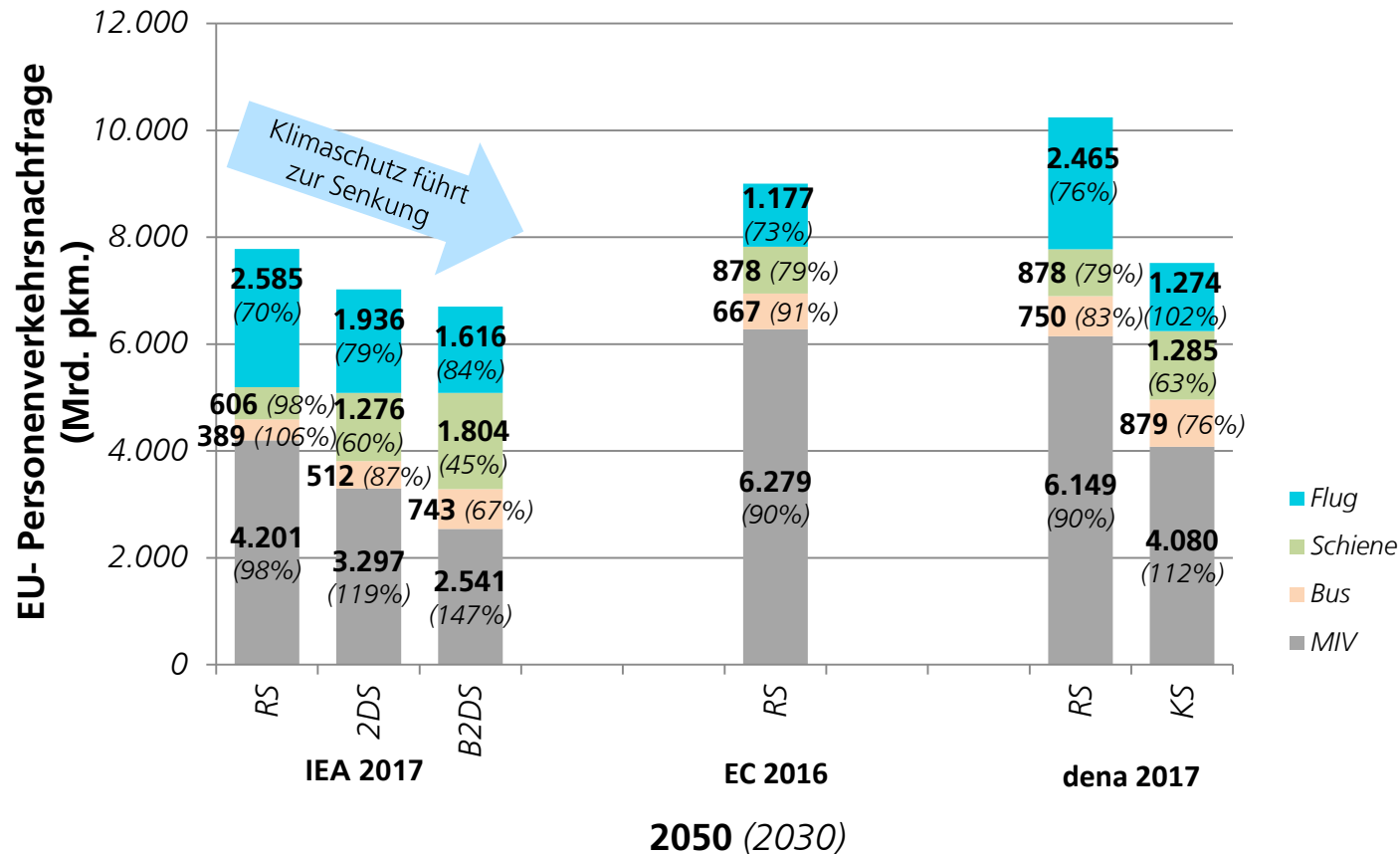
- Personenverkehrsnachfrage ändert sich von 50.250 Mrd. pkm in 2015 bis 2050 auf 120.240 Mrd. pkm im RS (2030: 81.285 Mrd. pkm)
- Die Pkw-Nachfrage steigt bis 2050 in den OECD-Ländern um 32 % und in den Nicht-OECD-Ländern um 185 %

Hinweis: Die Zahlen in den Klammern beziehen sich auf das Jahr 2030

¹⁾ MIV: Motorisierter Individualverkehr

Die EU-Personenverkehrsnachfrage entwickelt sich je nach Verkehrsträger und Szenario unterschiedlich

Verkehrssektor – EU Personenverkehrsnachfrage



Infobox:

EC 2016

- Personenverkehrsnachfrage ändert sich von 6.340 Mrd. pkm in 2014 bis 2050 auf 7.781 / 7.022 / 6.704 Mrd. pkm (2030: 6.940 / 6.662 / 6.403 Mrd. pkm, RS / 2DS / B2DS)
- In dieser Studie werden nur die EU-Flüge berücksichtigt

EC 2016

- Personenverkehrsnachfrage ändert sich von 6.735 Mrd. pkm in 2010 bis 2050 auf 9.053 Mrd. pkm (2030: 7.880 Mrd. pkm)
- nicht inbegriffen sind EU-Auslandsflüge

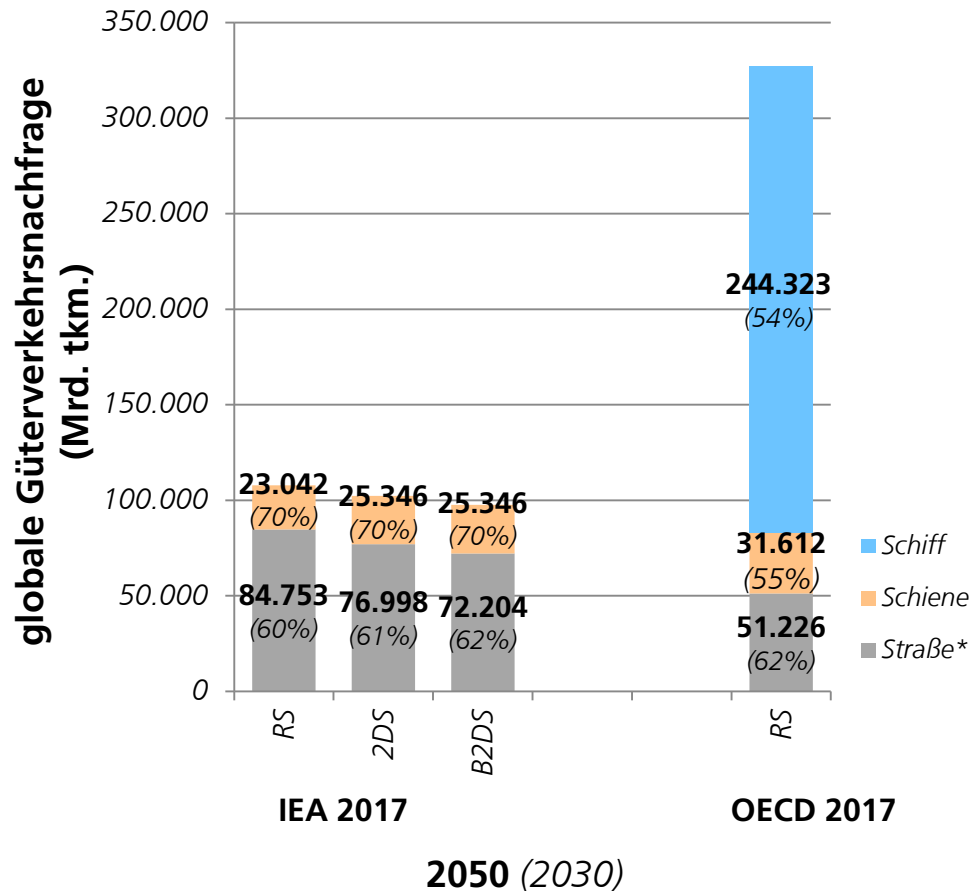
dena 2017

- Hier werden zusätzlich die EU-Auslandsflüge berücksichtigt (die Nachfrage an EU-Flügen entspricht der Nachfrage in der EC 2016)
- Personenverkehrsnachfrage ändert sich von 8.743 Mrd. pkm in 2015 bis 2050 auf 10.242 / 7.518 Mrd. pkm (2030: 8.743 / 7.320 Mrd. pkm, RS / KS)

Hinweis: Die Zahlen in den Klammern beziehen sich auf das Jahr 2030

Die globale Güterverkehrsnachfrage steigt sehr deutlich an (Faktor 2,5 bis 3) – Energie- und klimapolitisch wird er zum relevantesten Verkehrssektor

Verkehrssektor – globale Güterverkehrsnachfrage



Infobox:

IEA 2017

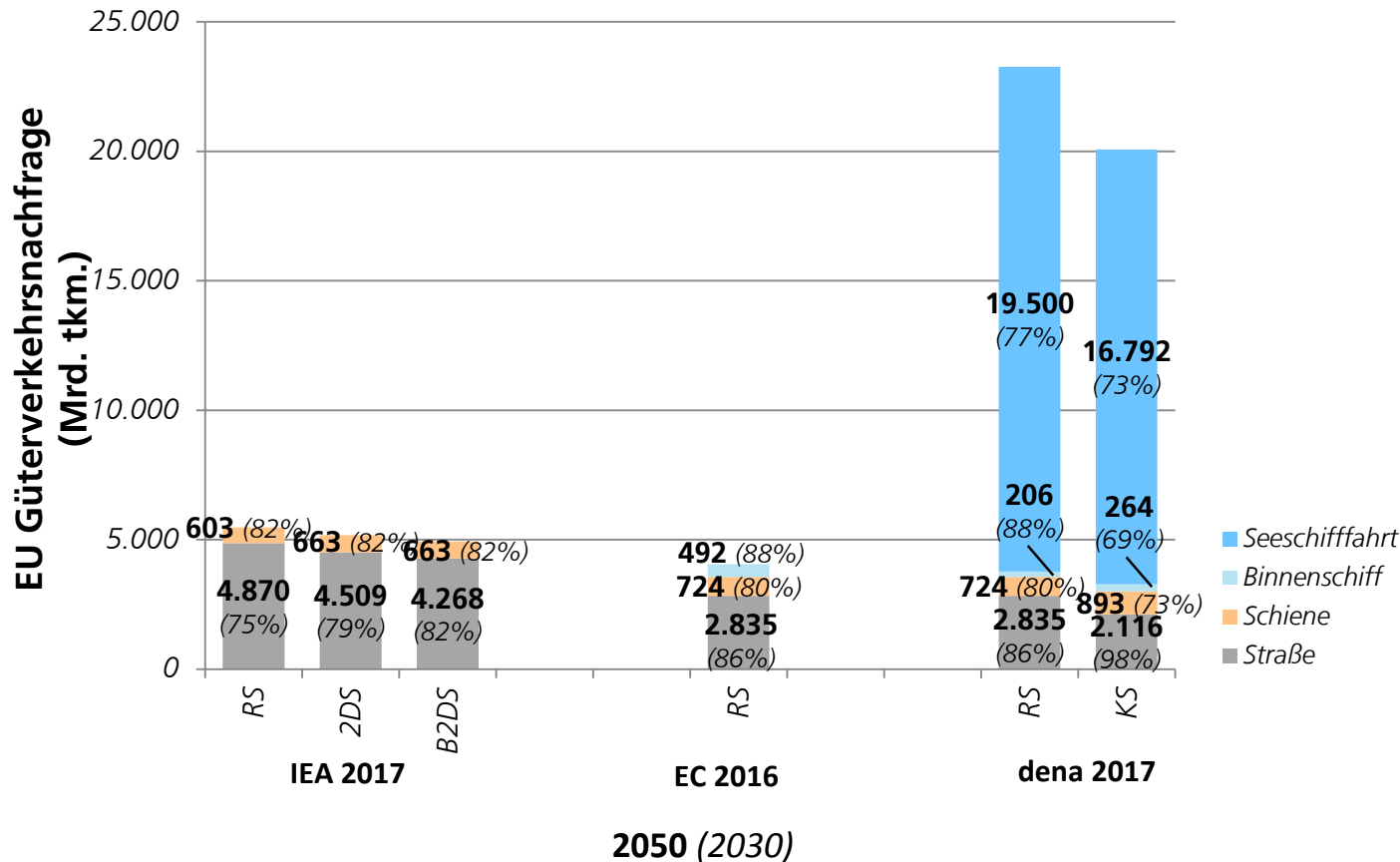
- Güterverkehrsnachfrage ändert sich von 38.616 Mrd. tkm in 2014 bis 2050 auf 107.795 / 102.344 / 97.551 Mrd. tkm (2030: 66.511 / 64.996 / 62.478 Mrd. tkm, RS / 2DS / B2DS)
- Globale Nachfrage an Güterstraßenverkehr steigt zw. 2014 und 2050 in den drei Szenarien um Faktor 2,6 – 3,1 an

OECD 2017

- Güterverkehrsnachfrage (ohne Schiffsverkehr) ändert sich von 32.450 Mrd. tkm in 2015 bis 2050 auf 82.838 Mrd. tkm (2030: 48.903 Mrd. tkm)
- Globale Nachfrage an Güterstraßenverkehr steigt zw. 2015 und 2050 um Faktor 2,5
- Die Nachfrage an Luftfrachtverkehr steigt in dem Betrachtungszeitraum um Faktor 3,1 an

In der EU steigt die Güterverkehrsnachfrage ebenfalls stark an – jedoch unterproportional zur globalen Entwicklung

Verkehrssektor – EU Güterverkehrsnachfrage



Infobox:

IEA 2017

- Güterverkehrsnachfrage ändert sich von 3.314 Mrd. tkm in 2014 bis 2050 auf 5.473 / 5.172 / 4.931 Mrd. tkm (2030: 4.160 / 4.104 / 4.027 Mrd. tkm, RS / 2DS / B2DS)
- Nachfrage des Güterstraßenverkehrs steigt zw. 2014 und 2050 um 67 % im RS bzw. um 47 – 55 % in KS

EC 2016

- Güterverkehrsnachfrage ändert sich von 2.704 Mrd. tkm in 2010 bis 2050 auf 4.051 Mrd. tkm (2030: 3.457 Mrd. tkm)
- Güterverkehrsnachfrage im Straßenverkehr steigt zw. 2010 und 2050 um 48 % an
- Nur Binnenschiffverkehr wird betrachtet

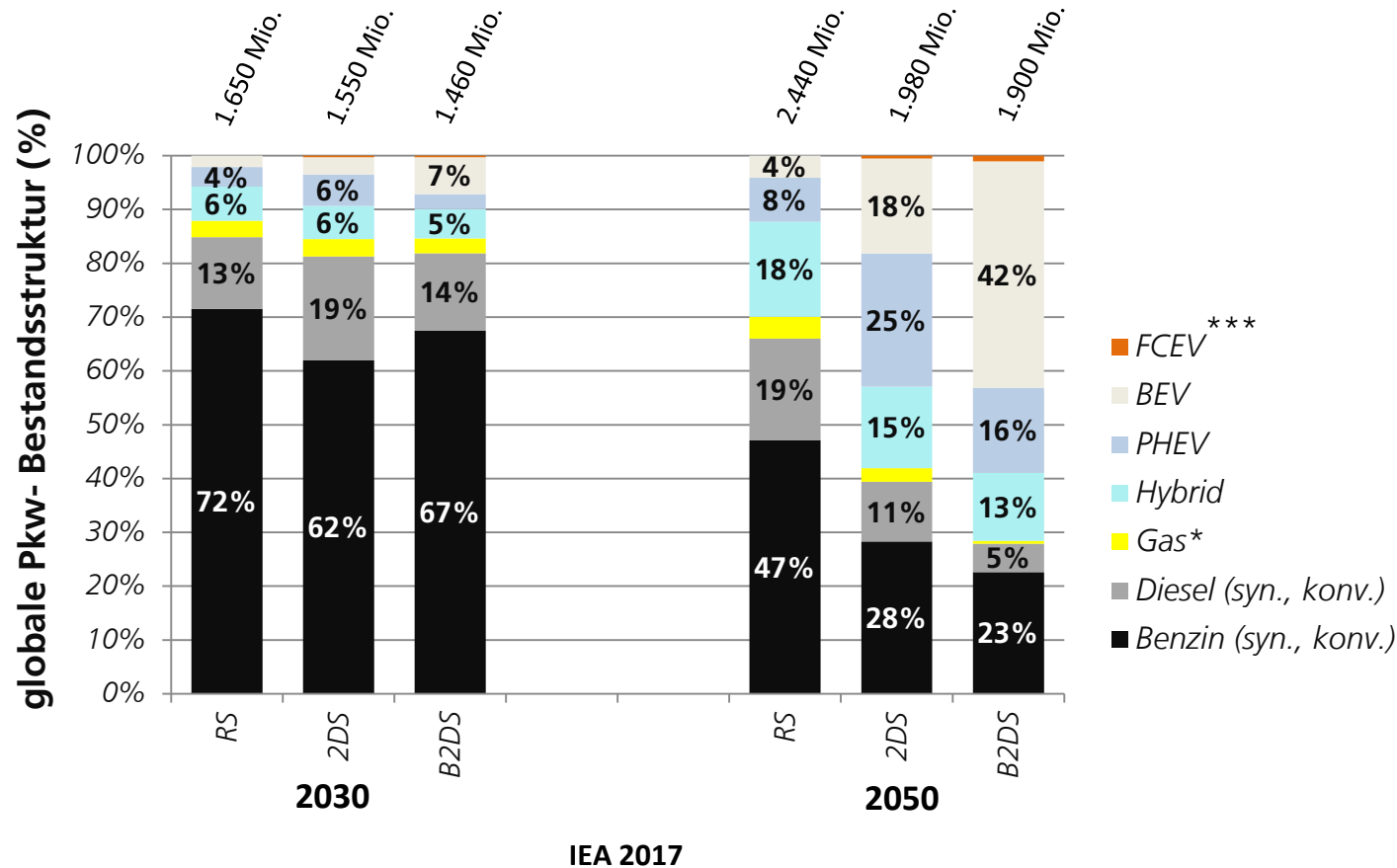
dena 2017

- Güterverkehrsnachfrage (ohne Seeschifffahrt) ändert sich von 2.494 Mrd. tkm in 2015 bis 2050 auf 3.765 / 3.273 Mrd. tkm (2030: 3.207 / 2.910 Mrd. tkm, RS / KS)
- Güterverkehrsnachfrage im Straßenverkehr steigt zw. 2015 und 2050 um 48 % im RS und um 11 % in KS

Hinweis: Die Zahlen in den Klammern beziehen sich auf das Jahr 2030

In der IEA Studie 2017 werden elektrifizierte Lösungen immer bedeutsamer

Verkehrssektor – globale Pkw-Bestandsstruktur



Infobox:

IEA 2017

- Anteil an alternativen Antrieben** steigt von ca. 4 % in 2014 bis 2050 auf ca. 34 % im Referenzszenario bzw. auf 61 – 72 % in den Klimaschutzszenarien

OECD 2017

- Es werden keine Angaben zu der Bestandsstruktur gemacht

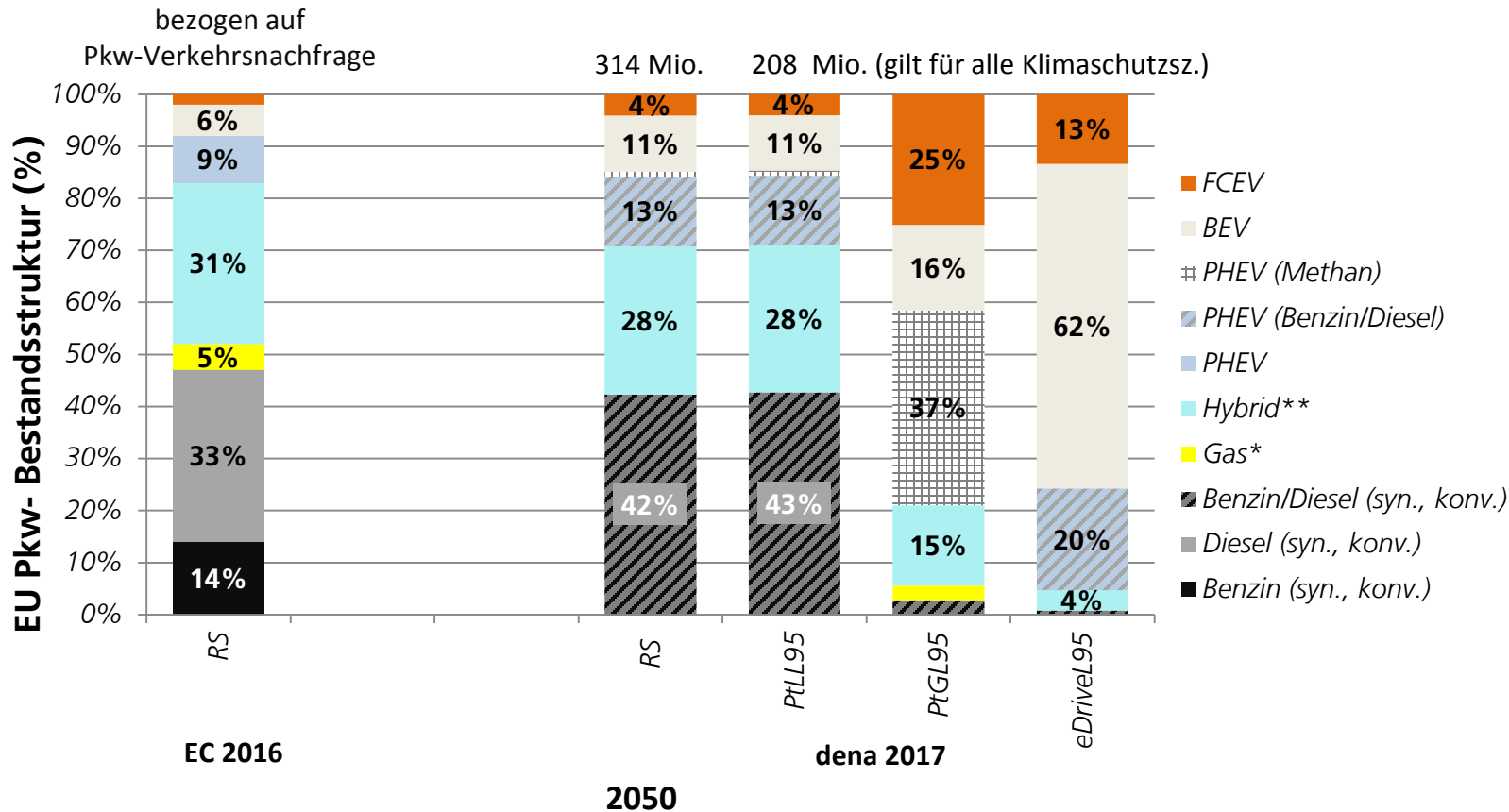
*IEA 2017 = CNG/LPG

**alle Antriebe außer Diesel- und Benzin-ICE

***FCEV: Brennstoffzellenantrieb (Fuel cell electric vehicle)

Eine noch stärkere Marktdurchdringung der E-Fahrzeuge wird in der EU gesehen – weiterhin relevanter Anteil ICEs

Verkehrssektor – EU Pkw-Bestandsstruktur



Infobox:

EC 2016

- Pkw-Bestandsstruktur fehlt, es wird nur die Entwicklung der Fahrzeugaktivität (Pkw und Van), aufgeteilt auf die Antriebsart, untersucht
- Anteil an alternativen Antrieben steigt von ca. 4 % in 2010 auf ca. 53 % in 2050 (Hybrid-Antrieb dominiert)

dena 2017

- Unter PHEV ist zusätzlich REEV-Antrieb aufgenommen
- Im PtLL95 liegt der Anteil an fossilen flüssigen Kraftstoffen bei nur 4 %
- Anteil an alternativen Antrieben von ca. 2 % in 2015, je nach Szenario, auf 58 - 99 % in 2050 (je nach Szenario dominieren unterschiedliche Antriebsarten)

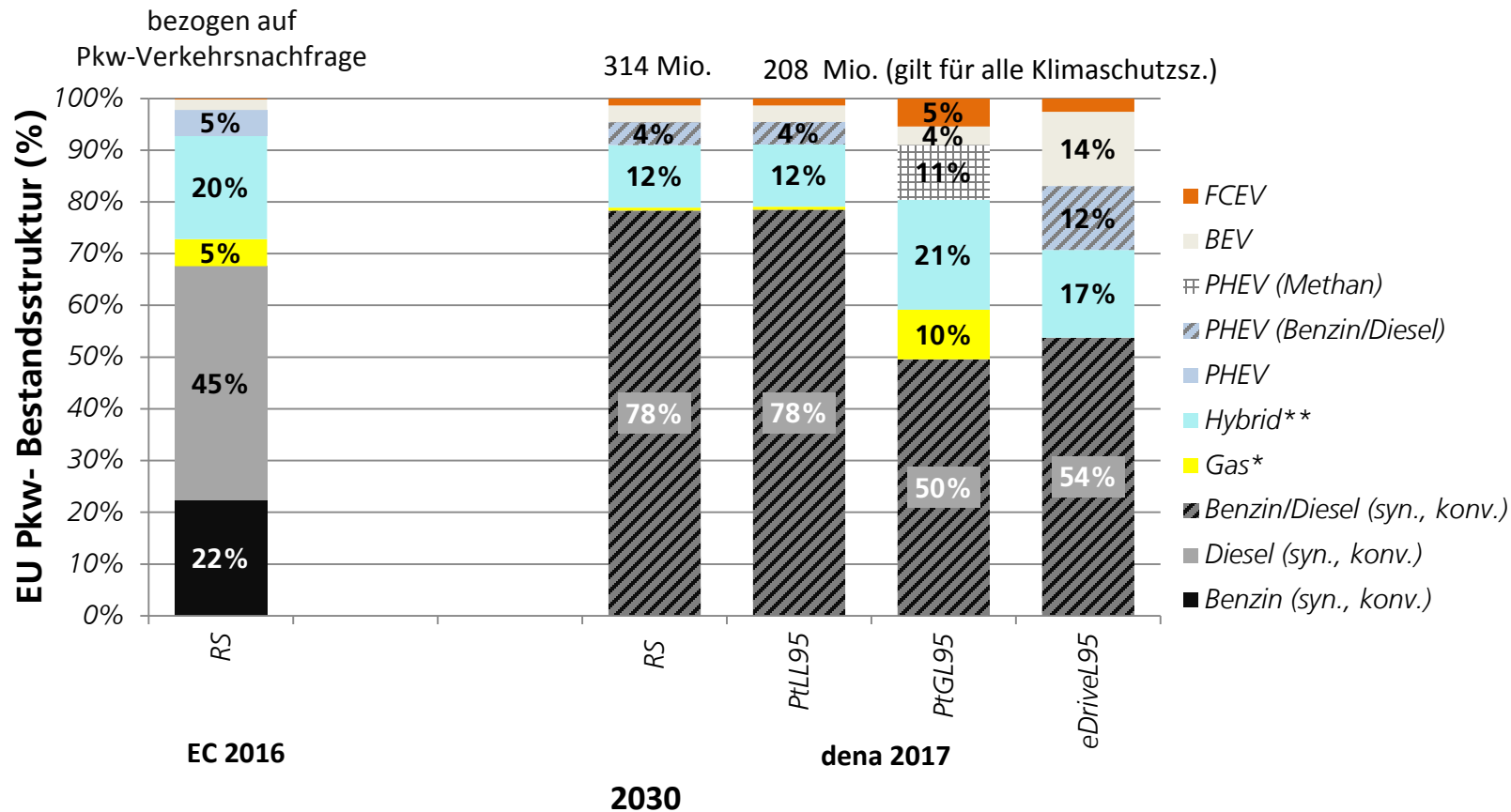
E-Fahrzeuge = FCEV, BEV, PHEV

* EC 2016 = Erdgas; dena 2017 = Methan

** dena 2017 = im Szenario PtGL95 handelt es sich um Methan-Hybridfahrzeuge

Dena 2017 nimmt schon in 2030 einen Anteil an alternativen Antrieben von bis zu 50 % an (zur Zielerreichung im Verkehr) – mit relevantem synthetischem Kraftstoffanteil

Verkehrssektor – EU Pkw-Bestandsstruktur

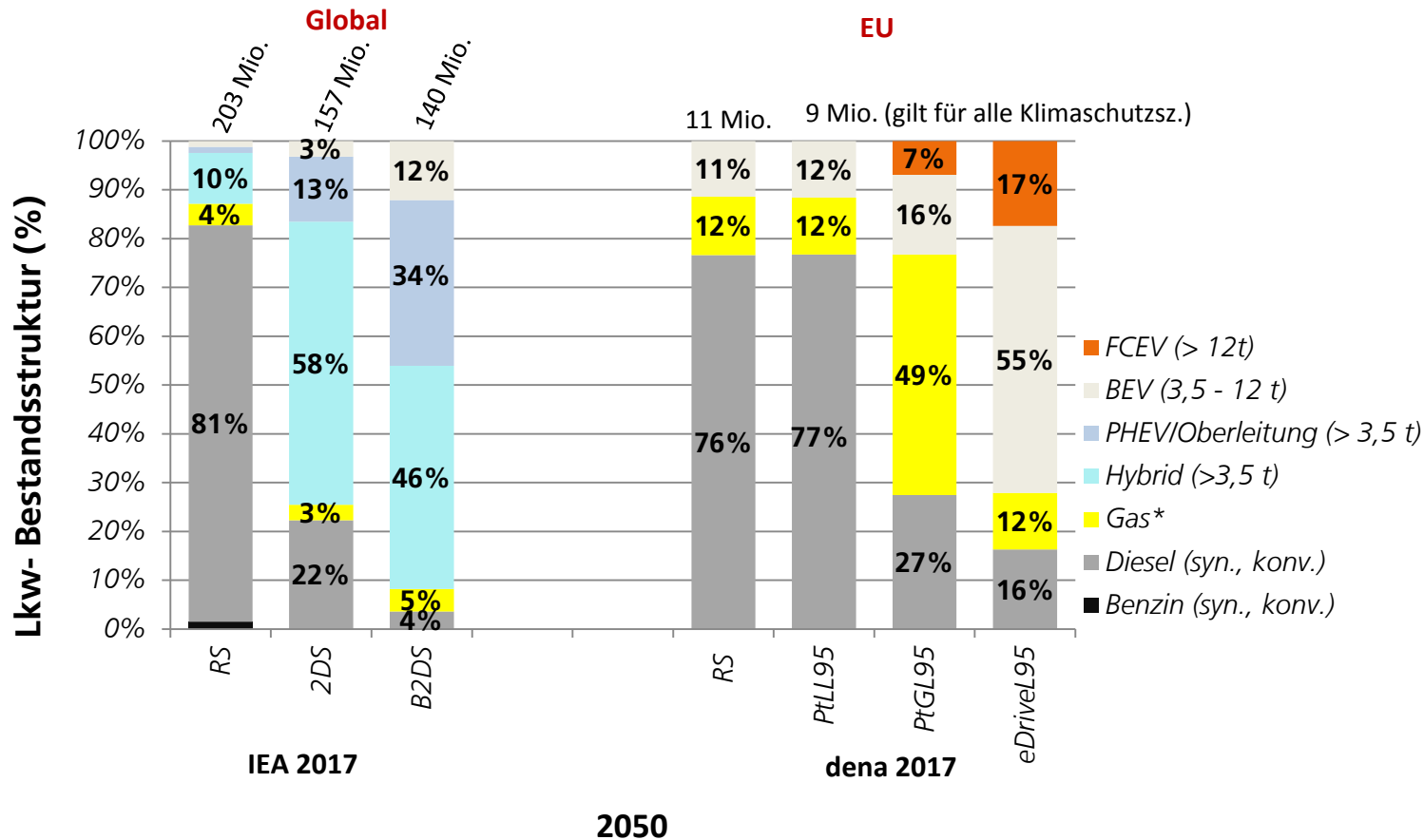


* EC 2016 = ICE Erdgas; dena 2017 = Methan

** dena 2017 = im Szenario PtGL95 handelt es sich um Methan-Hybridfahrzeuge

Regional unterschiedliche Klimaziele führen auch bei LKWs zu unterschiedl. Marktdurchdringungen mit E-Fahrzeugen

Verkehrssektor – Lkw-Bestandsstruktur



Infobox:

IEA 2017

- Oberleitungs-Lkw scheint nach dem heutigen Stand die Technologie der Wahl für schwere Sattelzugmaschinen (mit hoher jährlicher Fahrleistung) zu sein, um den Straßengüterverkehr zu dekarbonisieren
- Bei kleineren Gewichtsklassen dominieren BEV und Hybrid
- Anteil an Wasserstoff-Lkws unter 1 %, Wasserstoff kann aber zukünftig eine gute Alternative darstellen, wenn die Technologie ausgereift ist und die Kosten sinken

dena 2017

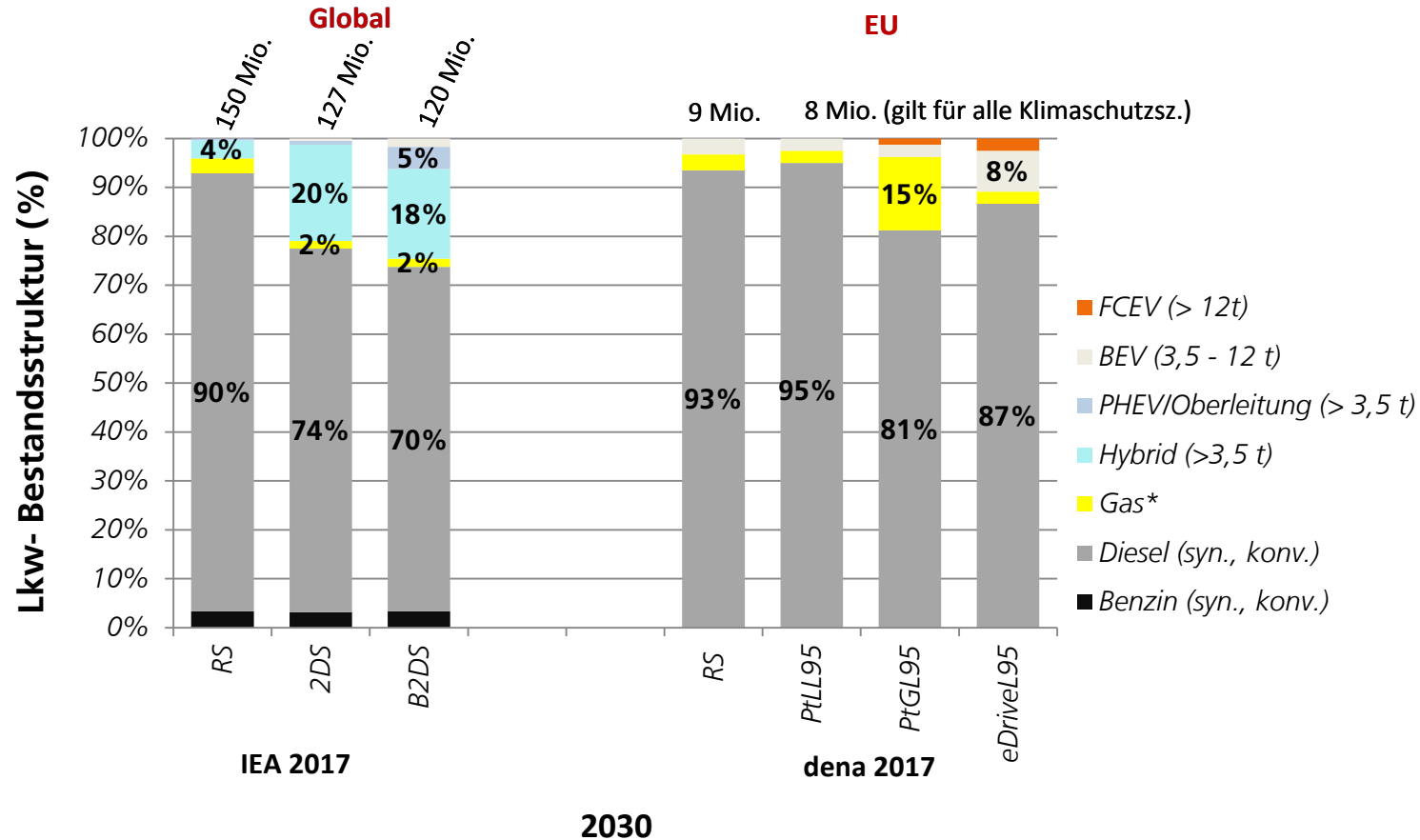
- Oberleitungs-Lkws werden in dieser Studie nicht betrachtet, da neben Deutschland und Schweden nur weitere wenige Staaten diese Maßnahme betrachten
- Hybridfahrzeuge sind mit Dieselfahrzeugen bzw. Gasfahrzeugen zusammengefasst

* IEA 2017 = CNG/LPG; dena 2017 = Methan

E-Fahrzeuge = FCEV, BEV, PHEV/Oberleitung

Global wird bis 2030 ein stärkerer Anstieg der alternativen Antriebe gesehen als in EU

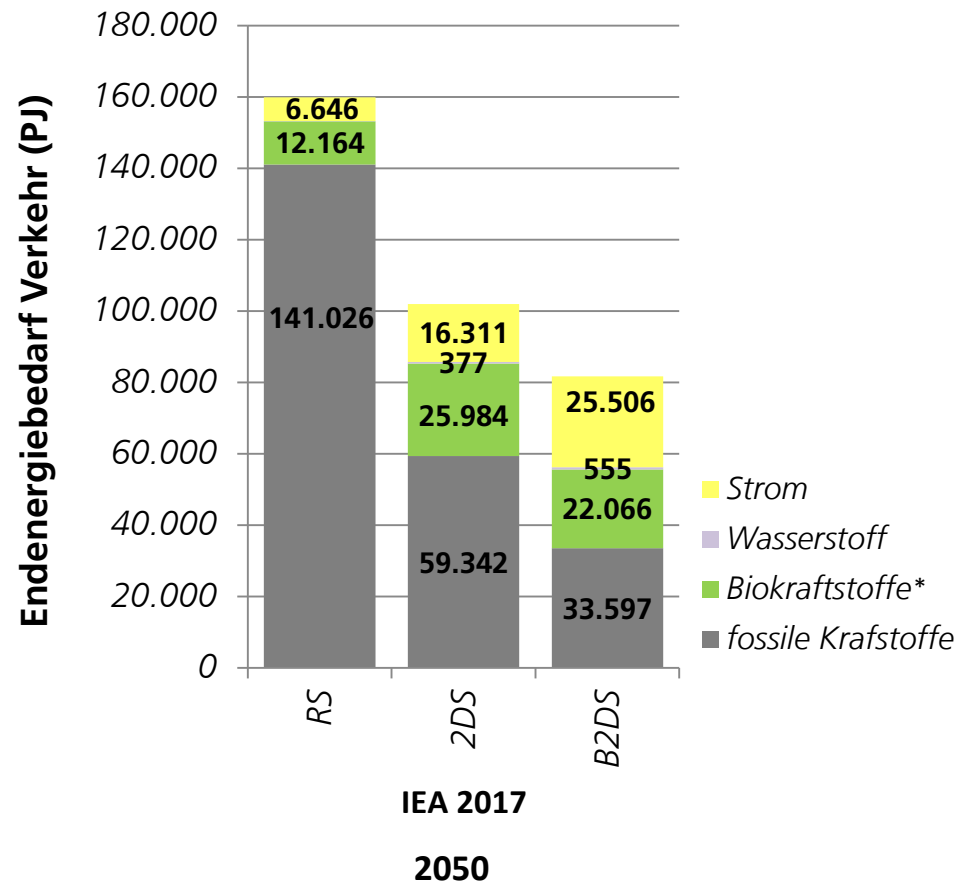
Verkehrssektor – Lkw-Bestandsstruktur



* IEA 2017 = CNG/LPG; dena 2017 = Methan

IEA 2017: Strom wird wichtiger für den PKW & LKW Sektor; die Biokraftstoffe für den internat. Flug- & Schiffsverkehr

Endenergiebedarf - Verkehr weltweit



Infobox:

IEA 2017

- Im Referenzszenario steigt der weltweite Endenergiebedarf zw. 2014 und 2050 um 42 % an, in den beiden Klimaschutzszenarien sinkt er dagegen um 9 bzw. 27 %
- B2DS Szenario: Bis 2060 werden Schiffs- und Luftverkehr weitgehend auf moderne Biokraftstoffe umgestellt
- B2DS-Szenario: PtX-Optionen werden betrachtet, haben aber keine große Relevanz

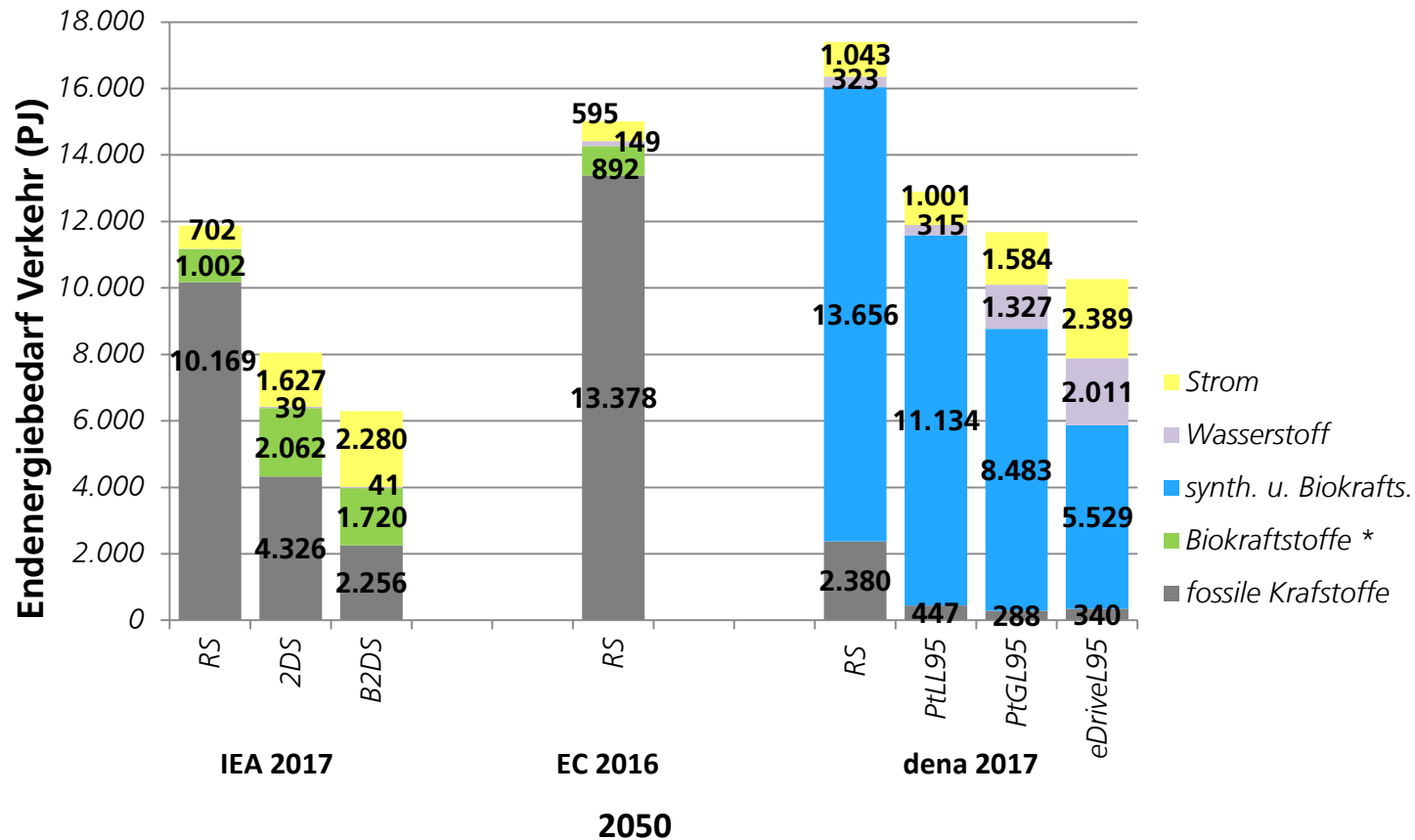
OECD 2017

- Keine deutlichen Angaben zu der Entwicklung des Endenergiebedarfs (Annahme: In den Klimaschutzszenarien liegt der Anteil an Biokraftstoffen, hergestellt aus Algen und nicht essbaren Teilen von Nutzpflanzen, im Güterluftverkehr in 2050 bei 50 %)

* Biojet, biogas, biodiesel advanced/conventional, ethanol advanced/conventional

Ein ähnliches Bild ergibt sich für den Verkehr in der EU

Endenergiebedarf - Verkehr in der EU



Infobox:

IEA 2017

- Endenergiebedarf geht zw. 2014 und 2050 um 23 / 48 / 59 % runter (fossiler Anteil geht von 95 % runter auf 86 / 54 / 36 %)

EC 2016

- Endenergiebedarf bleibt zw. 2010 und 2050 gleich (fossiler Anteil geht von 96 auf 89 % runter)
- Nationale und internationale intereuropäische Flüge sind berücksichtigt

dena 2017

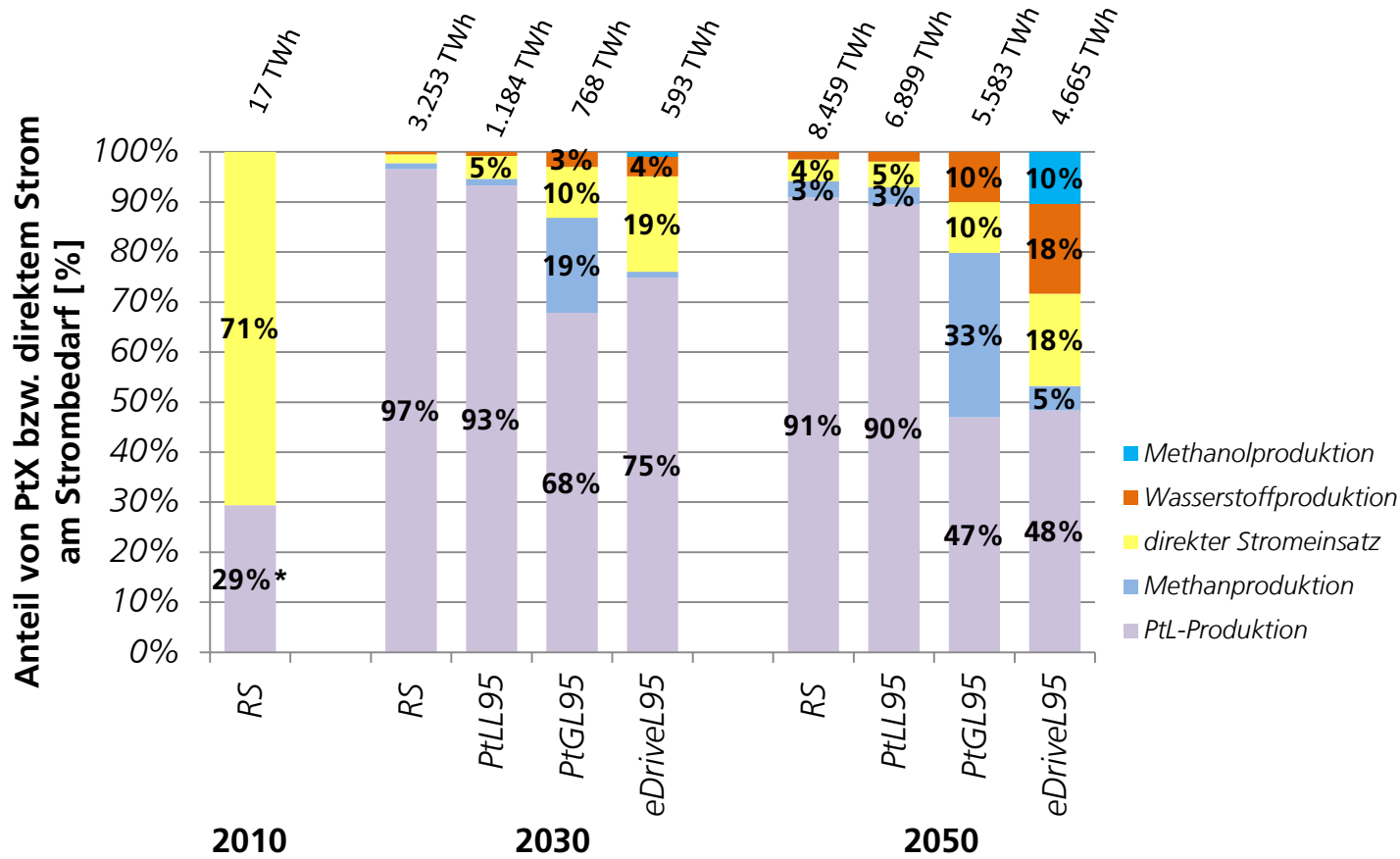
- Endenergiebedarf geht zw. 2010 und 2050 um 0 / 25 / 32 / 40 % runter
- Im Flugverkehr werden neben den Inlands- und EU-Flügen auch EU-Auslandsflüge bis zur ersten Landung berücksichtigt (die anderen Studien nicht)
- Der Anteil am erneuerbaren Wasserstoff am Wasserstoffbedarf liegt bei 84 / 94 / 93 / 92 % (RS / PtLL95 / PtGL95 / eDriveL95)

* Biofuels include:

- IEA 2017: Bio-Kerosin, Biogas, Biodiesel (neuartig/konventionell), Ethanol (neuartig/konventionell)
- EC 2016: Ethanol, Biodiesel, Bio-Kerosin und Biogas

Dena 2017: Der Strombedarf im Verkehr nimmt stark zu – variiert aber zwischen den Szenarien deutlich

EU - Aufteilung der Stromnachfrage im Verkehrssektor



Infobox:

dena 2017

- Im Szenario mit dem Schwerpunkt auf die Elektromobilität (eDriveL95) ist der Bedarf an Strom am geringsten, da hier der Anteil an direktem Strom (für BEV und PHEV usw.) im Vergleich zu anderen Szenarien am größten ist (d.h. der Strombedarf für verlustbehaftete PtX-Produktion sinkt)
- Der angenommene Bedarf an EE-Strom in 2050 für den Transportsektor liegt zehnmal höher als die aktuelle jährliche EE-Stromerzeugung in der EU (mehr als 80 % des zukünftigen Strombedarfs entfallen auf die synthetischen Kraftstoffe)
- Kumulierte Investitionen (gesamter Verkehrssektor) für erneuerbare Energieerzeugungskapazitäten, E-Fuel-Produktionsanlagen und Kraftstoffinfrastruktur sind, unter der Annahme von PtX-Herstellung in der EU, im eDriveL95-Szenario um 15 – 30 % niedriger als bei Szenarien mit weniger Elektroantrieben (ohne Fahrzeug- und Netzausbaukosten), beim Import von außerhalb der EU fällt der Unterschied mit 1 – 9 % deutlich geringer aus

* Dieser Anteil an PtL-Produktion wird in der Studie nicht näher erläutert

Agenda

I. Zusammenfassung

II. Projektübersicht

III. Projektergebnisse

1. International

2. Deutschland

a. Studienübersicht

b. Prämissen

c. Ergebnisse

3. Baden-Württemberg

4. META-Studien

IV. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Studienprofil: Klimapfade für Deutschland („BDI 2018“)

Verfasser: The Boston Consulting Group (BCG), Prognos
Auftraggeber: Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.
Erscheinungsjahr: 2018

Zeitraum: 2015 – 2050 **(THG-)Minderungsziel:** 80 und 95 % (normativ)

Schwerpunktregionen:

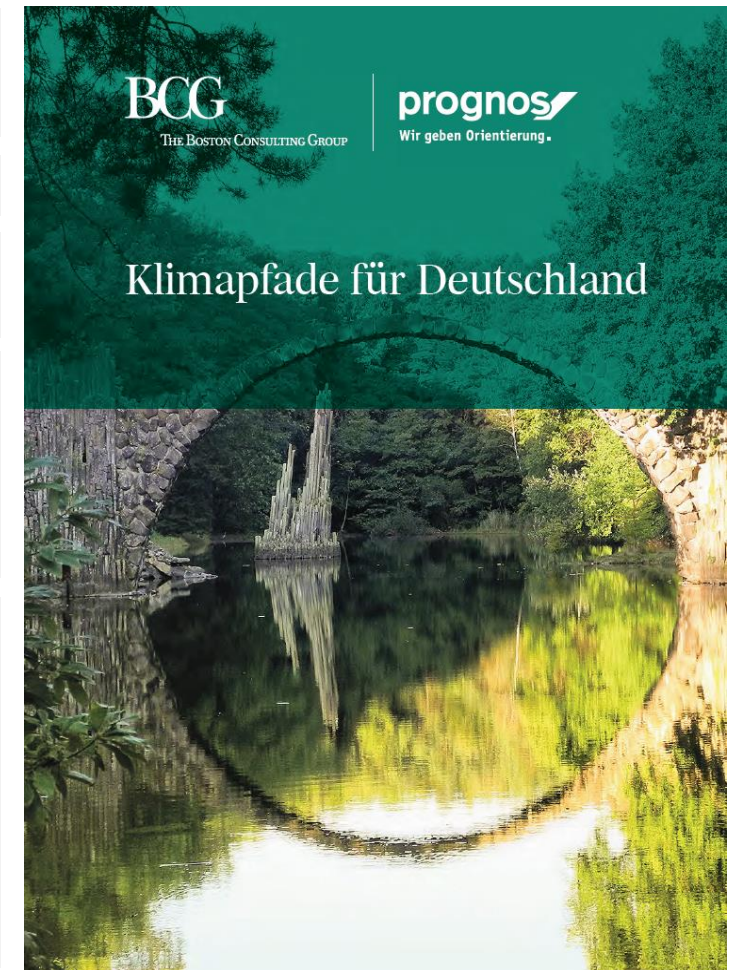
International National Baden-Württemberg

Methodik:

- Bottom-up kostenbezogene Optimierung nach gesamtwirtschaftlichen Kriterien (Ausgaben)
- THG-Senkung zu minimalen Kosten: reiner Kostenansatz, keine Berücksichtigung weiterer Kriterien
- Breite Industriebeteiligung
- Politikmaßnahmen werden empfohlen

Szenarienbeschreibung:

- Referenzpfad (RS): Derzeitige Anstrengungen (Maßnahmenumsetzung, politische und regulatorische Rahmenbedingungen und Technologieentwicklung) werden fortgesetzt
- 80%-Pfad (KS80): THG-Reduzierung bis 2050, gegenüber dem Referenzjahr 1990, um 80 %
- 95%-Pfad (KS95): THG-Reduzierung bis 2050, gegenüber dem Referenzjahr 1990, um 95 %



Studienprofil: Klimaschutzszenario 2050 („Öko/ISI 2015“)

Verfasser: Öko-Institut e.V., Fraunhofer ISI
Auftraggeber: BMUB
Erscheinungsjahr: 2015

Zeitraum: 2010 – 2050 **(THG-)Minderungsziel:** 80 und 95 % (normativ)

Schwerpunktregionen:

International National Baden-Württemberg

Methodik:

- Bottom-up kostenbezogene Optimierung nach gesamtwirtschaftlichen Kriterien (Ausgaben)
- Modellierung im Modellverbund gruppiert nach Gebäudesektor, Industrie, GHD, Haushaltsgeräte, Verkehrssektor und Stromerzeugung
- Gebäudesektor: stochastische kostenminimierende Optimierung

Szenarienbeschreibung:

- Aktuelle-Maßnahmen-Szenarien (RS): Alle bis Oktober 2012 umgesetzten Maßnahmen werden berücksichtigt und bis 2050 fortgeschrieben
- Klimaschutzszenario 80 (KS80): THG-Reduzierung bis 2050 um 80 %
- Klimaschutzszenario 95 (KS95): THG-Reduzierung bis 2050 um 95 %

www.oeko.de



Klimaschutzszenario 2050

2. Endbericht

Berlin,
18. Dezember 2015

Studie im Auftrag des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Öko-Institut e.V.

Büro Berlin
Schicklerstraße 5-7
D-10179 Berlin
Telefon +49 30 405085-0
Fax +49 30 405085-388

www.oeko.de

Fraunhofer ISI
Breslauer Str. 48
D-76139 Karlsruhe
Telefon +49 721 6809-203
Fax +49 721 6809-272

www.isi.fhg.de

Studienprofil: RENEWBILITY III – Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors („Öko 2016“)

Verfasser: Öko-Institut e.V. et al.
Auftraggeber: BMUB
Erscheinungsjahr: 2016



Zeitraum: 2010 – 2050 **(THG-)Minderungsziel:** 100 % im Verkehrssektor (normativ)

Schwerpunktregionen:

International National Baden-Württemberg

Methodik:

- Stakeholderprozess (Partizipation) für Gestaltung der Szenarien
- Simulation von Szenarien mit Berechnung der ökonomischen Auswirkungen (BIP, Beschäftigte & Externe Kosten) im Modellverbund
- Technologie- & Politiksetzung (Bewertung von Politikmaßnahmen)

Szenarienbeschreibung:

- Basisszenario (RS): Aktuelle Maßnahmen werden fortgesetzt
- Szenario Effizienz (SE): Dekarbonisierung des Verkehrssektors und max. Fahrzeugeffizienz
 - Szenarette „Fokus Kraftstoffe“ (SE1): Erhöhung der Kraftstoffkosten
- Szenario Effizienz plus (SEP): zusätzlich zu Maßnahmen in SE: Lebensqualität in Innenstädten und Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schienen
 - Szenarette „Pkw-Maut“ (SEP1): in 2050 eine Pkw-Maut
 - Szenarette „ohne Oberleitungs-Lkw“ (SEP2): Ertüchtigung Schienengüterverkehr

ENDBERICHT RENEWBILITY III

OPTIONEN EINER DEKARBONISIERUNG DES VERKEHRSSSEKTORS

21. November 16



Studienprofil: dena Leitstudie - Integrierte Energiewende („Dena 2018“)

Verfasser: Deutsche Energie-Agentur
Auftraggeber: -
Erscheinungsjahr: 2018

Zeitraum: 2010 – 2050 **(THG-)Minderungsziel:** 80 und 95 % (normativ)

Schwerpunktregionen:

International National Baden-Württemberg

Methodik:

- Optimierung nach gesamtwirtschaftlichen Kriterien (Ausgaben) gemischt mit Technologiesetzung
- Szenarioanalyse: Untersuchung der Mehrkosten verschiedener Transformationspfade, dient als Input für Modellierung
- Modell DIMENSION+: gekoppelte Bottom-up-Untersuchung des Gesamtenergiesystems inklusive Infrastrukturen

Szenarienbeschreibung:

- Referenzszenario (RS): Fortschreibung historischer Trends sowie aktueller Politik- und Technologieentwicklungen
- Elektrifizierungsszenario (EL): breite Elektrifizierung in allen Sektoren, THG- Reduktion bis 2050 um 80 % (EL80) und 95 % (EL95)
- Technologiemit-Szenario (TM): breite Variation an eingesetzten Technologien, THG-Reduktion bis 2050 um 80 % (TM80) und 95 % (TM95)

dena
Deutsche Energie-Agentur



dena-Leitstudie Integrierte Energiewende

Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050
Teil A: Ergebnisbericht und Handlungsempfehlungen (dena)
Teil B: Gutachterbericht (ewi Energy Research & Scenarios gGmbH)

 Integrierte
Energiewende

Prämissen: Nationale Studien

Prämisse	Öko 2016	BDI 2018	dena 2018	Öko/ISI 2015
Basisannahmen <i>Bevölkerung (Mio.)</i>	2030: 78 // 2050: 74	2030: 81 // 2050: 77	2030: 81 // 2050: 76	2030: 78 // 2050: 74
<i>BIP –CAGR</i>	0,8 % p.a. bis 2050	+ 50 % bis 2050	1,1 % p.a. bis 2050	0,8 % p.a. bis 2050
<i>Erdölpreis (\$/bbl)</i>	2030: 120 // 2050: 195	2030: 111 (RS / N*) / 80 (G**) 2050: 115 (RS / N*) / 50 (G**)	2030: 77 // 2050: 65	2030: 128 // 2050: 195
<i>CO₂-Preise (€/t CO₂)</i>	-	2030: 26 (RS / N*) / 55 (G**) 2050: 45 (RS / N*) / 124 (G**)	-	2030: 30 // 2050: 50
Biomasse	Bis 2020 7%-Deckel für Biokraftstoffe auf Anbaubasis. Nach 2020 kommt es im RS zum Phase-out. In KS liegt der Beimischungsanteil von Bioethanol (aus Lignocellulose) bei 5 %, von Biodiesel bei 10 % (aus BtL, HVO Palmöl und Uco-FAME) und von Biomethan bei 4 %. Gesamtpotenzial an Biokraftstoffen ist auf 90 PJ beschränkt.	Die maximale nachhaltige verfügbare Menge zur energetischen Nutzung beträgt in DE 1.200 bis 1.300 PJ. In KS steigt die Menge von 1.076 PJ in 2015 bis 2050 auf 1.200 PJ (davon 9 % für den Verkehrssektor).	Für die heimische Bioenergie wird ein Potenzial von 950 PJ/a angenommen und 173 PJ/a Importpotenzial für biogener Energieträger. In allen Szenarien wird die angenommene Potenzialgrenze von 1.023 PJ/a erreicht.	Biomassenpotenzial liegt in 2050 bei 1.211 / 1.223 / 1.131 PJ (RS / KS80 / KS95). Großteil aus Abfall- und Reststoffen. Es wird davon ausgegangen, dass zusätzliche Biomasse importiert wird.
PtX	In den KS liegt der Anteil von strombasierten Kraftstoffen in 2030 bei ca. 5 % und steigt bis 2050 auf bis zu 95 % an. Importquote liegt bei 100 %.	Im KS95 liegt in 2050 der Bedarf an synth. Kraftstoffen (für alle Sektoren) bei 1.224 PJ/a. Davon entfallen 878 PJ auf den Verkehrssektor. Nationale Produktion in diesem Umfang ist auch längerfristig nicht möglich, d.h. erheblicher Importbedarf.	National werden in 2050 zw. 468 – 590 PJ/a an PtX erzeugt. In 2050 in 80%-KS wird Wasserstoff größtenteils in Deutschland produziert und synth. Methan überwiegend aus dem EU-Ausland importiert, in 95%-KS wird der Großteil der PtX aus dem EU- und nicht-EU-Ausland importiert.	PtL kommt nur im KS95 zum Einsatz, erst nach 2030. Anteil an strombasierten Kraftstoffen in verbleibenden Flüssigkraftstoffen liegt in 2050 bei 50 % (2040: 25 %). Produktion kann sowohl im In- als auch Ausland erfolgen.

* Nationale Alleingänge

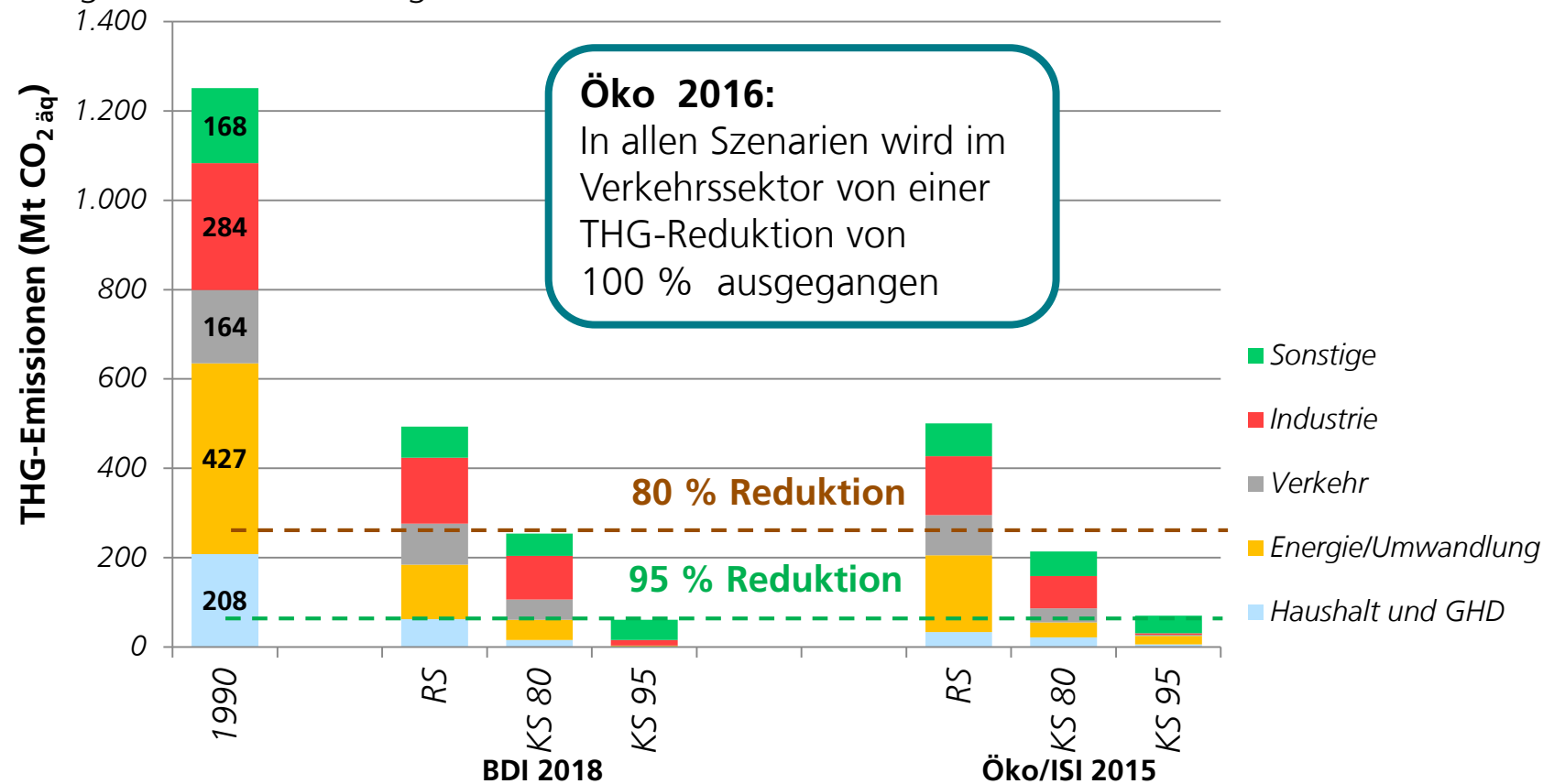
** Globaler Klimaschutz

BtL: Biomasse to Liquid (aus Abfall- und Reststoffen); HVO Palmöl: hydriertes Palmöl; Uco-FAME: Biodiesel aus Altpflanzenfetten

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

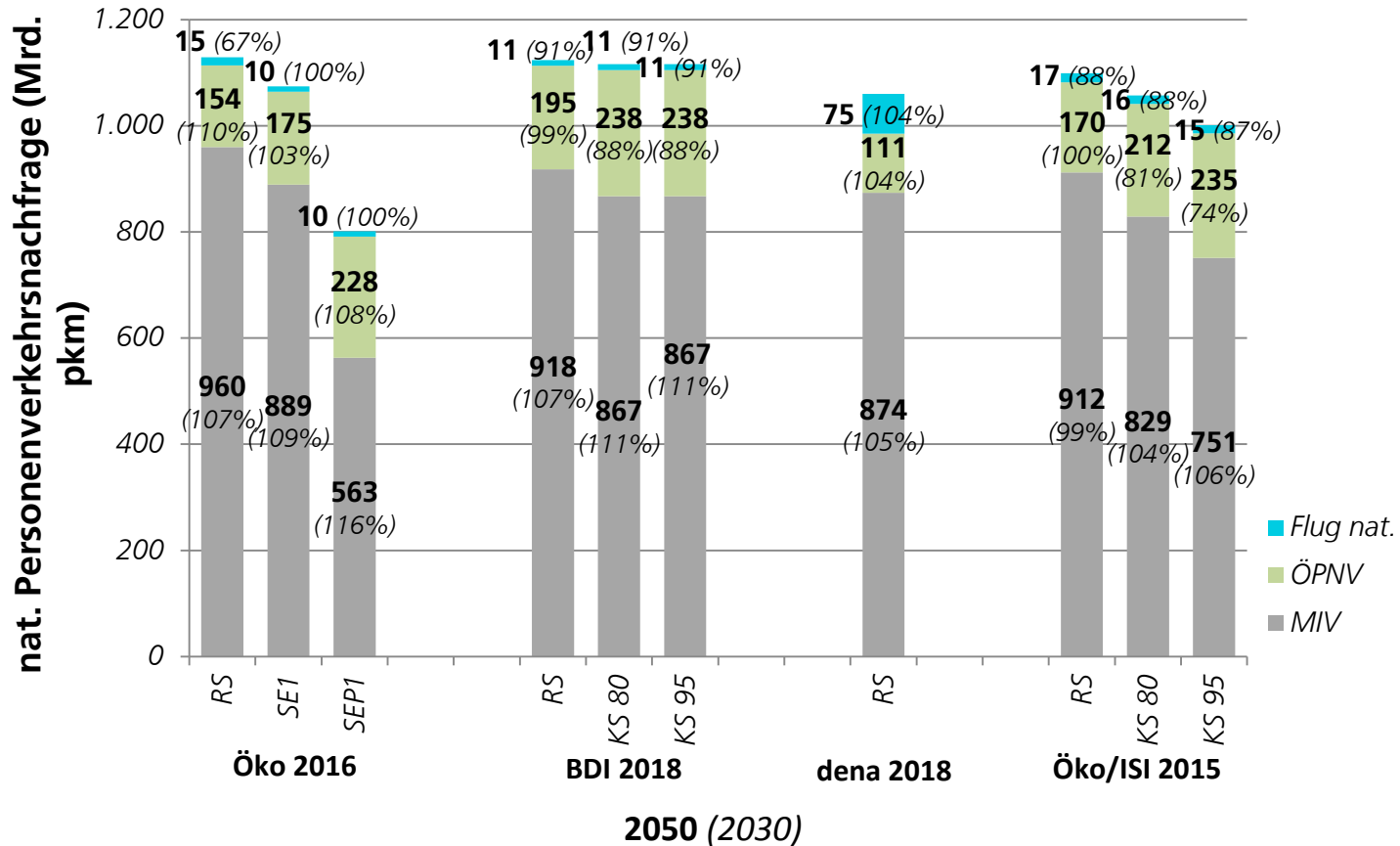
Eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 95 % bedeutet eine vollständige Ausschöpfung der technisch verfügbaren Reduktionspotenziale (solange keine negativen Emissionen genutzt werden sollen/können)

- Die „quasi unvermeidbaren“ Emissionen aus den Bereichen Landwirtschaft und Industrie füllen bereits nahezu das gesamte verbleibende Emissions-Budget
- Energieerzeugungssektor, erdgebundener Transportsektor, Wärmesektor quasi emissionsfrei



Die Entwicklung der Personenverkehrsnachfrage wird in den RS ähnlich gesehen, in den THG-Sz. deutliche Abweichungen

Verkehrssektor – nat. Personenverkehrsnachfrage



Infobox:

Öko 2016

- Personenverkehrsnachfrage ändert sich von 1.074 Mrd. pkm in 2010 bis 2050 auf 1.129 / 1.074 / 801 Mrd. pkm (2030: 1.207 / 1.161 / 909 Mrd. pkm, RS / SE1 / SEP1)

BDI 2018

- Personenverkehrsnachfrage ändert sich von 1.136 Mrd. pkm in 2015 bis 2050 auf 1.124 im RS bzw. 1.116 Mrd. pkm in KS (2030: 1.183 im RS bzw. 1.180 Mrd. pkm in KS)

dena 2018

- Personenverkehrsnachfrage ändert sich von 1.078 Mrd. pkm in 2015 bis 2050 auf 1.060 Mrd. pkm im RS (2030: 1.112 Mrd. pkm)

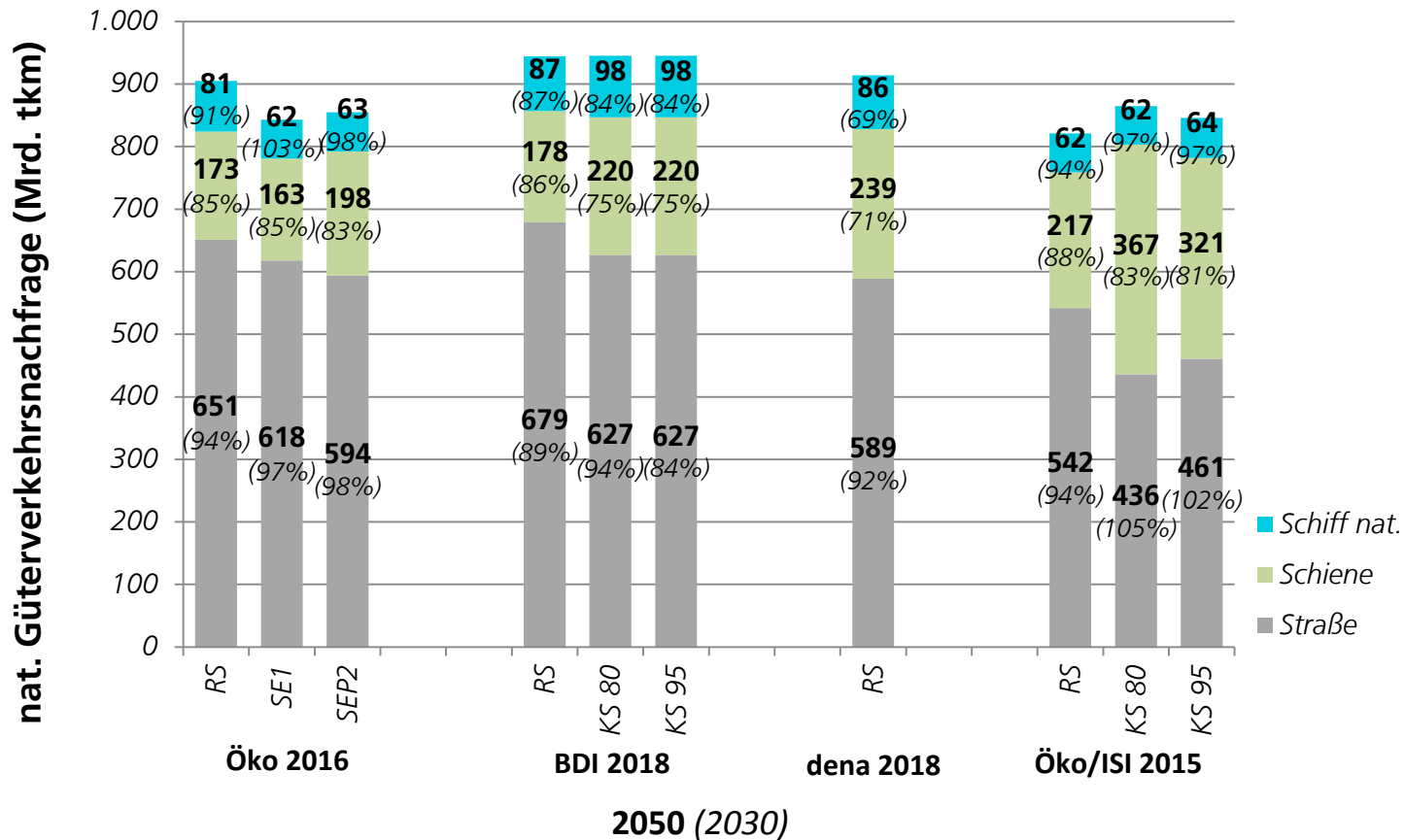
Öko/ISI 2015

- Personenverkehrsnachfrage ändert sich von 1.073 Mrd. pkm in 2010 bis 2050 auf 1.099 / 1.156 / 1.001 Mrd. pkm (2030: 1.090 / 1.045 / 985 Mrd. pkm, RS / SE1 / SEP1)

Hinweis: Die Zahlen in den Klammern beziehen sich auf das Jahr 2030

Die nationale Güterverkehrsnachfrage steigt stark an und wird ähnlich gesehen

Verkehrssektor – nat. Güterverkehrsnachfrage



Hinweis: Die Zahlen in den Klammern beziehen sich auf das Jahr 2030

Infobox:

Öko 2016

- Güterverkehrsnachfrage ändert sich von 607 Mrd. tkm in 2010 bis 2050 auf 905 / 843 / 853 Mrd. tkm (2030: 835 / 803 / 810 Mrd. tkm, RS / SE1 / SEP1)

BDI 2018

- Güterverkehrsnachfrage ändert sich von 639 Mrd. tkm in 2015 bis 2050 auf 944 im RS bzw. 945 Mrd. tkm in KS (2030: 836 im RS bzw. 838 Mrd. tkm in KS)

dena 2018

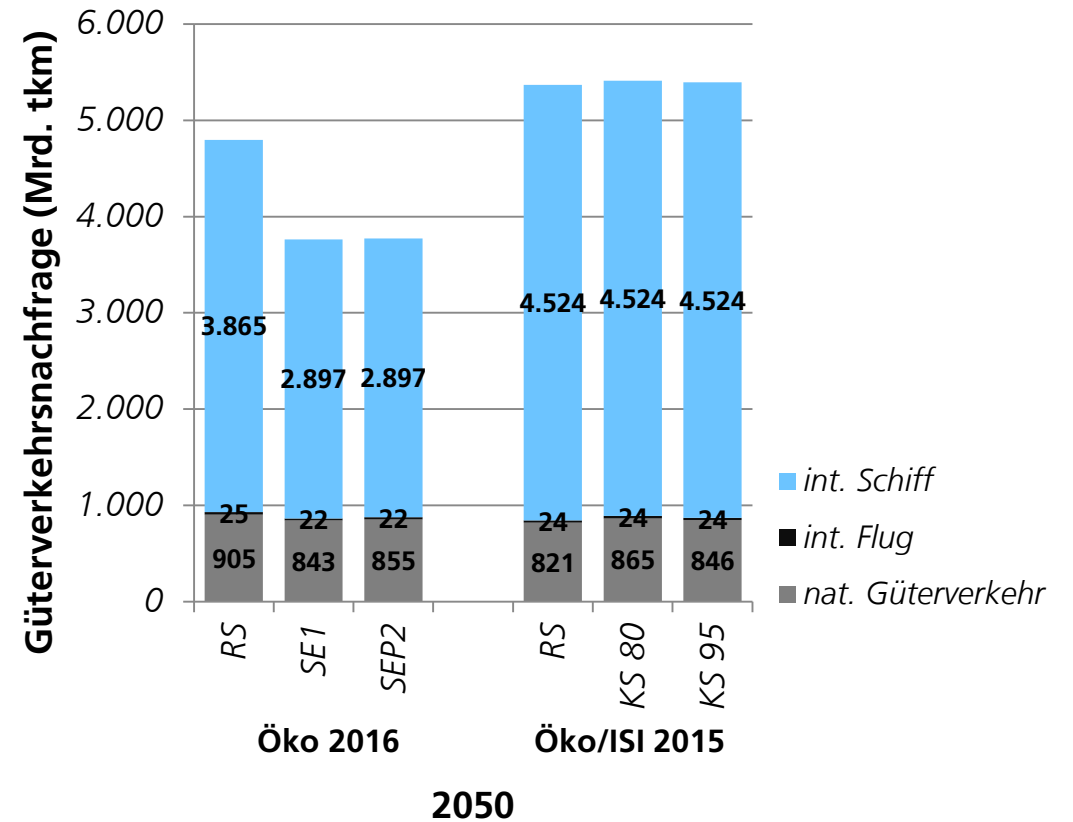
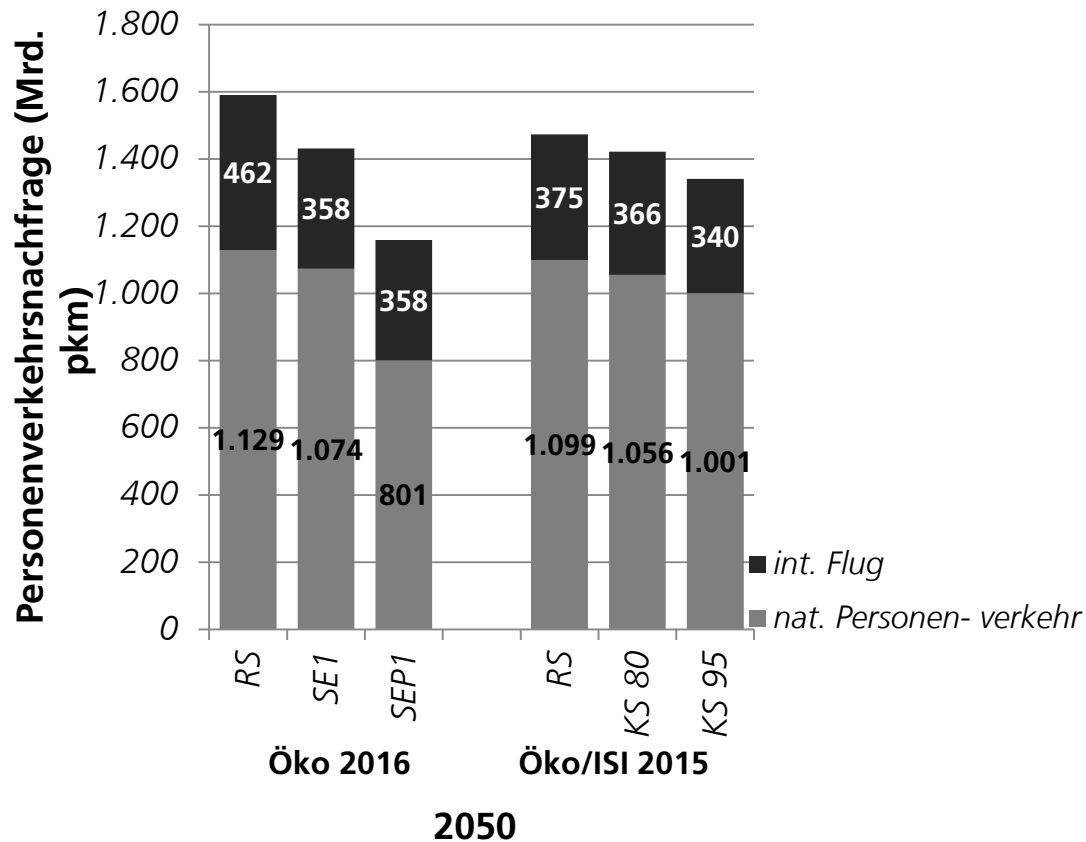
- Personenverkehrsnachfrage ändert sich von 665 Mrd. tkm in 2015 bis 2050 auf 914 Mrd. tkm im RS (2030: 772 Mrd. tkm)

Öko/ISI 2015

- Personenverkehrsnachfrage ändert sich von 604 Mrd. tkm in 2010 bis 2050 auf 821 / 865 / 846 Mrd. tkm (2030: 757 / 822 / 793 Mrd. tkm, RS / SE1 / SEP1)

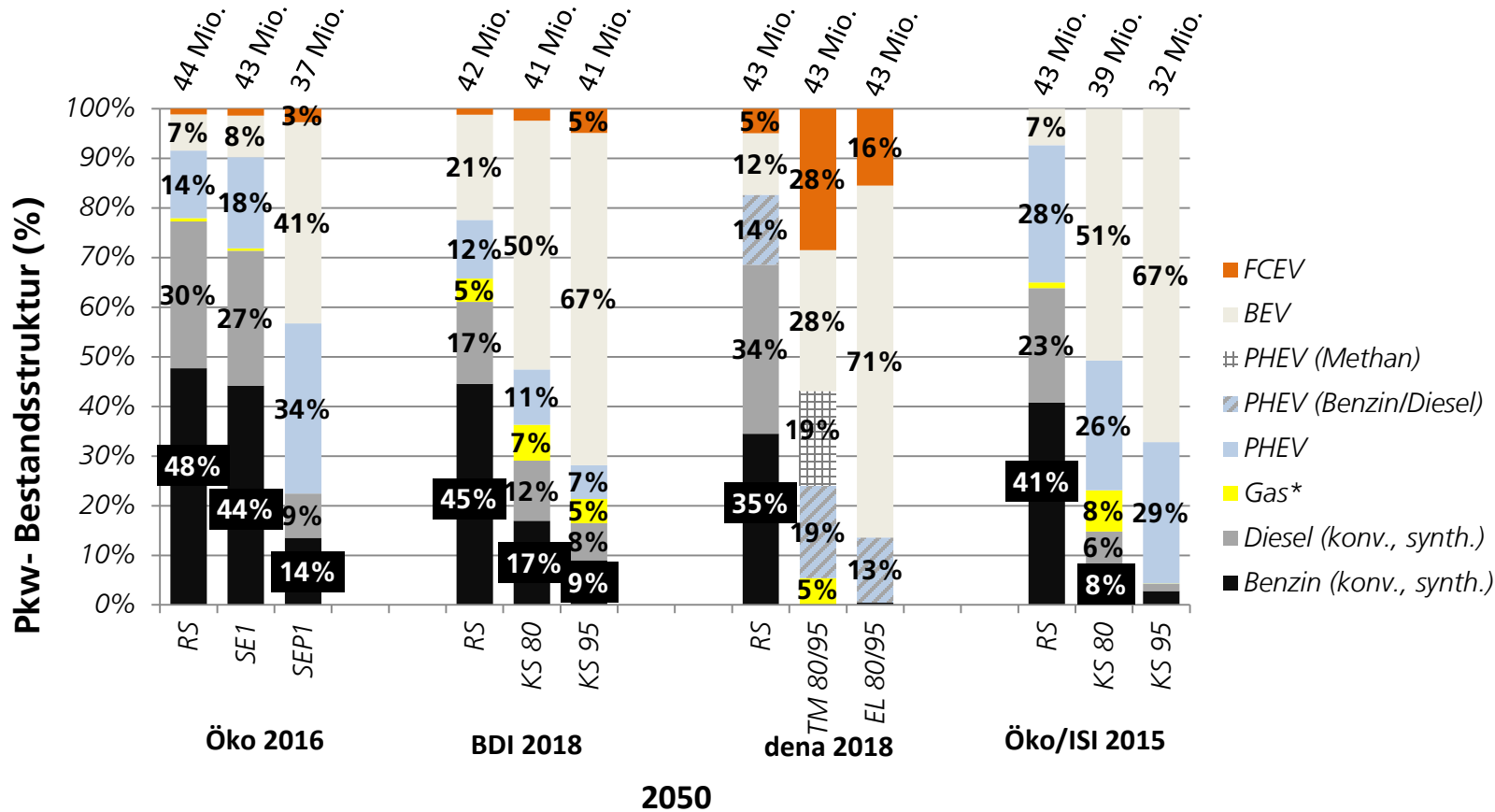
Der nat. Personenverkehr unterscheidet sich teils deutlich – nat. Güterverkehr ist annähernd gleich

Verkehrssektor – gesamte Verkehrsnachfrage



Im Personenverkehr sind BEV/PHEV bereits relevant im RS und Dominanz in Klima-Szenarien

Verkehrssektor – Pkw-Bestandsstruktur



Infobox:

Öko 2016

- Bestand lag 2010 bei 42 Mio.

BDI 2018

- Bestand lag 2015 bei 44 Mio.

dena 2018

- Bestand lag 2015 bei 45 Mio.
- Grund für hohen FCEV-Marktanteil in beiden Szenarien (ca. 16 – 28 %): Reichweitenbeschränkung für BEV, jedoch keine detaillierte Beschreibung / Begründung

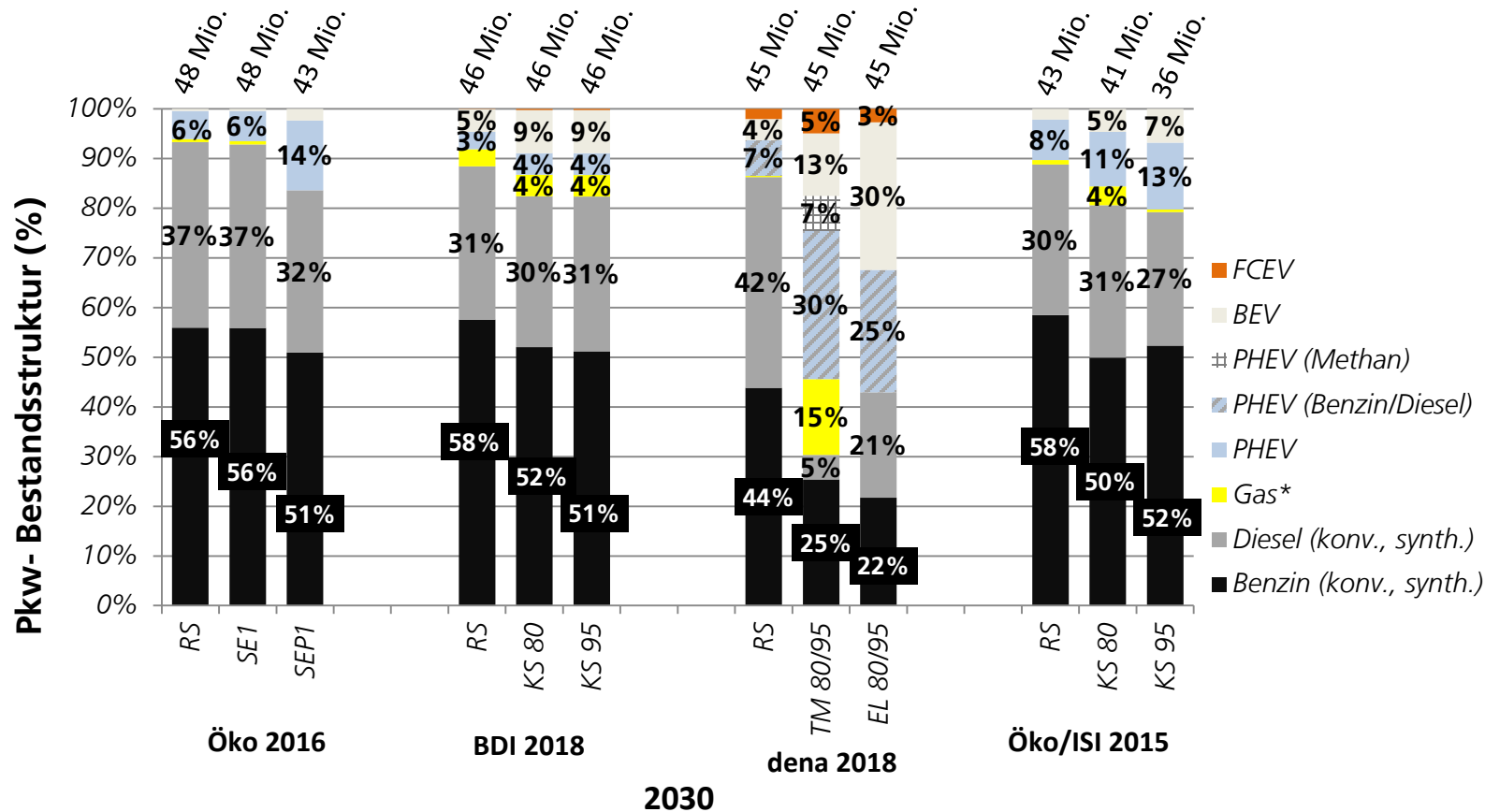
Öko/ISI 2015

- Bestand lag 2010 bei 42 Mio.

* BDI 2018: synth. Gas (sowie andere synth. Kraftstoffe) kommen erst im KS95 zum Einsatz; dena 2018 = Methan im TM80/95

Bis 2030 wird von moderatem Anstieg bei alternativen Antrieben ausgegangen – mit Ausnahme der dena 2018

Verkehrssektor – Pkw-Bestandsstruktur



Infobox:

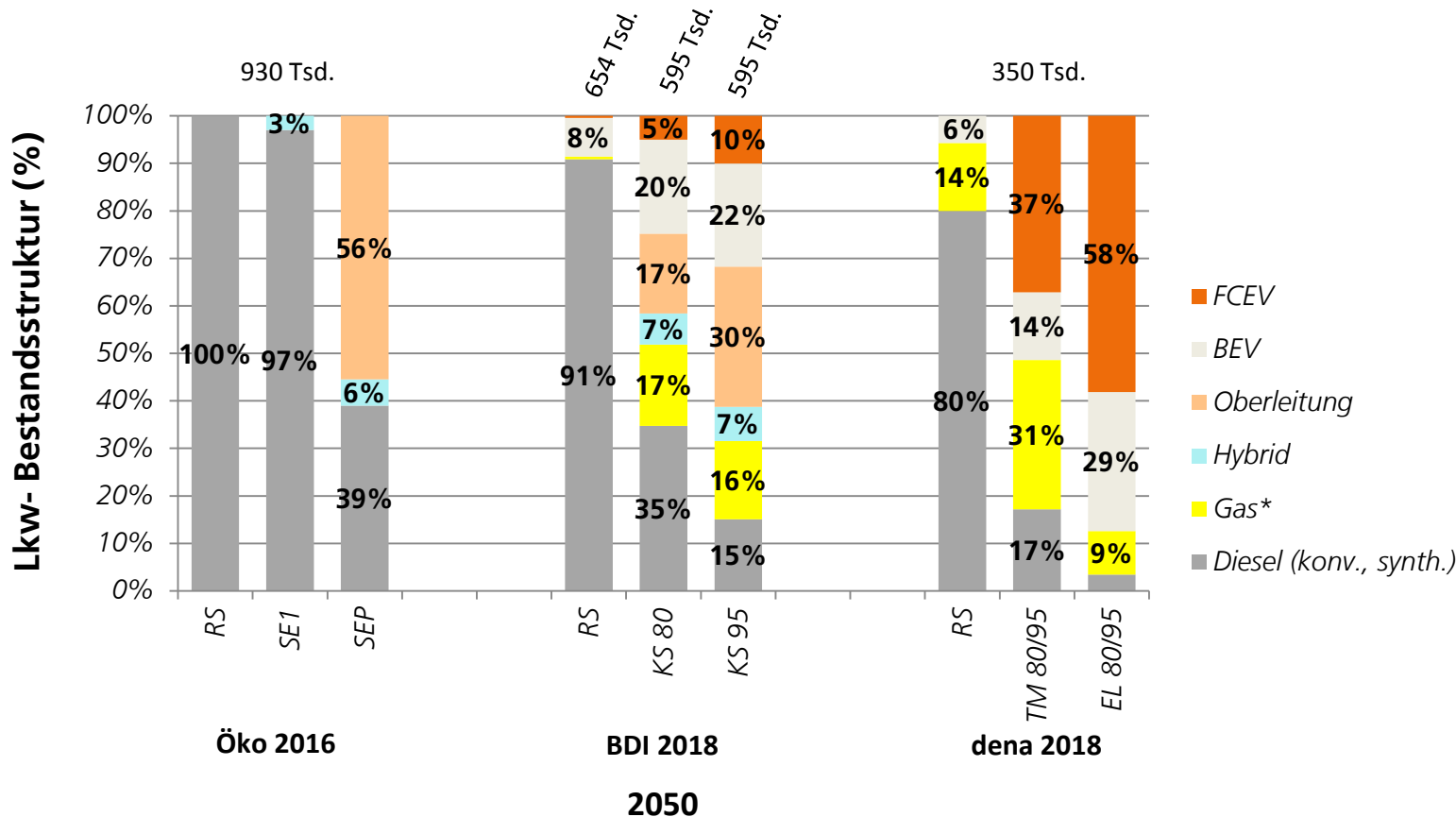
dena 2018

- hält als einzige Studie an den klimapolitischen Zielen im Verkehr (-40%) in den Szenarien TM80/95 und EL 80/95 für das Jahr 2030 fest (z.B. BDI 2018 erreicht 2030 im KS80 nur -20% und im KS95 -24%)

* BDI 2018: synth. Gas (sowie andere synth. Kraftstoffe) kommen erst im KS95 zum Einsatz; dena 2018 = Methan im TM80/95

Im Straßengüterverkehr werden heterogene Lösungen offeriert

Verkehrssektor – Lkw-Bestandsstruktur



Infobox:

Öko 2016

- Bestand lag 2010 bei 705 Tsd.

BDI 2018

- Bestand lag 2015 bei 711 Tsd.

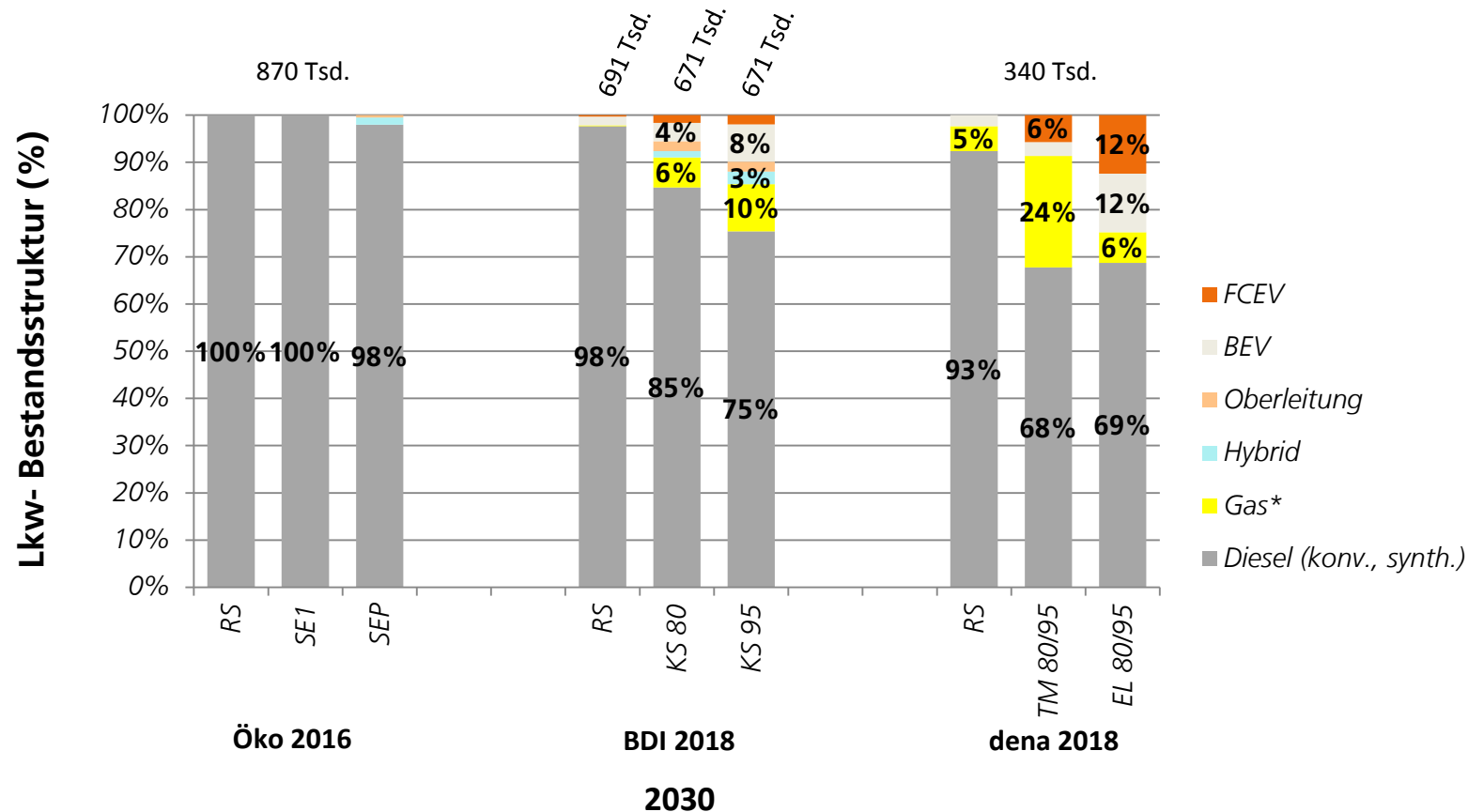
dena 2018

- 2030: 30 Alternative Antriebe in TM und EL-Szenario
- Bestand lag 2015 bei 320 Tsd. (Werte für Lkw > 12t fehlen)
- In der Oberleitung-Lkw-Sensitivitätsanalyse machen 2050 zw. 35 – 70 % der Neuzulassungen Oberleitung-Lkws aus (ca. 131 Tsd. im TM95 bzw. 270 Tsd. im EL95) → Im EL95 werden dadurch ca. 74 % an FCEV-Lkws ersetzt sowie 20 – 35 % LNG- und Diesel-Lkws und im TM95 64 Tsd. LNG-Lkws, 33 – 35 % FCEV-Lkws und Diesel-Lkws

* BDI 2018: synth. Gas (sowie andere synth. Kraftstoffe) kommen erst im KS95 zum Einsatz; dena 2018 = synth. Gas im TM80/95

2030 fängt in den Klimaschutzszenarien der Markthochlauf von alternativen Antrieben deutlich an

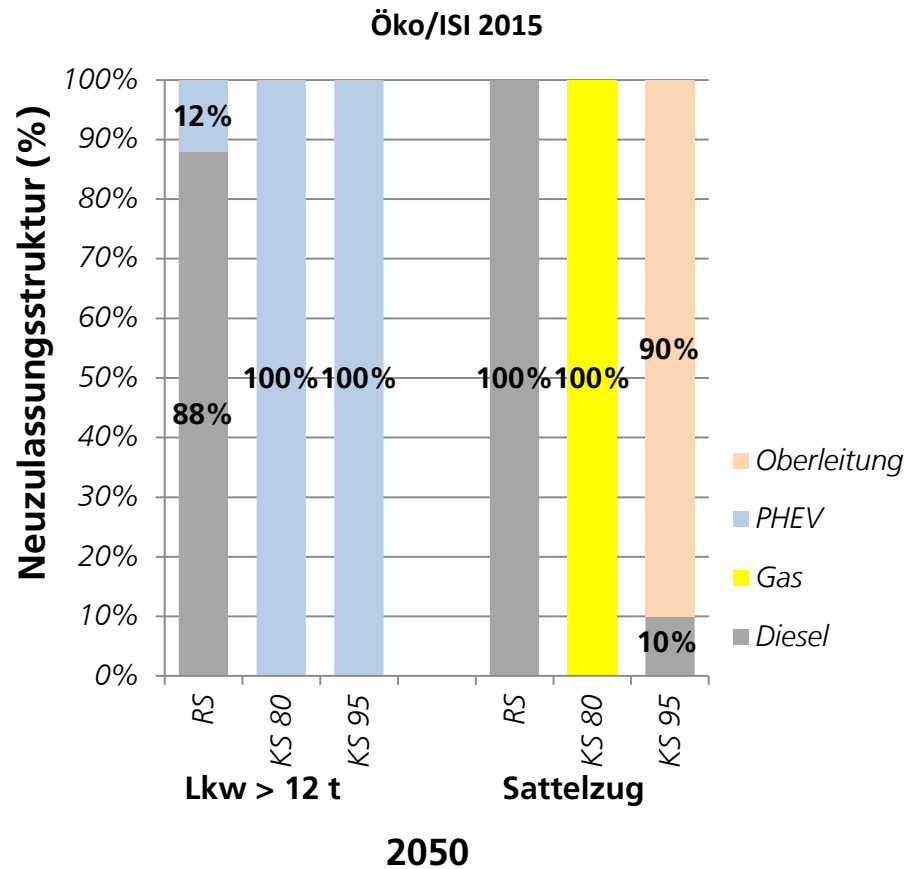
Verkehrssektor – Lkw-Bestandsstruktur



* BDI 2018: synth. Gas (sowie andere synth. Kraftstoffe) kommen erst im KS95 zum Einsatz; dena 2018 = synth. Gas im TM80/95

Öko/ISI 2015: Im Straßengüterverkehr unterscheidet sich die Neuzulassungsstruktur je nach Gewichtsklasse

Verkehrssektor – Neuzulassungsstruktur



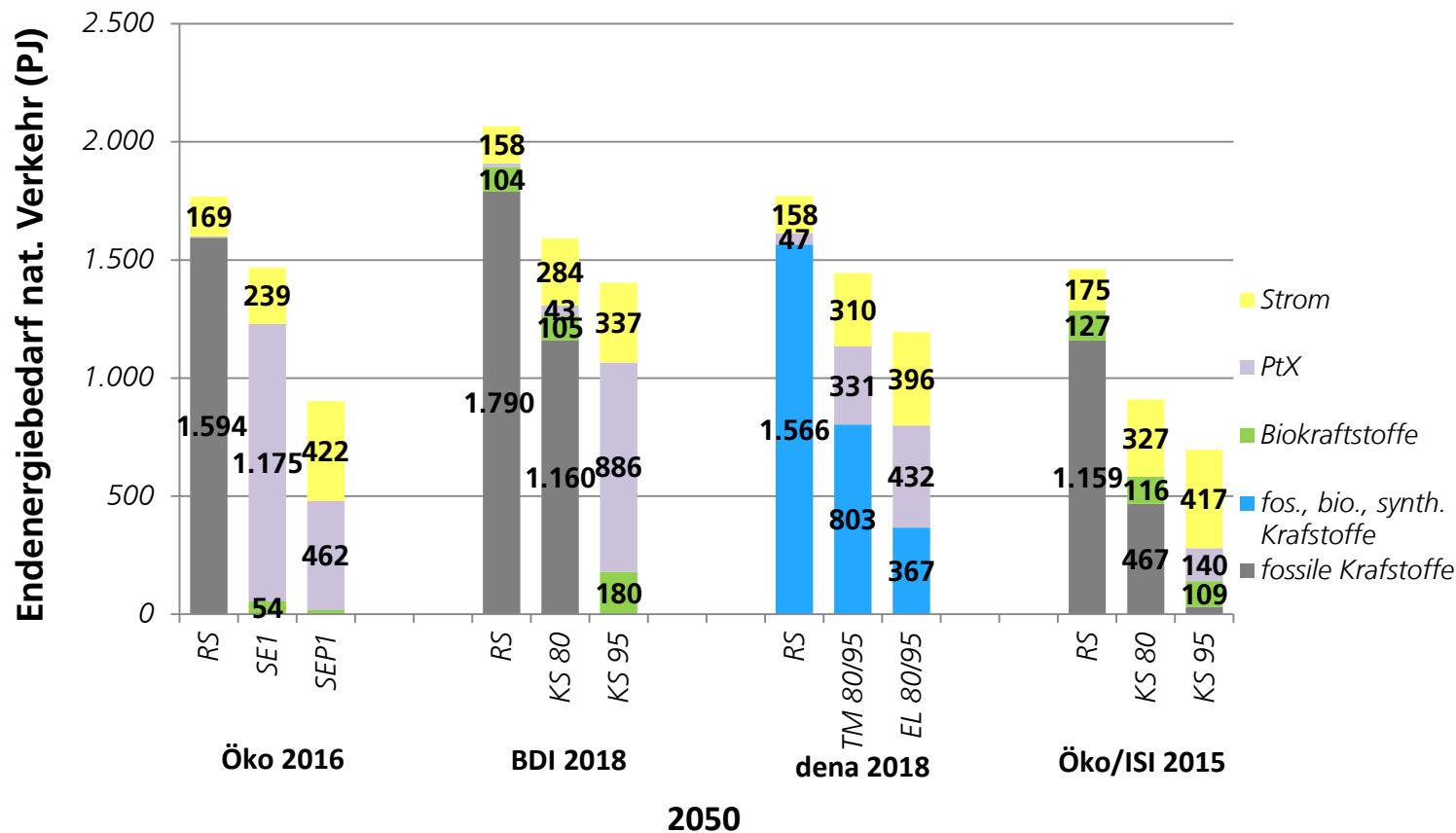
Infobox:

Öko/ISI 2015

- lediglich Informationen zur Neuzulassungsstruktur vorhanden

Endenergiebedarf sinkt in den Klima-Szenarien deutlich, hängt aber vom PtX- sowie Biokraftstoff-Anteil ab

Endenergiebedarf - nationaler Verkehr



Infobox:

Öko 2017

- Bio-Beimischungsanteil in Klimaszenarien: in 2050 10 % Biodiesel, 5 % Bioethanol und 4 % Biomethan
- PtX: Import Ausland

BDI 2018

- PtX: Import Ausland

dena 2018

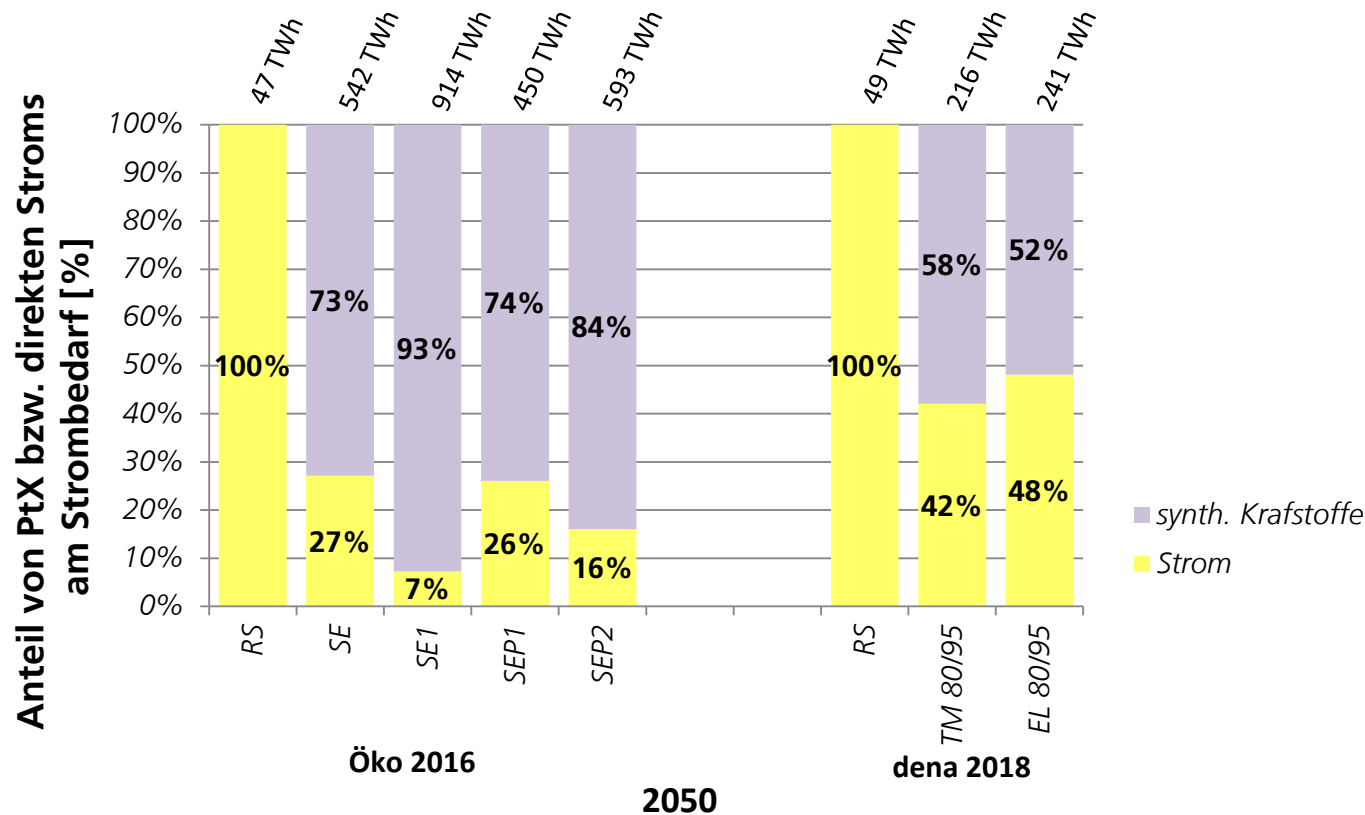
- im TM 80/95 entfallen ca. 508 PJ der fossilen, biogenen und synth. Kraftstoffe auf Gas und Kerosin
- EL 80/95 hat den geringsten Endenergieverbrauch, da hier vermehrt hocheffiziente batteriebetriebene Technologien und Brennstoffzellen zum Einsatz kommen

Öko/ISI 2015

- Bio-Beimischungsanteil in Klimaszenarien: in 2050 steigt im KS80 bzw. KS95 auf 20 bzw. 40 % an, Anteil an Biogas liegt in 2050 bei 20 %
- Anteil an PtX in verbleibenden Flüssigkraftstoffen liegt 2050 bei 50 % (im KS95)

Der Strombedarf im Verkehr nimmt stark zu – variiert aber zwischen den Szenarien deutlich

Aufteilung der Stromnachfrage im Verkehrssektor



Infobox:

Öko 2016

- In der Szenarete „Fokus Kraftstoffe“ (SE1) liegt der höchste Strombedarf vor, denn hier ist der einzige Treiber für Effizienzsteigerung synth. Kraftstoffe (dadurch hoher Stromaufwand)
- Szenarete „Pkw-Maut“ (SEP1) hat den geringsten Strombedarf, da hier der Fahrzeugbestand reduziert wird

Agenda

I. Zusammenfassung

II. Projektübersicht

III. Projektergebnisse

1. International

2. Deutschland

3. Baden-Württemberg

a. Studienübersicht

b. Prämissen

c. Ergebnisse

4. META-Studien

IV. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Studienprofil: Energie- und Klimaschutzziele 2030 („ZSW 2017“)

Energie- und Klimaschutzziele 2030

Verfasser: ZSW, ifeu et al.
Auftraggeber: Land Baden-Württemberg
Erscheinungsjahr: 2017

Zeitraum: 2014 – 2050 **(THG-)Minderungsziel:** 90 % bis 2050 in BaWü (normativ)

Schwerpunktregionen:

International National Baden-Württemberg

Methode:

- Prinzip der Quellenbilanz: Erfassung aller relevanten Emittentengruppen im Land
- Emissionen Verkehr: Model TREMOD
 - Emissionsberechnungen basierend auf Aktivitätsdaten und spezifischen Verbrauchs- und Emissionsfaktoren

Szenarienbeschreibung:

- Referenzszenario (RS): business-as-usual-Fall
- Zielszenario (ZS): bis 2050 Minderung der THG-Emission um 90 % in BaWü
- sektorale Sensitivitätsanalysen



Energie- und Klimaschutzziele 2030

Förderkennzeichen: BWKS 16001 - BWKS 16004

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert.

September 2017

Studienprofil: Verkehrsinfrastruktur 2030 („VM BW 2017“)

Verfasser: Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg
Auftraggeber: -
Erscheinungsjahr: 2017

Zeitraum: 2010 – 2030 **(THG-)Minderungsziel:** 40 % bis 2030 im Verkehrssektor (normativ)

Schwerpunktregionen:

International National Baden-Württemberg

Methode:

- Verkehrsmodell des Bundesverkehrswegeplanes
- Berechnung der Verkehrsbelastungen in den Verkehrsnetzen im Straßen- und Schienenverkehr
- Rückkopplung mit differenzierten Umlegungsmodellen für Straßen- und Schienenverkehr unter Berücksichtigung der Streckenkapazitäten und Auslastungen

Szenarienbeschreibung:

- Referenzszenario (RS): aktueller Bundesverkehrsplan (BVWP-Szenario)
- Klimaschutzszenario (KS): THG-Minderung von 40 % bis 2030 im Verkehrssektor
- Sensitivitätsanalysen (SA1 bis SA3): bei SA1 liegt der Schwerpunkt auf Elektromobilität, bei SA2 auf Senkung des Durchschnittsverbrauchs und bei SA3 sind beide Effekte kombiniert plus Gasfahrzeuge



Studienprofil: Mobiles BaWü – Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität („Öko 2017“)

Verfasser: Öko-Institut, ISOE et al.
Auftraggeber: Baden-Württemberg Stiftung
Erscheinungsjahr: 2017

Zeitraum: 2014 – 2050 **(THG-)Minderungsziel:** 100 % bis 2050 im Verkehrssektor (normativ)

Schwerpunktregionen:

International National Baden-Württemberg

Methode:

- Verkehrsnachfrage basierend auf Stakeholder-Prozess
- Modellierung im Modellverbund
 - Modell TEMPS (Transport Emissions and Policy Scenarios) berechnet Endenergiebedarf, Emissionen und Ressourcenbedarf
 - Ökonomische Analyse basierend auf Wertschöpfungs- und Prozessmodell

Szenarienbeschreibung:

- Referenzszenario (RS)
- Neue Individualmobilität (NIM): technische Lösungsansätze (z.B. autonomes Fahren, BEV)
- Neue Dienstleistungen (NDL): Zunahme der Sharing-Ökonomie
- Neue Mobilitätsstruktur (NMK): deutliche Änderungen im Mobilitätsverhalten

Schriftenreihe der Baden-Württemberg Stiftung
Bildung Nr. 87



Wege der Transformation
zu einer nachhaltigen Mobilität

Baden-
Württemberg
Stiftung
WIR STIFTEN ZUKUNFT

Studienprofil: Kommerzialisierung der Wasserstofftechnologie („emobil 2016“)

Verfasser: Ludwig-Bölkow-Systemtechnik und DLR
Auftraggeber: e-mobil BW GmbH
Erscheinungsjahr: 2016

Zeitraum: 2010 – 2050 **(THG-)Minderungsziel:** explorativ

Schwerpunktregionen:

International National Baden-Württemberg

Methode:

- Modellbasierte kostenoptimierende Szenarioanalyse in räumlicher und zeitlicher Auflösung
 - dynamische Modellierung des Elektrolyseureinsatzes (Potenzialabschätzung von H₂)
 - Erneuerbare Stromerzeugung modelliert mit REMix in stündlicher Auflösung
- Zusätzliche Detailanalysen zu sektoralen Energiebedarfs- bzw. Technologieentwicklungsperspektiven

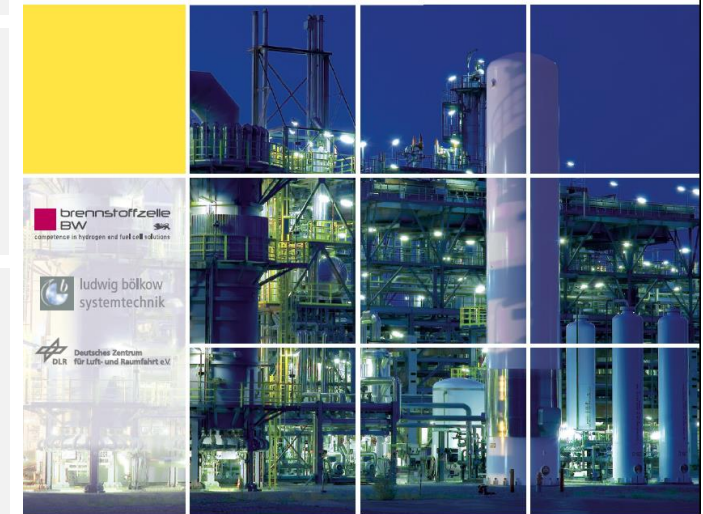
Szenarienbeschreibung:

- Referenzszenario (RS): keine Wasserstoffnutzung
- Konservatives Szenario (KS): Moderate Verschärfung der CO₂-Preise, nur geringe BZ-Kostendegression, kein konkurrenzfähiger Wasserstoffpreis, moderater Netzausbau
- Ambitioniertes Szenario (AS): Drastische Verschärfung der CO₂-Zielvorgaben bis 2030, hohe BZ-Kostendegression, konkurrenzfähige Wasserstoffpreise, verstärkter Netzausbau

e-mobil BW
Landesagentur für Elektromobilität und
Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg GmbH

KOMMERZIALISIERUNG DER WASSERSTOFF- TECHNOLOGIE IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Rahmenbedingungen und Perspektiven



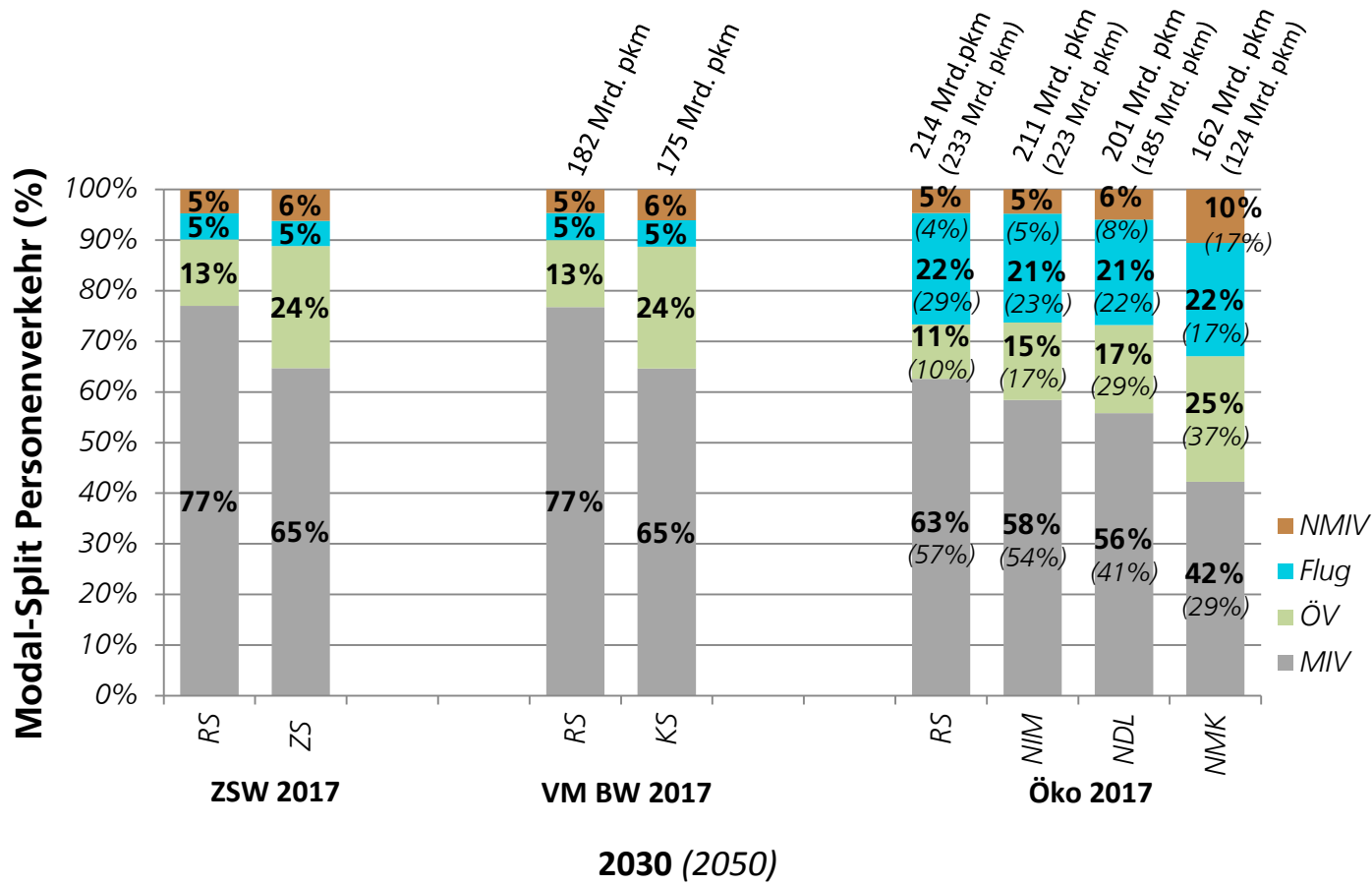

Baden-Württemberg

Prämissen: BaWü Studien

Prämisse	ZSW 2017	VM BW 2017	Öko 2017	emobil 2016
Basisannahmen <i>Bevölkerung (Mio.)</i>	2030: 11 (BaWü) / 80 (DE) 2050: 11 (BaWü) / 75 (DE)	2030: 11 (BaWü) / 78 (DE)	2030: 11 // 2050: 11	-
<i>BIP –CAGR</i>	1 % p.a. bis 2050 (BaWü) 0,9 % p.a. bis 2050 (DE)	1,4 % p.a. bis 2050 (BaWü) 1,1 % p.a. bis 2050 (DE)	-	-
<i>Erdölpreis (\$/bbl)</i>	2030: 116 // 2050: 134	2030: 120	-	-
<i>CO₂-Preise (€/t CO₂)</i>	2030: 34 // 2050: 90	-	-	-
Biomasse	Der Endenergieverbrauch von Biomasse (gesamt) nimmt bis 2030 um 32 % ggü. 2014 (59 PJ) zu und sinkt bis 2050 um 10 PJ wieder ab.	Biodieselanteil am Diesel steigt von 7,1 % in 2010 auf 13 % in 2030 und der Anteil an Ethanol im Superkraftstoff von 3,7 % in 2010 auf 10 % in 2030.		
P-t-X	Im Klimaschutzszenario werden fossile Kraftstoffe schrittweise durch PtL (hauptsächlich synth. Diesel) ersetzt, in 2050 sind 60 % ersetzt (2040: 15 %).	-	Einsatz von synth. Kraftstoffen überwiegend im Luft- und Seeverkehr. Die Produktion erfolgt wahrscheinlich größtenteils nicht in DE (Stromgestehungskosten sind zu hoch).	Der Wasserstoffbedarf des Verkehrssektors in BaWü in 2030 liegt im ambitionierten Szenario bei ca. 33.000 t (2020: 1.000 t), im konservativen Szenario deutlich geringer.

Starke Veränderung im Modal-Split im Personenverkehr

Verkehrssektor – Modal-Split im Personenverkehr



Infobox:

ZSW 2017

- Entwicklung der Verkehrsleistung ist der Studie VM BW 2017 entnommen

VM BW 2017

- Flugverkehr: Betrachtet wird der auf Baden-Württemberg bezogene Luftverkehr (Durchgangsverkehr wird nicht berücksichtigt)

Öko 2017

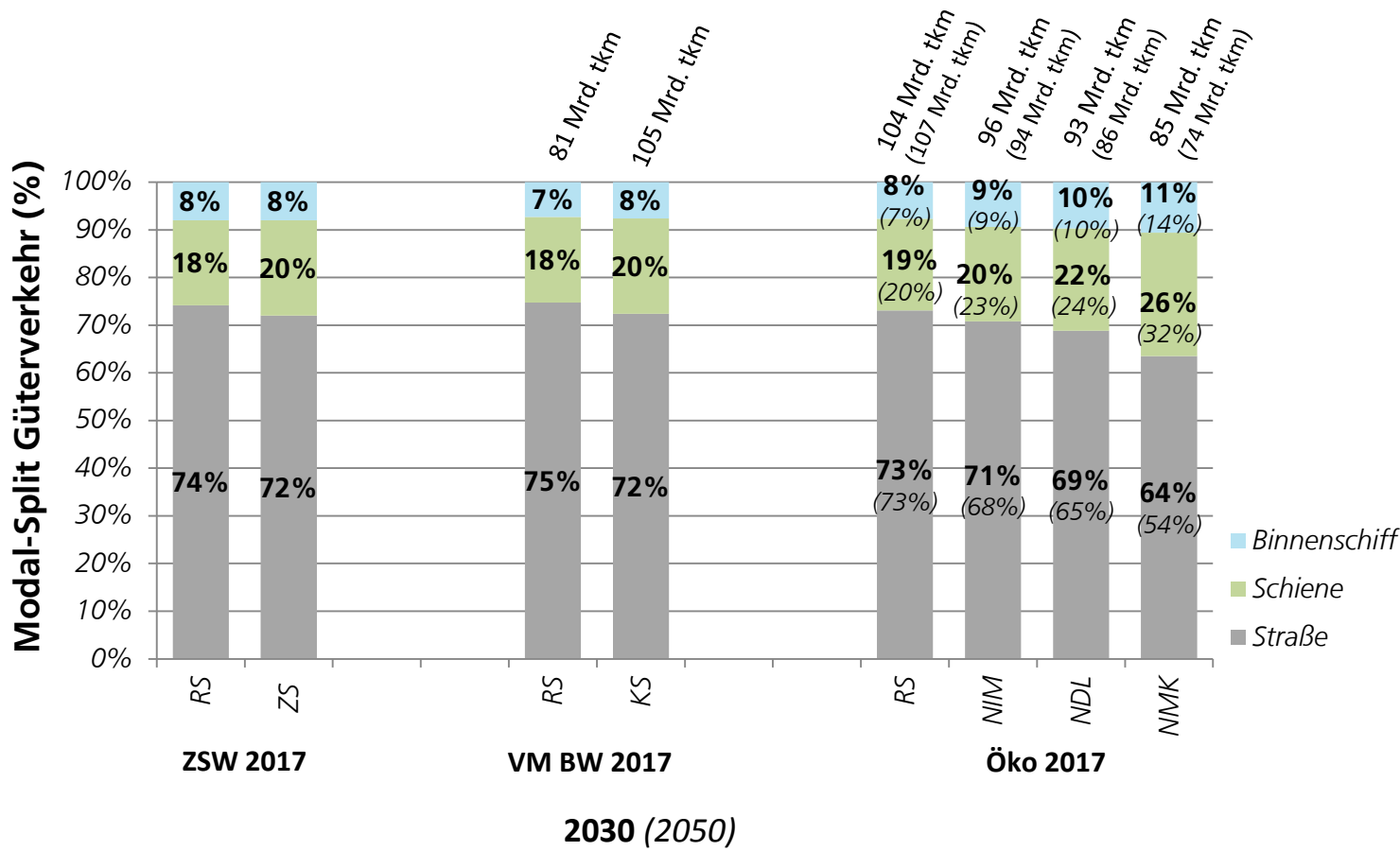
- Flugverkehr: Betrachtet wird der von Baden-Württemberg induzierte Luftverkehr
- MIV: private Pkw und Carsharing sind zusammengefasst. Der Anteil an Carsharing am MIV liegt in 2030 bei 0 / 1 / 4 / 2 % (RS / NIM / NDL / NMK) und steigt bis 2050 auf 0 / 4 / 17 / 10 % an

Szenario „Neue Mobilitätskultur“ (NMK) kommt den Zielen hinsichtlich einer ökologisch und sozial gerechten Nachhaltigkeit am nächsten (d.h. deutlicher Rückgang der Pkw-Fahrleistung und des Pkw-Bestandes)

Hinweis: Die Zahlen in den Klammern beziehen sich auf das Jahr 2050

In BaWü steigt die Güterverkehrsnachfrage bis 2030 an und nimmt anschließend in den Klima-Szenarien bis 2050 ab

Verkehrssektor – Modal-Split im Güterverkehr



Infobox:

ZSW 2017

- Entwicklung der Verkehrsleistung ist der Studie VM BW 2017 entnommen

VM BW 2017

- Güterverkehrsnachfrage steigt zw. 2014 und 2030 um 39 % im Referenzszenario bzw. um 35 % in den Klimaszenarien an

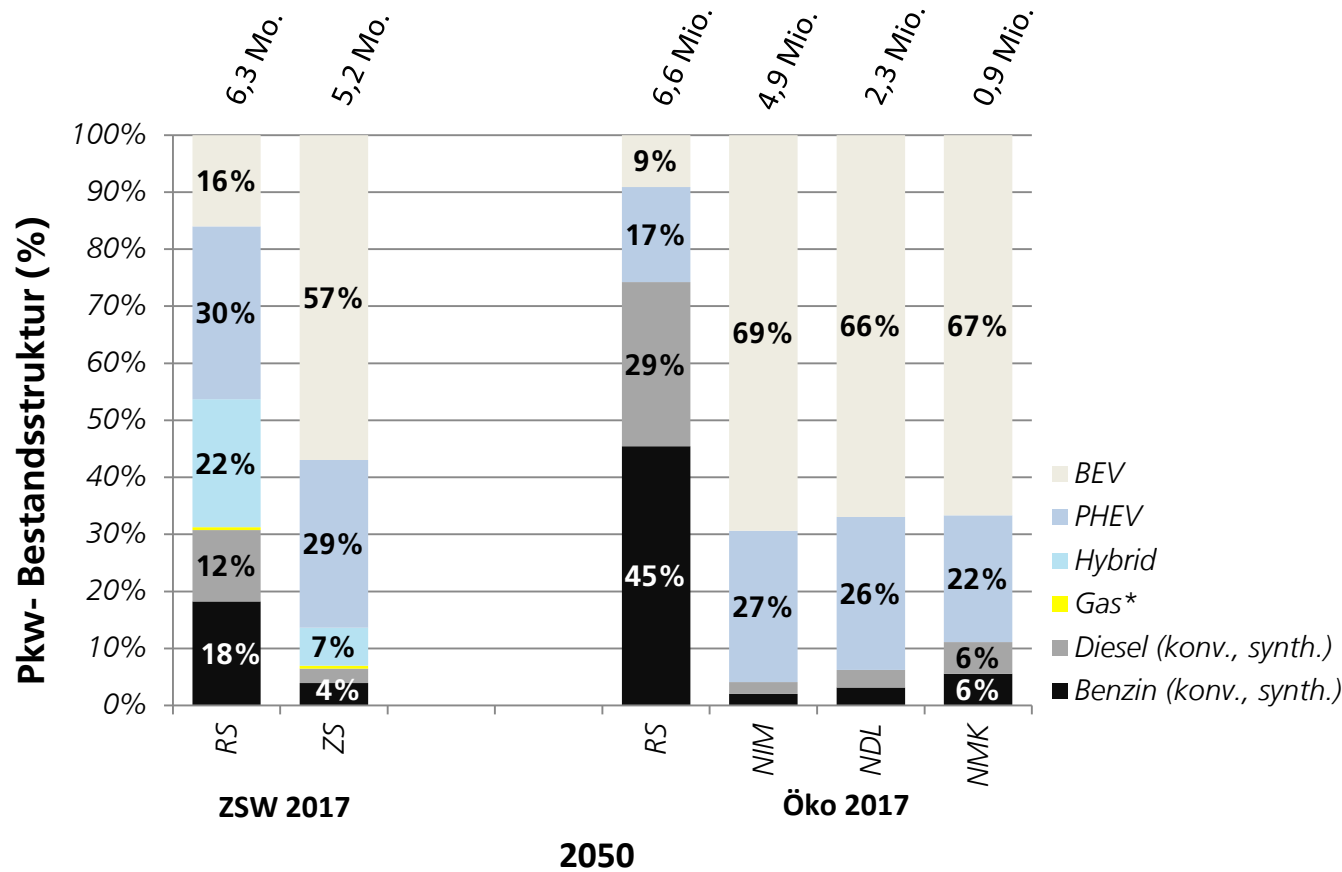
Öko 2017

- Berücksichtigt wird der Verkehr, der auf dem Territorium Baden-Württembergs einschließlich der Transitverkehre erbracht wird (gilt auch für Personenverkehr)
- Güterverkehrsnachfrage steigt zw. 2014 und 2030 um 30 % im Referenzszenario bzw. um 19 / 16 / 6 % (NIM / NDL / NMK) in den Klimaschutzszenarien an, bis 2050 sinkt die Nachfrage wieder

Hinweis: Die Zahlen in den Klammern beziehen sich auf das Jahr 2050

In den Klimaschutzszenarien dominieren in 2050 eindeutig die batterie-elektrischen Pkws

Verkehrssektor – Pkw-Bestandsstruktur



Infobox:

ZSW 2017

- Im ZS sind 60 % des fossilen Kraftstoffverbrauchs durch synth. Kraftstoffe ersetzt (hauptsächlich synth. Diesel)
- Anteil an alternativen Antrieben nimmt von ca. 1 % in 2015 bis 2050 stark zu (2030: 19 % im RS bzw. 30 % im ZS)

VM BW 2017

- Pkw-Bestand liegt in 2030 bei 6,6 Mio. im RS sowie in den Sensitivitätsanalysen bzw. 5,8 Mio. im KS
- Anteil an BEV liegt in 2030 bei 13 / 41 / 13 / 23 % (RS / KS / SA1 / SA2)

Öko 2017

- Anteil an alternativen Antrieben steigt von ca. 1 %, in 2014, bis 2050 stark an (2030: 9 / 24 / 22 / 18 % in RS / NIM / NDL / NMK)
- Pkw-Bestand nimmt in allen Klimaschutzszenarien ab (2030: 6,6 / 5,5 / 5,0 / 3,9 Mio. in RS / NIM / NDL / NMK)

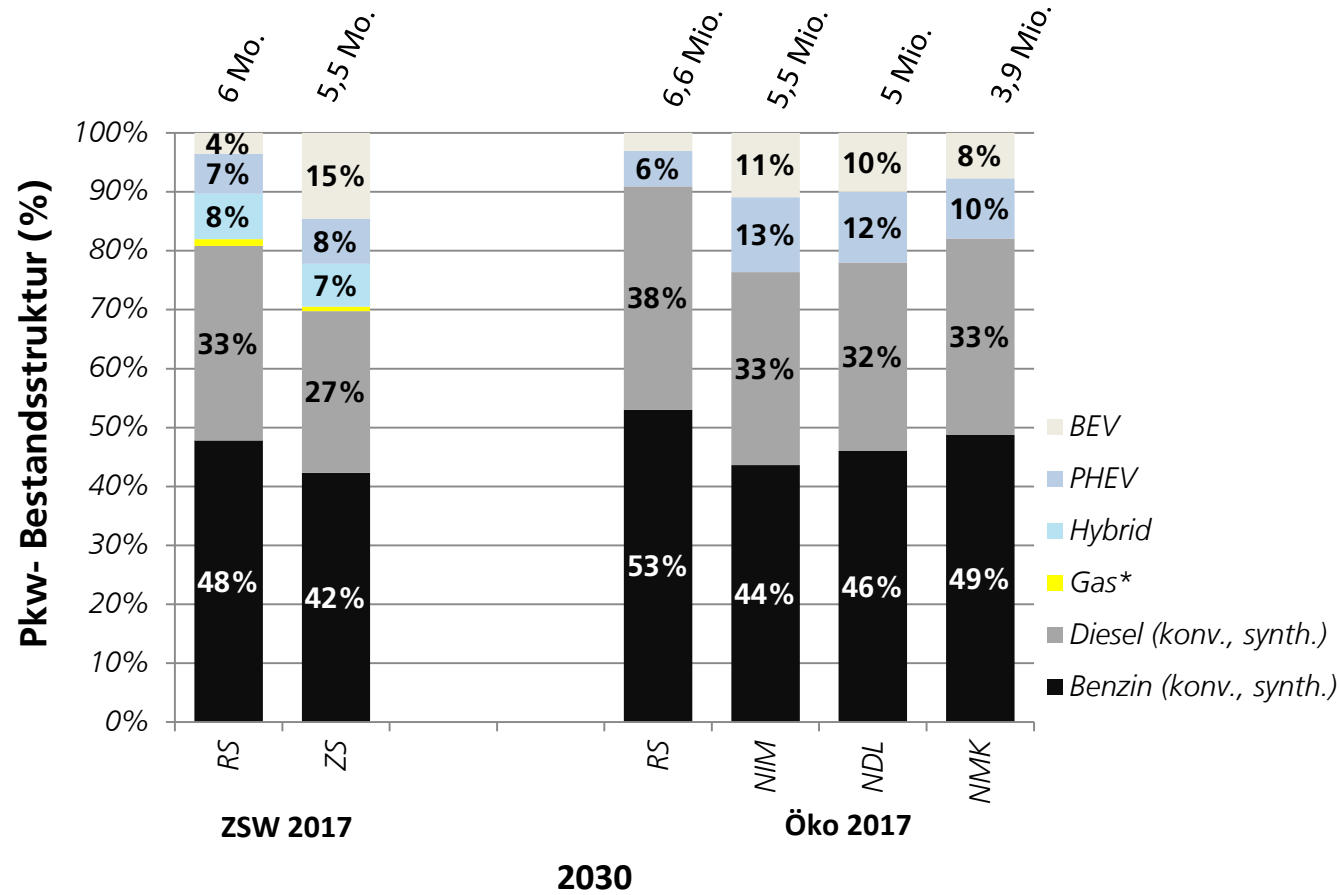
emobil 2016

- Anteil an FCEVs liegt in 2030 bei 0 / 0,06 / 2,31 % (RS / KS / AS)

* ZSW 2017 = CNG/LPG

In 2030 liegen die Anteile an BEV und PHEV in etwa gleich

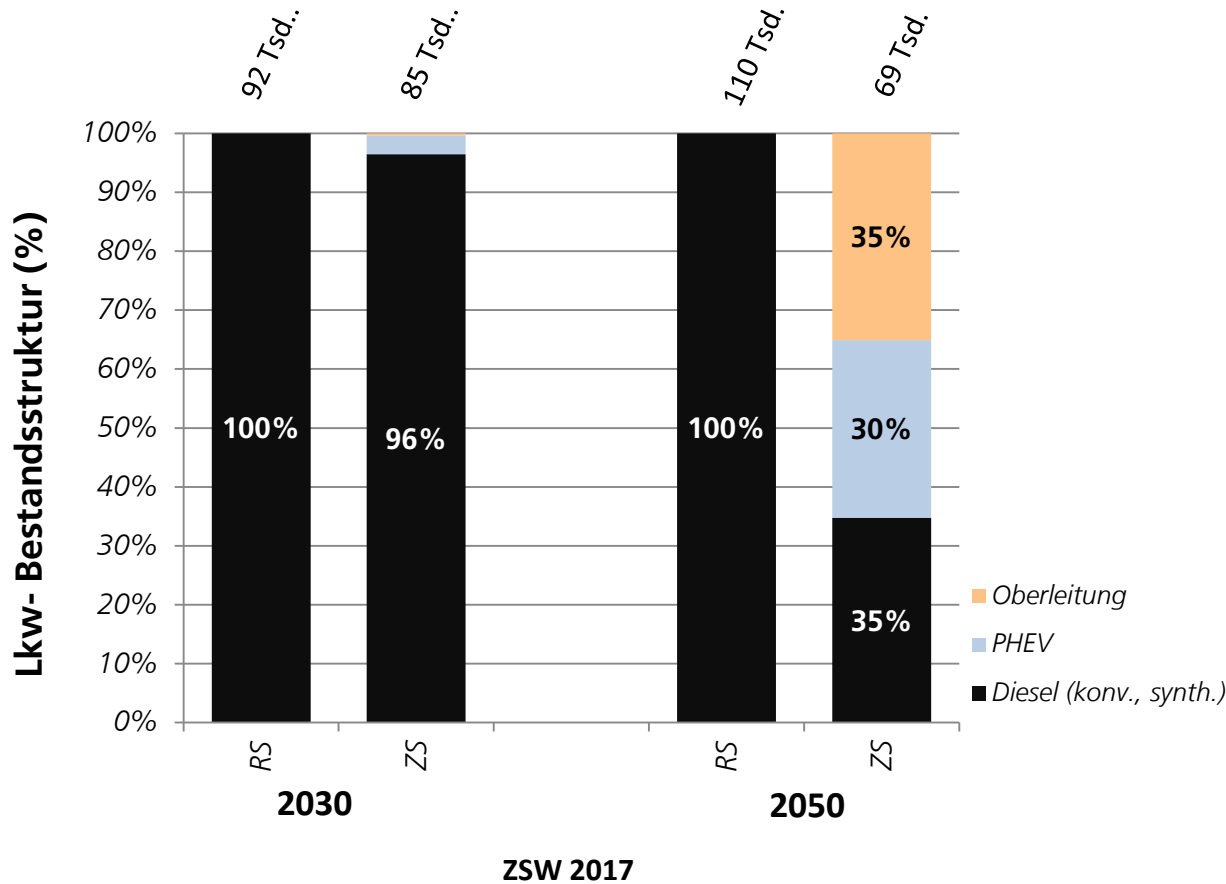
Verkehrssektor – Pkw-Bestandsstruktur



* ZSW 2017 = CNG/LPG

In ZSW 2017 nimmt der Lkw-Bestand bis 2030 zu und im Zielszenario bis 2050 anschließend wieder ab

Verkehrssektor – Lkw-Bestandsstruktur



Infobox:

ZSW 2017

- Betrachtet wird der Verkehr innerhalb BaWü
- Lkw-Bestand steigt zw. 2015 (82 Tsd.) und 2030 sowohl im Referenzszenario als auch im Zielszenario an (um 12 bzw. 4 %), bis 2050 steigt er im RS weiter an und im ZS sinkt er ab (ggü. 2015 um 16 %)
- Ab 2025 liegt der Anteil an Oberleitungs-Diesel-Lkws an der Neuzulassung im ZS in 2030 bei ca. 2 %, bis 2050 steigt er auf etwa 81 % an

Öko 2017

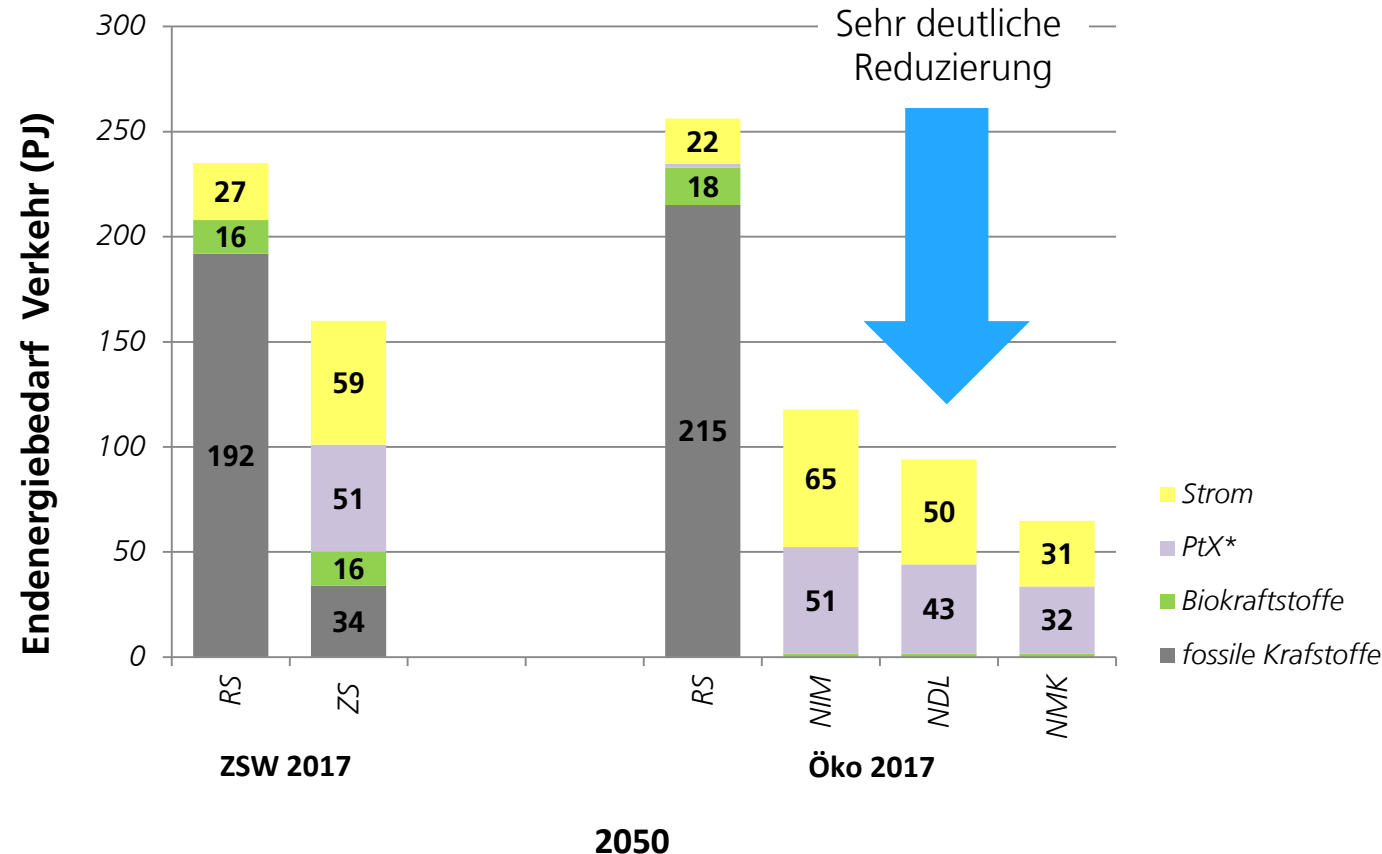
- Lkw-Bestand steigt von 97 Tsd. in 2014 bis 2050 auf 122 Tsd. im RS an, in den Klimaschutzszenarien ist eine unterschiedliche Entwicklung zu sehen (im NIM Anstieg auf 101 Tsd. und in den Szenarien NDL sowie NMK Abnahme auf 89 bzw. 63 Tsd.)

emobil 2016

- Lkw-Bestand ist 2030 bei ca. 90 Tsd.
- Anteil an FCEVs liegt in 2030 bei 0,1 % im KS bzw. bei 0,7 im AS

In den Klima-Szenarien werden in 2050 fossile Kraftstoffe größtenteils ausgeschlossen

Endenergiebedarf - Verkehr



Infobox:

ZSW 2017

- In 2050 werden ca. 60 % des fossilen Kraftstoffverbrauchs mittels PtL ersetzt (in 2040 sind es nur 15 %)
- Endenergiebedarf geht zw. 2014 (327 PJ) und 2050 um 29 % im RS bzw. um 51 % im ZS runter (2030: um 10 % im RS bzw. 25 % im ZS)

Öko 2017

- Wegen besseren Produktionsstandorten und niedrigerer Stromgestehungskosten wird PtX wahrscheinlich zum großen Teil nicht in DE produziert
- Endenergiebedarf geht zw. 2014 (331 PJ) und 2050 um 23 / 64 / 72 / 80 % (RS / NIM / NDL / NMK) runter
- Einsatz von synth. Kraftstoffen verursacht in 2050 je nach Szenario einen Strommehrbedarf von 142 – 251 PJ (nicht in der Grafik enthalten)

emobil 2016

- In 2030 liegt im AS der gesamte Wasserstoffbedarf des Verkehrssektors bei ca. 33.000 t (2020: ca. 1.000 t)

Agenda

- I. Zusammenfassung
- II. Projektübersicht
- III. Projektergebnisse**
 - 1. International
 - 2. Deutschland
 - 3. Baden-Württemberg
 - 4. META-Studien**
- IV. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Studienprofil: META-Studie Sektorenkopplung: „Analyse einer komplexen Diskussion“ (2018)

Sektorenkopplung 2018 Szenariotechnik: je nach Studie (und Szenario) explorativ oder normativ

Verfasser: enervis energy advisors GmbH
Auftraggeber: VNG Gruppe
Erscheinungsjahr: 2018

Zeitraum: 2018 – 2050 (THG-)Minderungsziel: je nach Studie bis zu 90 %

Schwerpunktregionen:

International National Baden-Württemberg

Methode:

- Vergleich einer Vielzahl von Studien mit unterschiedlichen Hintergründen und Annahmen
- Ziel: robustere Schlussfolgerungen zu ziehen, die unabhängiger von den Annahmen einzelner Studien sind

Szenarienbeschreibung:

- Die Studien bilden eine große Bandbreite von CO₂-Reduktionszielen ab (60 – 100 %).
- Die Bandbreite der betrachteten Szenarien umfasst dabei sowohl Referenz- als auch Dekarbonisierungsszenarien, die eine Reduktion der CO₂-Emissionen um mehr als 90 % ggü. 1990 abbilden.
- Die Studien beinhalten keine Szenarien mit sogenannten „Negativemissionen“



Enervis (2018): Übersicht der Studien und Auftraggeber – Mehrzahl aus der Gaswirtschaft beauftragt

Studie	Autor	Auftraggeber	Kürzel	Methodik				
				Betrachtete Sektoren (Strom, Wärme, Verkehr, Feedstock)	Szenarien			Reduktionsziele 2050
				Offen	P&G	Elektrifizierung		
Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems	acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften	-	acatech	SWVF	■	■	■	60% - 90%
Klimapfade für Deutschland	BCG, Prognos	BDI	BDI	SWVF	■	■	■	80% - 95%
Zwischenfazit – Integrierte Energiewende	dena	Ca. 70 Studien- und Modulpartner	dena	SWVF	■	■	■	80% - 95%
Erneuerbare Gase - ein Systemupdate der Energiewende	enervis	Initiative Erdgasspeicher e.V., Bundesverband Windenergie e.V.	enervis	SWVF	■	■	■	100%
Energiemarkt 2030 und 2050	ewi	Gelsenwasser AG, Open Grid Europe GmbH, RheinEnergie AG	ewi	SWVF	■	■	■	95%
Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems	Fraunhofer ISI, consentec, ifeu	BMWi	Fraunhofer ISI	SWVF	■	■	■	80% - 95%
Zwischenfazit Integrierte Energiewende	Fraunhofer ISE	-	Fraunhofer ISE	SWVF	■	■	■	85%
Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr	Fraunhofer IWES	-	Fraunhofer IWES	SWVF	■	■	■	80%
Der Wert der Gasinfrastruktur für die Energiewende in Deutschland	Frontier, IAEW, 4Management, EMCEL	FNB Gas e.V.	frontier	SWVF	■	■	■	95%
Klimaschutzszenario 2050	Öko-Institut, Fraunhofer ISI	BMUB	Öko Institut	SWVF	■	■	■	80% - 95%
Sektorenkopplung: Vier Infrastrukturen	BTU Cottbus-Senftenberg	MITNETZ STROM, ONTRAS, ENSO NETZ	BTU	SWVF	□	□	□	Anderer Ansatz

CO₂-Reduktion ist zu begrenzten Kosten möglich, allerdings sind Maßnahmen noch nicht gesichert

Zentrale Ergebnisse Enervis 2018 - allgemein

- **80 % CO₂-Reduktion zu begrenzten Kosten möglich**
 - Für eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 80 % gegenüber 1990 sind die technologischen Strategien bekannt; die volkswirtschaftlichen Kosten sind begrenzt. Erdgas spielt hier weiter in vielen Sektoren eine zentrale Rolle.
- **Strategie der Technologie- und Innovationsoffenheit sollte fortgeführt werden**
 - In den Szenarien mit einer Senkung der Emissionen bis 2050 um mehr als 90 % gegenüber 1990 ist in vielen Sektoren kein Konsens über geeignete Technologien und Strategien aus der Studienlage ableitbar. Vor dem Hintergrund der großen Anzahl ungesicherter Annahmen sollte hier eine Strategie der Technologie- und Innovationsoffenheit fortgeführt werden.
- **Gas spielt auch bei weitreichender Dekarbonisierung bis 2050 eine wichtige Rolle**
 - In allen Studien besteht ein Konsens darüber, dass die Gasinfrastruktur einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten kann und somit die Existenz der Infrastruktur gesichert werden sollte. In der Mehrheit der Studien verbleibt auch in 2050 und auch bei weitreichender Dekarbonisierung ein relevanter Gasverbrauch von mehr als 600 TWh.
- **Power-to-Gas spielt wichtige Rolle als eine „Deep-Decarbonization“ Technology**
 - Mit steigendem Ambitionsniveau der CO₂-Reduktion steigt der Anteil von Power-to-Gas am Gasverbrauch. Klar erkennbar ist die Rolle von Power-to-Gas als „Deep-Decarbonization“ Technology, also als eine Technologie, die eine Reduktion der Emissionen um mehr als 80 % ermöglicht.
- **Notwendige Maßnahmen und Anreizstrukturen noch nicht gesichert**
 - Die gesichteten Studien zeichnen kein klares Bild zu den notwendigen Maßnahmen und Anreizstrukturen ab, um ambitionierte Klimaschutzziele zu erreichen. Die modellgestützte Diskussion ist hier stärker mit der Analyse und der Ableitung politischer Handlungsoptionen zu verknüpfen.

Im Verkehrssektor ist die Gemengelage komplex

Zentrale Ergebnisse Enervis 2018 - Verkehrssektor

- Im Verkehrssektor ist die Studienlage für die „90+ Szenarien“ unter allen Sektoren insgesamt am uneinheitlichsten.
- **PKW**
 - Im Pkw-Segment ist eine weitreichende Dominanz der E-Mobilität sowohl in „80+“ als auch in „90+“ Szenarien erkennbar.
- **LKW**
 - Im Bereich des Lkw-Verkehrs nehmen der Anteil der E-Mobilität und die Nutzung synthetischer Kraftstoffe mit steigendem CO₂-Reduktionsziel zu, eine genaue Strategie zeichnet sich aber noch nicht ab. Hier stehen viele Strategien miteinander im Wettbewerb (Wasserstoff, Power-to-Liquid, E-Mobilität mit Oberleitungen etc.).
 - Insbesondere im Lkw-Fernverkehr streuen die Studienergebnisse noch sehr stark.
- **Schiff/Flugzeug**
 - Bei den Schiffen/Flugzeugen ist das Bild verhältnismäßig einheitlich: Es dominieren synthetische Kraftstoffe und Biokraftstoffe.
- **Schiene**
 - Der Schienenverkehr wird nur in wenigen Studien detaillierter betrachtet. Dabei wird auf eine zunehmende Elektrifizierung gesetzt. Das Potenzial von Wasserstoff wird in diesem Segment nicht untersucht.
- **Infrastruktur**
 - Der Ausbau der Wasserstoff- und LNG-Infrastruktur und die damit verbundenen Potenziale sind häufig nicht berücksichtigt.
 - Auch der Ausbau der Ladesäuleninfrastruktur ist häufig nur über grobe Schätzungen oder indirekt berücksichtigt.
 - Oberleitungsnetze werden in wenigen Studien diskutiert, ihre Rolle nimmt in den neueren Studien jedoch zu. Dabei wird u.a. eine Finanzierung über die Lkw-Maut vorgeschlagen.

Studienprofil: „The role of hydrogen in low carbon energy futures–A review of existing perspectives“ (2017)

Sektorenkopplung 2018 Szenariotechnik: je nach Studie (und Szenario) explorativ oder normativ

Verfasser: MaREI Centre, Ireland (Emma S. Hanley, JP Deane, BP Ó Gallachóir)
Auftraggeber: -
Erscheinungsjahr: 2017

Zeitraum: 2018 – 2050 **(THG-)Minderungsziel:** -

Schwerpunktregionen:


International National Baden-Württemberg

Methode:

- vergleichende Untersuchung der Entstehung von Wasserstoff in kohlenstoffarmen Pfaden für verschiedene integrierte Energiesysteme (kein Vergleich von reinem Wasserstoff-Pfad zu Methanisierungs-Szenarien)

Szenarienbeschreibung:

- vielfältige Szenarien aus >30 Modellen



Renewable and Sustainable Energy Reviews 82 (2018) 3027–3045

Contents lists available at ScienceDirect

Renewable and Sustainable Energy Reviews

Journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser

The role of hydrogen in low carbon energy futures–A review of existing perspectives

Emma S. Hanley^a, JP Deane, BP Ó Gallachóir

^aMaREI Centre, Environmental Research Institute, University College Cork, Ireland

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:
Hydrogen pathways
Integrated energy system models

This study provides a review of the emergence of hydrogen within low-carbon pathways from different integrated energy system models. The objective is to understand the drivers and policy scenarios that lead to the emergence of hydrogen over other low-carbon technologies. The review is divided into global, multi-regional and national integrated energy system models with drivers, marginal abatement costs and timing of hydrogen emergence assessed. Hydrogen's use in energy systems is complex as a result of its relationship with other energy sources. It was found that biomass can act as both a competitor and driver for hydrogen energy, along with increased electrification and high renewable electricity scenarios. However, electric vehicles are a main competitor in the passenger vehicle sector. In reviewed results, hydrogen mainly emerges after 2030; although, some technologies emerge as early as 2020 and as late as 2050. The uncertainty and complexity surrounding hydrogen may be as a result of the difficulty of representing hydrogen technologies and systems in energy system models. This study can allow policy makers to assess the various options to be considered regarding hydrogen and make informed decisions for moving towards a decarbonised energy system.

1. Introduction

The global energy system must complete a transition to a decarbonised system to reduce greenhouse gas (GHG) emissions and mitigate climate change [1]. Furthermore, energy security and fuel affordability are important aspects to be considered [2–6]. Global GHG emissions continue to increase and after the 21st Conference of the Parties (COP21) the urgency of moving to a secure low-carbon energy supply is evident [1]. The future low-carbon pathway is uncertain and therefore so is the role of alternative fuels and technologies, that are envisioned to aid in the energy transition. This study reviews the role of hydrogen as one such alternative fuel in low-carbon pathways towards 2050 in various integrated energy system models. The potential of hydrogen as an energy carrier is well known; however, it has failed to make a widespread impact on energy systems due to numerous barriers, including costs and availability of infrastructure. Hydrogen's versatility and its potential for emissions reductions can allow hydrogen to have an important role in future low-carbon pathways [7–9]. Hydrogen's role is reviewed in this paper to highlight hydrogen pathways emerging within different global, multi-regional and national models and scenarios. The purpose of this review is to highlight the complexity of the hydrogen energy system as a result of its synergies with other energy resources and analyse its emergence within different integrated energy system models. This study identifies the potential drivers and barriers of the hydrogen economy. Therefore, it can be used to allow policy makers to assess various options for moving towards a decarbonised energy system.

Hydrogen can be produced from a wide range of methods and

Abbreviations: AM, Asia-Pacific Integrated Model; ACT, Accelerated Technology Scenario; BAU, Business as Usual Scenario; BEV, Battery Electric Vehicle; BEP, Bioenergy Scenario; CCS, Carbon Capture and Storage; CEA, Early Action Scenario; CEP, Least Cost Scenario; CCGP, Socially Acceptable Scenario; CGR, Computable General Equilibrium; CM, Common Information Model; CPH, Paris Heat Scenario; CLC, Low-Carbon Scenario; CNG, Compressed Natural Gas; COP21, 21st Conference of the Parties; CO₂, Carbon Dioxide; CPM, Current Policy Incentive Scenario; CPM, Super Ambition Scenario; DAPP, Deep Decarbonisation Pathways Project; DDC, Decarbonisation Scenario; DEM, Demand Scenario; D-EXP, Decarbonisation and Expanded Scenario; DEM, Domestic Renewable Scenario; EFP, Efficiency Scenario; ETP, Energy Technology Perspectives; ETAP, Energy Technology System Analysis Programme; EU, European Union; EV, Electric Vehicle; FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle; GCOM, Global Change Assessment Model; GEA, Global Energy Assessment; GEM, General Equilibrium Emissions Model; GHG, Greenhouse Gas; GMM, Global Multi-Regional MARKAL; HVE, Hybrid Electric Vehicle; HFO, Heavy Fuel Oil; HVO, Heavy Goods Vehicle; ICE, Internal Combustion Engine; IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change; JRC, Joint Research Centre; LC, Low Carbon; LCV, Light-Duty Vehicle; LEAP, Long-Range Energy Alternatives Planning System; MAC, Marginal Abatement Cost; MARKAL, Market Allocation; MESSAGE, Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact; PCC, Photocatalytic; PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicle; PO, Partial Oxidation; R-DEM, Reduced Demand Scenario; RES, Renewable Energy System; SACR, Systems for the Analysis of Global Energy Markets; SMC, Steam Methane Reforming; TMSO, TheEnergyMark; EPCOM, Demand Scenario; RES, Renewable Energy System; SACR, Systems for the Analysis of Global Energy Markets; SMC, Steam Methane Reforming; TMSO, TheEnergyMark; EPCOM, Demand Scenario; RES, Renewable Energy System; SACR, Systems for the Analysis of Global Energy Markets.

* Corresponding author.
E-mail address: emma.hanley@ucc.ie (E.S. Hanley).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.034>
Received 18 January 2017; Received in revised form 11 July 2017; Accepted 26 October 2017
Available online 02 November 2017
1364-0321 / © 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Wasserstoff ist in der Lage, die Emissionen in verschiedenen Sektoren zu reduzieren

Zentrale Ergebnisse MaREI 2017

- Die Rolle von Wasserstoff hängt nicht von einem einzigen Brennstoff, einer einzigen Technologie oder einem einzigen Sektor ab.
- Wasserstoff ist in der Lage, die ThG-Emissionen in verschiedenen Sektoren zu reduzieren und ist wichtig in integrierten komplexen Energiesystemen für Szenarien einer tiefen Dekarbonisierung.
- Die Interaktion mit einer geeigneten Politik spielt eine wichtige Rolle für den Erfolg von Wasserstoff sowie für verschiedene Treiber und wichtige Synergien. Die identifizierten Treiber sind:
 - Tiefe Dekarbonisierungsziele
 - Hohe Durchdringung mit Strom aus Erneuerbaren Energien
 - Fehlende CCS-Entwicklung, die Alternativen wie Wasserstoff erfordert
 - Hoher CO₂-MAC (Marginal Abatement Cost) bedeutet steigende Kosten und Investitionen für Wasserstoff-Infrastruktur und -Technologien
 - Verfügbarkeit der Wasserstoff-Infrastruktur
 - Potenzial für Wasserstoff, in Sektoren wie den Güterverkehr einzudringen und zu dekarbonisieren, die schwieriger zu dekarbonisieren sind.

Zunehmende Windenergie innerhalb von Energiesystemen ist ein Treiber für erhöhte Wasserstoffherzeugung

Zentrale Ergebnisse MaREI 2017

- Die große Varianz der MAC verstärkt die Unsicherheit über die Entstehung von Wasserstoff und die Höhe der MAC, die im Jahr 2050 auftreten wird. Die Spannweite im MAC war:
 - 21-1452 US\$/tCO₂ in globalen Modellen
 - 60-410 US\$/tCO₂ in überregionalen Modellen
 - 0-2708 US\$/tCO₂ in nationalen Modellen
- In Ländern mit einem großen inländischen Biomassepotenzial entsteht die Wasserstoffwirtschaft eher nicht, z.B. Brasilien.
- Elektrizität ist ein Konkurrent für die Wasserstoffwirtschaft aufgrund eines höheren Wirkungsgrades; jedoch ist die zunehmende Windenergie innerhalb von Energiesystemen ein Treiber für eine erhöhte Wasserstoffherzeugung, da Elektrolyseure zur Steuerung der überschüssigen Stromerzeugung benötigt werden.
- Wasserstoff entsteht vor allem nach 2030 in den Szenarien, die die Notwendigkeit einer Infrastrukturplanung und geeigneter politischer Maßnahmen verdeutlichen.

Agenda

- I. Zusammenfassung
- II. Projektübersicht
- III. Projektergebnisse
 - 1. International
 - 2. Deutschland
 - 3. Baden-Württemberg
 - 4. META-Studien
- IV. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen**

Schlussfolgerungen aus der Auswertung der Klimaschutzstudien (I)

- Generelle makroökonomische Grundannahmen:
 - Weltweit: deutliche Steigerung in Bevölkerungszahlen und BIP
 - EU: leichte Steigerung in Bevölkerungszahlen; BIP steigt deutlich
 - Deutschland: Es wird von einem Absinken der Bevölkerungszahlen ausgegangen; das BIP steigt
 - BaWü: leicht steigende Bevölkerungszahlen; das BIP steigt
- In den Klimaschutzszenarien muss der Verkehrssektor seine ThG-Emissionen bis 2050 überproportional mindern
 - Hierdurch deutliche Steigerung der Stromnachfrage (2050 fast ausschließlich durch Strom aus Erneuerbaren gedeckt) im Verkehr,
 - bei direkter Stromnutzung deutlich geringer als bei PtX-Nutzung (inkl. Wasserstoff)
 - Heimische erneuerbare Stromproduktion wird als beschränkt angesehen
 - Höchste Effizienzstrategie (durch maximale direkte Stromnutzung) erforderlich
 - Deutschland wird PtX zur Erreichung ambitioniertester Klimaschutzziele (95 %) benötigen, der überwiegend importiert wird
 - *Defizit: Alle Folgen einer Importstrategie, bspw. Auswirkungen auf Wertschöpfung, sind bisher wenig analysiert*
 - Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe werden vielen Studien nach erst nach 2030 eine relevante Rolle spielen können – Marktvorbereitung und Start Markthochlauf müssen dann allerdings entsprechend früher erfolgen

Schlussfolgerungen aus der Auswertung der Klimaschutzstudien (II)

- Große Überschussstrommengen zu Null- oder negativen Preisen werden kurz- und mittelfristig (2030) eher nicht gesehen, in vielen Studien auch langfristig (2050) nur in geringerem Umfang
 - Abhängigkeit vom Ausbau der Stromnetze (i.d.R. setzen die Szenarien voraus, dass ein umfangreicher Netzausbau gelingt) sowie der Höhe des Erneuerbaren Stroms aus fluktuierenden Quellen
 - Oft entscheidender Unterschied in den Studien, der die Menge an synthetischen Kraftstoffen und Wasserstoff mitbestimmt (je geringer der Netzausbau und je höher der Anteil an Erneuerbaren, umso höher wird der Bedarf an synthetischen Kraftstoffen gesehen)
- Lastflexibilisierungsmaßnahmen des Verkehrs (insbesondere durch Elektromobilität, Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe) sind zur Systemintegration der Erneuerbaren höchst relevant
- Die Realisierung von Energieeffizienzpotenzialen ist ein entscheidender Game Changer (wenn sie nicht kommt, steigt ThG-Vermeidungsdruck im Verkehrssektor deutlich an)
- Auch das Gelingen von Carbon Capture and Sequestration (CCS) ist ein Game Changer
- Die sich durchsetzenden Lösungsoptionen im Verkehr determinieren deutlich die künftige Stromnachfrage des Verkehrs
 - PtL/PtG-Szenarien weisen ca. einen 50 % höheren Strombedarf auf als Szenarien, die weitgehend auf Stromdirektnutzung setzen
- Notwendige Investitionen in alternative Antriebe und Kraftstoffe werden je nach Szenarien unterschiedlich bewertet

Schlussfolgerungen aus der Auswertung der Klimaschutzstudien (III)

- Annahmen zur Technologie-Kostenentwicklung divergieren zwischen den Studien ebenfalls stark
- Die Ergebnisse sind z.T. sehr sensitiv ggü. den Annahmen (z.B. geringfügige Änderungen bei den Kostenannahmen, beispielsweise bei Batteriepreisen oder Elektrolyseuren, können Ergebnisse signifikant beeinflussen)
- Oft werden rationale, rein ökonomische Kaufentscheidungen (*Homo Oeconomicus*) unterstellt, was mit realen Entscheidungen nicht immer übereinstimmt – generell sind Kaufentscheidungen wenig verstanden

Schlussfolgerungen aus der Auswertung der Klimaschutzstudien (IV) - Personenverkehr

- Personenverkehr
 - Internationale und nationale Studien zeigen ähnliche Trend-Entwicklungen bezüglich der Entwicklung alternativer Antriebe, aber mit noch stärkerer Marktdurchdringung alternativer Antriebe in der EU und Deutschland
 - Suffizienz, Verkehrsverlagerung und -vermeidung spielen in allen Studien bei Klimaschutzenszenarien eine Rolle, sie werden allerdings stark unterschiedlich bewertet (Beispiel Deutschland: Pkw-Bestand variiert um bis zu 22 % in 2050, noch drastischere Annahmen bei Extremszenarien Öko 2017 für BaWü (Anschlussfähigkeit?))
 - Alternative Kraftstoffe und Antriebe bei Pkw
 - Nur Elektromobilität (BEV, PHEV) setzt sich in allen Studien bereits in den Referenzszenarien (keine ambitionierten Klimaschutzziele) durch
 - mit 2 bis 12 % im Bestand 2030 und 20 bis 35 % im Bestand 2050
 - Einige Studien sehen auch Bestände an BZ
 - In den Klimaschutzenszenarien ist 2050 die Elektromobilität (BEV, PHEV) die klar dominierende Lösung (Konvergenz der Studien), die teilweise um Gasfahrzeuge oder BZ-Fahrzeuge ergänzt wird
 - bei dena 2017 (EU)/dena 2018 (D) spielen BZ und synth. Kraftstoffe eine größere Rolle als in anderen Studien
 - Entscheidende Treiber scheinen hier Reichweite und andere Aspekte der Akzeptanz zu sein
 - Relevanz des Infrastrukturaufbaus für eine erfolgreiche Marktdurchdringung wird immer betont

Schlussfolgerungen aus der Auswertung der Klimaschutzstudien (V) - Personenverkehr

- Alternative Kraftstoffe und Antriebe bei Pkw
 - Die Anteile von BEV und PHEV am Bestand von Elektrofahrzeugen wird in den Studien sehr unterschiedlich bewertet
- In den Klimaschutzenszenarien ist für 2030 bezüglich der Marktpenetration Folgendes zu sagen:
 - Die meisten Studien weisen einen eher moderaten Anteil an alternativen Antrieben aus (5 bis 20 %)
 - wobei gerade bei BZ die Studien deutlich voneinander abweichen
 - ZSW 2017 weist für BaWü im Zielszenario einen vergleichsweise hohen Anteil aus (30 %)
 - Dena 2018 weist hingegen bereits sehr deutliche Umbrüche hin zu alternativen Antrieben aus (über 50 % im Bestand) (dies liegt an der unterstellten Erreichung der existierenden klimapolitischen Ziele für den Verkehrssektor – die anderen Studien erreichen die nationalen 2030er Ziele zum Klimaschutz nicht)

Schlussfolgerungen aus der Auswertung der Klimaschutzstudien (VI) - Personenverkehr

- Personenverkehr
 - *Defizite:*
 - *Infrastrukturaufbau für alternative Kraftstoffe und Antriebssysteme wird nur unzureichend betrachtet (z.B. Henne-Ei-Problem bei Markteinführung)*
 - *„Kaufentscheidungen“ auf Ausgabenminimierung sind kritisch zu hinterfragen*
 - *Die unterstellte Marktdiffusion alternativer Antriebe erscheint teilweise in einigen Studien bei Klimaschuttszenarien bis 2030 eher unrealistisch zu sein,*
 - *weil dies eine extrem schnelle Markteinführung von alternativen Antrieben und Kraftstoffen zur Folge hätte, und hierfür schnelle Umbrüche in der Automobilindustrie und der Energiewirtschaft erfolgen müssten, flankiert von politischen Vorgaben*

Schlussfolgerungen aus der Auswertung der Klimaschutzstudien (VII) - Straßengüterverkehr

- Schwerer Straßengüterverkehr
 - Hohe Steigerungsraten der Verkehrsleistung (Ausnahme: in BaWü nimmt die Lkw-Verkehrsleistung in den Klimaszenarien höchstens nur geringfügig zu, eher abnehmend)
 - Energie- und klimapolitisch wird er deshalb immer bedeutender
 - Marktdurchdringung mit alternativen Kraftstoffen und Antriebssystemen wird international und national sehr unterschiedlich bewertet
 - Lösungsraum bei ThG-Szenarien:
 - Batteriefahrzeuge
 - Oft günstigste Lösung für kleinere Gewichtsklassen bzw. kurze Reichweiten
 - Oberleitungs-Lkw (Hybrid Diesel oder Batterie)
 - günstigste Lösung für größere Gewichtsklassen bzw. hohe Reichweiten
 - aber hohe Einführungshürden (u.a. Akzeptanz, Investitionen in Netze)
 - Wasserstoff
 - kann hohen Einsatzbereich abdecken
 - wird in den Szenarien sehr unterschiedlich bewertet
 - hohe Unsicherheit bezüglich Kostenentwicklung (fahrzeugseitig, H₂-Herstellung)

Hohe Konvergenz
der Studien

Schlussfolgerungen aus der Auswertung der Klimaschutzstudien (VIII) - Straßengüterverkehr

- Schwerer Straßengüterverkehr
 - Lösungsraum bei ThG-Sz.:
 - Gasfahrzeuge
 - Mit Erdgas eher geringere Relevanz (Brückentechnologie)
 - Nur dena 2017 (EU) und dena 2018 (D) berücksichtigen höhere Anteile an Methan
 - Der Markteintritt der alternativen Antriebe wird erst ab 2025/2030 gesehen
 - *Defizite:*
 - *Generell ein Defizit an Studien*
 - *Studien differenzieren zu wenig in unterschiedliche jährliche Fahrleistungen*
 - *Zu geringe Kenntnisse über Fahrprofile*
 - *Infrastrukturaufbau nur teilweise beleuchtet*
 - *Lastflexibilisierung wenig untersucht*
 - *Innovationssystembetrachtungen (welche Rolle spielen einzelne Stakeholder) fehlen weitgehend*

Schlussfolgerungen aus der Auswertung der Klimaschutzstudien (IX) – internationaler See- und Flugverkehr

- Teilweise werden sehr hohe Zuwachsraten erwartet
- Lösungsraum ist beschränkt:
 - hohe Anforderungen an Energiedichte (i.d.R. kommen nur kohlenstoffbasierte Lösungen in Frage) sowie
 - lange Lebensdauern (Flugzeuge 25 Jahre, Schiffe 35 Jahre)
- Erneuerbare, importierte, synthetische Kraftstoffe dominieren bei ThG-Sz. (sehr hohe Konvergenz bei Studien) und haben eine hohe Mengenrelevanz
- Dies wird ergänzt um Biokraftstoffe (allerdings mit deutlich unterschiedlicher Relevanz zwischen den Studien)
- *Defizite:*
 - *Verfügbarkeit nachhaltiger Biomasse und Verteilung (national auf Sektoren, international)*
 - *Generell eher weniger detailliert betrachtet*

Anmerkung

- Bus- und Schienenverkehr wurden in der Studie aufgrund geringerer energiewirtschaftlicher Relevanz nur am Rande betrachtet
- Sie weisen aber je nach Studie beachtliche Zuwachsraten auf
- Auch hier gibt es viele Ansatzpunkte zur Senkung der Treibhausgasemissionen sowie der lokalen Luftschadstoffe, beispielsweise:
 - Stärkere Elektrifizierung (z.B. Ausbau der elektrifizierten Bahnstrecken, Batterie-Busse, Brennstoffzellen-Antrieb)
 - Attraktivitätssteigerung (z.B. kürzere Wartezeiten, Streckenausbau) und damit höhere Auslastung (Verlagerung auf den ÖPNV)
 - Digitalisierung und Automatisierung bei der Bahn
- Oftmals interessanter Einstiegsmarkt für alternative Antriebe und Kraftstoffe

Handlungsempfehlungen zur Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele

- Zur Erreichung der THG-Minderungsziele in 2030 im Verkehr müssen weitreichende Maßnahmen ergriffen werden
- Die regulatorischen Rahmenbedingungen (Steuern- und Abgabenlast, gesetzliche Vorschriften) zur Nutzung der Flexibilitätsoptionen im Verkehr müssen adäquat gesetzt werden
- Festlegung auf vielversprechendste synthetische Kraftstoffrouten (Systemstudien hier alleine nicht ausreichend, weitere Faktoren wie z.B. Toxizität oder verbrennungsmotorische Eigenschaften sind relevant)
- F&E-Bedarf bei Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen (Elektrolyseur, CO₂-Quellen, Direct Air Capture von CO₂,...)
- Für den Einsatz synthetische Kraftstoffe ist eine Einführungsstrategie zu entwickeln
- Damit Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe nach 2030 eine bedeutsame Rolle spielen können, muss frühzeitig in eine Industrialisierung und den Start des Markthochlaufs eingestiegen werden
- Kostenentwicklung und Marktdurchdringung für Brennstoffzellenfahrzeuge (sowohl bei Pkw wie Lkw) sind zu klären
- Zum Import synthetischer Kraftstoffe gibt es weiteren Analysebedarf
 - Von Einzelanalysen Richtung globaler Analysen gehen (weltweite Nachfrage beachten)
 - Umsetzungsstrategien (wie kann der Produktionsaufbau in den Lieferländern erfolgen)
 - Makroökonomische Auswirkungen (Import vs. heimische Produktion)
 - Setzung von Mindeststandards (Umweltschutz, Deckung heimischer Nachfrage,...) in den Exportländern

Handlungsempfehlungen zur Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele

- Der Infrastrukturaufbau bei Markthochlauf alternativer Antriebe und Kraftstoffe im Verkehr ist detaillierter zu analysieren und in Markthochlaufszzenarien zu integrieren
- Der ordnungspolitische Rahmen und Finanzierungsfragen sind zu klären
- Analyse der Rohstoffverfügbarkeiten und Auswirkungen auf nationale Beschäftigungs- und Industriestruktur
- Relevanz von Biokraftstoffen im Verkehr klären und Aufteilung der Biomasse auf die Sektoren festlegen
- Pkw-Sektor:
 - Markthochlauf für BEV weiter unterstützen und Rolle von PHEV klären, auch mit Blick auf internationale Entwicklungen (Dominanz Chinas, das derzeit Richtung BEV geht)
 - Akzeptanz für alternative Antriebe ist tiefergehend zu analysieren (u.a. Mobilitätsbedürfnis, Kaufentscheidung)
 - Auswirkungen auf Stromnetze (Verteil- und Übertragungsnetze) weiter analysieren
 - Analyse, ob die vereinzelt unterstellten sehr drastischen Strukturbrüche in einzelnen Szenarien bei den Antriebssystemen bis 2030 realisierbar sind

Handlungsempfehlungen zur Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele

- Lkw-Sektor
 - Einführungsstrategien für batterieelektrische Lkw (u.a. Lieferverkehr, kleinere Gewichtsklassen) entwickeln (einzig gesetzte Lösung in allen Studien)
 - Ansonsten hoher Studien- und Datenbedarf (u.a. zu jährlichen Fahrleistungen, Erhebung von Fahrprofilen)
 - Besonderheiten des Sektors (wie hoher Kostendruck, kleine Produktionszahlen, Rolle autonomes Fahren und Digitalisierung,...) besser verstehen
 - Relevanz der Einführungshürden von Oberleitungs-Fahrzeugen analysieren (Erfahrungen aus Pilotprojekten auswerten, Akteursanalysen)
 - Energiewirtschaftliche Einbindung der verschiedenen Lösungen (Oberleitungen, H₂-Infrastruktur, High Power Charging) analysieren
- Internationaler Schiffs- und Flugverkehr
 - F&E-Bedarf analysieren
 - Pilot- und Demoprojekte fördern

Kontakt

Prof. Dr. Martin Wietschel
Leitung Geschäftsfeld Energiewirtschaft
Competence Center Energietechnologien und Energiesysteme
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48 | 76139 Karlsruhe
Telefon +49 721 6809-254 | Fax +49 721 6809-2721
<mailto:martin.wietschel@isi.fraunhofer.de>
<http://www.isi.fraunhofer.de>

