

Norman Gerhardt, IWES

Wolfram Knörr, IFEU

EINORDNUNG DES VERKEHRS- SEKTORS IN DAS GESAMTSYSTEM

Energiesystemmodellierung am Fraunhofer IWES

Sektorübergreifende Zubau- und Einsatzoptimierung - Minimierung Vollkosten -

Europa/Deutschland

- LP
- Strom, Wärme, Verkehr
- CO₂-Markt
- Wärmemarkt
- 1 Zieljahr inkl. Bestandsanlagen

- Optimaler Technologie-mix (inst. Leistungen, NTC)
- Energiemengengerüst (stündlicher Einsatz)
- CO₂-Preis

Anlageneinsatzoptimierung Strommarkt (inkl. Schnittstellen zu Wärme u. Verkehr - Minimierung variabler Betriebskosten -

Europa

- LP
- Austauschkapazitäten zwischen Ländern
- Intern. Speicherwasser (saisonaler Speicher)

- EU-Kraftwerkseinsatz (VLS, Emissionen, ...)
- Exporte/Importe
- Europaweite Ausgleichseffekte

Deutschland

- GGLP rollierende Planung
- Regelleistung
- Regionen-Netzmodell
- Prognosefehler

- KW-Einsatz (VLS, Teillast, Start/Stops, ...)
- RL-Bereitstellung
- Netzengpässe
- Strompreise

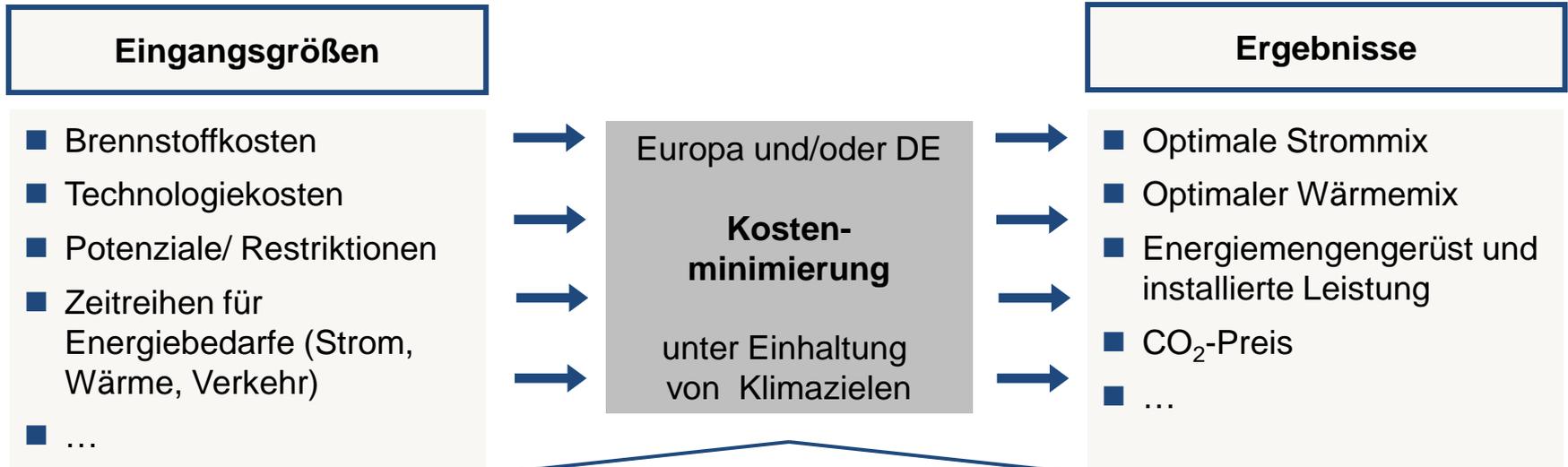
P_{inst} [GW]
Netze
...
CO₂-Preis [€/t]

Import/
Export
Speicherfüllstand

■ 8760 h/a Modellierung

■ sektorübergreifende Flexibilität in allen Modellen

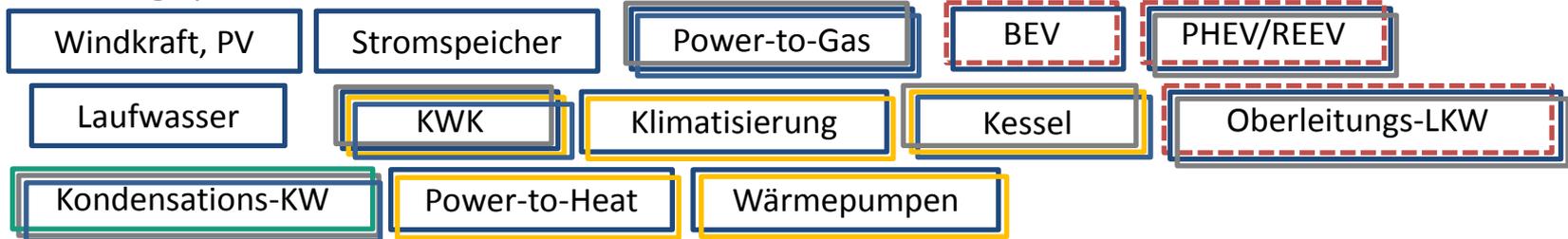
Energiesystemmodellierung am Fraunhofer IWES



-Märkte:



Technologieportfolio:



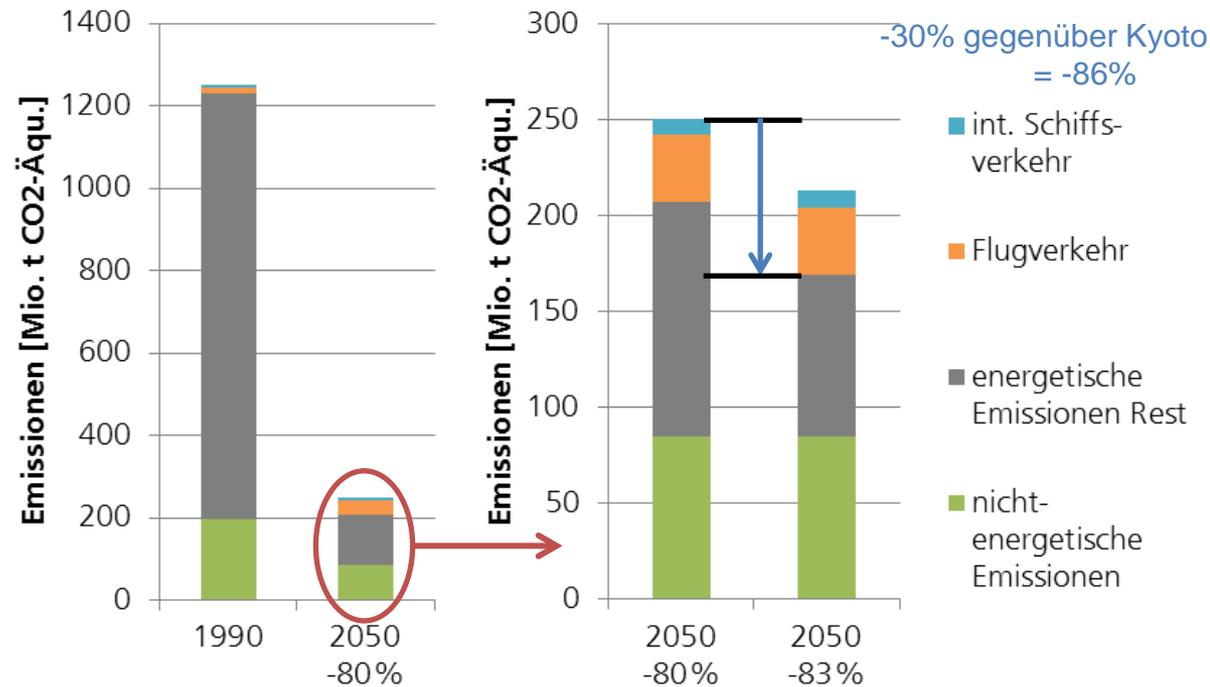
THG-Ziele und ihre Konsequenzen

- Ein THG-Minderungsziel von -80% bis 2050 für Europa fordert für **Deutschland** eine Einsparung um **ca. -83%**
- Berücksichtigung Emissionen
 - außerhalb des Energiesektors und
 - internationaler Verkehrsanteils (Steigerung Flugaufkommen, nicht elektrifizierbar)
 → geringe zulässige Emissionen für Energie

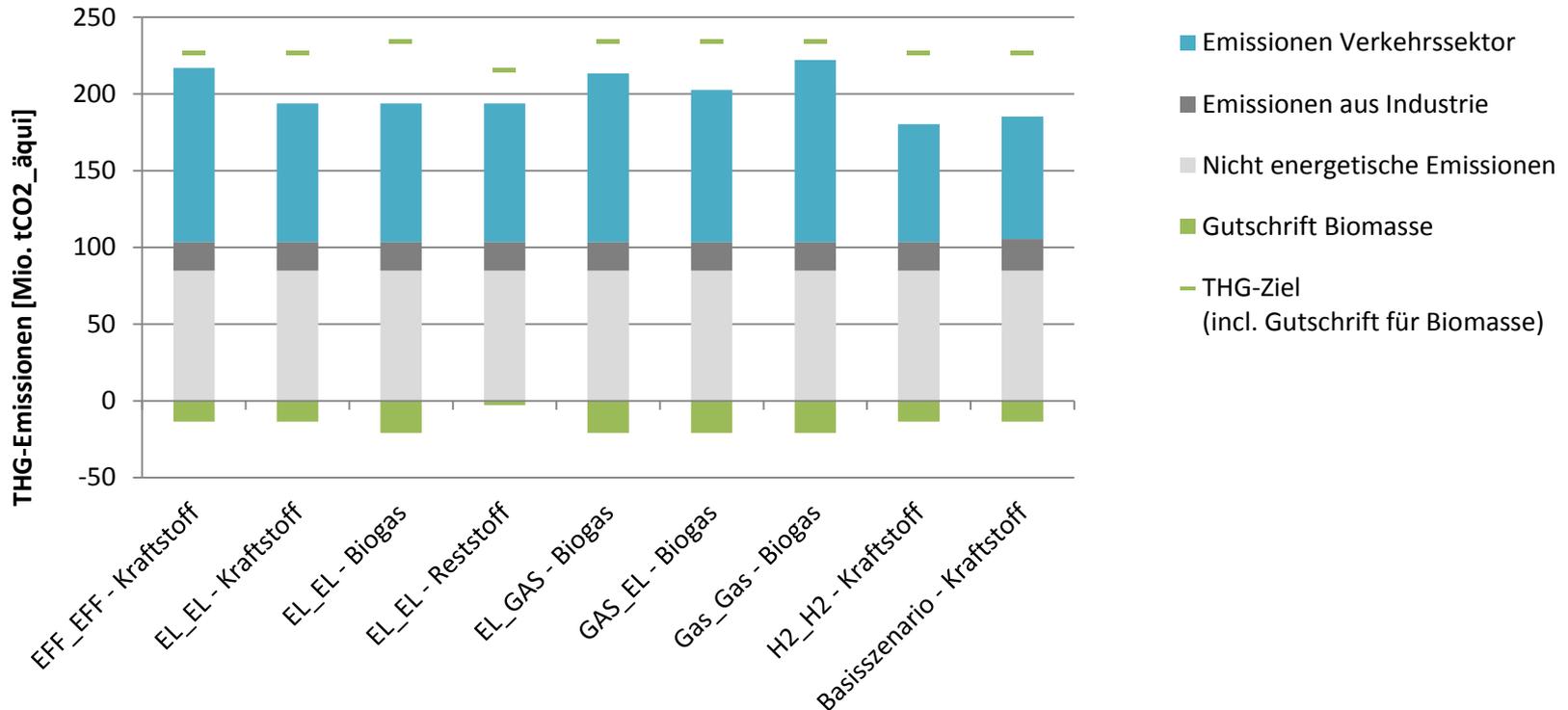
- Begrenzte Biomasse
2 Mio. ha NaWaRo

→ EE-Strom (Wind, PV) als zukünftiger Primärenergieträger

→ Effizienzsteigerung durch neue Stromverbraucher wie E-Mobilität oder Wärmepumpen

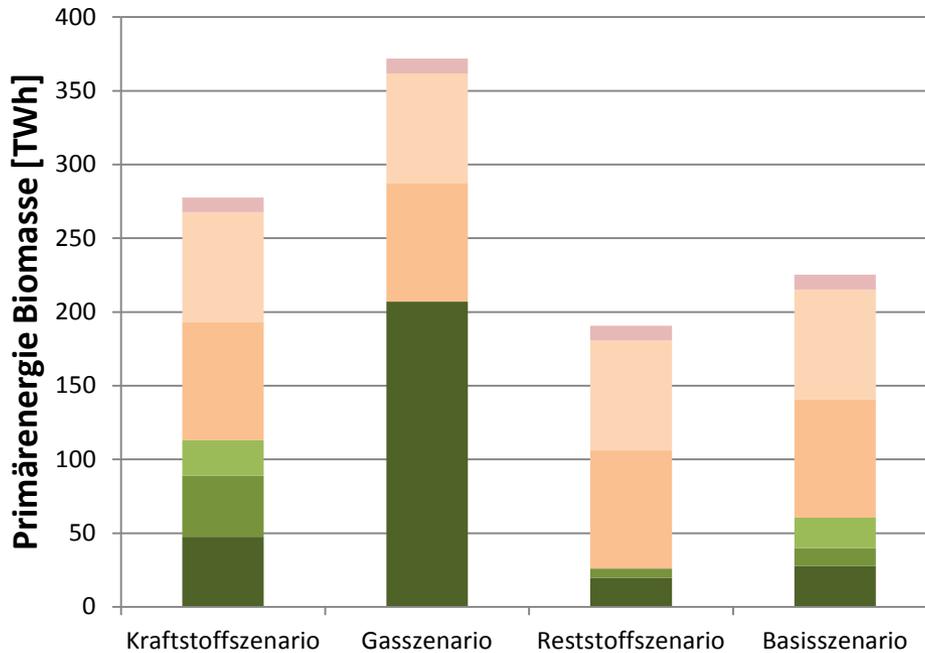


THG-Emissionen – der Verkehr als Anteil der Gesamtemissionen

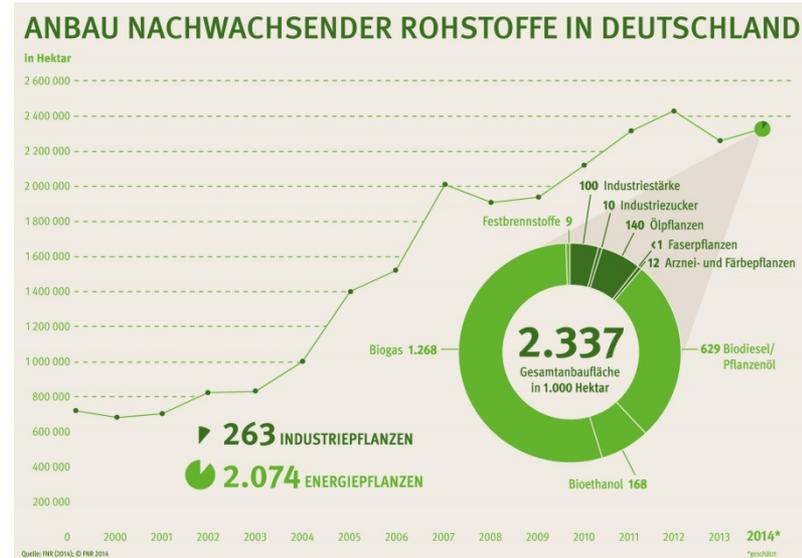


- Sehr ambitionierte THG-Ziele
→ Steigende Notwendigkeit des Einsatzes synthetischer Brennstoffe je „ineffizienter“ das Verkehrsszenario ist

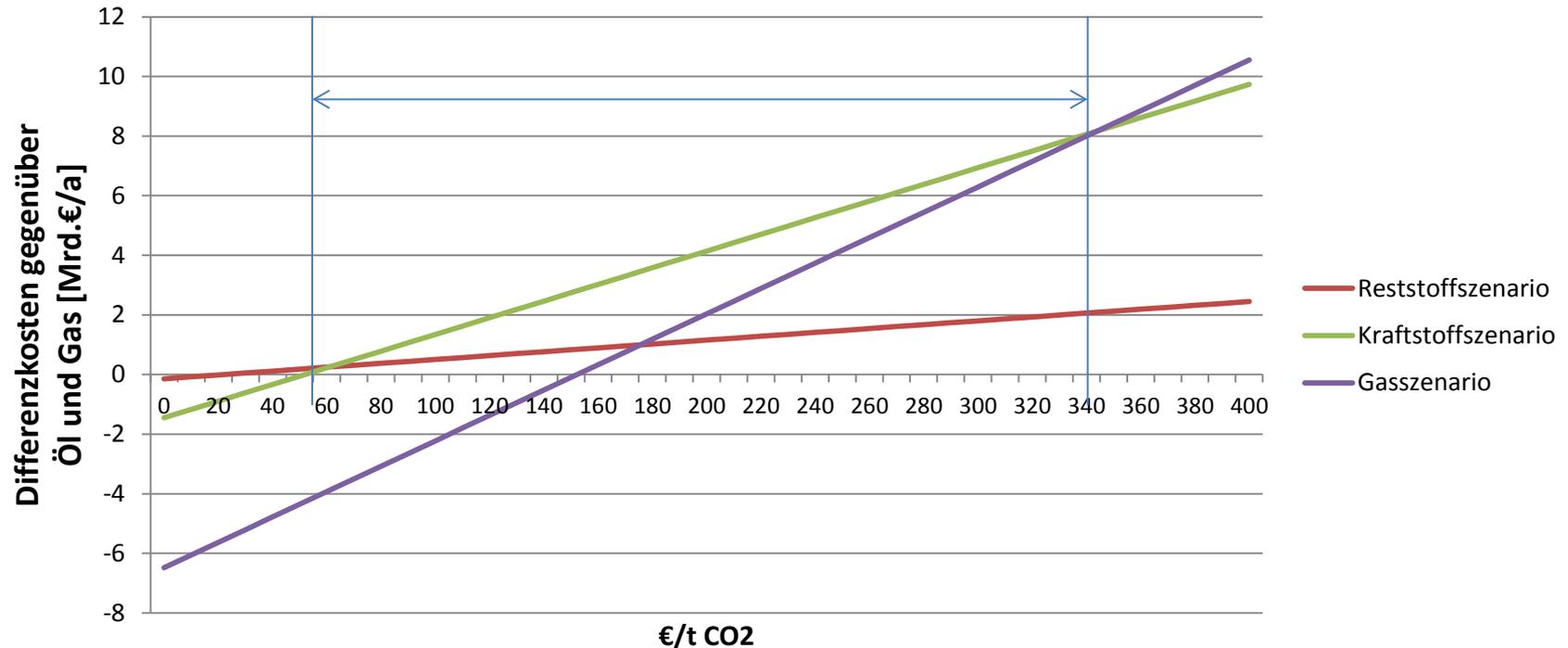
Biomasse



- Biomasse stellt eine günstige erneuerbare Alternative dar, ist aber nur eingeschränkt zur energetischen Nutzung verfügbar.
- Hohe Effizienz durch Anbau von flüssigen biogenen Brennstoffen bei nur 2 Mio. ha Anbaufläche → optimiertes Biomasse-Basisszenario



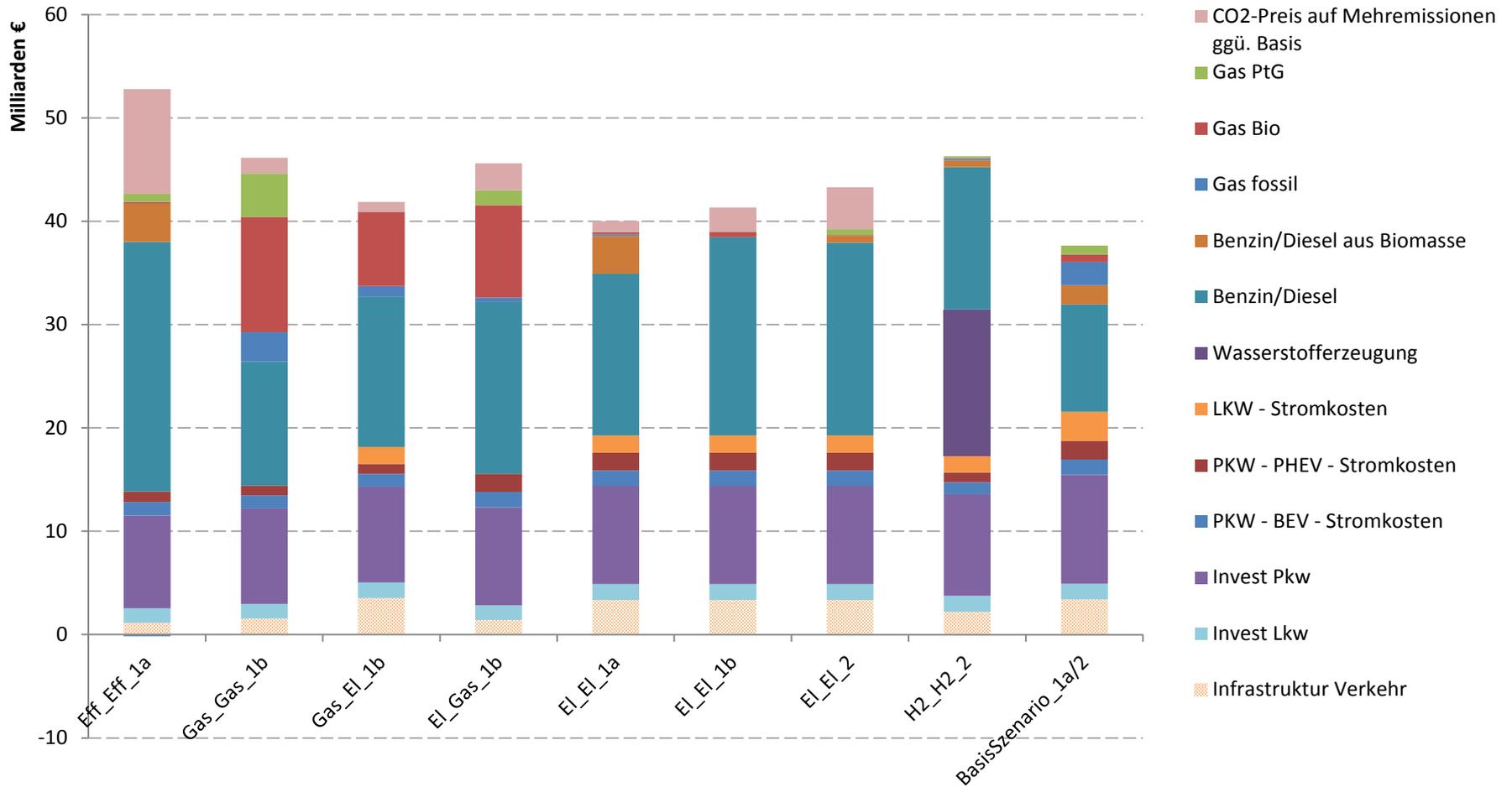
Biomassedifferenzkosten



- Biomasse-Produktionskosten und spezifische Flächenerträge je nach Nutzung
- Biokraftstoffe inkl. Koppelprodukte (Gas) über weite Spannbreite von CO₂-Vermeidungskosten langfristig (bei steigendem Preisunterschied Erdöl/Erdgas) trotz geringer Flächenerträge wirtschaftlicher

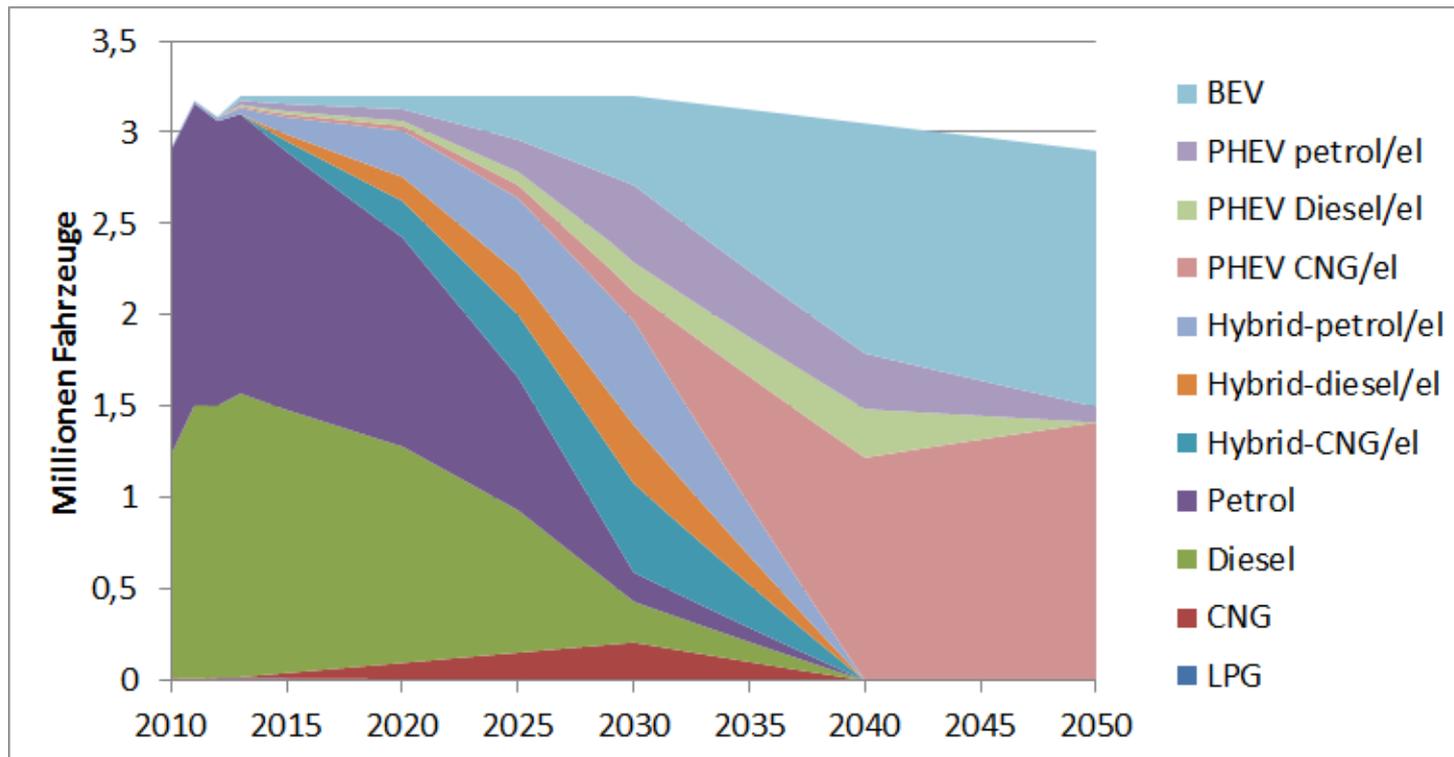
Gesamtkosten Straßenverkehr - 2050

Jährliche Kosten des Straßenverkehrs mit CO₂-Grenzpreis auf THG-Mehremissionen des Verkehrs gegenüber dem Basisszenario



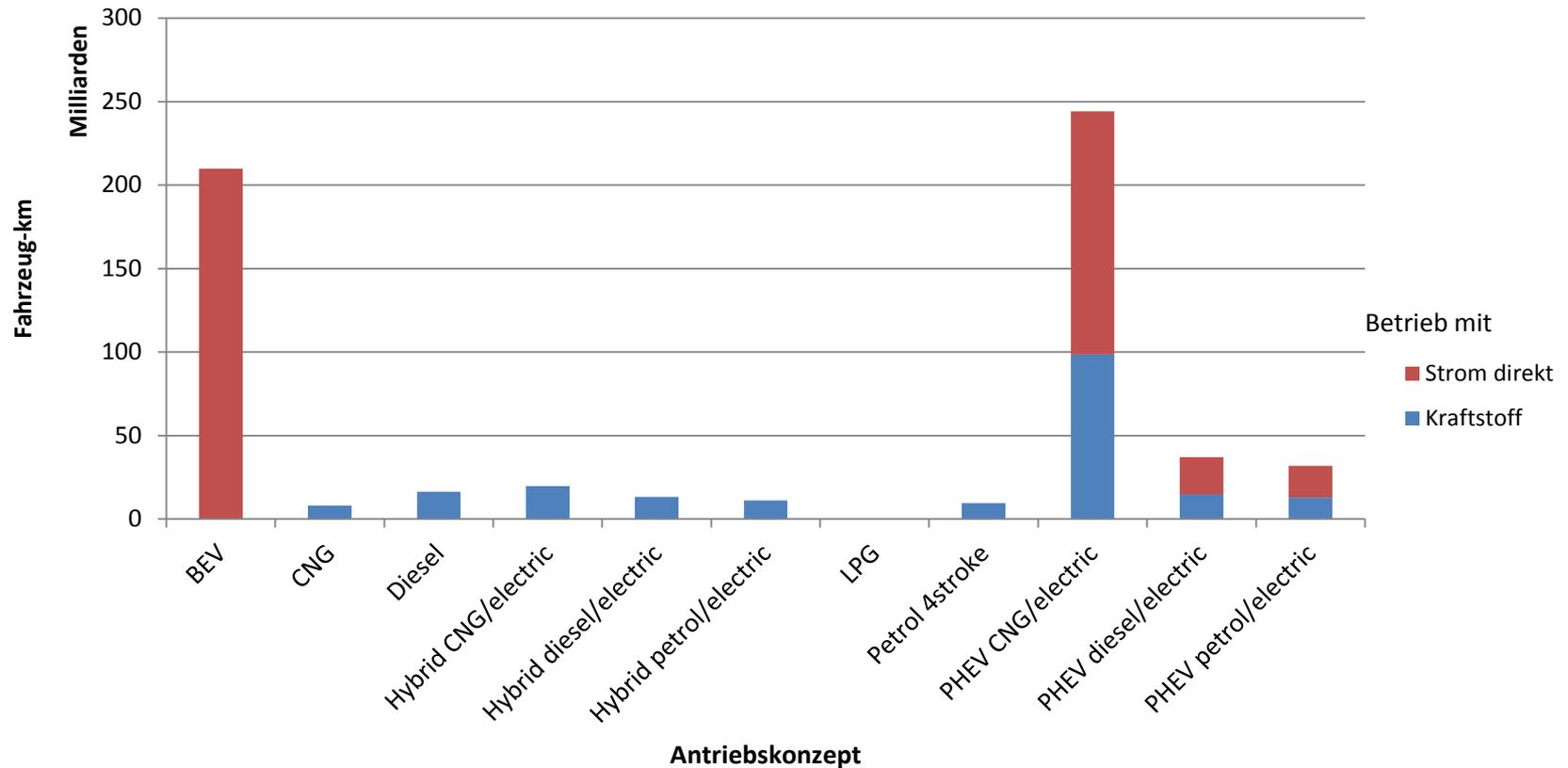
Markthochlauf Basisszenario: Annahmen zu den Neuzulassungen Pkw nach Antriebstechnologie

- Ab 2013: deutliche Zunahme der strombasierten Fahrzeugkonzepte
- Ab 2030: PHEV mit CNG wird wichtigstes Hybridkonzept
- Ab 2040: keine reinen Verbrennerfahrzeuge mehr



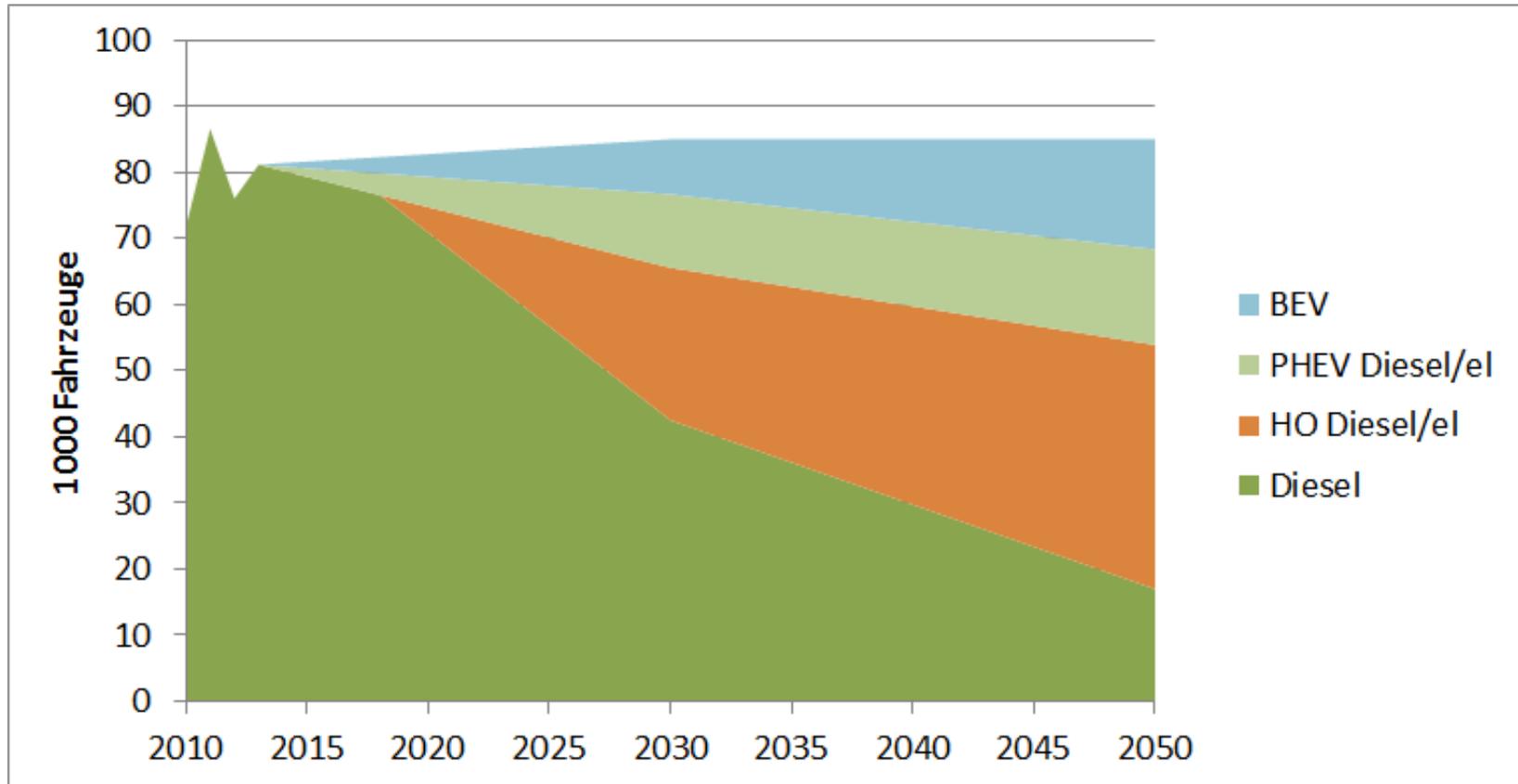
Szenarienergebnisse: Fahrleistung **Basisszenario Pkw (Energieträger/Konzepte)**

Fahrleistung der Antriebskonzepte in 2050



Markthochlauf Basisszenario: Annahmen zu den Neuzulassungen Lkw nach Antriebstechnologie

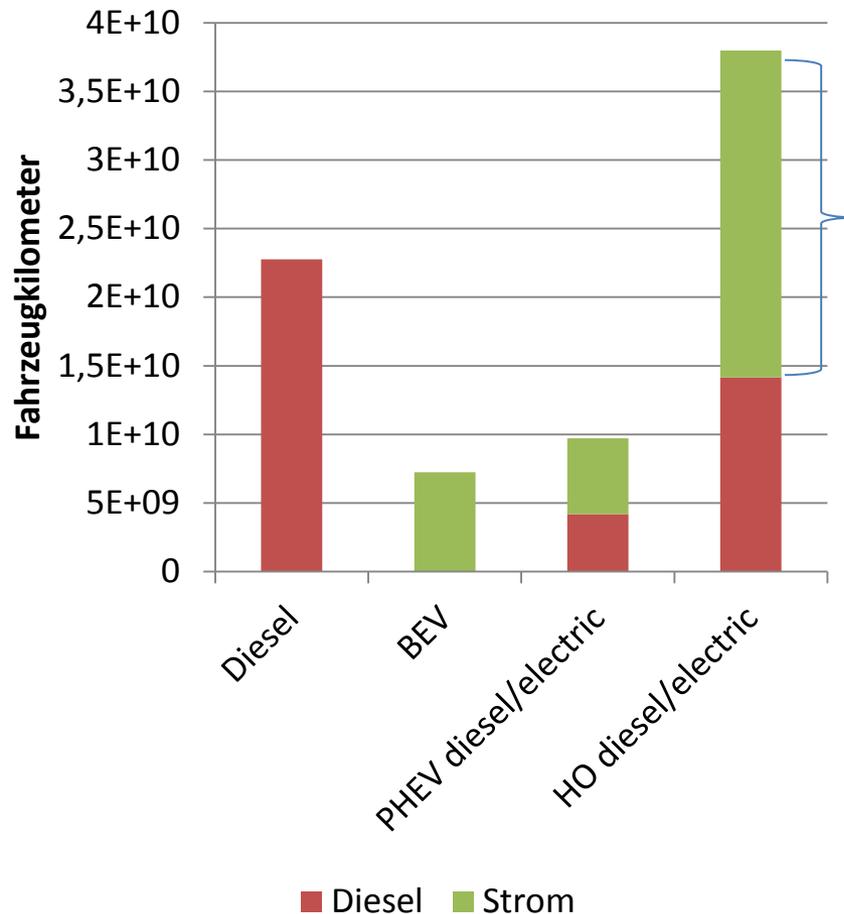
- ab 2013: Deutliche Zunahme der BEV und PHEV-Fahrzeuge
- Ab 2018: Beginn der Einführung HO-Lkw



Szenarienergebnisse: Fahrleistung

Basisszenario Lkw (relevante Energieträger/Konzepte)

Fahrleistung 2050

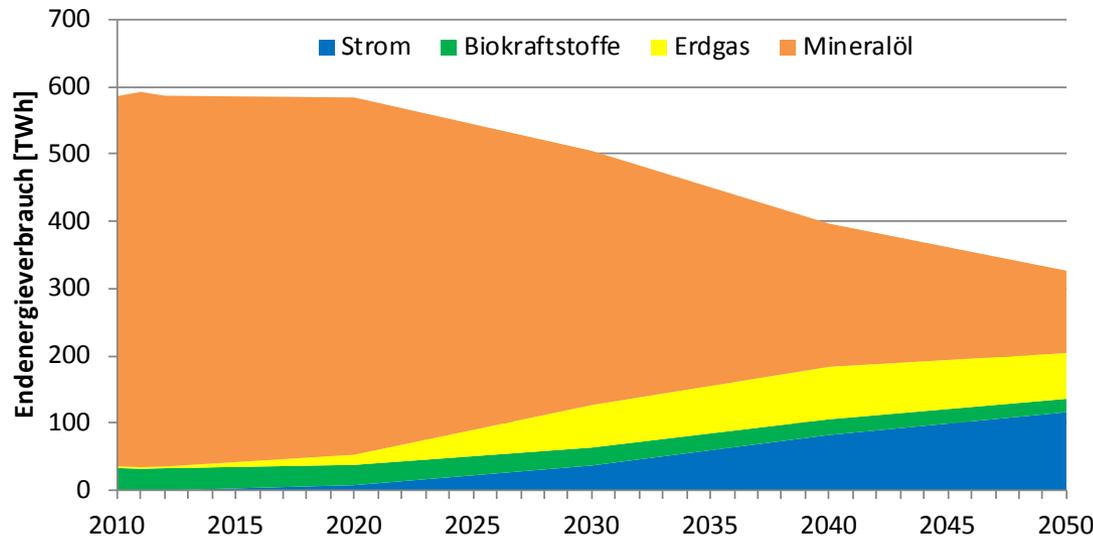


Annahmen HO-Lkw 2050:

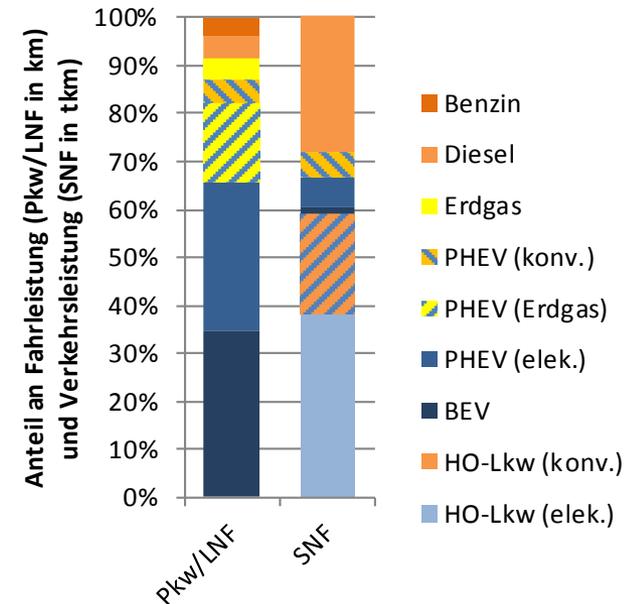
- Fahrleistungsanteil Elektro auf Autobahn 90% (Netzabdeckung 80%)
- Autobahnanteil Fahrleistung 70%

Kosten- und Energieeffizientes Verkehrsszenario

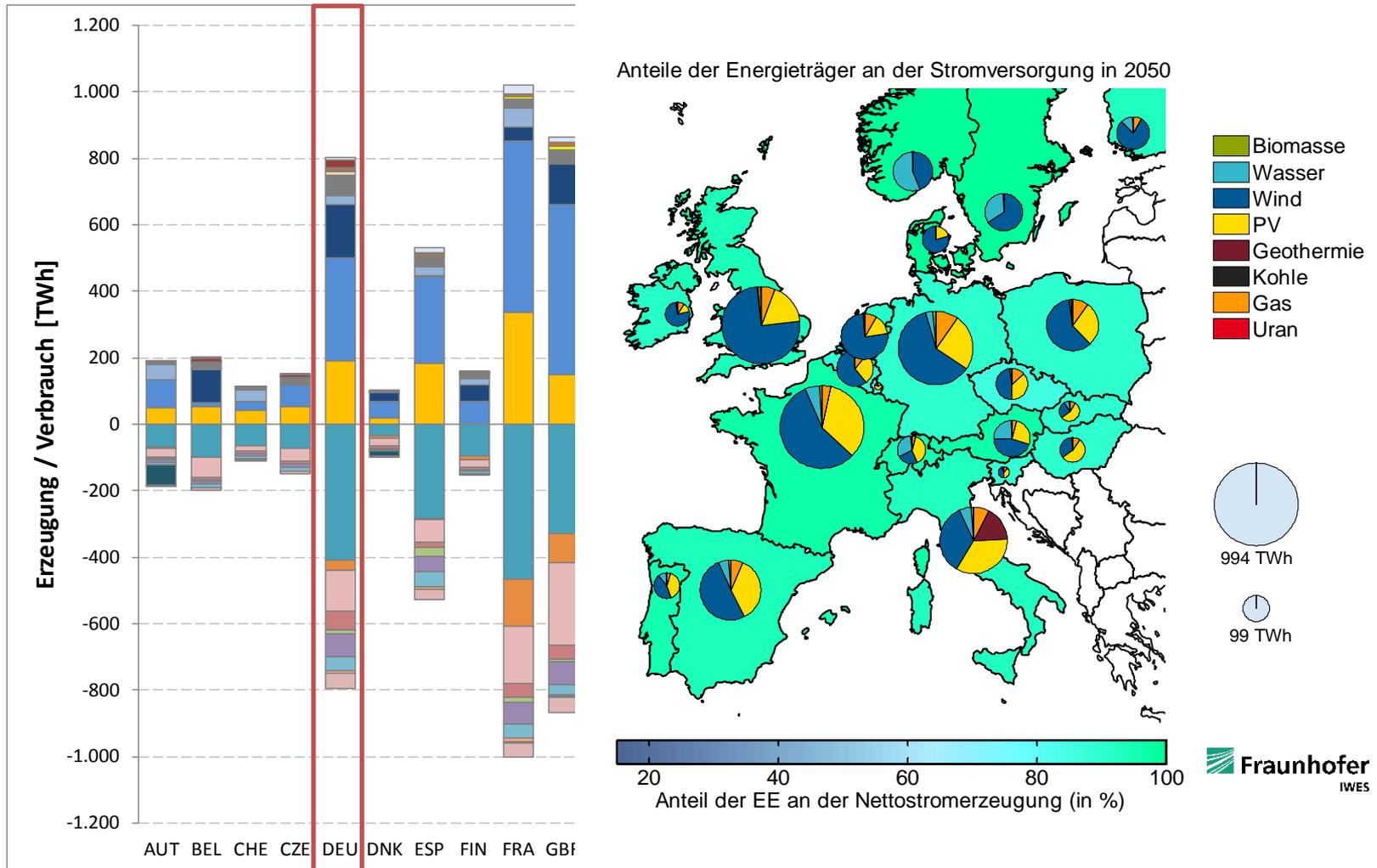
- Steigerung Stromverbrauch Straßenverkehr auf 111 TWh in 2050 (ohne PtG)
 - Sehr hoher Anteil E-Pkw
 - Kombination von Plug-In-Hybrid mit CNG
 - Oberleitungshybrid-Lkw
- Biomasse – Fokus Biokraftstoffe



Verkehrsleistung 2050

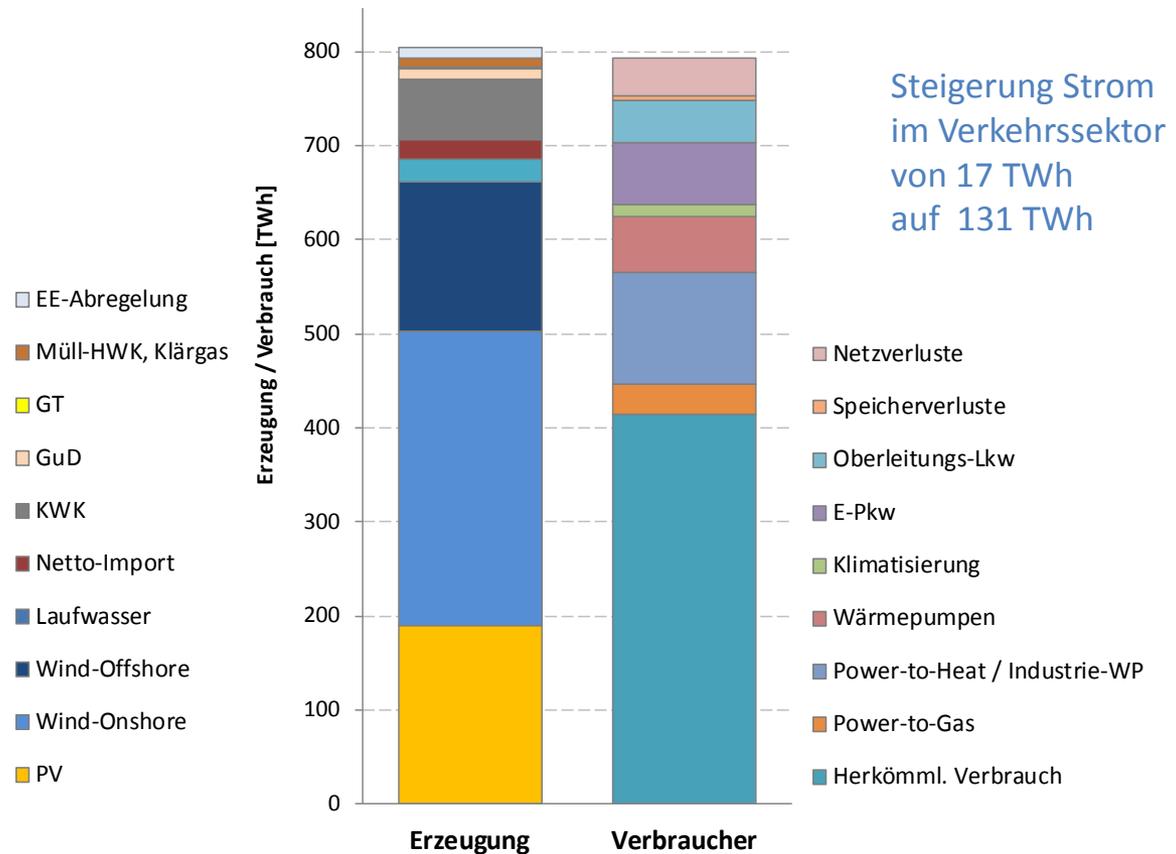


Das kostenoptimale Szenario 2050 im europäischen Kontext



Das Basisszenario für Deutschland – Strombilanz 2050

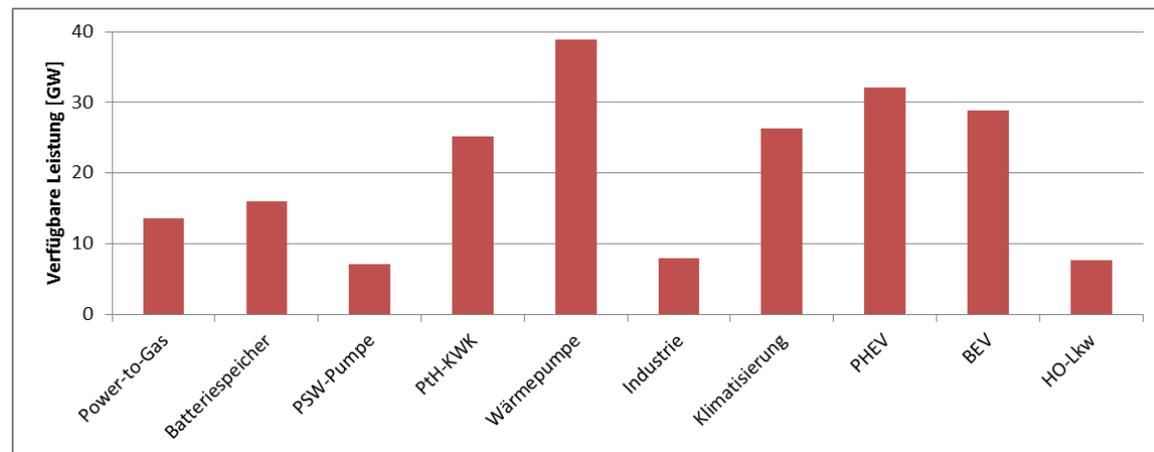
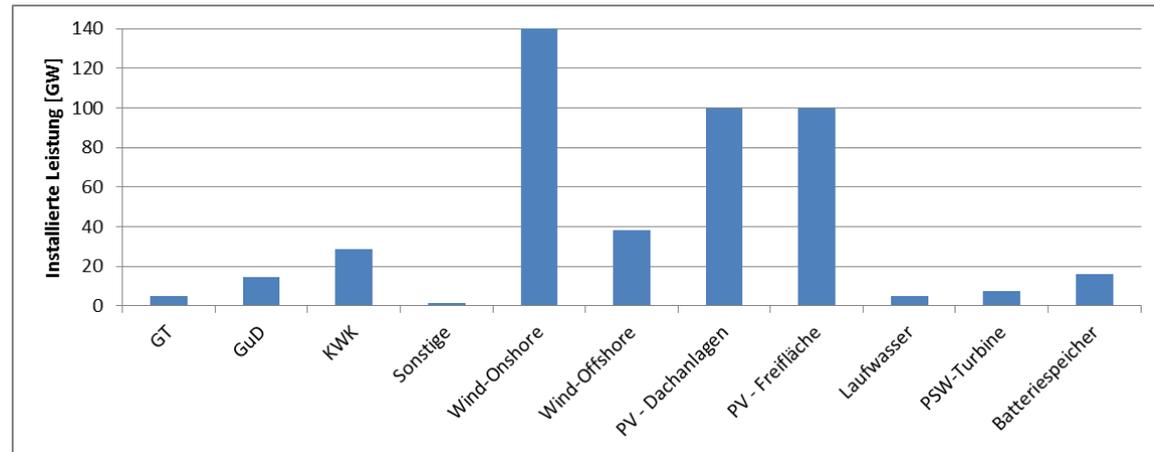
- Steigerung Nettostromverbrauch von
 - heute 557 TWh
 - auf 793 TWh in 2050
- 673 TWh Erzeugung aus Wind und PV



- Niedrigere Emissionen im Verkehrssektor durch Kombination mit Gas und hohen Anteilen E-Mobilität
- Abhängigkeit des zukünftigen Strombedarfs von der Verfügbarkeit von Biomasse-Anbauflächen (hier 2 Mio.ha) und Biokraftstoffimporten (hier Null)

Flexibilität von Angebot und Nachfrageleistung

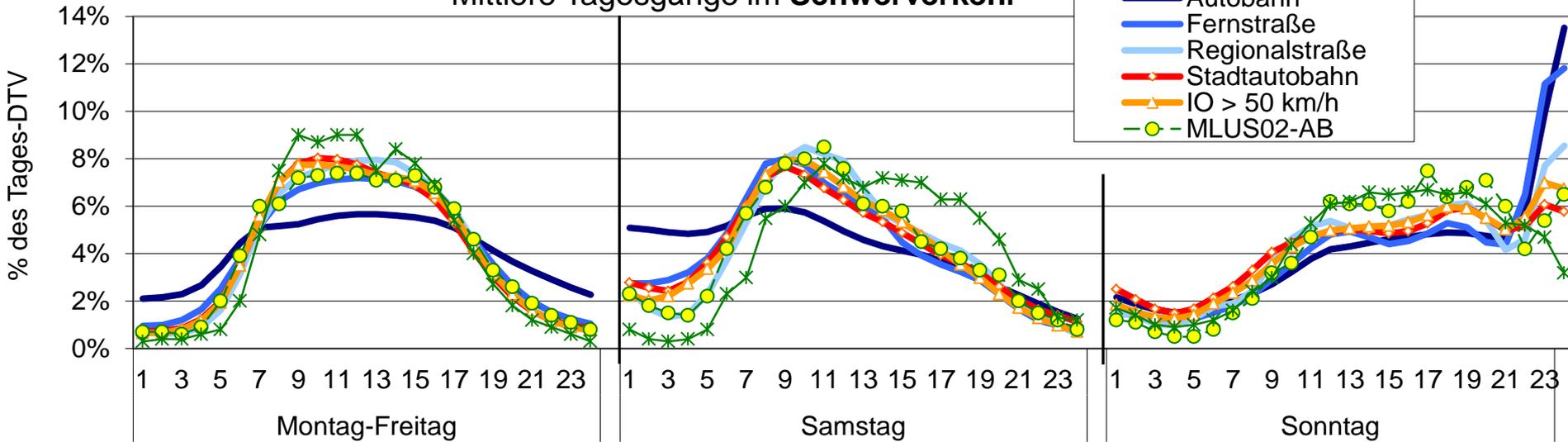
- einer hohen fluktuierenden **Erzeugungsleistung...**
- ... steht ein flexibler **Stromverbrauch** gegenüber



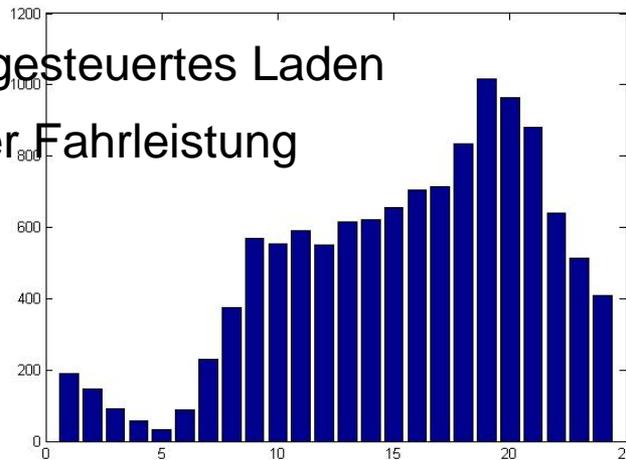
→ Wind und PV können effizient ins System integriert werden

Lastgänge Elektromobilität

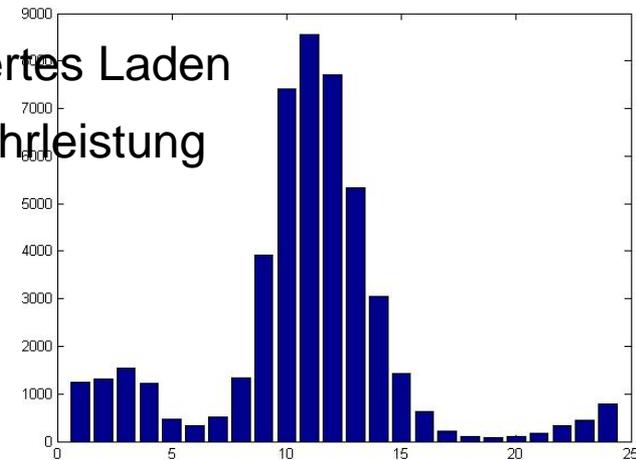
Mittlere Tagesgänge im **Schwerverkehr**



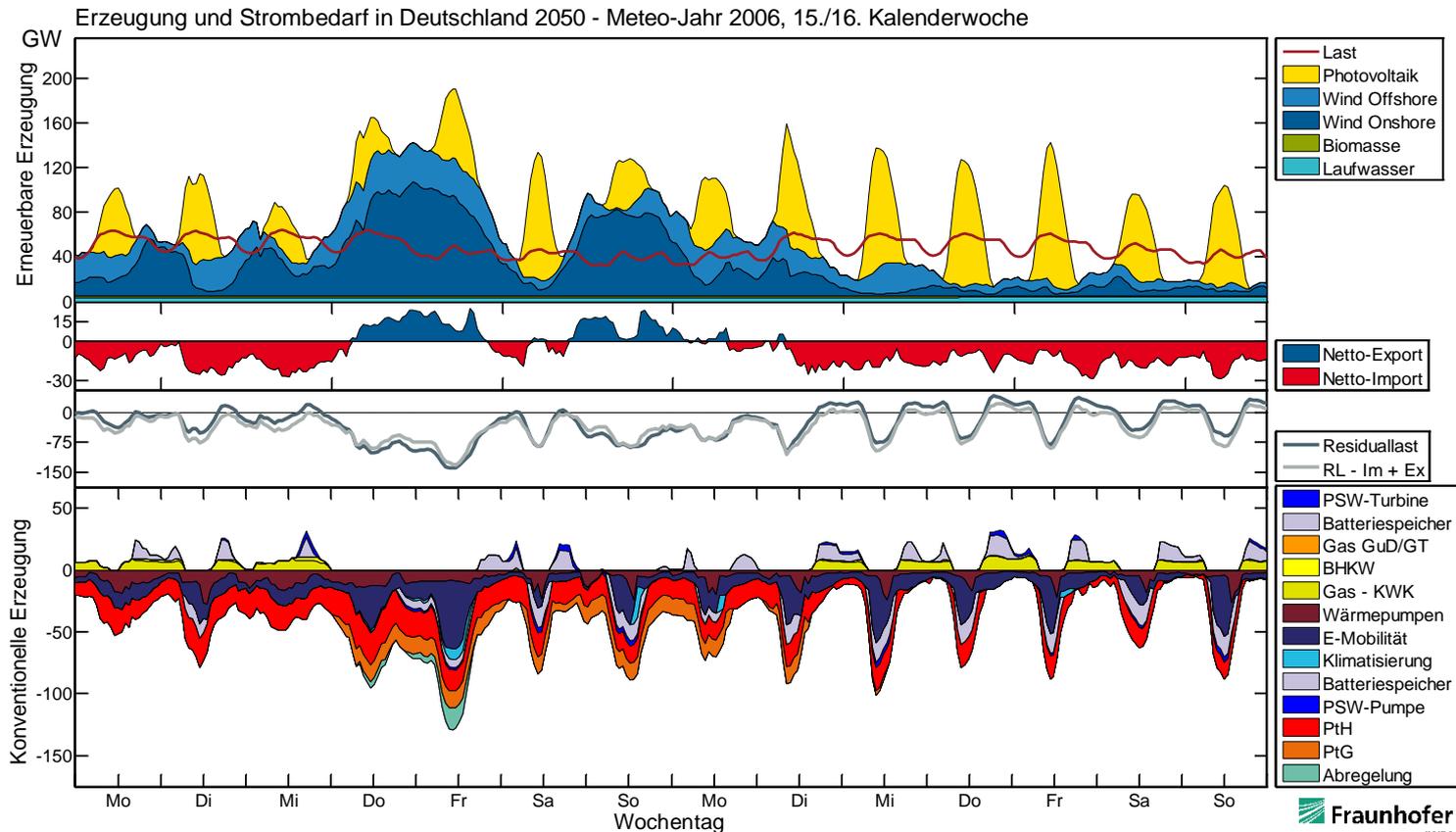
BEV ungesteuertes Laden
40% der Fahrleistung



BEV gesteuertes Laden
60% der Fahrleistung

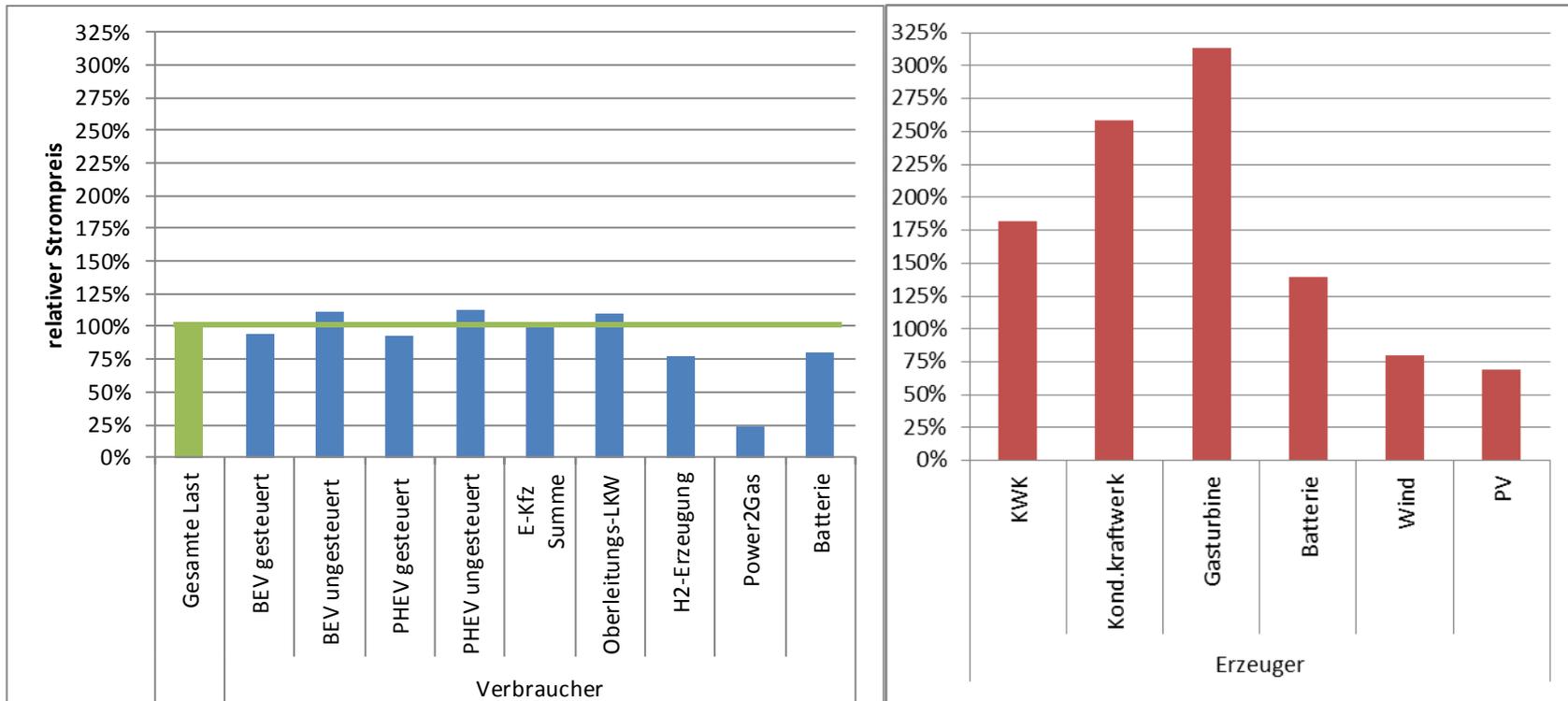


Beispielwochen 2050 - Angebots- und Nachfragecharakteristik



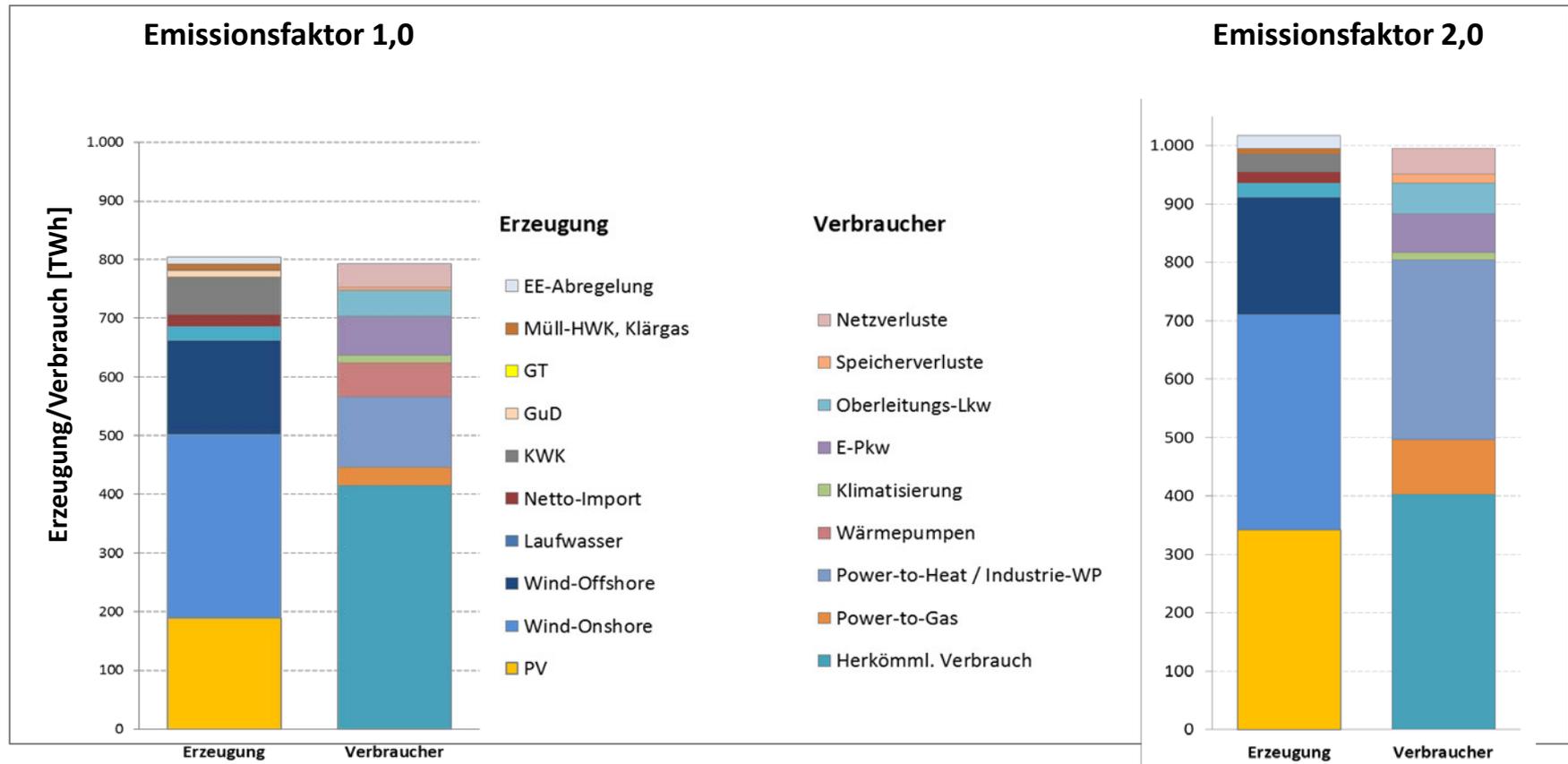
- Neue flexible Verbraucher tragen wesentlich dazu bei, die hohen auftretenden Leistungen durch Wind- und PV effizient zu verwerten → E-Mobilität - PV
- Rolle Import-Export
- Kostengünstige Energieversorgung bei wenig EE-Abregelung

Spez. Strombezugs – und Erzeugungskosten



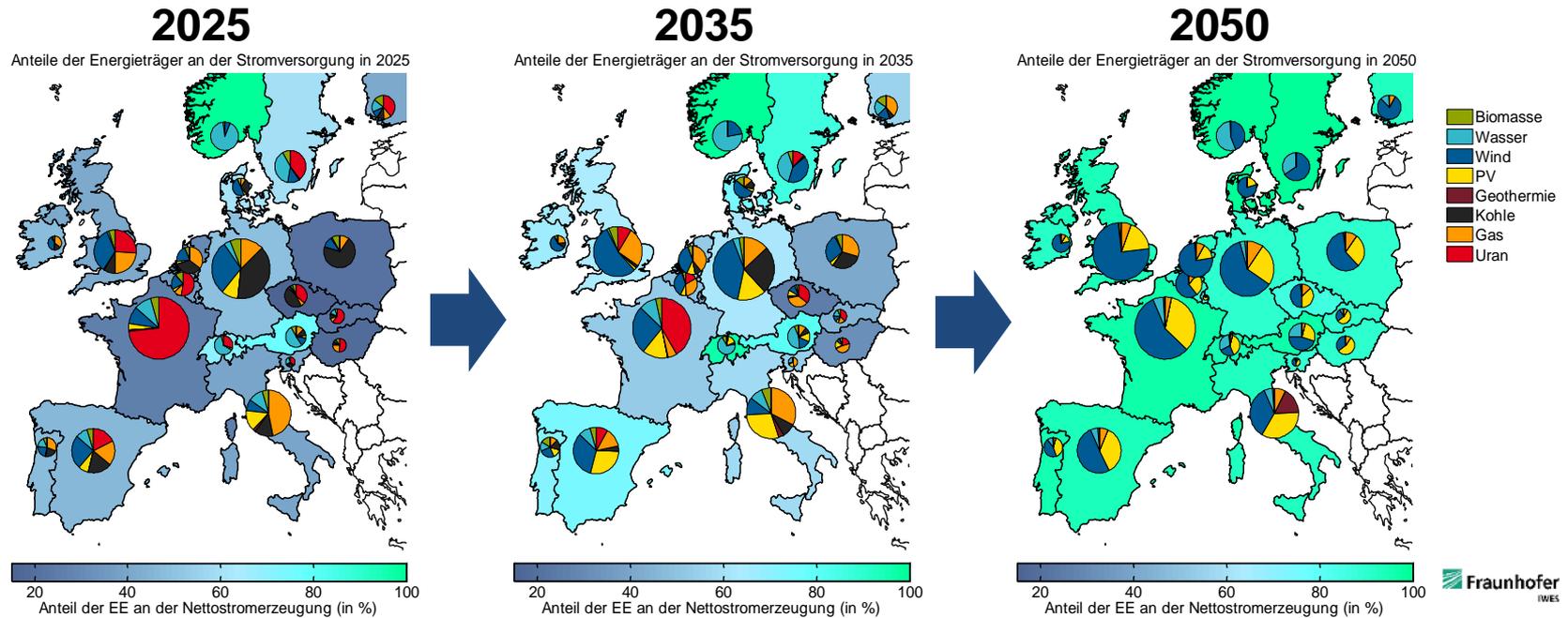
- Simulationsendogene Strombezugskosten/-erlöse
- Stromgestehungskosten im Mittel von 6,5 ct/kWh für PV und 7 ct/kWh für Onshore, für weiteren EE-Ausbau noch stärker Stromgestehungskostenvorteil PV
- ➔ flexible Verbraucher können zu günstigen Zeitpunkten Strom beziehen
- ➔ flexible Erzeuger können zu knappen Zeitpunkten Strom einspeisen

Vergleich Emissionsfaktor Flugverkehr



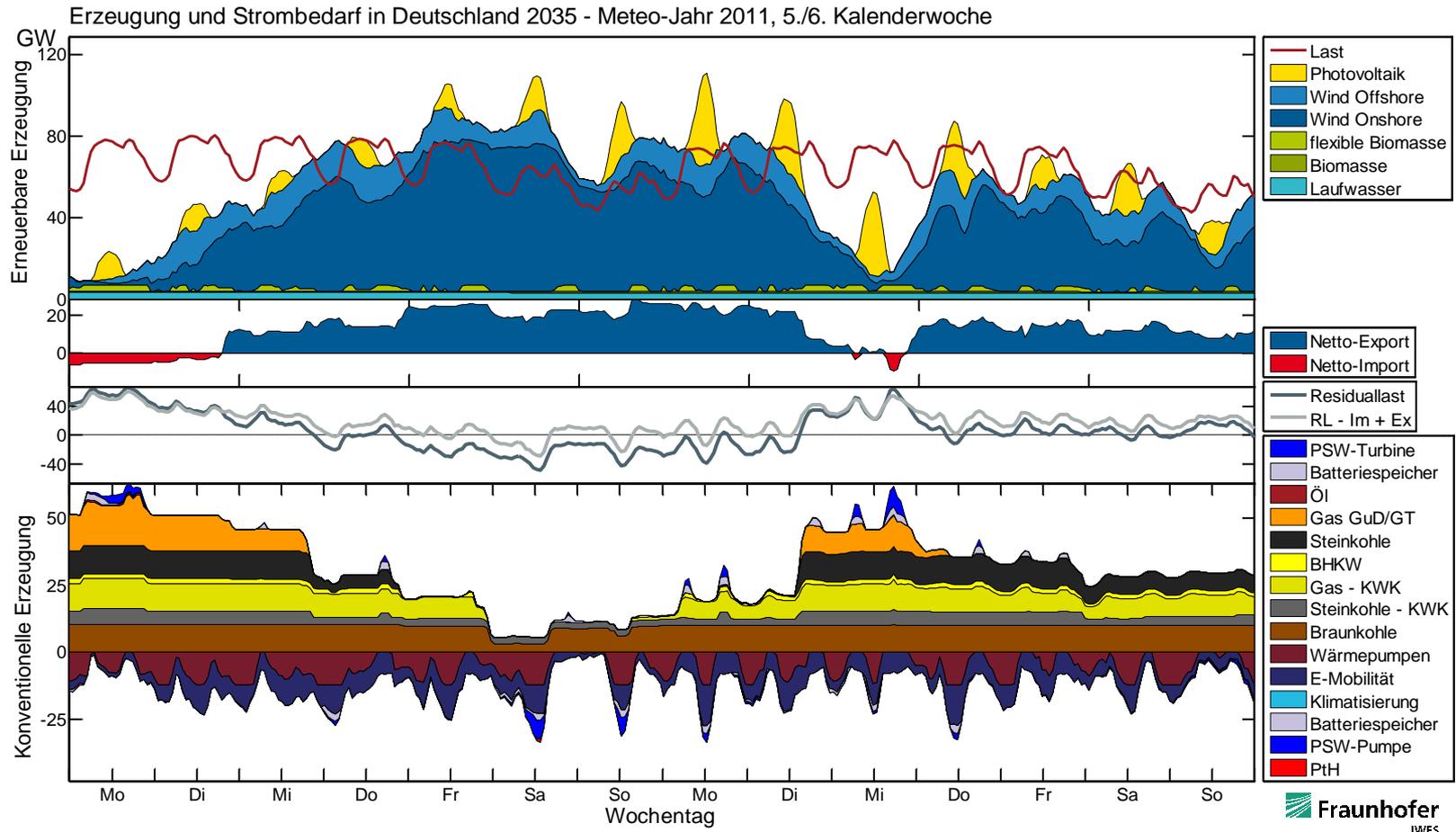
- Unklarheit über die Wirksamkeit von THG-Emissionen in höheren Luftschichten
- Das UBA weist ein Spektrum der Klimawirksamkeit von 1,2 bis 3,3 aus
- Die zusätzlichen Emissionen im Flugverkehr erzwingen deutlich höhere Anstrengungen in den anderen Bereichen

Entwicklung des Stromsektors: Heute → 2050



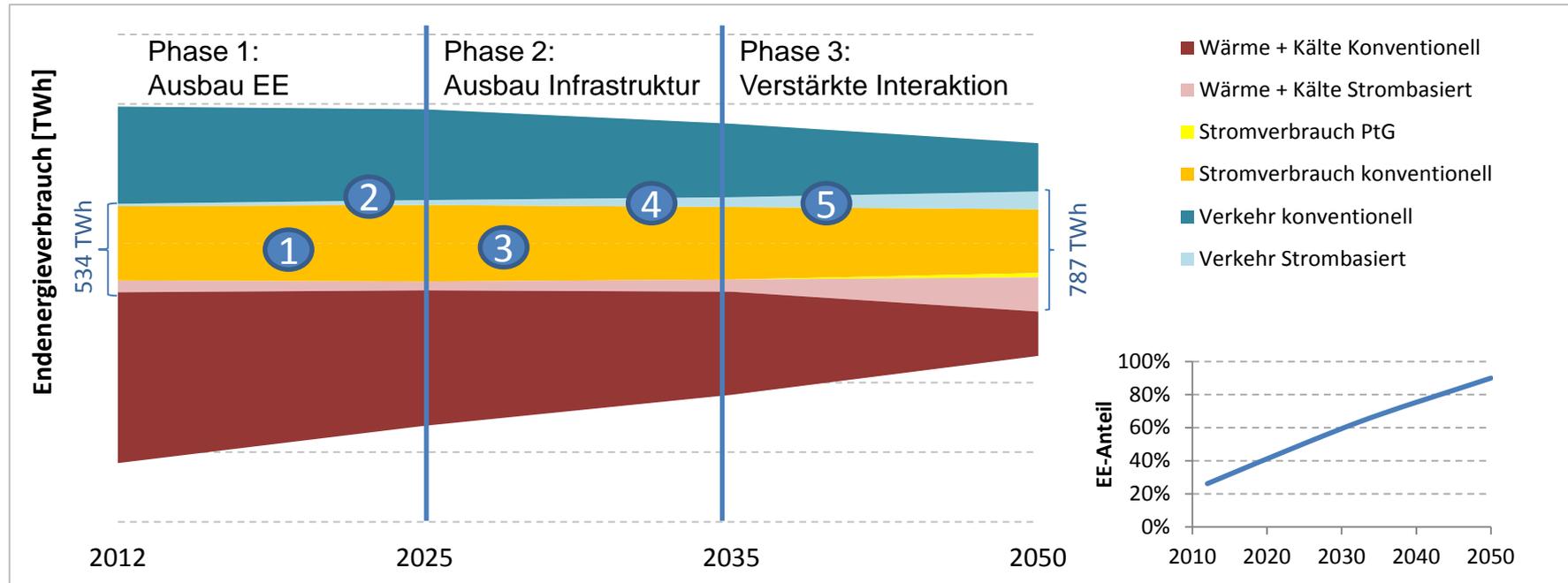
- Zusätzliche Simulation der Stützjahre 2025 und 2035
- Verfügbarkeit von EE-Überschussstrom?
- Flexibilitätsanforderungen?

Beispielwochen 2035: Angebots- und Nachfragecharakteristik



- Weitere Zunahme des Nettostromexports
- Bedeutung neuer Stromverbraucher - E-Mobilität / PV → öffentliche Ladeinfrastr.

Entwicklung Gesamtsystem



1. Verstärkter Ausbau der erneuerbaren Energien um hohen EE-Anteil im Stromsektor zu erreichen
2. Kontinuierlicher Ausbau von Elektromobilität
3. Neue Kraftwerke zur Gewährleistung Versorgungssicherheit mit Fokus auf KWK
4. Weiterer Ausbau öffentliche Ladeinfrastruktur → Flexibilität – tagsüber laden
5. Zusätzliche EE-Stromerzeugung für Verkehrssektor und zur Überschussverwertung durch PtG