

ERREICHBARKEIT KLIMAZIEL 2050

FUNDAMENTALMODELLBASIERTE UNTERSUCHUNG DER RÜCKKOPPLUNG VERKEHR \leftrightarrow ENERGIESYSTEM \leftrightarrow PTX-IMPORTE

Ergebnisse des Forschungsprojektes „Klimawirksamkeit Elektromobilität“



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT UND ENERGIESYSTEMTECHNIK



Fraunhofer

IEE

Ab 2018 ist das
Fraunhofer IWES
in Kassel ein
eigenständiges
Institut



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR
ENERGIEWIRTSCHAFT
UND ENERGIESYSTEMTECHNIK IEE
WWW.IEE.FRAUNHOFER.DE

ENTWICKLUNG DES
STRASSENVERKEHRS UND
RÜCKKOPPLUNG MIT DEM
ENERGIESYSTEM IN -95%THG-
KLIMAZIELSZENARIEN

Teilbericht im Rahmen des Projektes: KLIMAWIRKSAMKEIT
ELEKTROMOBILITÄT - Entwicklungsoptionen des
Straßenverkehrs unter Berücksichtigung der Rückkopplung
des Energieversorgungssystems im Hinblick auf mittel- und
langfristige Klimaziele

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft und
Energie

Infogrand einleitet
das Überprüfen

unveröffentlicht

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft
und Energiesystemtechnik

www.iee.fraunhofer.de

As of January, 2018, Fraunhofer IWES in Kassel becomes the
Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology IEE

INHALT

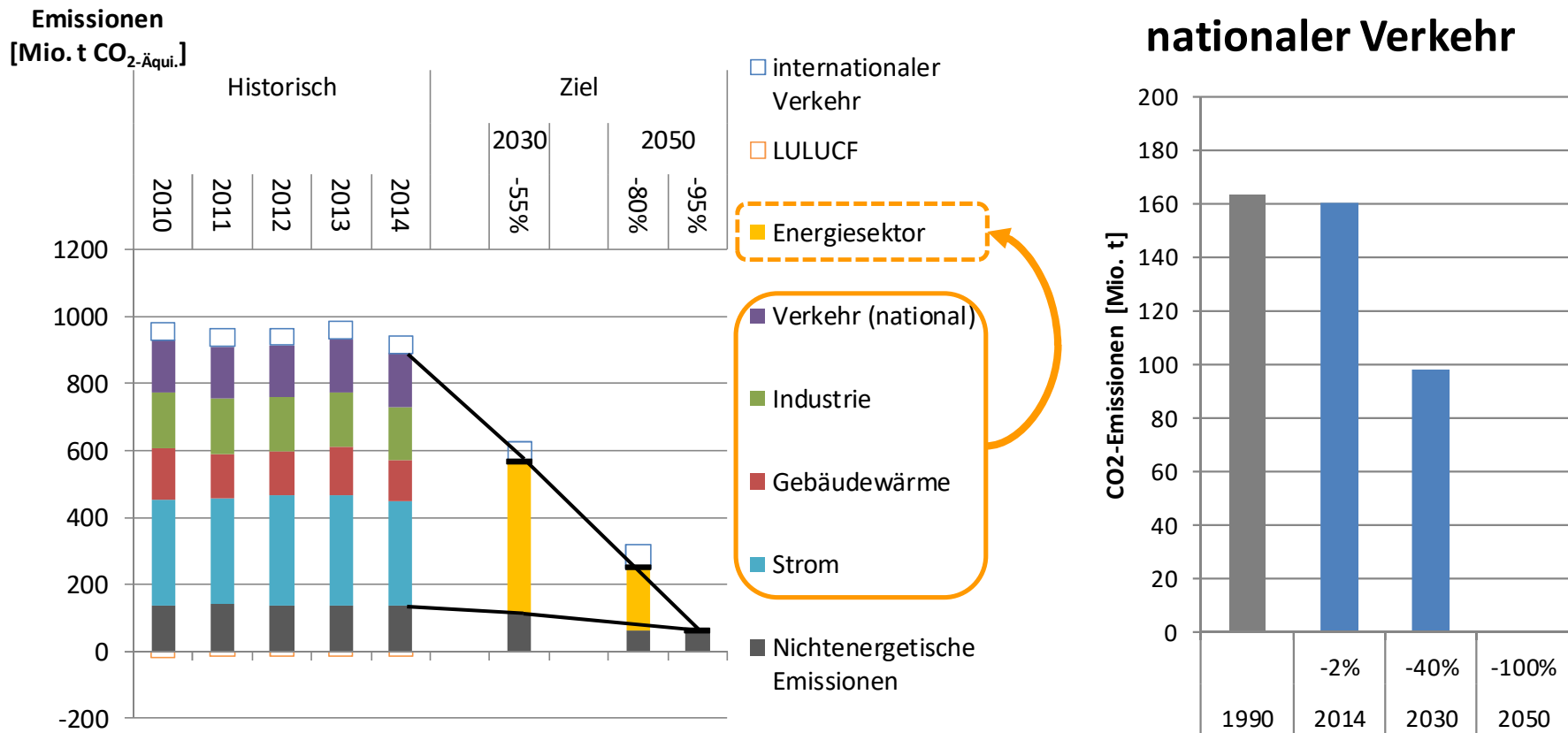
- Szenariorahmen und am Fraunhofer IEE verwendete Modelle
- Ergebnisse des Fahrzeugbestandsmodell für Pkw/LNF
Heute → 2050
- Analyse der Rückkopplungen
Verkehr \leftrightarrow Energiesystem \leftrightarrow PtX-Importe
im Energiesystemmodell in 2050
 - Basisszenario -95%THG
 - Sensitivitäten zur Ausgestaltung des Verkehrs
- Schlussfolgerungen und Ausblick

INHALT

- Szenariorahmen und am Fraunhofer IEE verwendete Modelle
- Ergebnisse des Fahrzeugbestandsmodell für Pkw/LNF
Heute → 2050
- Analyse der Rückkopplungen
Verkehr \leftrightarrow Energiesystem \leftrightarrow PtX-Importe
im Energiesystemmodell in 2050
 - Basisszenario -95%THG
 - Sensitivitäten zur Ausgestaltung des Verkehrs
- Schlussfolgerungen und Ausblick

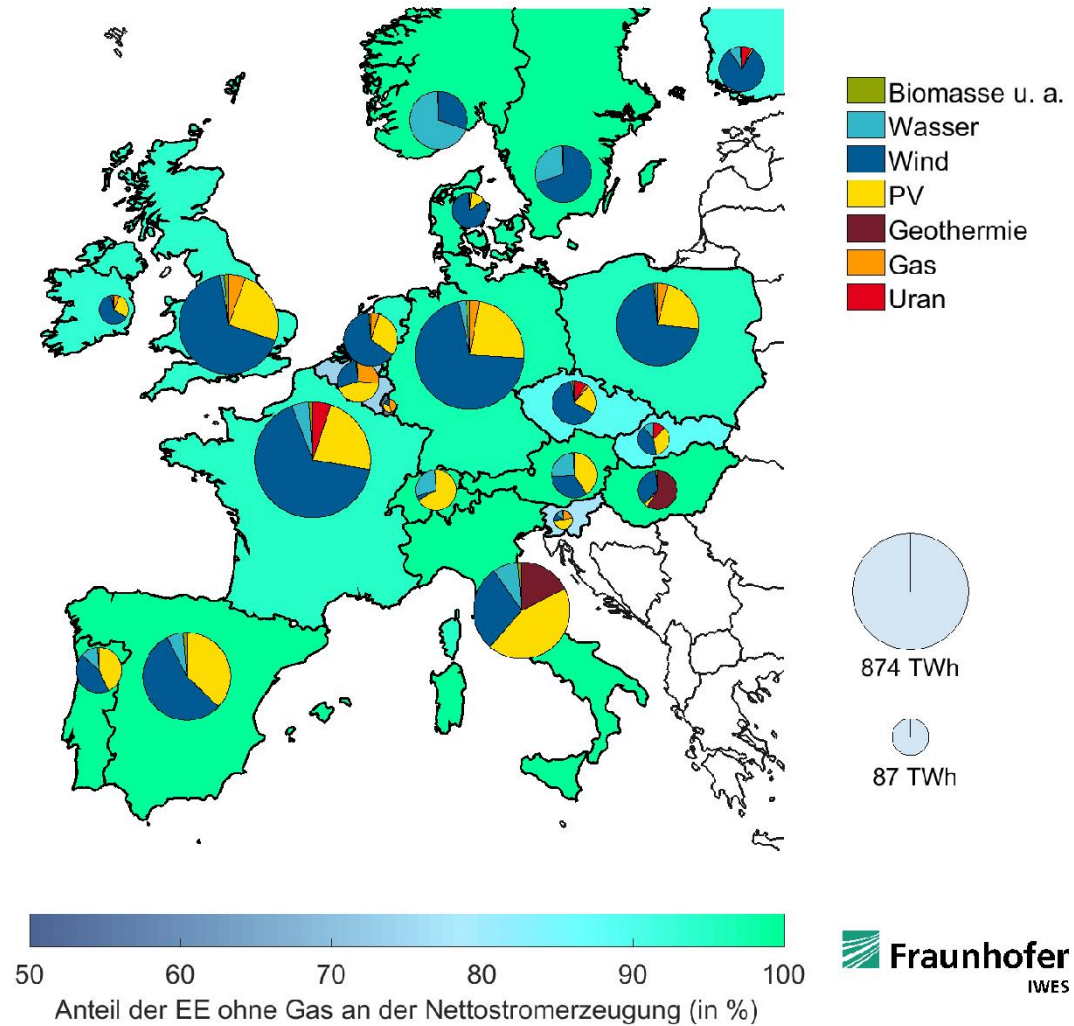
Klimaziele 2030 und 2050

- 2030 - Sektorziel Verkehr (national) → 95 – 98 Mio.t CO₂
- 2030 -55% Kyoto-Emissionen und Sektorziel Gebäudewärme → 70 – 72 Mio. t CO₂
- 2050 alle energiebedingten Emissionen = 0,
kein Tanktourismus mehr, vollständige Dekarbonisierung des intern. Verkehrs



Prämissen für ein langfristiges -95%-Szenario

- -95% THG heißt EE-Vollversorgung des Energiesystems
- Europäisch vergleichbare Entwicklung
- Modellendogene Entscheidung synthetische erneuerbare Kraftstoffe (fH₂, PtL, PtG) zu von außerhalb Europas zu importieren oder national zu erzeugen
- Simulation 1 Wetterjahr in stündlicher Auflösung



Fraunhofer

MITTEL- UND LANGFRISTIGE POTENZIALE VON PTL- UND H₂-IMPORTEN AUS INTERNATIONALEN EE-VORZUGSREGIONEN

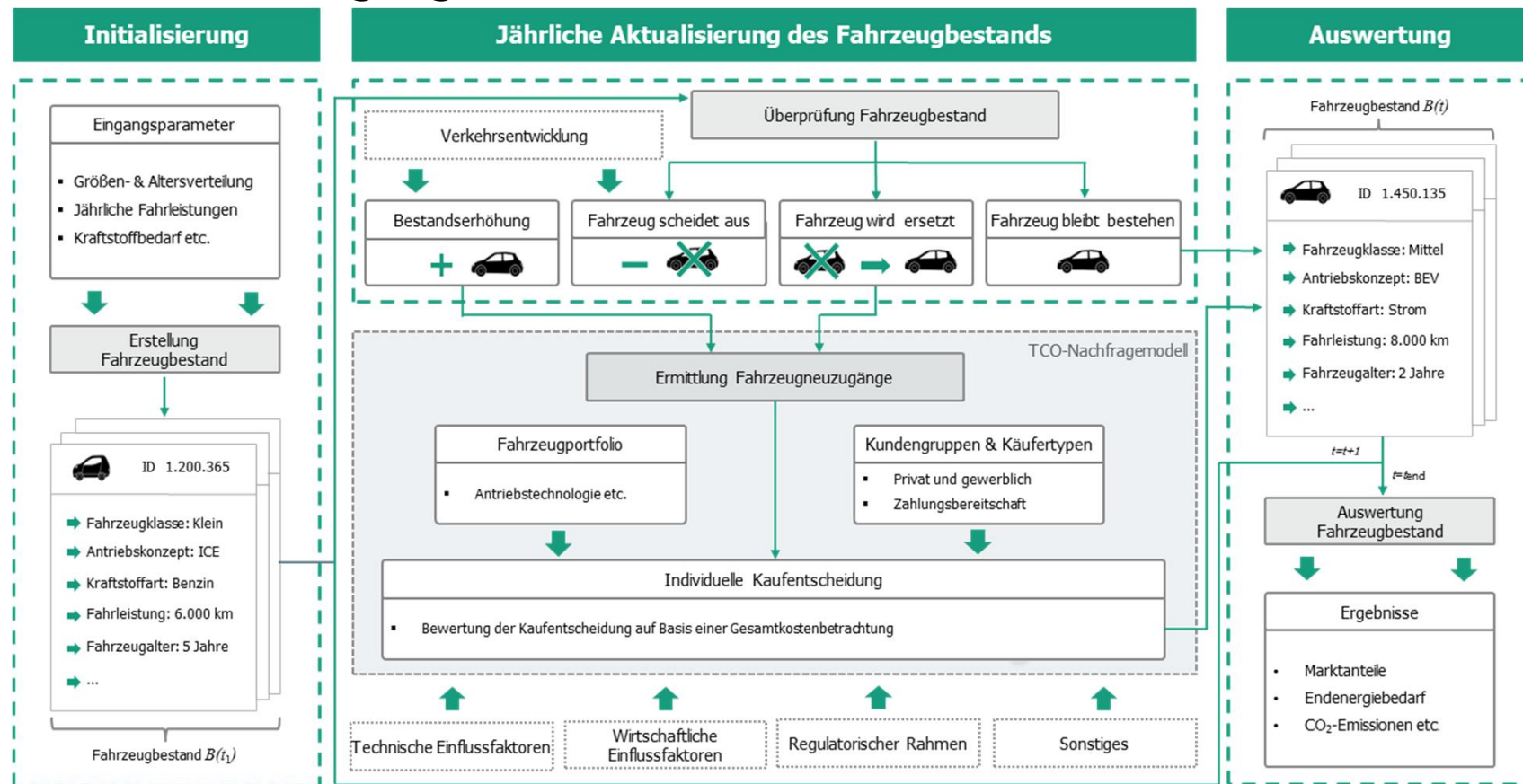
Teilbericht im Rahmen des Projektes KLIMAWIRKSAMKEIT ELEKTROMOBILITÄT – Entwicklungsoptionen des Straßenverkehrs unter Berücksichtigung der Rückkopplung des Energiewendungsprozesses in Hinblick auf mittlere und langfristige Klimaziele

© Fraunhofer IWES

Fahrzeugbestandsmodell

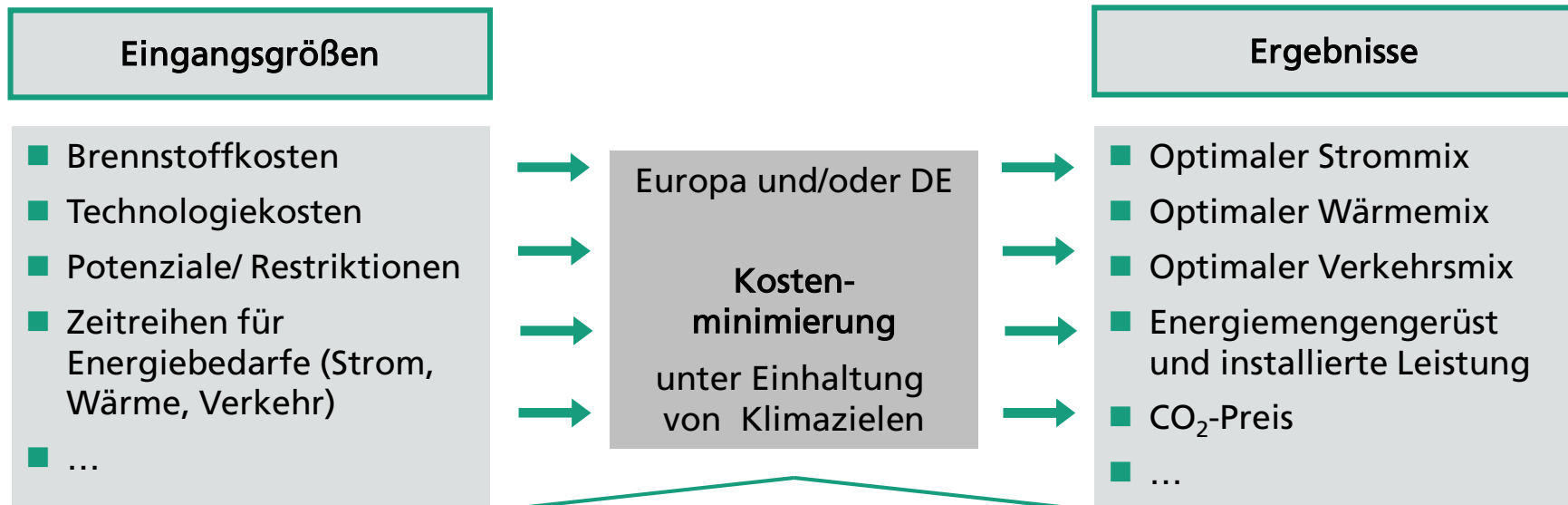
Schematischer Modellaufbau und -ablauf

■ Pkw/LNF – Marktentwicklung unter regulatorischen Rahmenbedingungen



Trost, T. (2016): Erneuerbare Mobilität im motorisierten Individualverkehr – Modellgestützte Szenarioanalyse der Marktdiffusion alternativer Fahrzeugantriebe und deren Auswirkungen auf das Energieversorgungssystem.

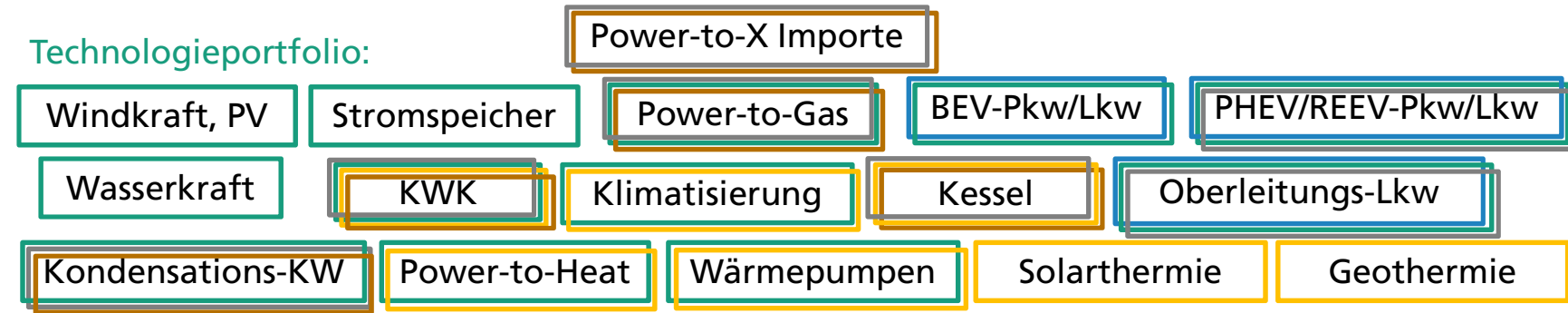
Sektorübergreifende Zubau- und Einsatzoptimierung „SCOPE“



Märkte:



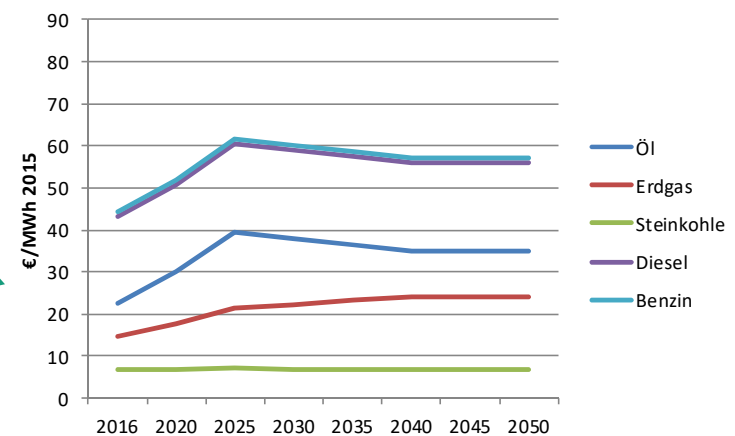
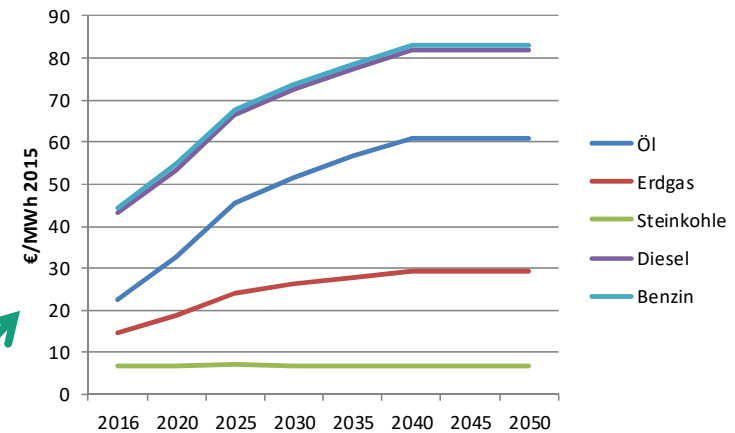
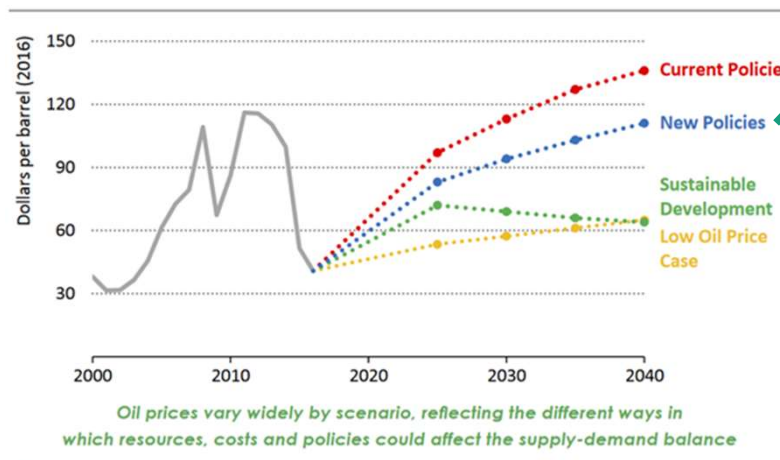
Technologieportfolio:



Preisentwicklung fossiler Brennstoffe

- Eine dekarbonisierte Welt bedeutet niedrige Brennstoffpreise und hohe/sehr hohe CO₂-Preise → WEO 2017
 - New Policies – Untergrenze E-Mob. Fahrzeugbestandsmodell (Zielverfehlung)
 - Sustainable Development – Obergrenze E-Mob. (Zielszenario) und Energiesystemmodell

Figure 1.5 ▷ Average IEA crude oil import price by scenario and case

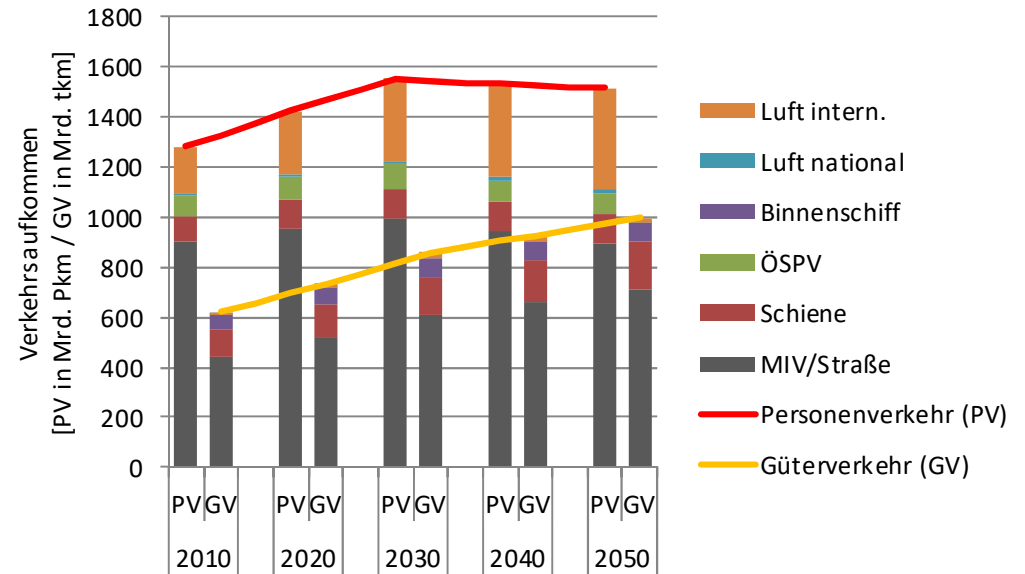


Entwicklung Verkehr

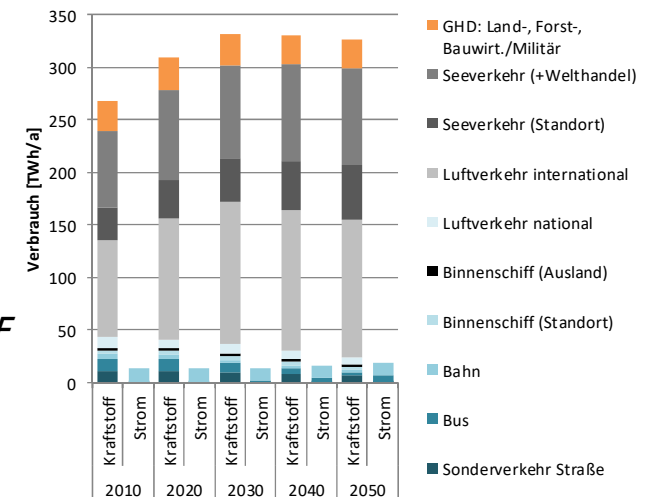
- Weiterer Anstieg des Verkehrsaufkommens
- Modellendogene Analyse Antriebstechniken Pkw/LNF (*Fahrzeugbestandsmodell, Energiesystemmodell*) und SNF (*nur Energiesystemmodell*) sowie der EE-Brennstoffbereitstellung
- Trotz technisch maximaler Elektrifizierung des Straßenverkehrs verbleibt ein großer Kraftstoffverbrauch insbesondere intern. Flug- und Schiffsverkehr

→ ca. 650 TWh EE-Strom für PtL für Verkehr ohne Pkw/LNF und SNF

Verkehrsaufkommen - Heute bis 2050



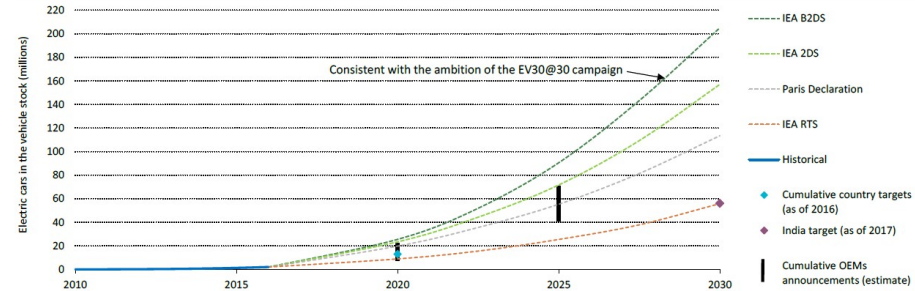
Straßenverkehr ohne Sonderverkehre		2010	2020	2030	2040	2050
Pkw/LNF	Mio. Fahrzeuge	43,9	46,4	48	46,1	44,2
	Mrd. Fzkm	633,1	676,8	707,3	682,9	658,6
SNF	Tsd. Fahrzeuge	855	901	942	987	1033
	Mrd. Fzkm	55,3	59,1	65,1	66,7	68,2



Entwicklung Lernkurve Batterien

- Bestandsprognose bis 2030 200 Mio. E-Kfz
- heute 5% Anteil E-Kfz Deutschland am globalen Absatzmarkt
→ 5% 2030 = 10 Mio. E-Kfz bei einer globalen Verdoppelung des Pkw-Absatzmarktes wird Deutschland zunehmend Vorreiter (ist es aber heute nicht).

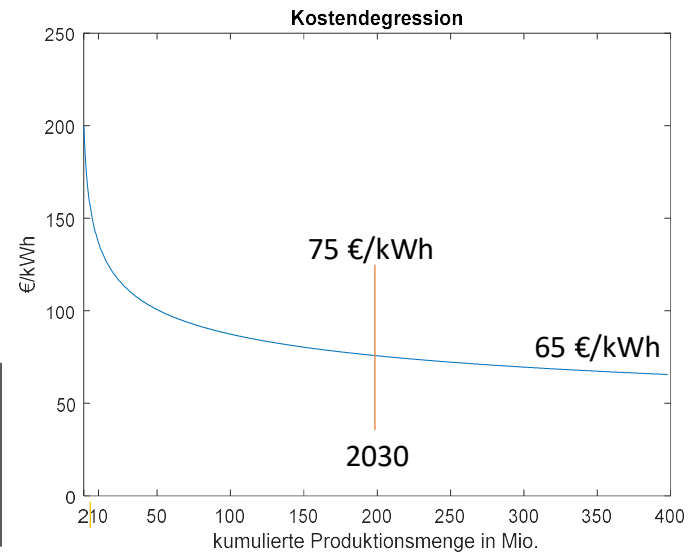
Figure 9 • Deployment scenarios for the stock of electric cars to 2030



Sources: IEA analysis based on EVI country submissions, complemented by EAFO (2017a), IHS Polk (2016), MarkLines (2017), ACEA (2017a, 2017b) and EEA (2017). Country targets in 2020 reflect the estimations made in EVI (2016a) and updates to date. India's target reflects a conservative interpretation of the announcement made by the government (PIB India, 2017): 50% of the PLDV stock of the country (in the B2DS) is electrified by 2030. The assessment methodology for OEM announcements included in Table 2 is discussed in the main text. Projections on the stock deployed according to the Paris Declaration are based on UNFCCC (2015a). Projections on the EV uptake in IEA scenarios were developed with the IEA Mobility Model, March 2017 version (IEA, 2017a).

Quelle: „EV Outlook 2017“, IEA und OECD

- Weitere Fortführung der enormen Kostendegression von heute ca. 180 €/kWh Batteriesystemkosten auf 75 €/kWh in 2030 und langfristig 65 €/kWh



$$K(x_t | a) = K_0 \left(\sum_{t=1}^T x_t \right)^{-a}$$

$$K_0 = 4200 \text{ €/kWh}$$

$$a = 0,21$$

$$x_0 = 2 \text{ Mio. Stück}$$

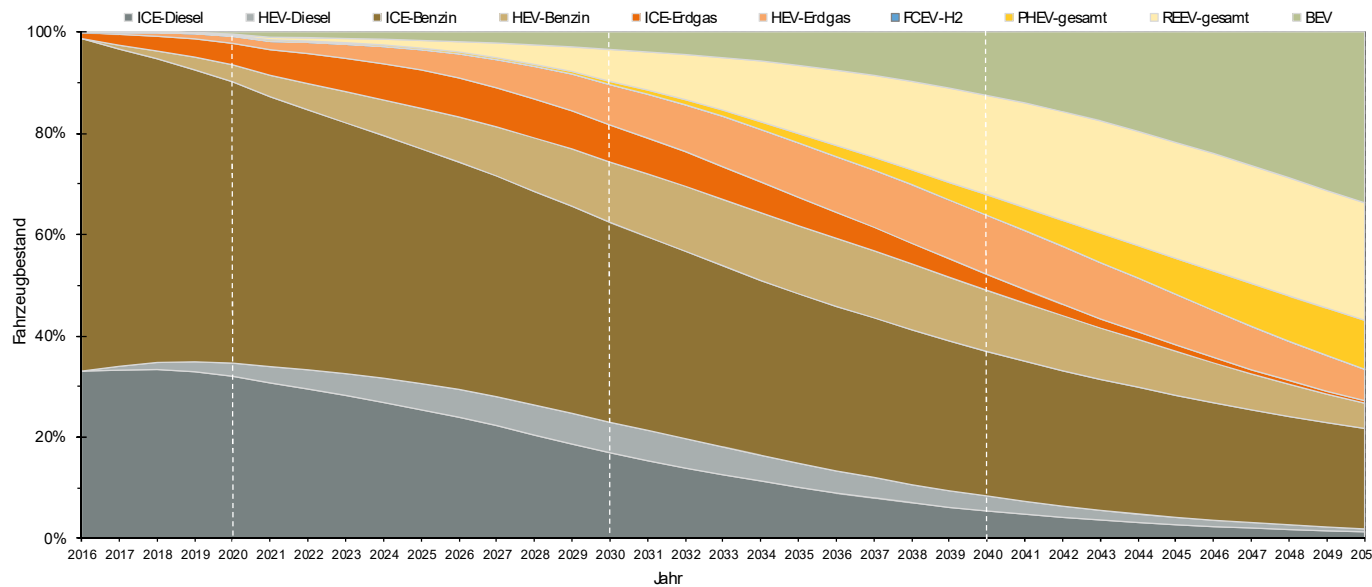
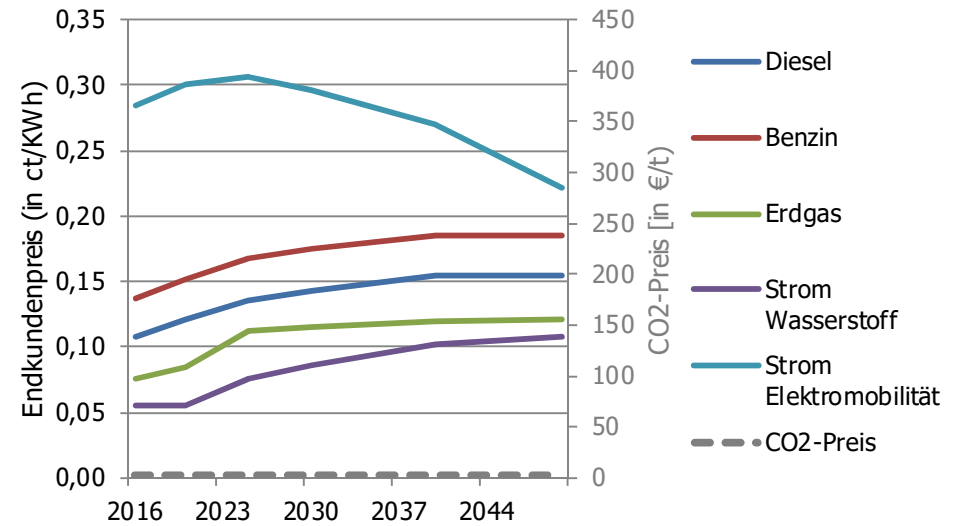
INHALT

- Szenariorahmen und am Fraunhofer IEE verwendete Modelle
- Ergebnisse des Fahrzeugbestandsmodell für Pkw/LNF
Heute → 2050
- Analyse der Rückkopplungen
Verkehr \leftrightarrow Energiesystem \leftrightarrow PtX-Importe
im Energiesystemmodell in 2050
 - Basisszenario -95%THG
 - Sensitivitäten zur Ausgestaltung des Verkehrs
- Schlussfolgerungen und Ausblick

Pkw/LNF-Marktentwicklung in Abhängigkeit des regulatorischen Rahmens

■ Untergrenze E-Mobilität

- Kaufprämie, bestehende Energiebesteuerung
- steigende fossile Preise
- keine zusätzliche CO₂-Besteuerung

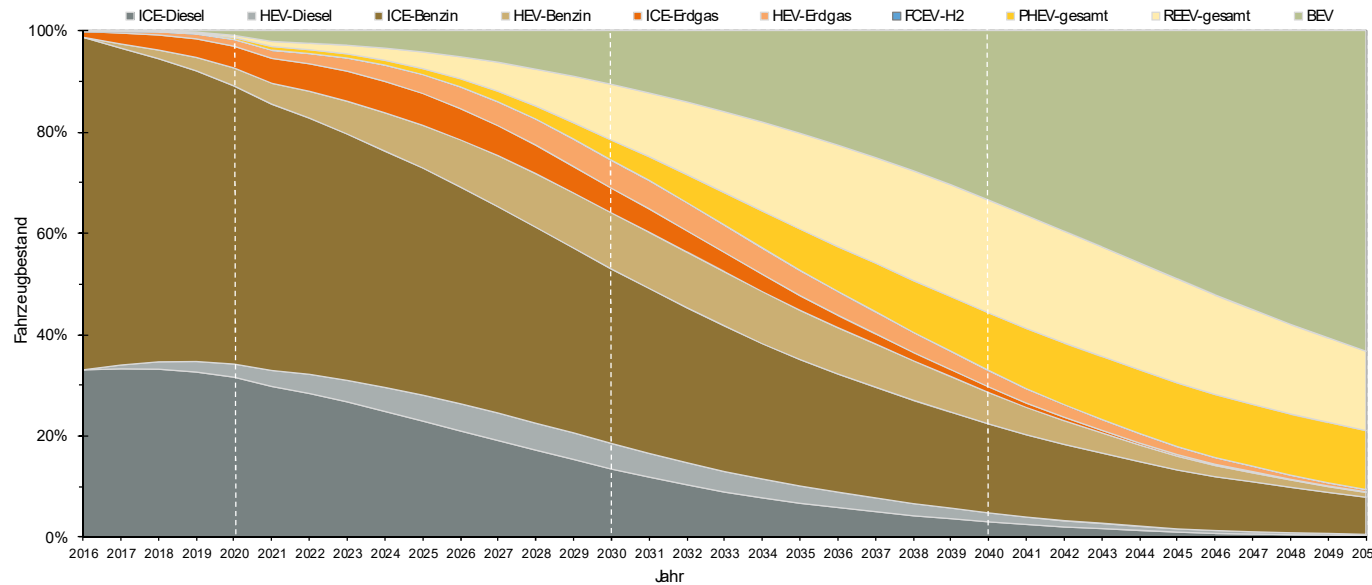
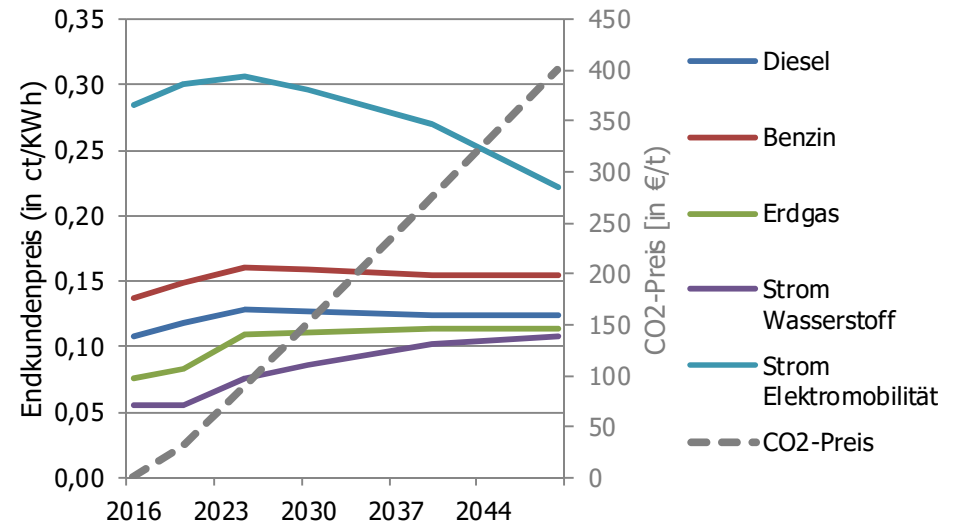


- 0,4 Mio E-Kfz 2020
- 5,0 Mio E-Kfz 2030
- 29,5 Mio. E-Kfz 2050
- höhere Bedeutung von Erdgas

Pkw/LNF-Marktentwicklung in Abhängigkeit des regulatorischen Rahmens

■ Obergrenze E-Mobilität

- Kaufprämie, bestehende Energiebesteuerung
- niedrige fossile Preise
- kontinuierlich steigende zusätzliche CO₂-Besteuerung



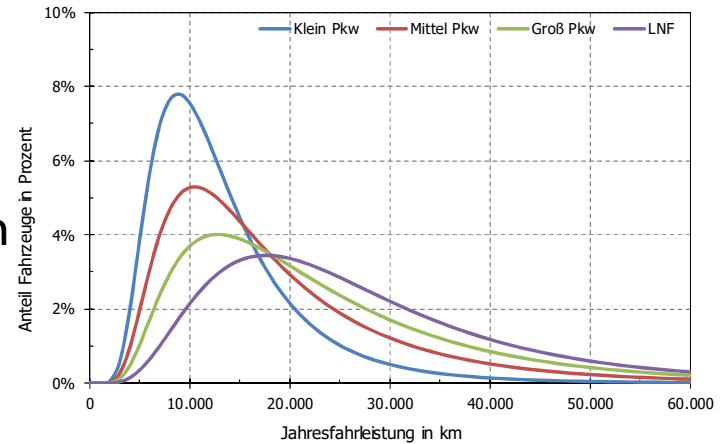
- 0,8 Mio E-Kfz 2020
- 12,3 Mio E-Kfz 2030
- 40,2 Mio. E-Kfz 2050
- geringere Bedeutung von Erdgas und nur im Pfad

INHALT

- Szenariorahmen und am Fraunhofer IEE verwendete Modelle
- Ergebnisse des Fahrzeugbestandsmodell für Pkw/LNF
Heute → 2050
- Analyse der Rückkopplungen
Verkehr \leftrightarrow Energiesystem \leftrightarrow PtX-Importe
im Energiesystemmodell in 2050
 - Basisszenario -95%THG
 - Sensitivitäten zur Ausgestaltung des Verkehrs
- Schlussfolgerungen und Ausblick

Rahmendaten Verkehr im Energiesystemmodell

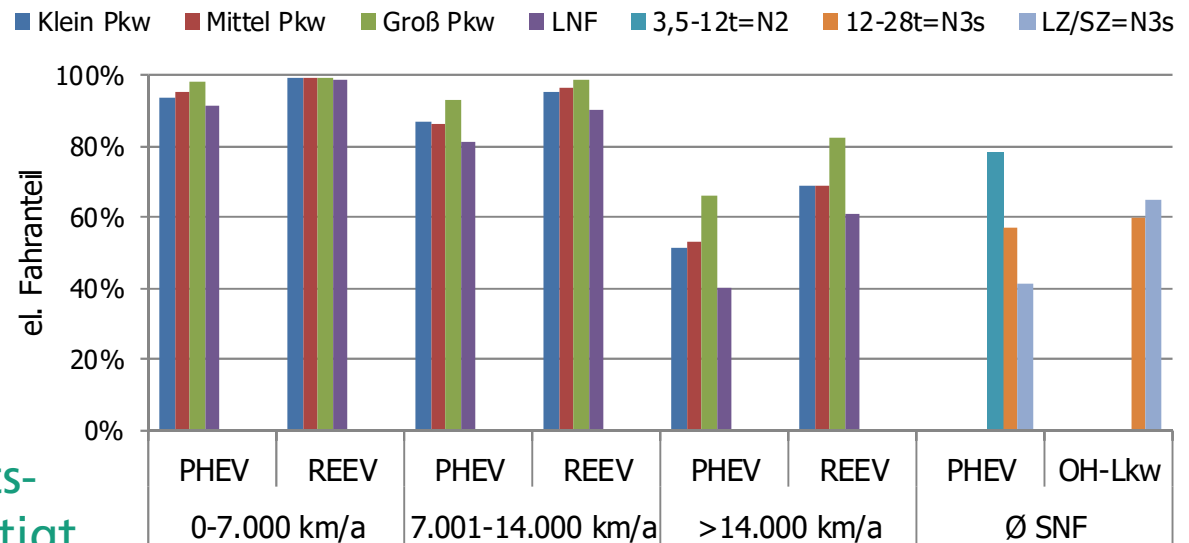
- Fahrprofile auf Basis von MiD- und KiD-Daten für Pkw/LNF und SNF, sowie Mautdaten für OH-Lkw
- 15 Fahrzeugklassen (12 Pkw/LNF, 3 SNF)



Mittlere Jahresfahrleistung [km/a]	Klein Pkw	Mittel Pkw	Groß Pkw	LNF	3,5-12t=N2	12-28t=N3I	LZ/SZ=N3s
0-7.000 km/a	4.823	4.859	4.951	4.838			
7.001-14.000 km/a	9.720	9.811	9.885	10.276	33.000	48.000	104.000
>14.000 km/a	26.385	26.814	27.957	34.243			

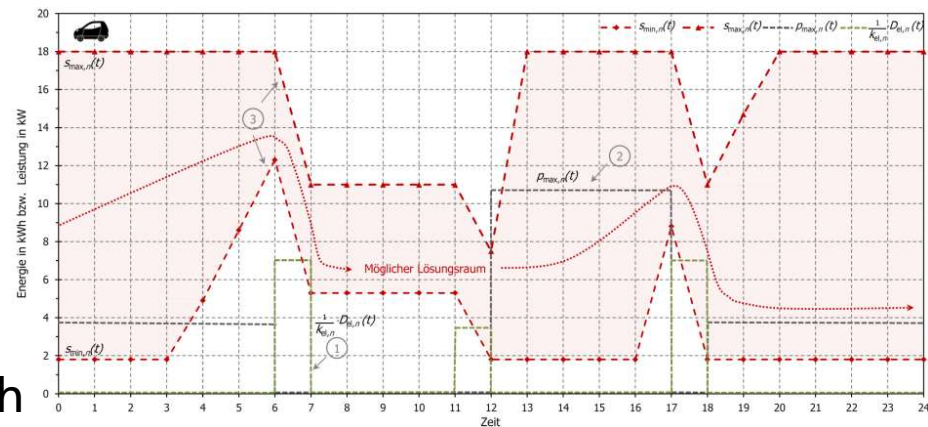
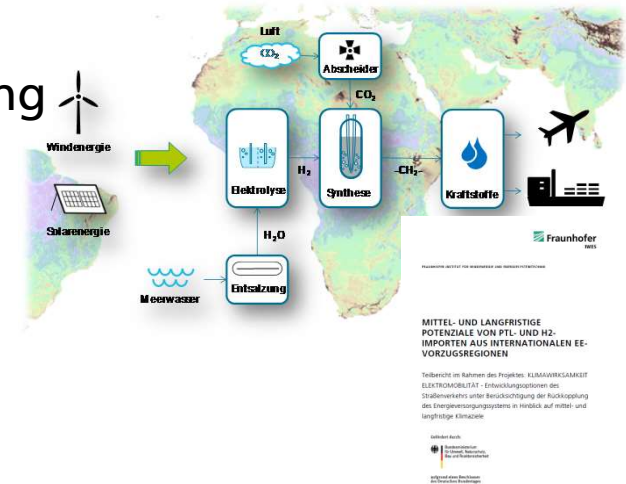
- el. Fahranteile auf Basis individueller Fahrprofile und Ladeinfrastruktur

- Aber kein geändertes Mobilitätsverhalten (autonomen Fahren, Roboter-Taxis, Mobilitätsplattformen) berücksichtigt



Rahmendaten Verkehr im Energiesystemmodell

- Investitionsentscheidung unter den Randbedingungen der ermittelten Marktpotenziale des Fahrzeugbestandsmodell
- Opportunität PtX-Import oder nationale Erzeugung
- PtL-/PtG-Importkosten in 2050 von 118 €/MWh
 - ICE sowie anteilig für PHEV/REEV – Pkw/Lkw
 - Gaskraftwerke, KWK, Heizkessel, ...
- flüssig H₂-Importkosten von 113 €/MWh
 - Pkw/Lkw
- Flexibilität von Pkw und Lkw auf Basis aggregierter individueller Mobilitätsprofile (MiD/KiD)
 - DSM (Lastverschiebung) →
 - Option V2G (Rückspeisung) mit pauschalen Kosten von 10 €/MWh

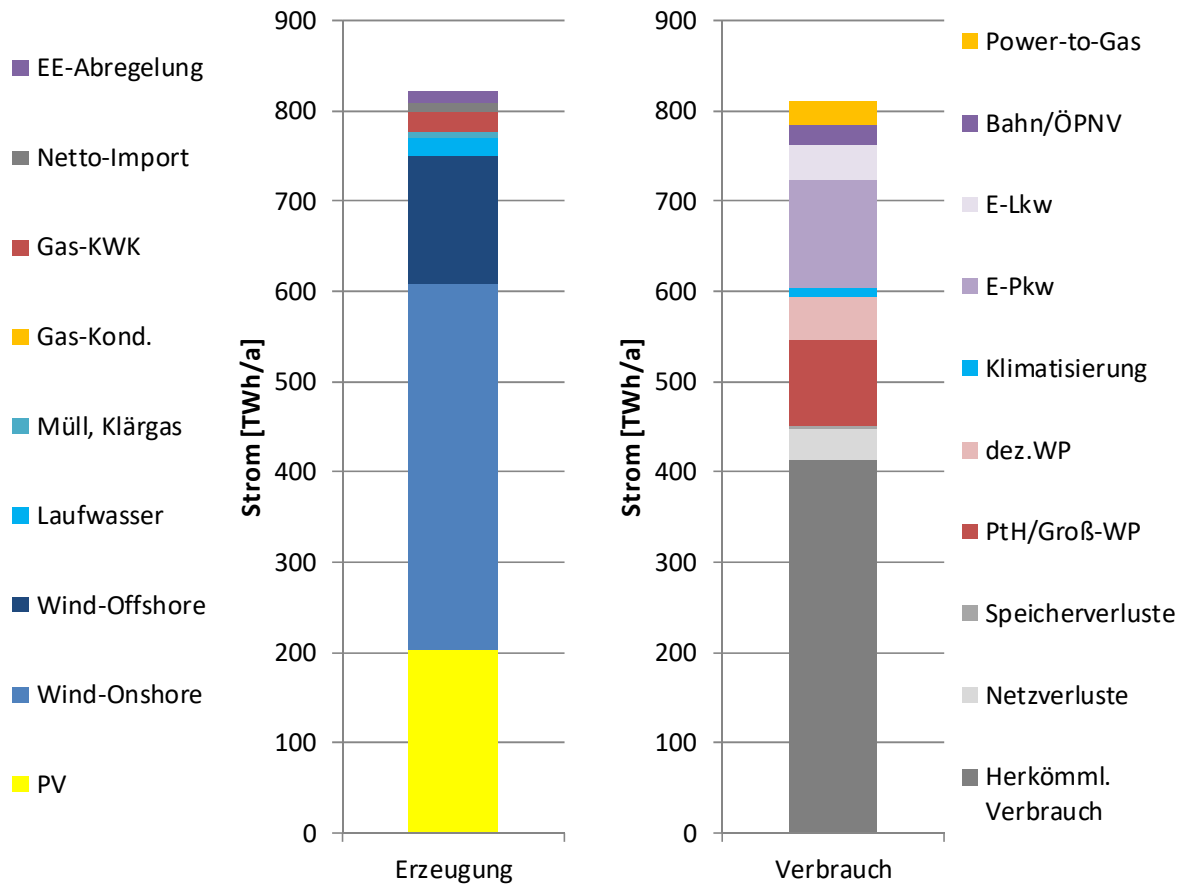
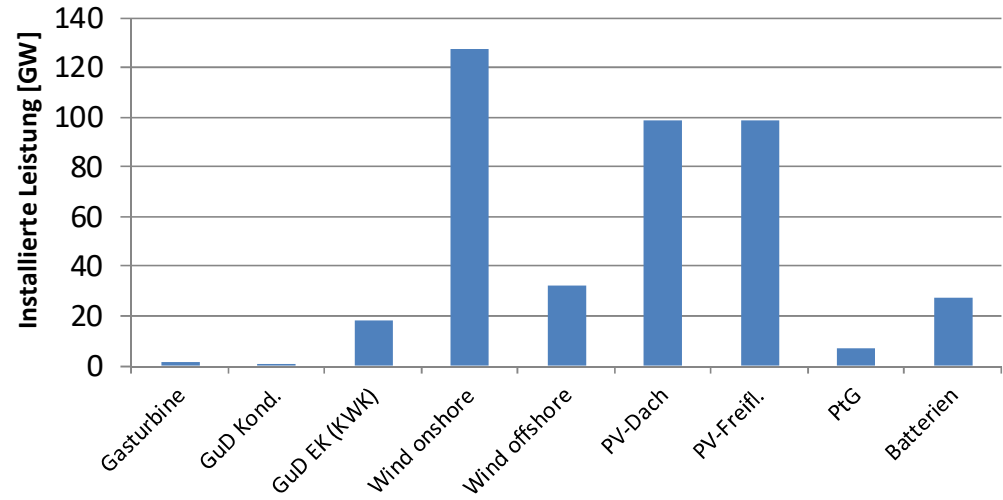


Analyse - Kostenoptimales Energieversorgungssystem 2050

- Basisszenario mit hoher Flexibilität – Marktrestriktionen im Bereich Pkw/LNF aus Simulationslauf „Obergrenze E-Mobilität“ und aus der Literatur im Bereich SNF
- Sensitivitäten
 - -Flex → eingeschränkte Flexibilität von E-Pkw/LNF (BEV, PHEV, REEV) und E-Lkw (BEV, PHEV)
 - -OH-Lkw → keine Verfügbarkeit Infrastruktur für OH-Lkw
 - -OH-Lkw/-Flex → kein OH-Lkw / eingeschränkte Flex
 - +V2G (Rückspeisung)

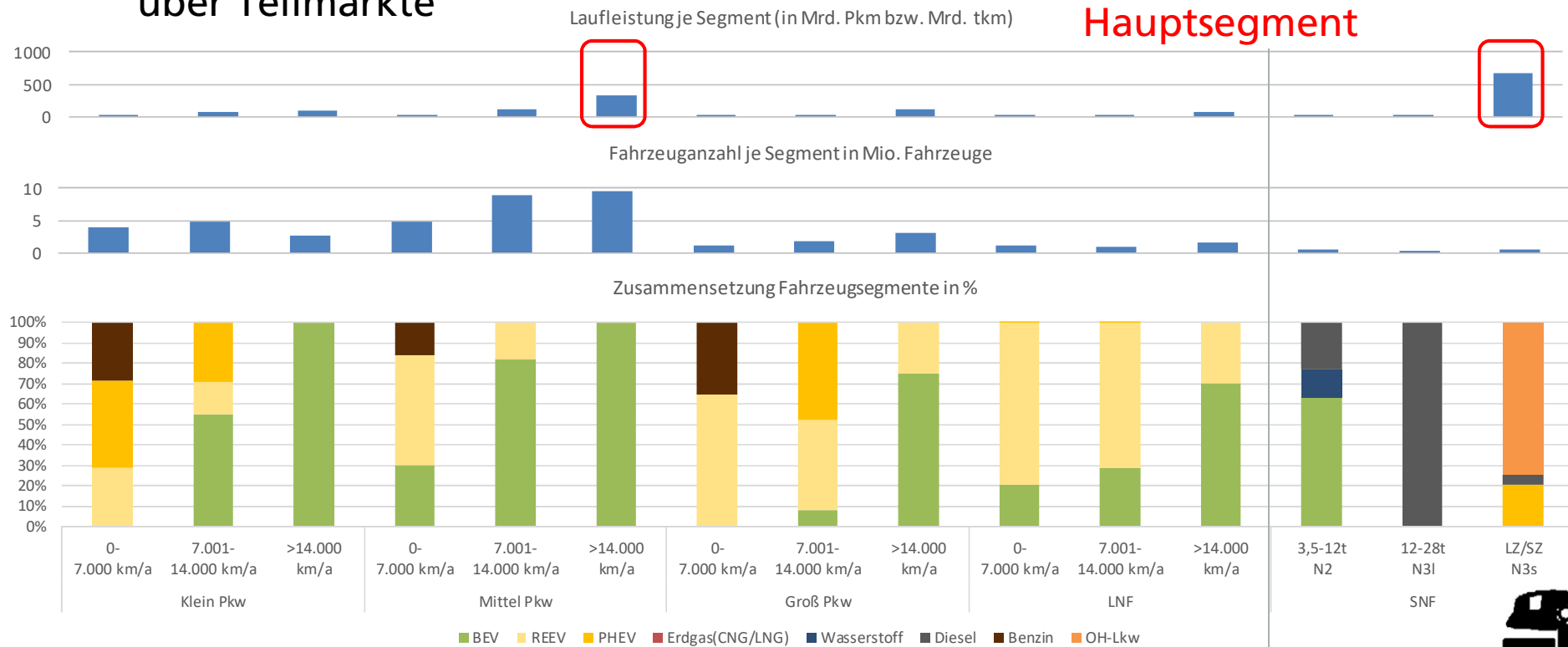
Basisszenario 2050

■ Strombilanz und installierte Leistungen

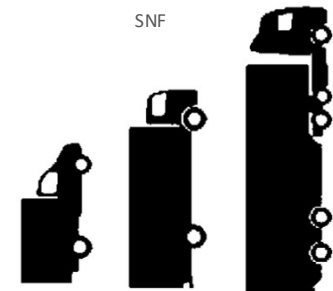


Basisszenario – Kostenoptimaler Verkehr im Zieljahr 2050

- Optimierung innerhalb unterstellter Potenzialrestriktionen
- Reines Modellergebnis - Teilweise offene Fragen insbesondere bei SNF- zu Begrenzungen Modellpalette OEM's oder gekoppelter Infrastruktur über Teilmärkte



Max. E-Mob und kein Gas oder H₂ im Pkw/LNF-Bereich, heterogener im SNF-Bereich aber Dominanz BEV und OH-Lkw



Verkehr 2050

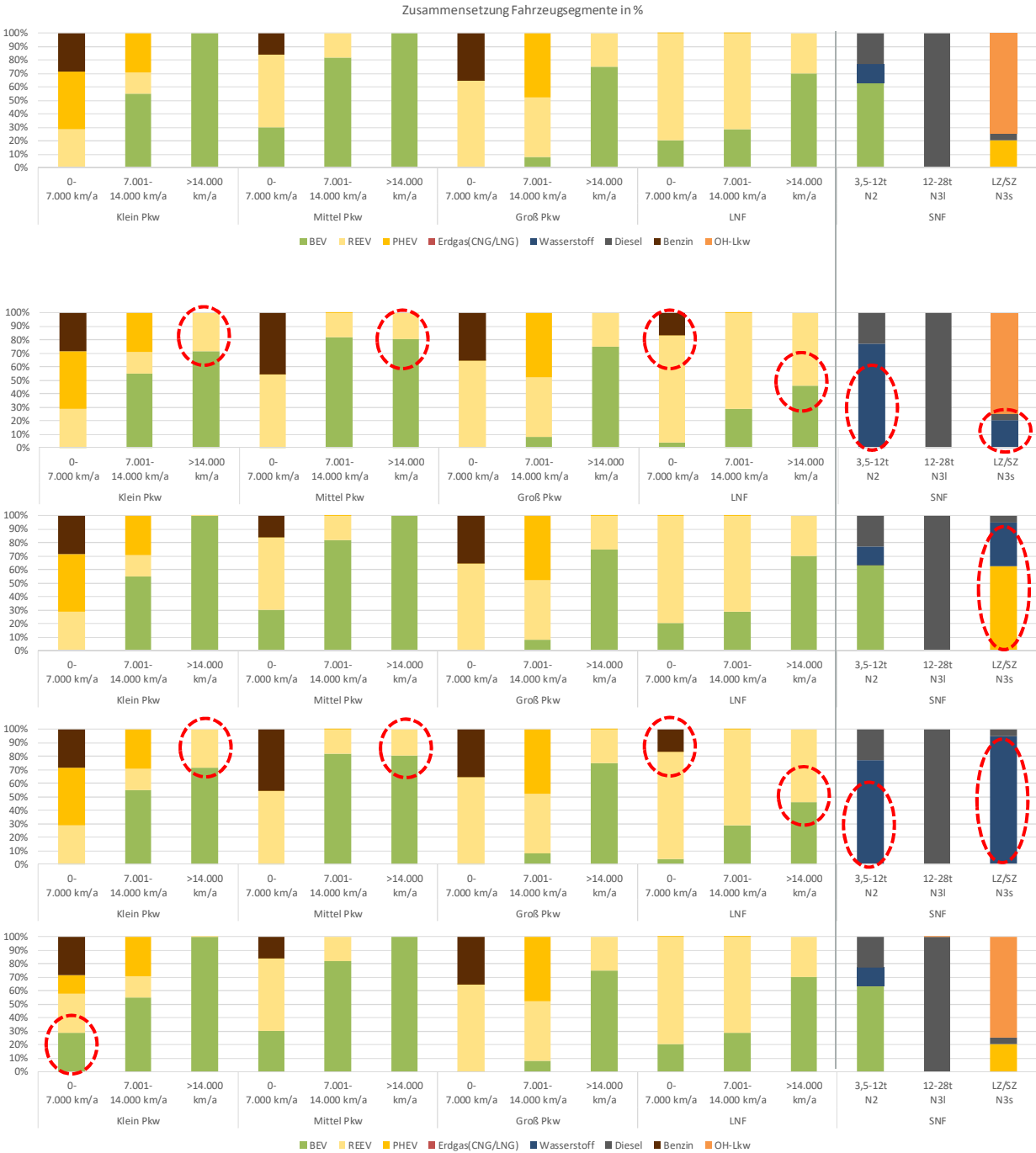
■ Basis

■ -Flex

■ -OH-Lkw

■ -Flex/-OH-Lkw

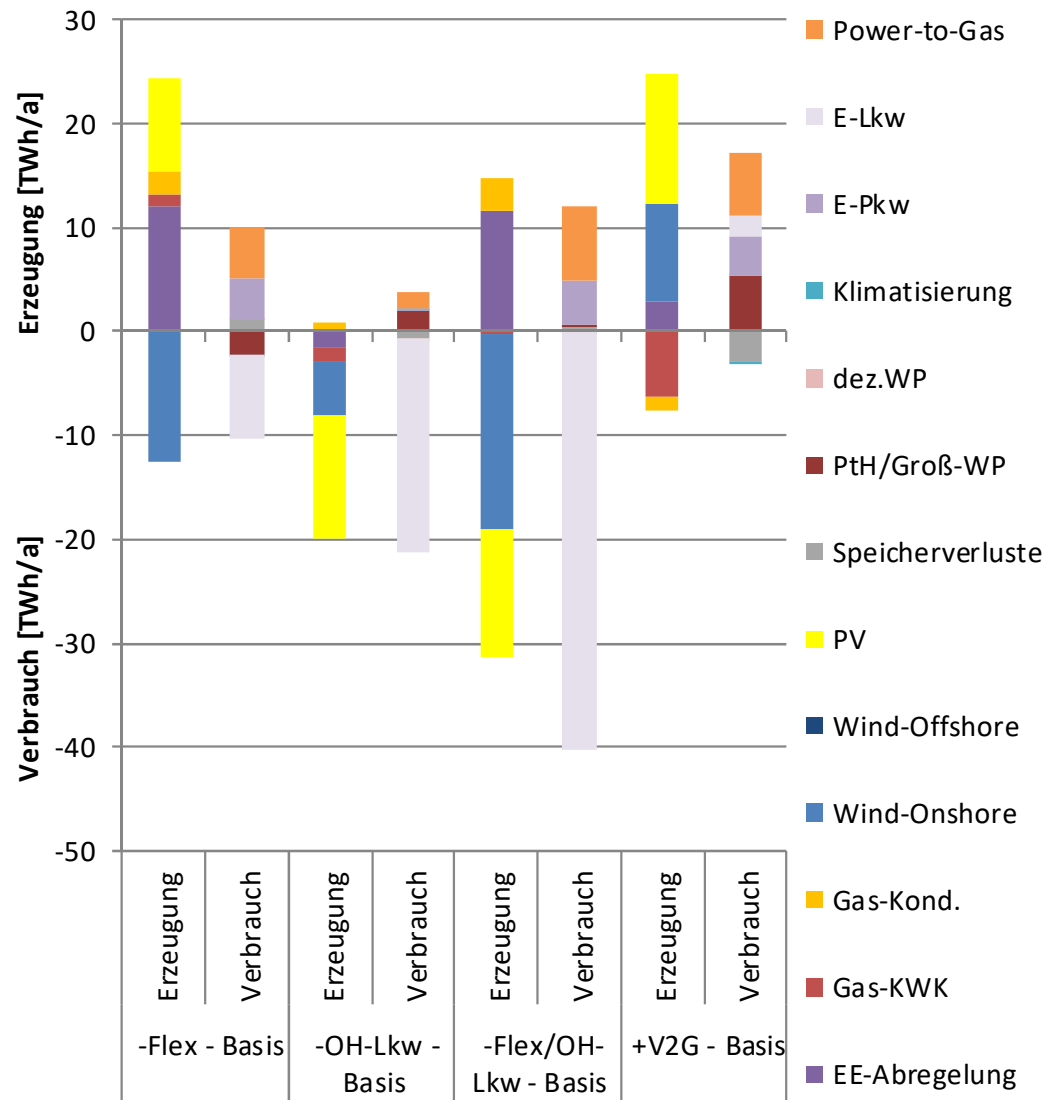
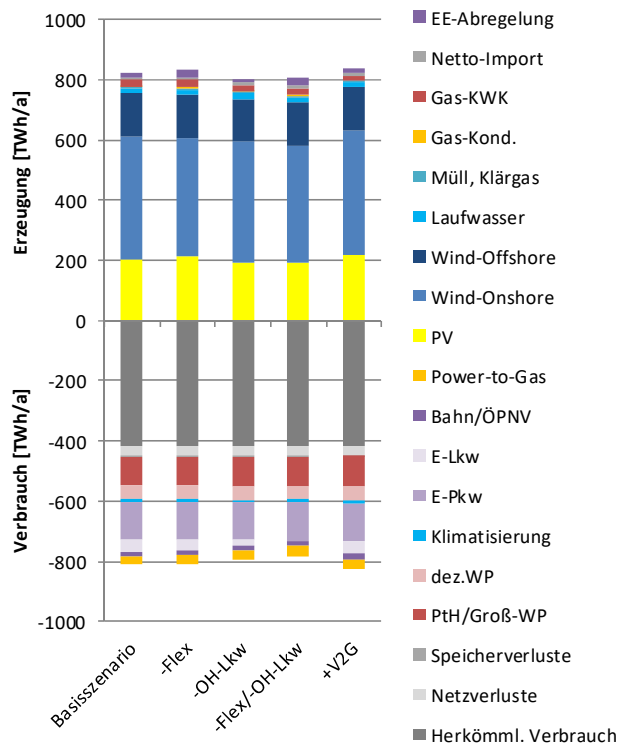
■ V2G



Auswirkungen der Sensitivitäten Verkehr 2050

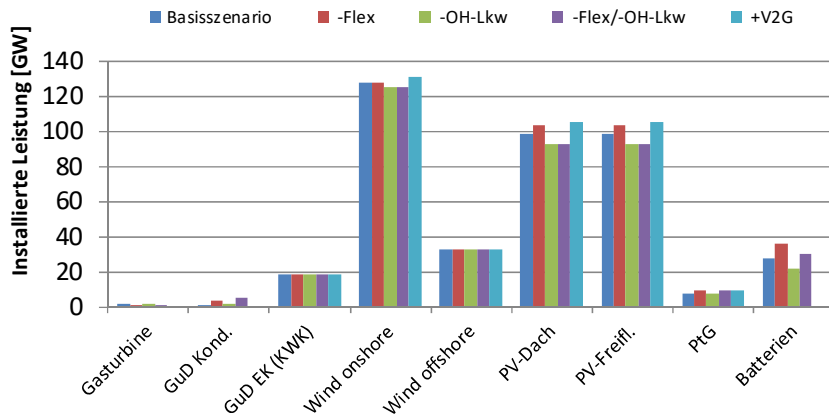
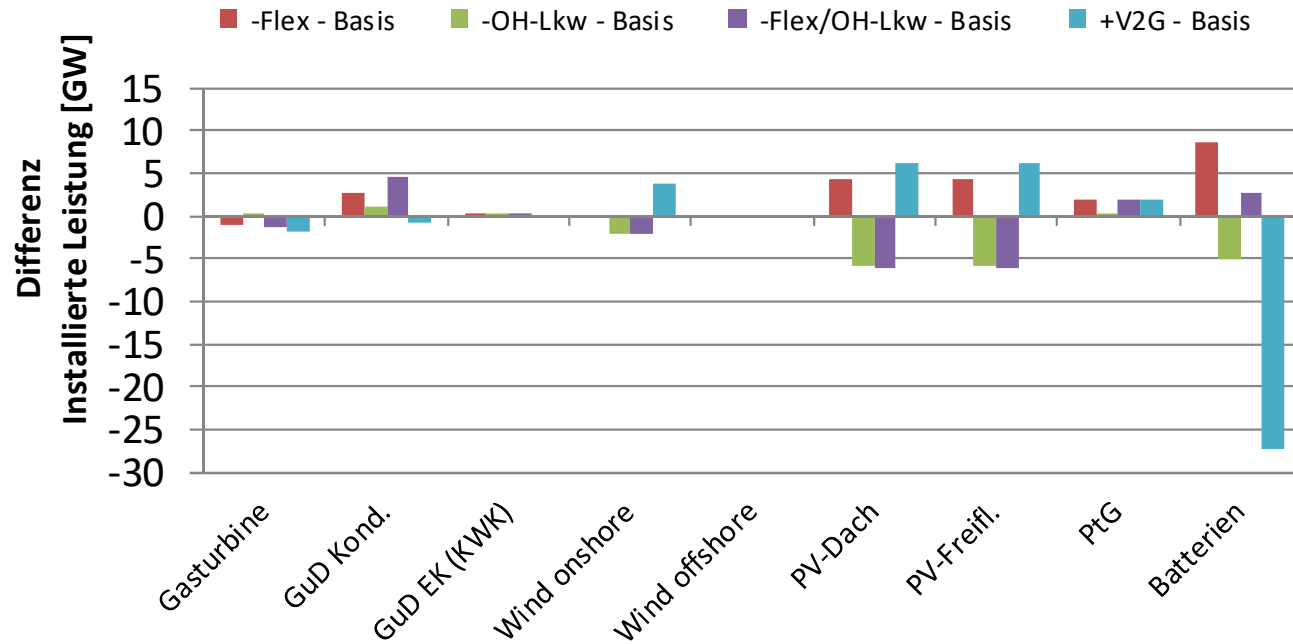
■ Strombilanz

Stärkste Abweichung:
Varianten ohne OH-Lkw
– weniger nationaler Strom
→ mehr PtX-Importe



Auswirkungen der Sensitivitäten Verkehr 2050

■ Installierte Leistungen



Stärkste Abweichung:
 Batteriespeicher und PV-Leistung - entweder
 → aufgrund erhöhter oder geringerer Flexibilität
 oder
 → reduzierter Stromnachfrage

Geringere Abweichung bei Kraftwerken,
 Wind-Onshore oder PtG

INHALT

- Szenariorahmen und am Fraunhofer IEE verwendete Modelle
- Ergebnisse des Fahrzeugbestandsmodell für Pkw/LNF
Heute → 2050
- Analyse der Rückkopplungen
Verkehr \leftrightarrow Energiesystem \leftrightarrow PtX-Importe
im Energiesystemmodell in 2050
 - Basisszenario -95%THG
 - Sensitivitäten zur Ausgestaltung des Verkehrs
- Schlussfolgerungen und Ausblick

Schlussfolgerungen Rückwirkung Verkehr \leftrightarrow Gesamtsystem 2050

- PtX-Nachfrage wird hauptsächlich durch Importe zu sehr niedrigen Kosten gedeckt. Es gibt aber auch ein stark begrenztes nationales ökonomisches PtG-Potenzial, welches aufgrund eines zeitweise sehr günstigen Stromangebotes konkurrenzfähig zu PtX-Importen ist.
- Das Ausschöpfen der Potenziale von Elektromobilität reduziert den PtL-Importbedarf deutlich. Für die Dekarbonisierung des internationalen Verkehrs, der stofflichen Nutzung und des restlichen Verkehr ist dieser Importbedarf aber weiterhin sehr hoch.
- Stationäre Batteriespeicher auf Basis von second-life-Nutzung in Verbindung mit einer grundsätzlich hohen Nachfrageflexibilität können den Einsatz von Gaskraftwerken stark reduzieren
→ Weitere Untersuchungen zur Versorgungssicherheit notwendig
- V2G reduziert den Bedarf an stationären Speicher (= 0) und Spitzenlastkraftwerken (= 0) und führt zu steigenden Anteilen von PV.
→ offene Fragen zum komplexes Zusammenwirken von Selbstentladung, Batteriealterung, Preisunterschieden am Strommarkt und individuellen Nutzeransprüchen
- Eine Einschränkung der Flexibilität führt zum gegenläufigen Effekt wie V2G, aber im deutlich geringeren Ausmaß.

Schlussfolgerungen zu Antriebstechnologien 2050

- Elektromobilität hat auch bei langfristig niedrigen PtL-Importpreisen eindeutige Kostenvorteile.
- Aufgrund der Kostendegression für Batterien erscheinen langfristig im Pkw-Bereich REEV (serieller Hybridantrieb mit größerer Batterie und kleinem Verbrennungs-Motor) gegenüber PHEV (paralleler Hybridantrieb mit kleinerer Batterie) in allen Marktsegmenten im Vorteil.
- Für Pkw-Nutzer mit geringen Jahresfahrleistungen sind Hybridfahrzeuge attraktiver als vollelektrische Fahrzeuge → aber offene Fragen zu geänderten Mobilitätsverhalten (autonomen Fahren u. a.).
- OH-Lkw ist in allen Szenarien im Hauptsegment SZ/LZ robust, BEV-Lkw im Bereich <12t.
- Im Bereich Lkw aber noch Unsicherheiten bezüglich großer PHEV-Lkw hinsichtlich erreichbarer elektrischer Fahranteile und Kosten.
- Wenn keine Oberleitungs-Infrastruktur aufgebaut würde, ist der Vorteil von H₂-Lkw gegenüber PtL-Lkw von den H₂-Infrastrukturkosten abhängig. Grundsätzlich sind die Differenzkosten im Bereich Lkw geringer, weswegen eine Bewertung von Kosten und Emission im Pfad (Heute → 2050) zu treffen ist.
- PtG-Importe haben in einer vollständig dekarbonisierten Welt keinen Emissionsvorteil gegenüber PtL und damit in 2050 ein Gasmotor keinen Vorteil gegenüber Benzin/Diesel.

Ausblick

- Untersuchungen zur Klimazielerreichung 2030
 - - 55% THG Gesamtemissionen
 - - 40% THG Sektorziel Verkehr
- Bewertung einer autarken Energieversorgung nur des Verkehrssektors
- Veröffentlichung Mai 2018 auf <http://www.energieversorgung-elektromobilitaet.de/>

- Detailuntersuchungen zum Bereich SNF mit dem Modell im Projekt „Roadmap OH-Lkw“ (ifeu, PTV, M-Five, Fraunhofer IEE)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Norman Gerhardt
Leiter Energiewirtschaft und Systemanalyse

E-Mail: norman.gerhardt@iee.fraunhofer.de

Tel.: 0561 7294-274

Fraunhofer IEE

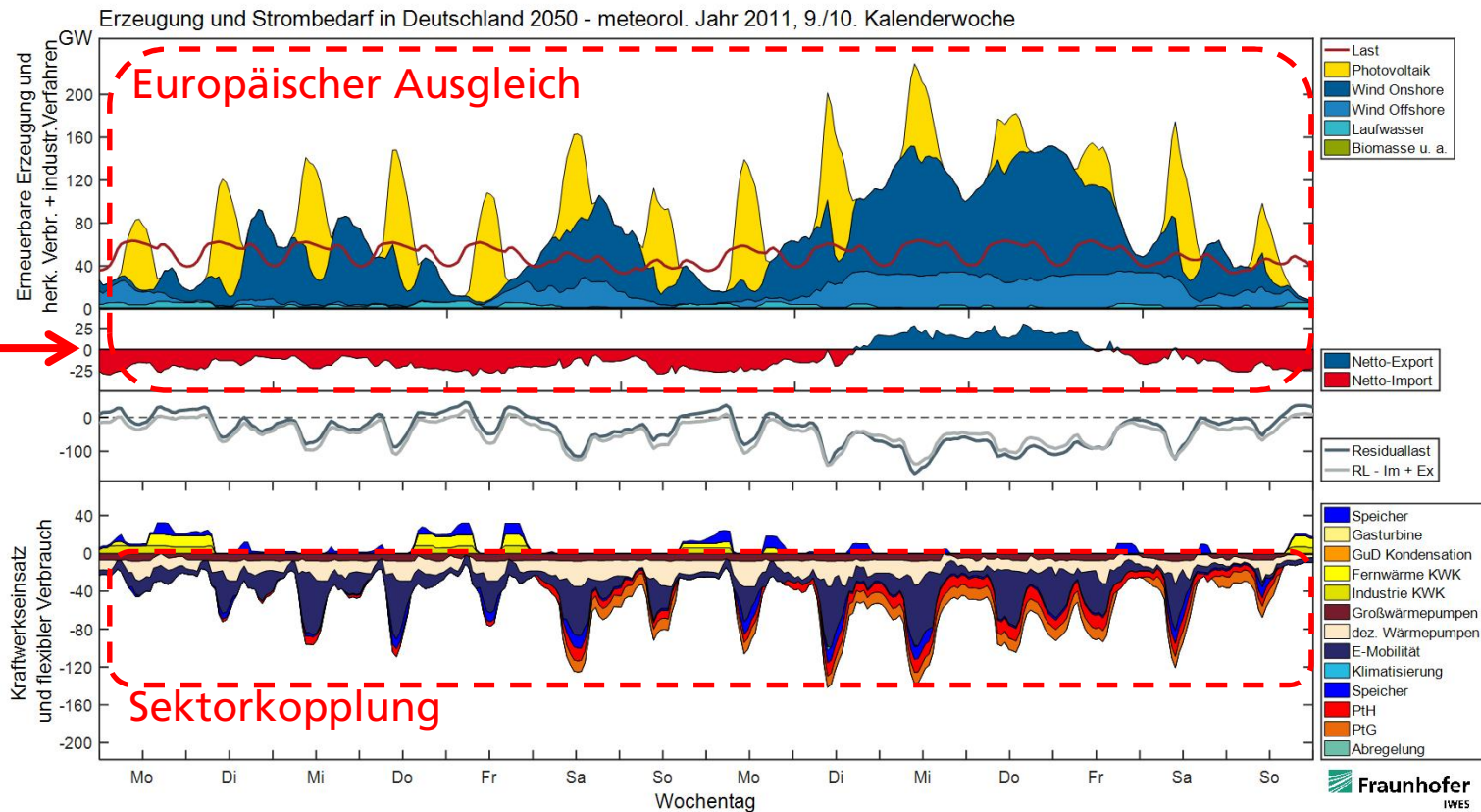
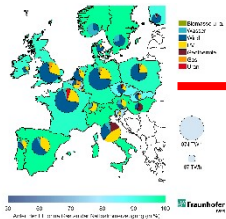
Königstor 59

34119 Kassel

2 Beispielwochen – Erzeugung und Verbrauch in 2050

- Integration von EE-Strom durch Sektorkopplung
→ Flexibilität und direkte elektrische Stromnutzung

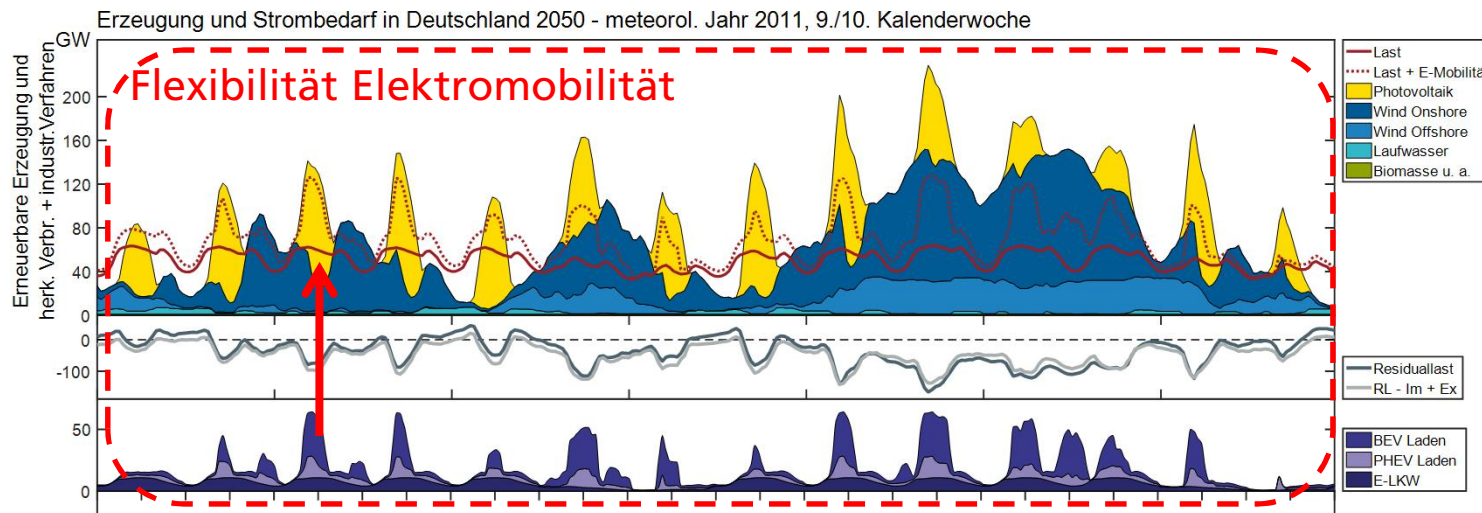
Anfang März 2050



Hohe Bedeutung von neuen flexiblen Verbrauchern

■ E-Mobilität integriert PV

Anfang März 2050



Szenariogenerator über 7 historische Wetterjahre:

www.energieversorgung-elektromobilitaet.de/