



Mobilität im Kontext der Energiewende: Was kommt auf uns zu?

Vortrag im Rahmen der Ringvorlesung „Mobilität“ am 16. August 2021

Prof. Dr.-Ing. Hans Schäfers, HAW Hamburg
Competence Center für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz an der HAW Hamburg

Inhalt

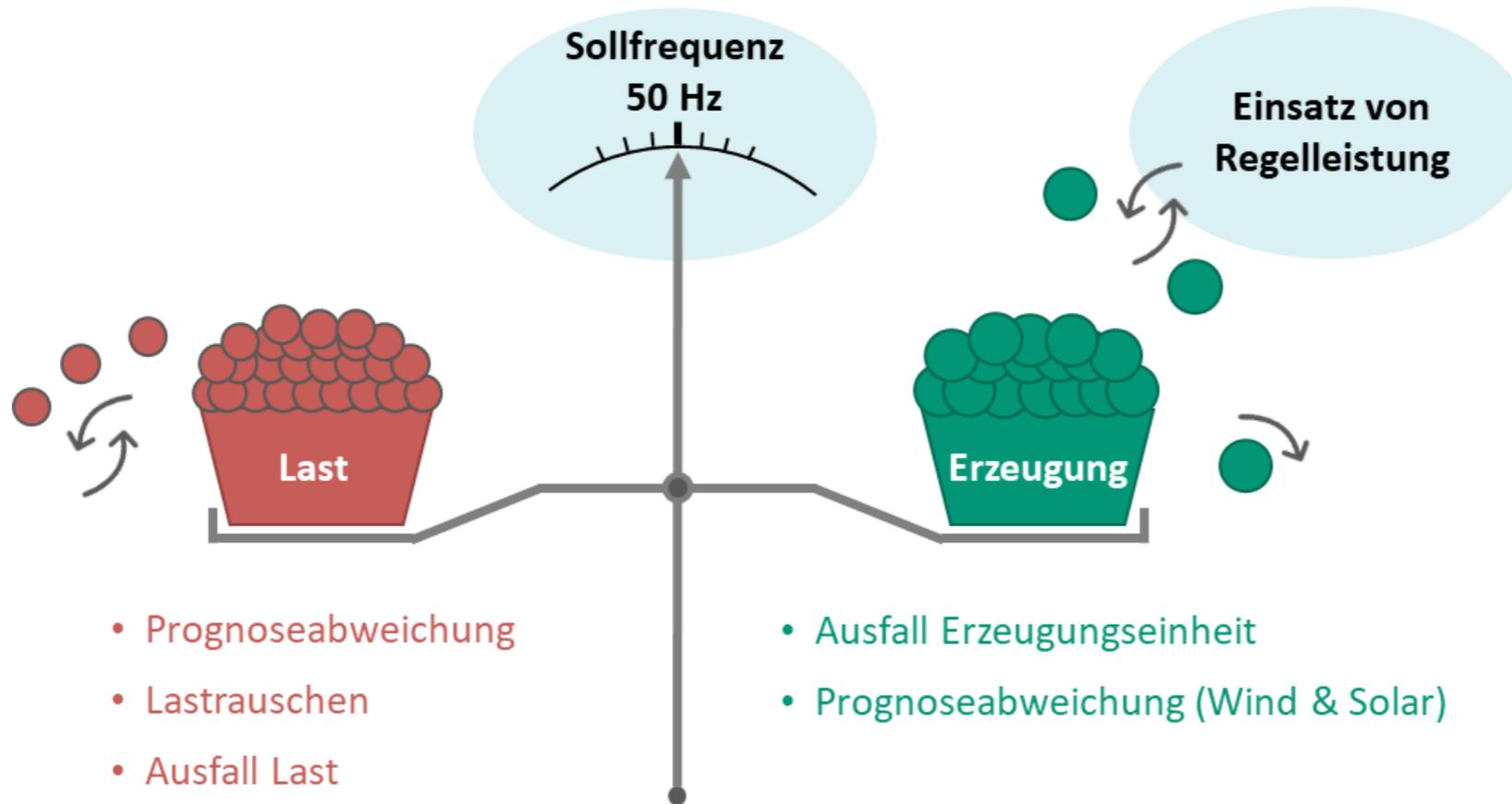
- 1) Das Problem
- 2) Die (bisher einzige) Lösung
- 3) Ein (sehr ambitionierter, aber möglicher) Masterplan für Klimaneutralität bis 2045
- 4) Konsequenzen für den Sektor Verkehr (Mobilität und Transport/Logistik)

Inhalt

- 1) Das Problem
- 2) Die (bisher einzige) Lösung
- 3) Ein (sehr ambitionierter, aber möglicher) Masterplan für Klimaneutralität bis 2045
- 4) Konsequenzen für den Sektor Verkehr (Mobilität und Transport/Logistik)

1 Das Problem

Strom ist keine speicherbare Energieform, sondern „Energie auf der Durchreise“

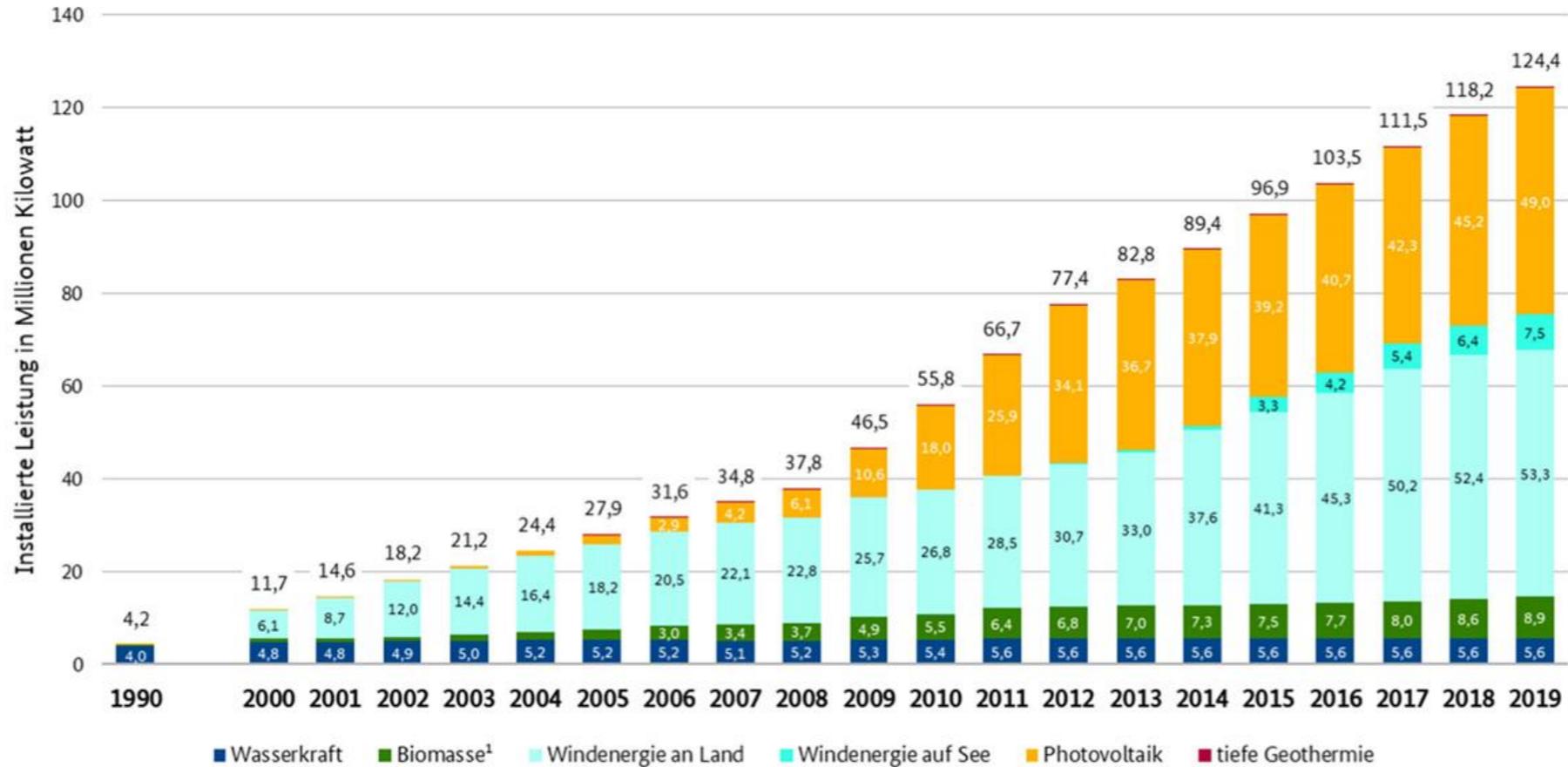


Quelle: Verstege, J. F. (n.a.)

1 Das Problem

Lösung des Klimawandels nur möglich durch Umbau des Energiesystems auf EE Stromerzeugung

Entwicklung der installierten Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland



2020

- Solar : 54.07 GW
- Wind offshore : 7.74 GW
- Wind onshore : 54.84 GW
- Biomasse : 8.25 GW
- Speicherwasser : 0.98 GW
- Laufwasser : 3.87 GW

Summe: 129.76 GW

FHG ISE (2021)

BMWi (2020)

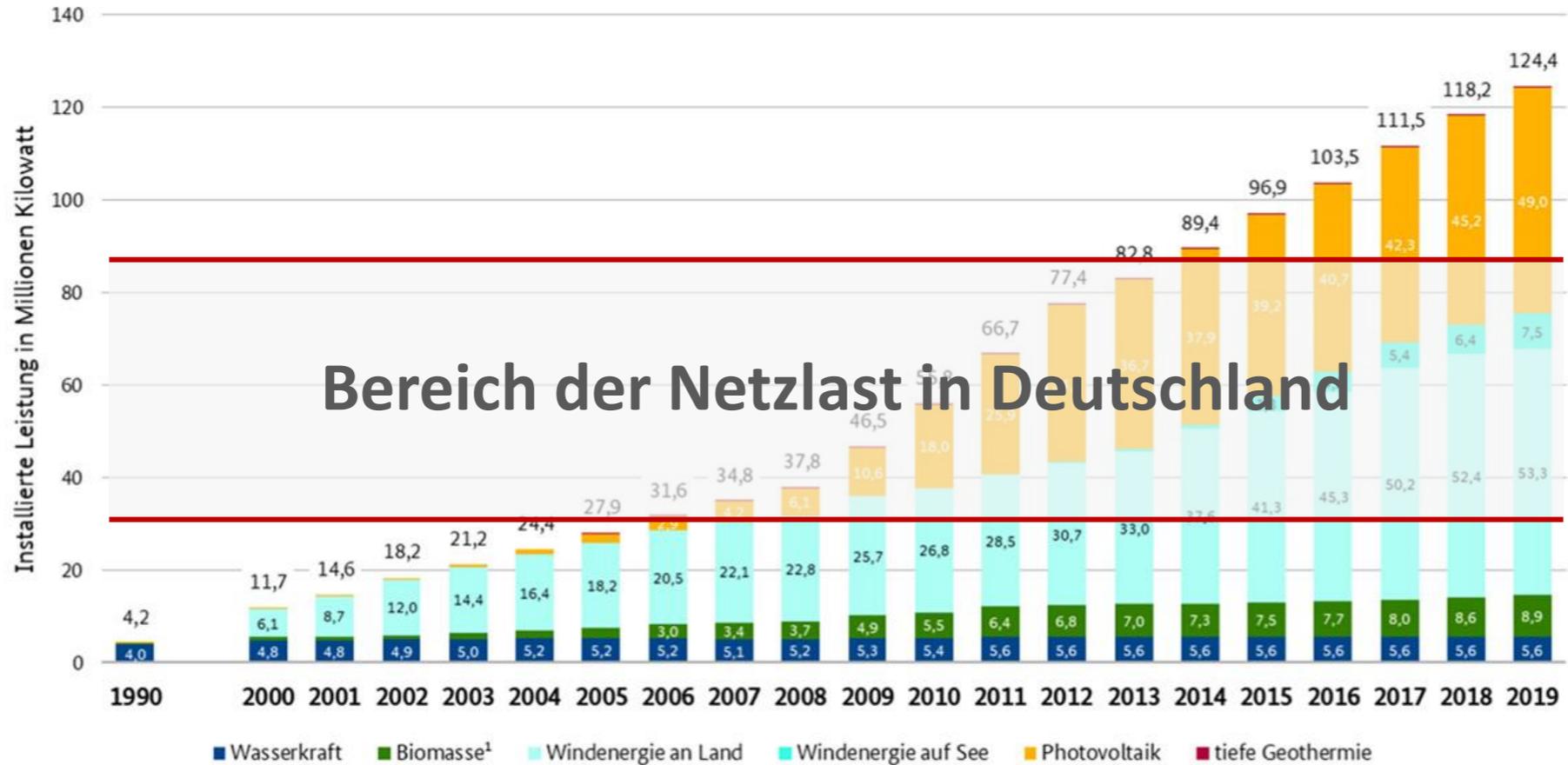
¹ inkl. feste und flüssige Biomasse, Biogas, Biomethan, Klär- und Deponiegas, ohne biogenen Anteil des Abfalls

BMWi auf Basis Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Februar 2020

1 Das Problem

Paradigmenwechsel vom Lastfolge- zum Erzeugungsfolgebetrieb im Stromsystem

Entwicklung der installierten Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland



2020

- Solar : 54.07 GW
- Wind offshore : 7.74 GW
- Wind onshore : 54.84 GW
- Biomasse : 8.25 GW
- Speicherwasser : 0.98 GW
- Laufwasser : 3.87 GW

Summe: 129.76 GW

FHG ISE (2021a)

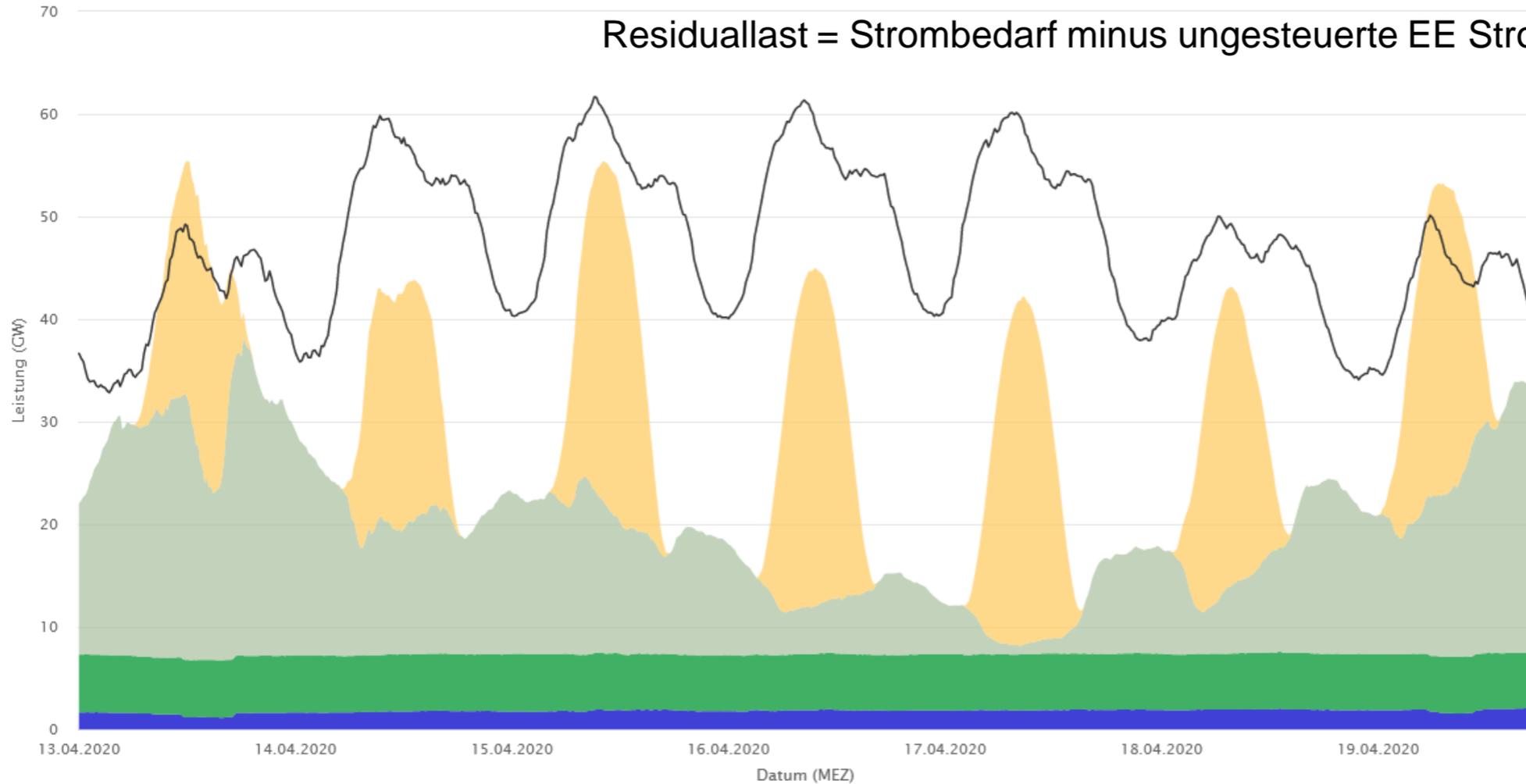
BMWi (2020)

¹ inkl. feste und flüssige Biomasse, Biogas, Biomethan, Klär- und Deponiegas, ohne biogenen Anteil des Abfalls

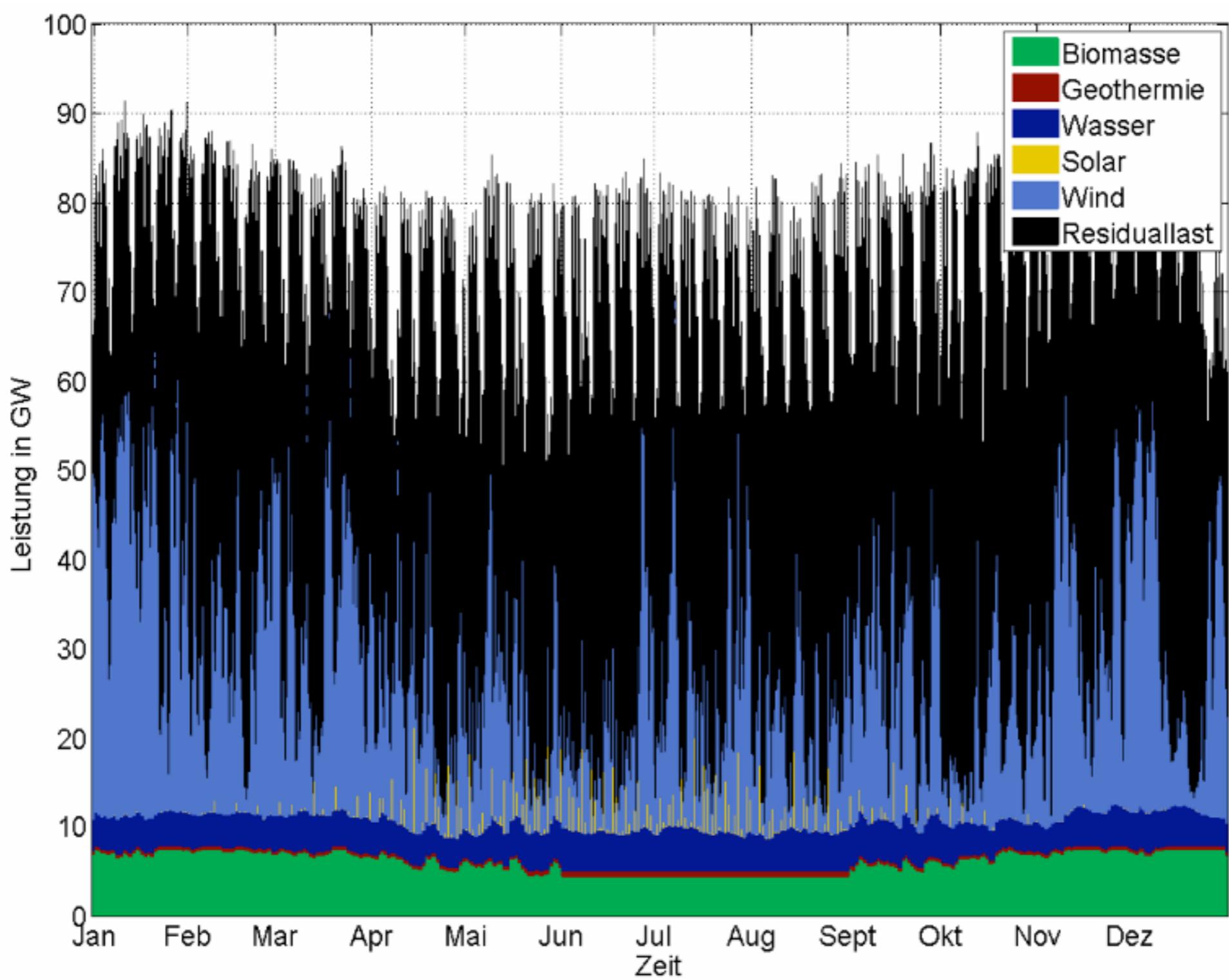
BMWi auf Basis Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Februar 2020

1 Das Problem

Stromerzeugung aus EE in D in der Woche 16 2020: Zum ersten Mal negative Residuallast

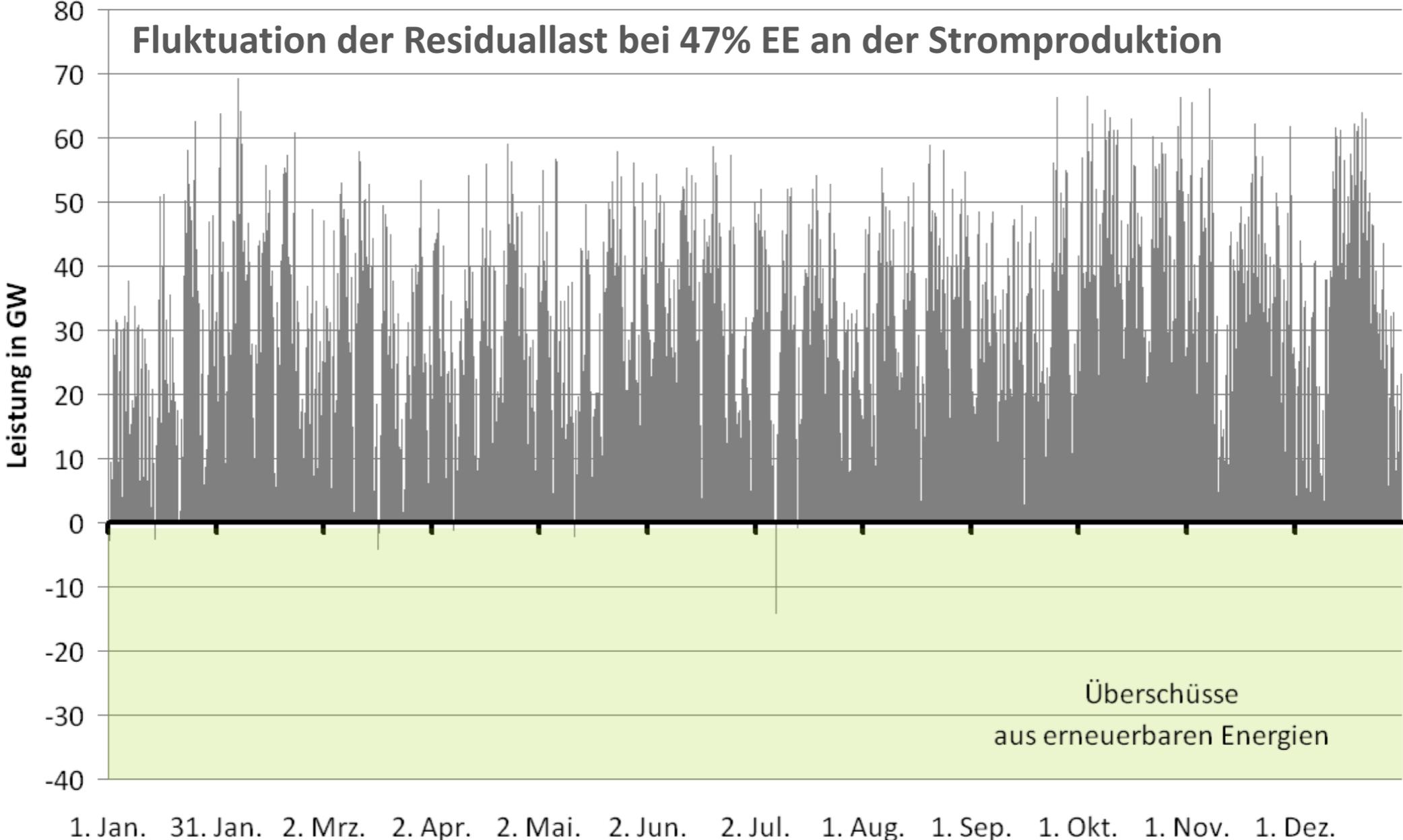


FHG ISE (2021b)



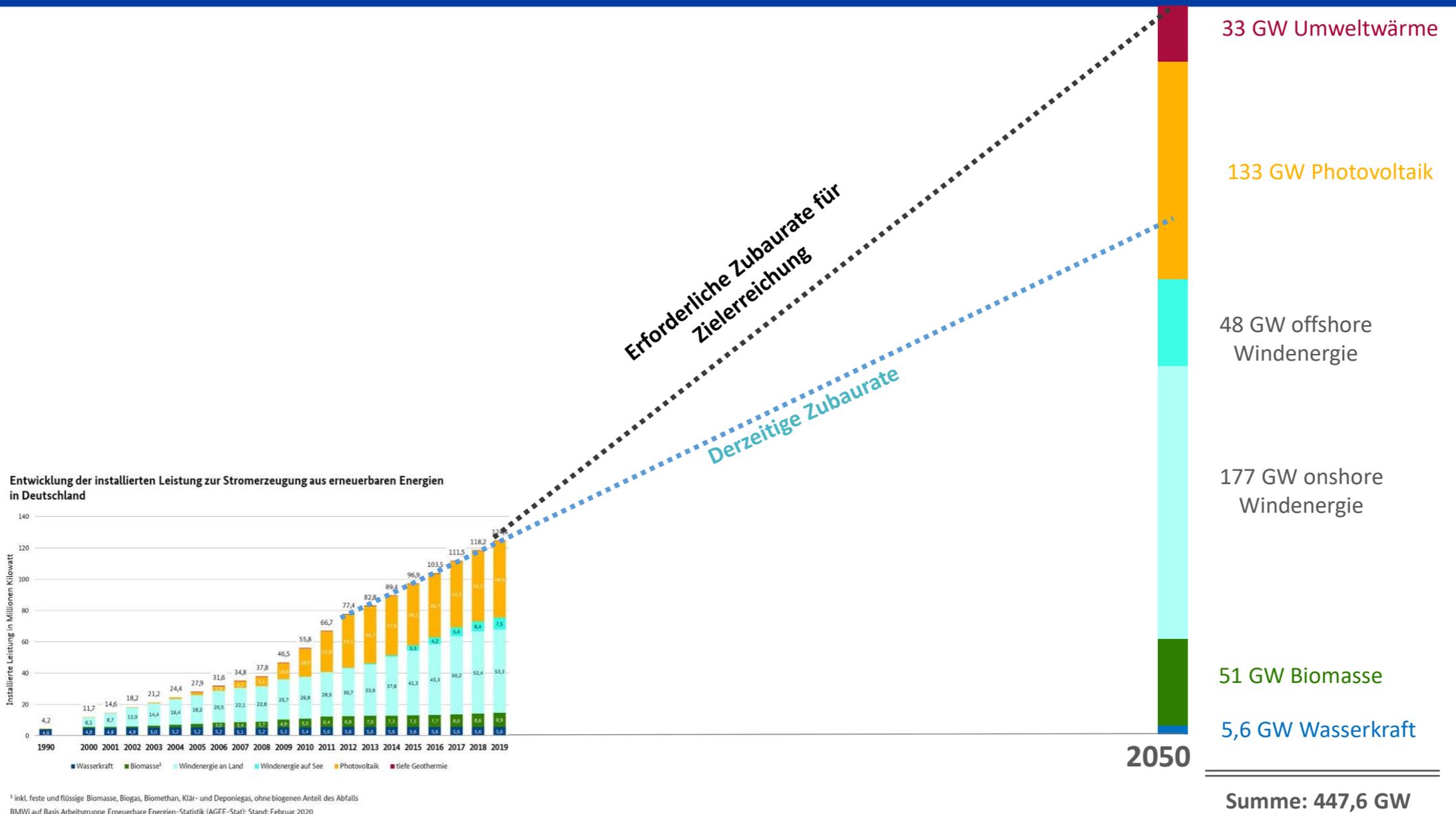
Residuale Last (Last minus ungesteuerte EE-Einspeigung)

BEE-Szenario 2020 - Basis Wetterjahr 2007



1 Das Problem

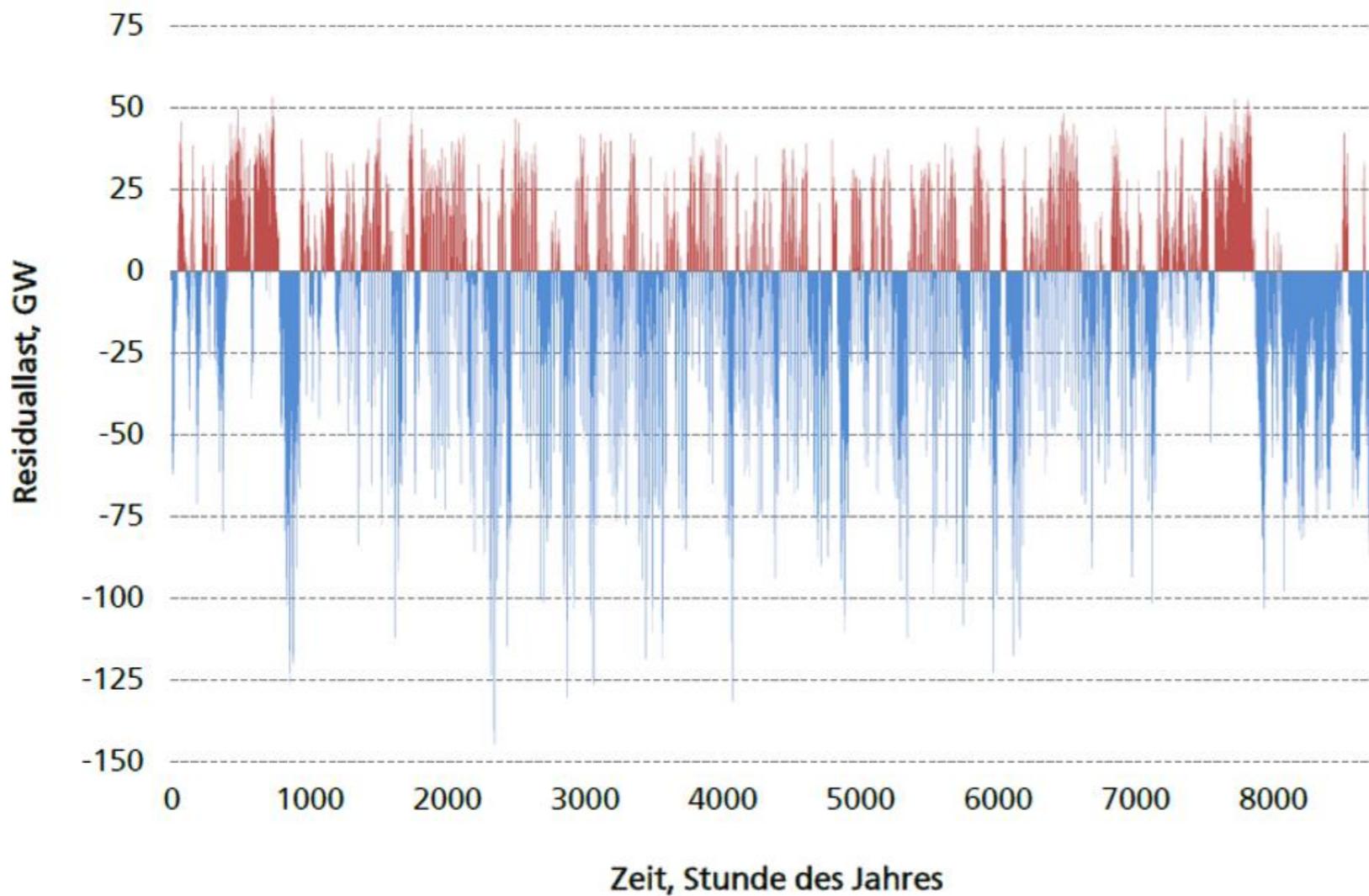
Für 95% CO₂-Reduktion benötigte Anschlussleistung bis 2050 (ACATECH 2017)



1 Das Problem

Residuale Last bei 85% CO2 Reduktion

Residuallast = Strombedarf minus ungesteuerte EE Stromproduktion



	Min.	Max.
	GW	GW
Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien	2,7	201,5
Last	22,6	60,8
Residuallast	-144,8	52,9

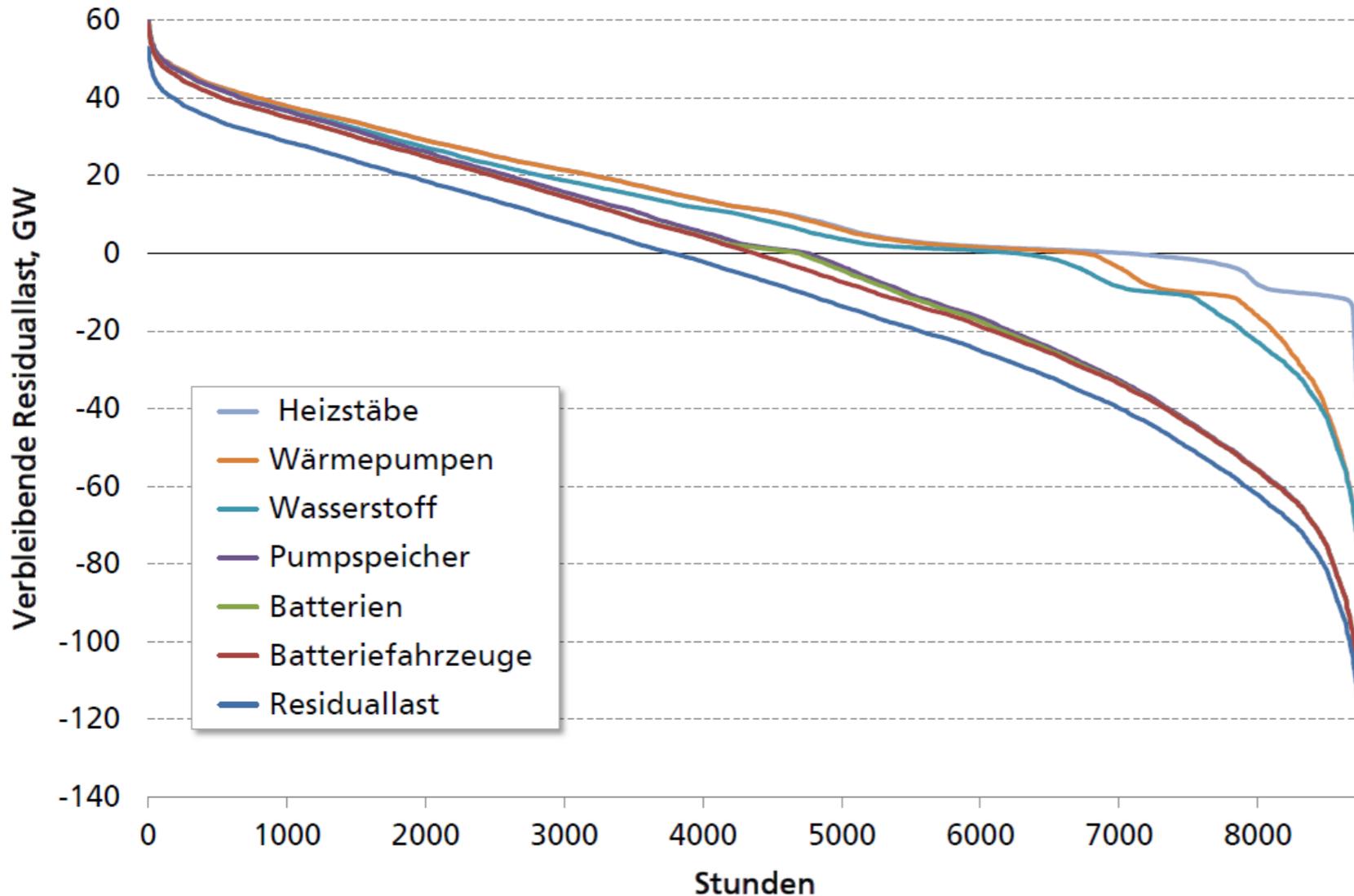
Fraunhofer ISE (2013, S.28)

Inhalt

- 1) Das Problem
- 2) **Die (bisher einzige) Lösung**
- 3) Ein (sehr ambitionierter, aber möglicher) Masterplan für Klimaneutralität bis 2045
- 4) Konsequenzen für den Sektor Verkehr (Mobilität und Transport/Logisitk)

½ Das Problem ist auch die Lösung ...

Nutzung der negativen Residuallast in den Sektoren Verkehr, Industrie und Wärme



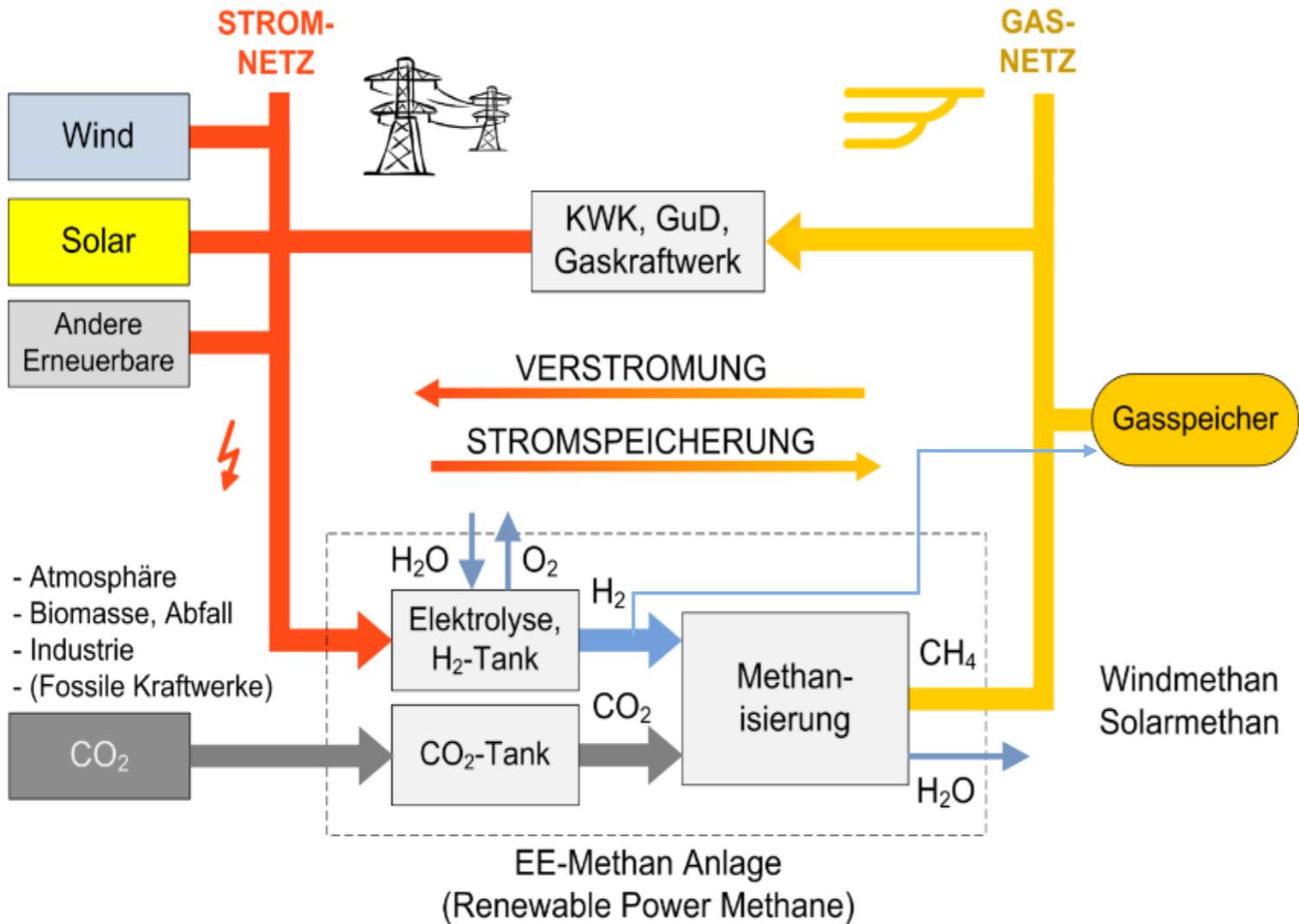
Fraunhofer ISE (2013, S.29)

Ausgleich der residualen Lasten ist NUR möglich durch stärkere Kopplung des Stromsektors an die anderen Energiesektoren.

Wichtiges Bindeglied dabei ist der GASSEKTOR in dem der aus Elektrolyse (Basis EE Strom) gewonnene Wasserstoff aufgenommen und zwischengespeichert werden kann.

Die Lösung

Power to Gas als Langzeitspeicher für 100% EE

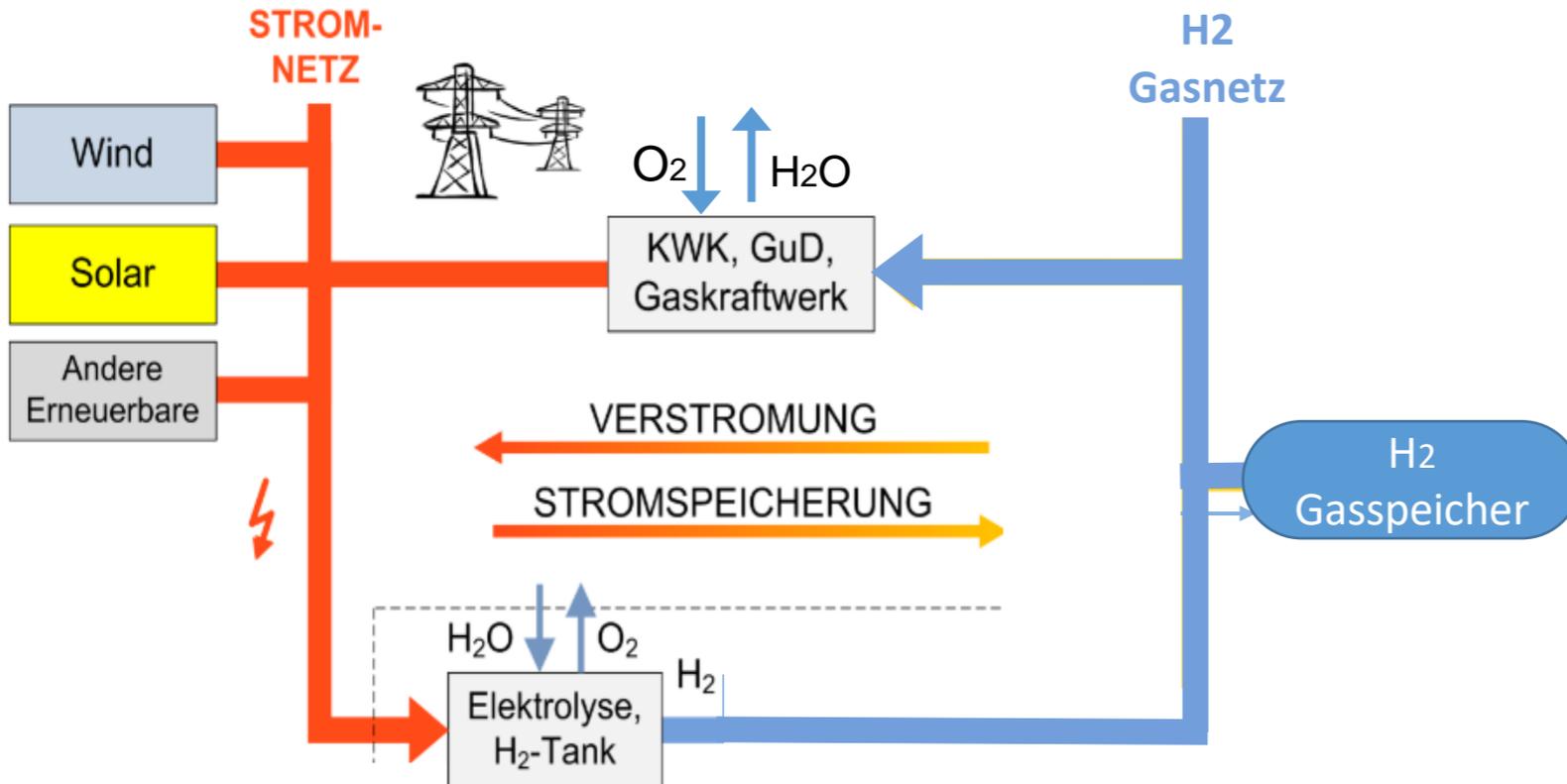


Power to Gas ist im Kern eine Notwendigkeit für ein mit fluktuierendem EE Angebot funktionierendes Stromsystem.

Sternier et al. (2009, S.54) - bearbeitet

Die Lösung

Power to Gas als Langzeitspeicher für 100% EE

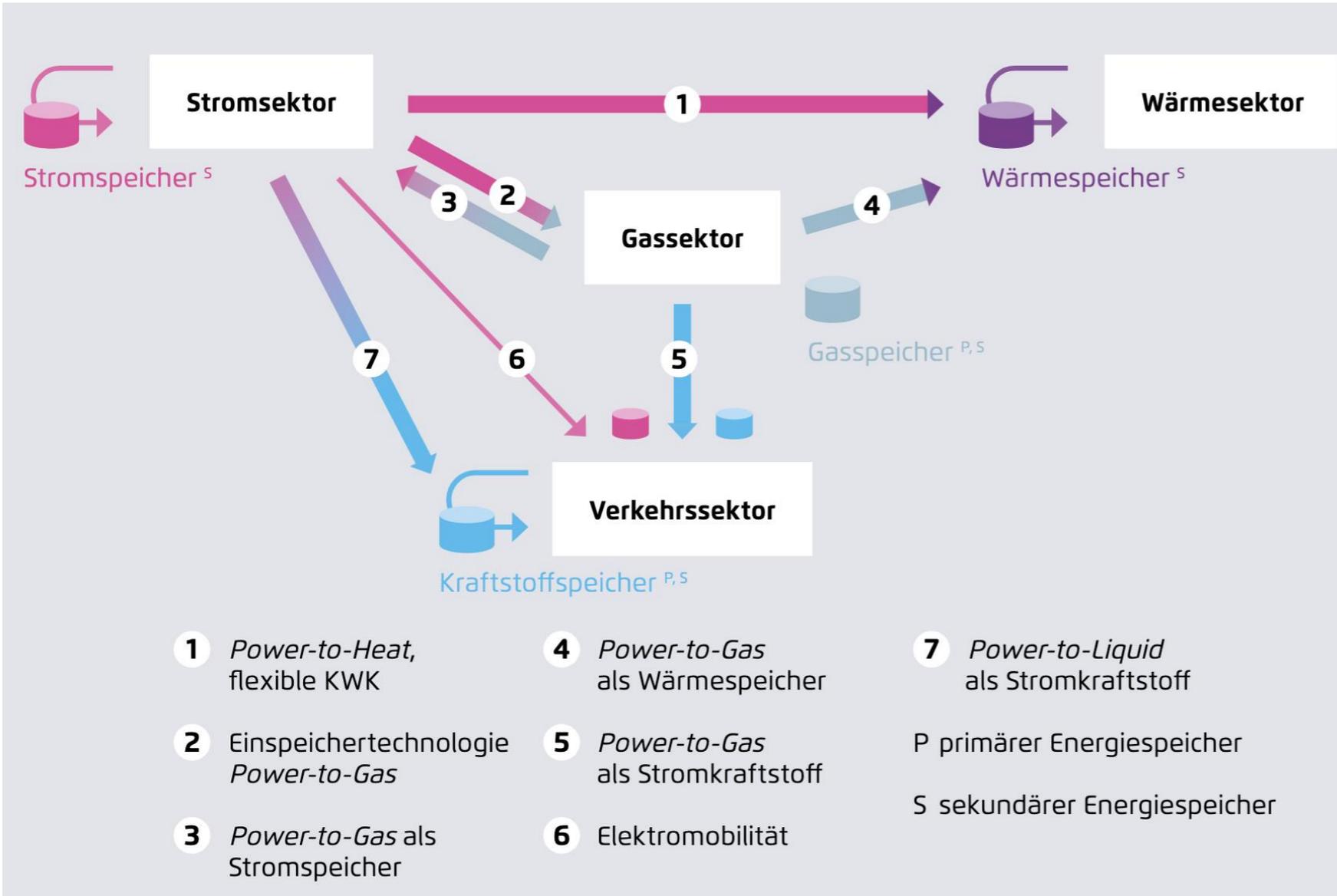


Erkenntnis der letzten Jahre/Studien:

- Ein klimaneutrales Energiesystem ist auch bei Verzicht auf Methanisierung möglich.
- Verzicht auf Methanisierung birgt erheblichen Effizienzvorteil und Risikoreduktion (Methanschlupf)
- Dafür ist dann aber ein (neues) separates Wasserstoffgasnetz notwendig.

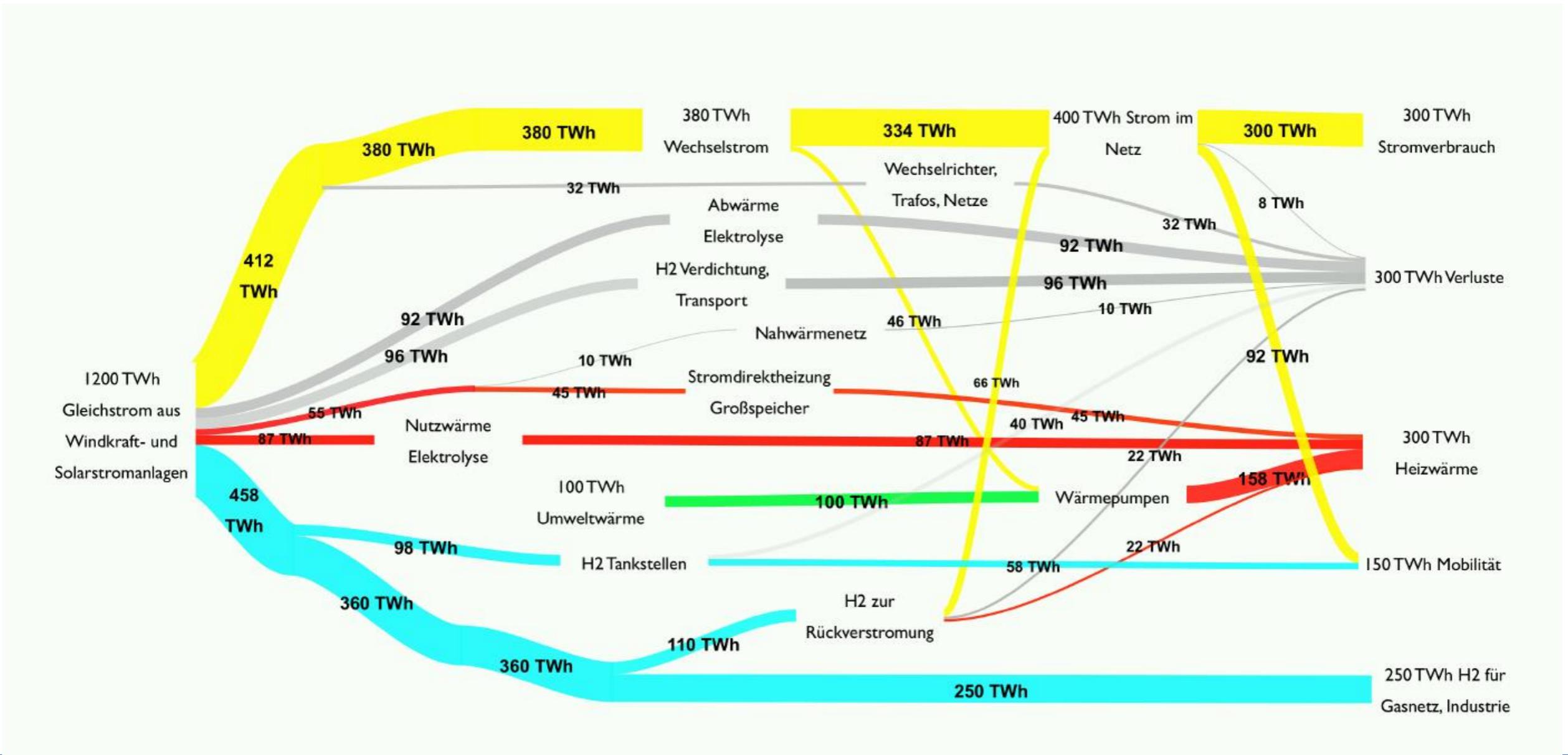
Sterner et al. (2009, S.54) - bearbeitet

2 Die Lösung

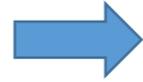
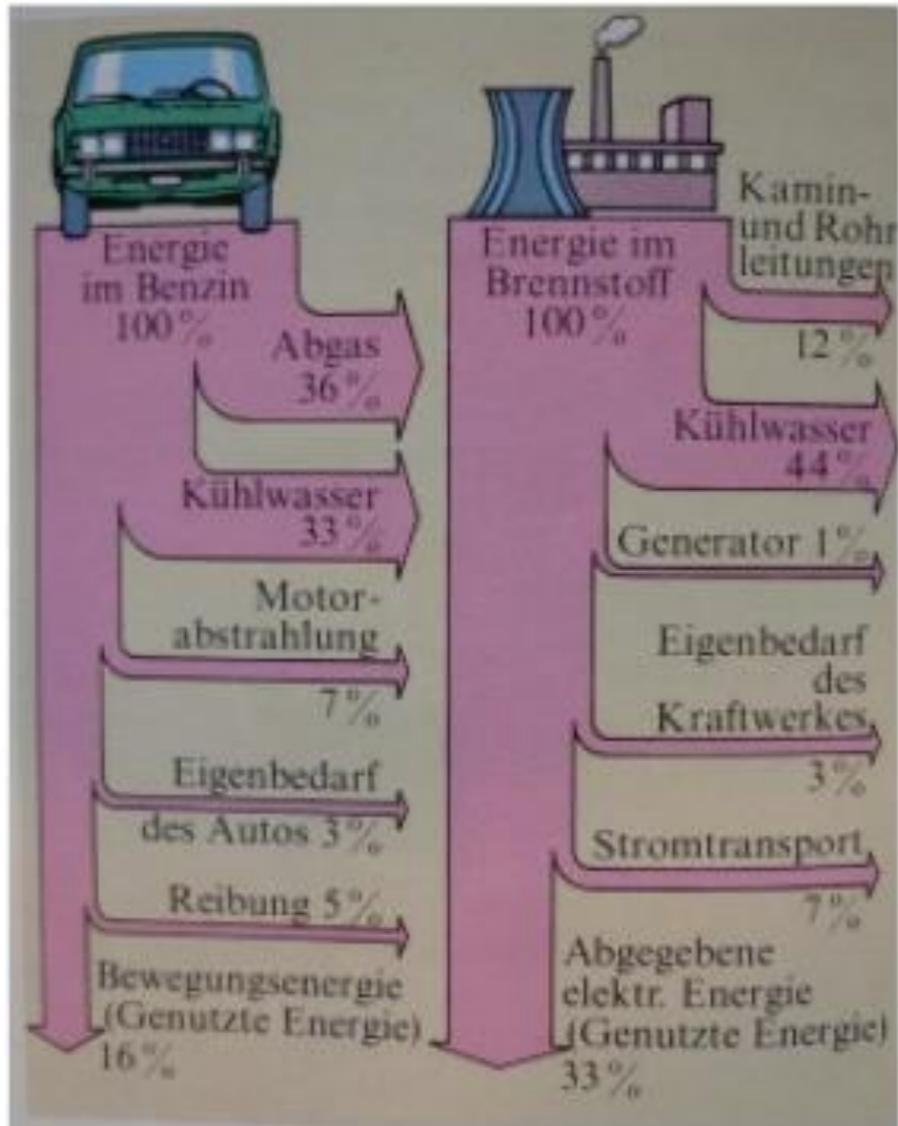


Agora Energiewende (2014, S.13)

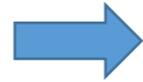
2 Die Lösung



2 Die Lösung: Abwendung von Verbrennungsprozessen



Für ein Gelingen der Energiewende ist aus Effizienzgründen ein möglichst weitgehender Verzicht auf Verbrennungsprozesse notwendig. Dies insbesondere in Prozessen deren Ziel nicht die Bereitstellung von (Hochtemperatur-) Wärme ist.



Je weniger diese Umstellung gelingt, desto aufwändiger und teurer wird die Energiewende.

Inhalt

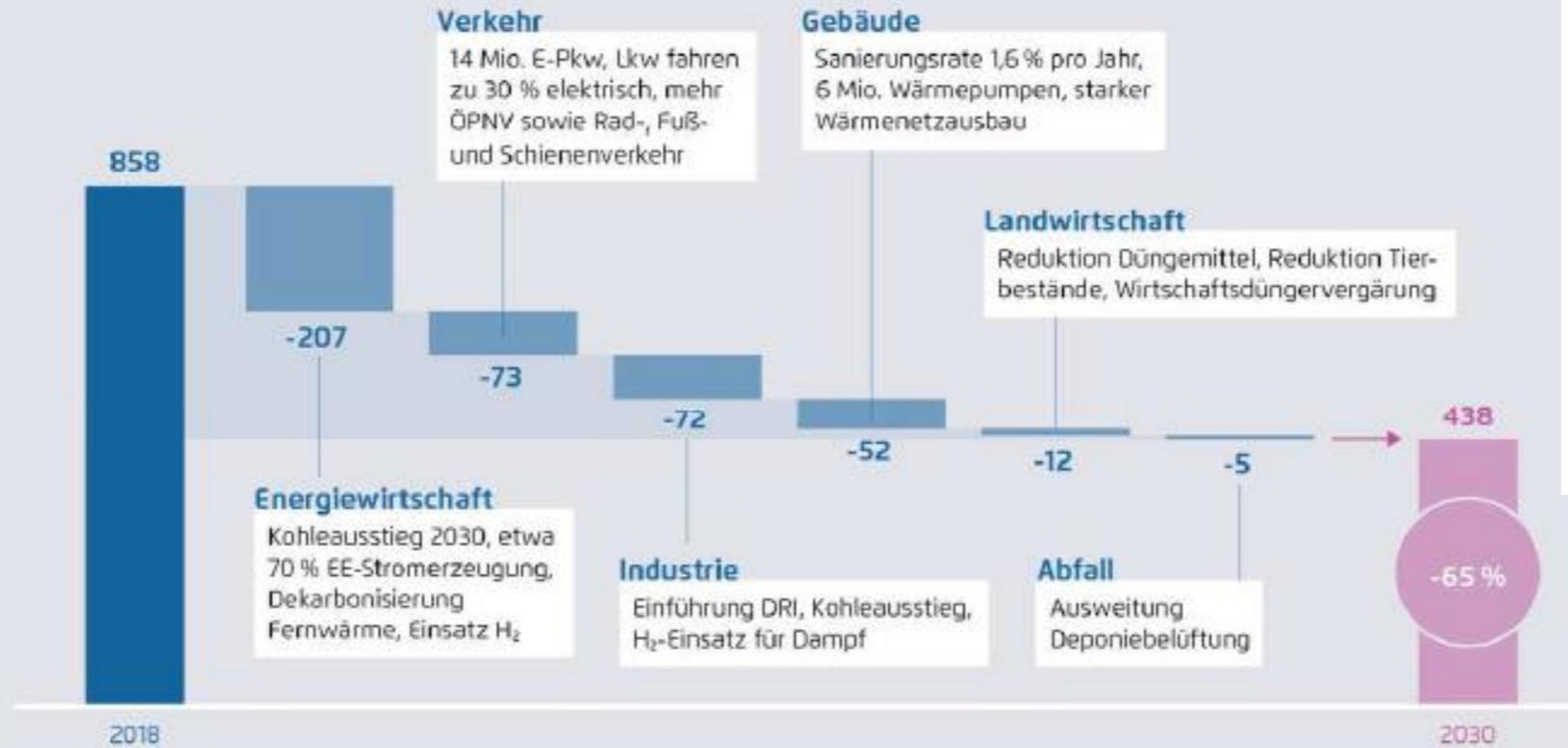
- 1) Das Problem
- 2) Die (bisher einzige) Lösung
- 3) Ein (sehr ambitionierter, aber möglicher) Masterplan für Klimaneutralität bis 2045**
- 4) Konsequenzen für den Sektor Verkehr (Mobilität und Transport/Logistik)

2 Die Lösung

Ein aktuelles Szenario: KN45 – Studie im Auftrag der Agora Energiewende von 2021

In drei Schritten zur Klimaneutralität: Schritt 1: -65% THG bis 2030

65 Prozent Minderung bis 2030 (Treibhausgas-Emissionen in Mio. t CO₂-Äq.)



Hinweis: H₂ = Wasserstoff

Quelle: Prognos 2021

Klimaneutrales Deutschland 2045

Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann
ZUSAMMENFASSUNG

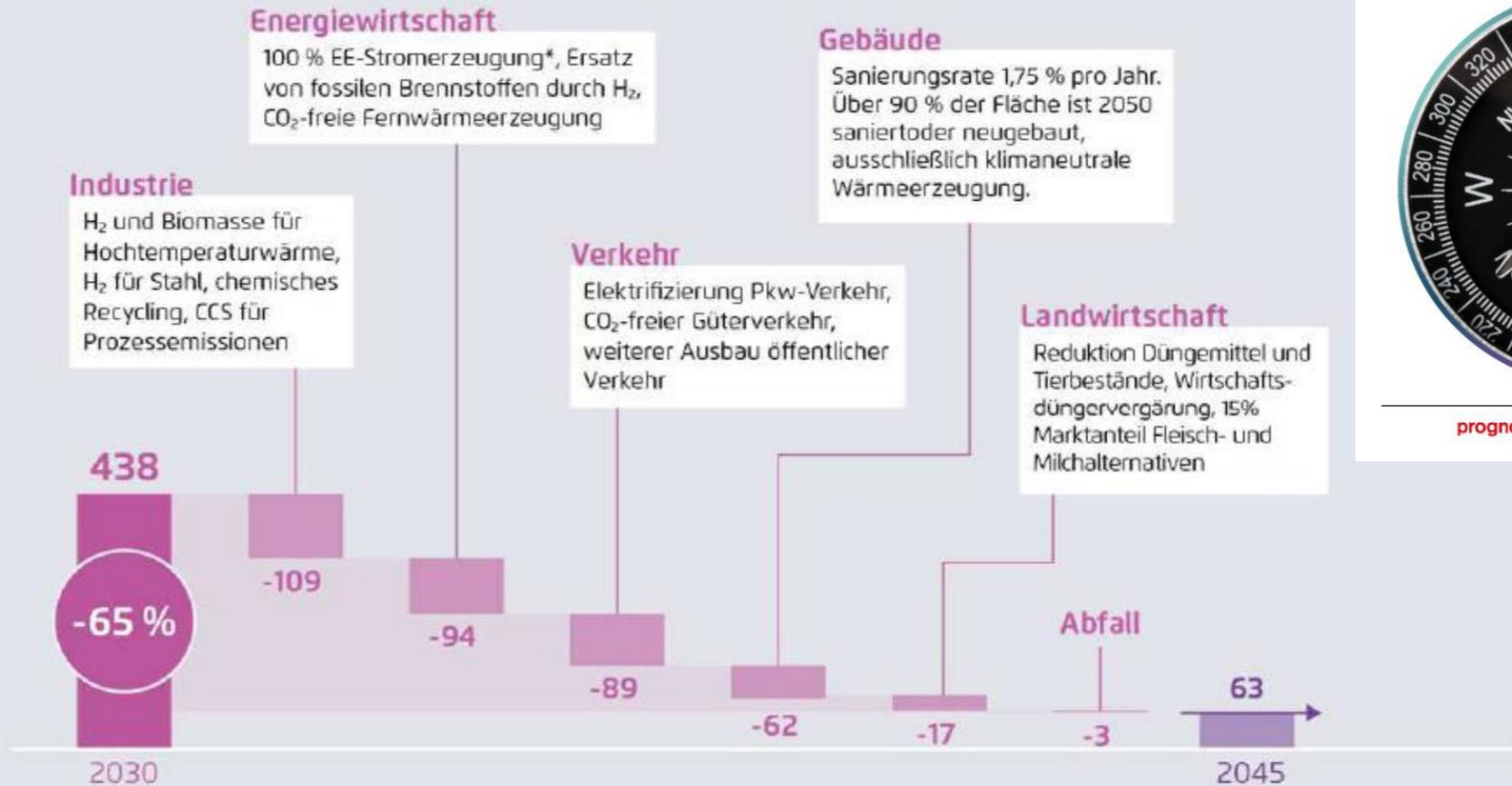
Logos of prognos, Oke-Institut e.V., and Wuppertal Institut.

2 Die Lösung

Ein aktuelles Szenario: KN45 – Studie im Auftrag der Agora Energiewende von 2021

In drei Schritten zur Klimaneutralität: Schritt 2: -95% THG bis 2045

95 Prozent Minderung bis 2045 (Treibhausgas-Emissionen in Mio. t CO₂-Äq.)



* inkl. Stromerzeugung aus erneuerbar erzeugtem Wasserstoff, zwischengespeichertem und importiertem erneuerbarem Strom.

Quelle: Prognos 2021



Klimaneutrales Deutschland 2045

Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann

ZUSAMMENFASSUNG



2 Die Lösung

Ein aktuelles Szenario: KN45 – Studie im Auftrag der Agora Energiewende von 2021

In drei Schritten zur Klimaneutralität: Schritt 2: -95% THG bis 2045



Primärenergieverbrauch



- Halbierung des Primärenergieverbrauchs gegenüber 2018
- Sinkende Umwandlungsverluste dank Windenergie und PV
- Höhere Effizienz durch Elektrifizierung mit Wärmepumpen und E-Mobilität
- Anteil der Erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch: 36 Prozent 2030, 85 Prozent bis 2045
- Importe von Wasserstoff und weiteren synthetisch erzeugten Energieträgern stellen 2045 in etwa 12 Prozent

2 Die Lösung

Ein aktuelles Szenario: KN45 – Studie im Auftrag der Agora Energiewende von 2021

In drei Schritten zur Klimaneutralität: Schritt 2: -95% THG bis 2045



Bruttostromverbrauch



H₂/CO₂

2030
Produktion 19 TWh H₂



5,6 Mio. Wärmepumpen, effiziente Elektrogeräte, effiziente Beleuchtung, Rückgang Direktstromheizungen



Wärmepumpen, effiziente Beleuchtung



25% der Fahrleistung im Straßengüterverkehr mit Batterien und Oberleitungen, 14 Mio. E-Pkw



Elektrifizierung Prozesswärme, strombasierte Dampfproduktion, effiziente Querschnittstechnologien

2045

96 TWh H₂,
20 Mio. t CO₂ DAC

14 Mio. Wärmepumpen, Zunahme bei Kühlen und Lüften, Effizienz Wärmepumpen, Rückgang Direktstromheizungen, effiziente Elektrogeräte

Wärmepumpen, effiziente Beleuchtung

80% der Fahrleistung im Straßengüterverkehr mit Batterien und Oberleitungen, 36 Mio. E-Pkw

Elektrifizierung Prozesswärme, CO₂-Abscheidung, strombasierte Dampfproduktion in Elektrokesseln und Hochtemperaturwärmepumpen

- KW-Eigenverbrauch
- Netzverluste
- Ladung Speicher
- DAC
- Elektrolyse (H₂)
- sonstige Umwandlung
- Fernwärmeerzeugung
- PHH
- GHD
- Verkehr
- Industrie

KW = Kraftwerk. DAC = Direct Air Capture. PHH = Private Haushalte. GHD = Gewerbe, Handel, Dienstleistungen. Verbrauch von Speichern (brutto) beinhaltet Pumpspeicher und stationäre Batteriespeicher in der öffentlichen Versorgung. Der Stromverbrauch von Heimbatterien in Kombination mit PV-Systemen wird hier nicht berücksichtigt.

Quelle: Prognos 2021

2 Die Lösung

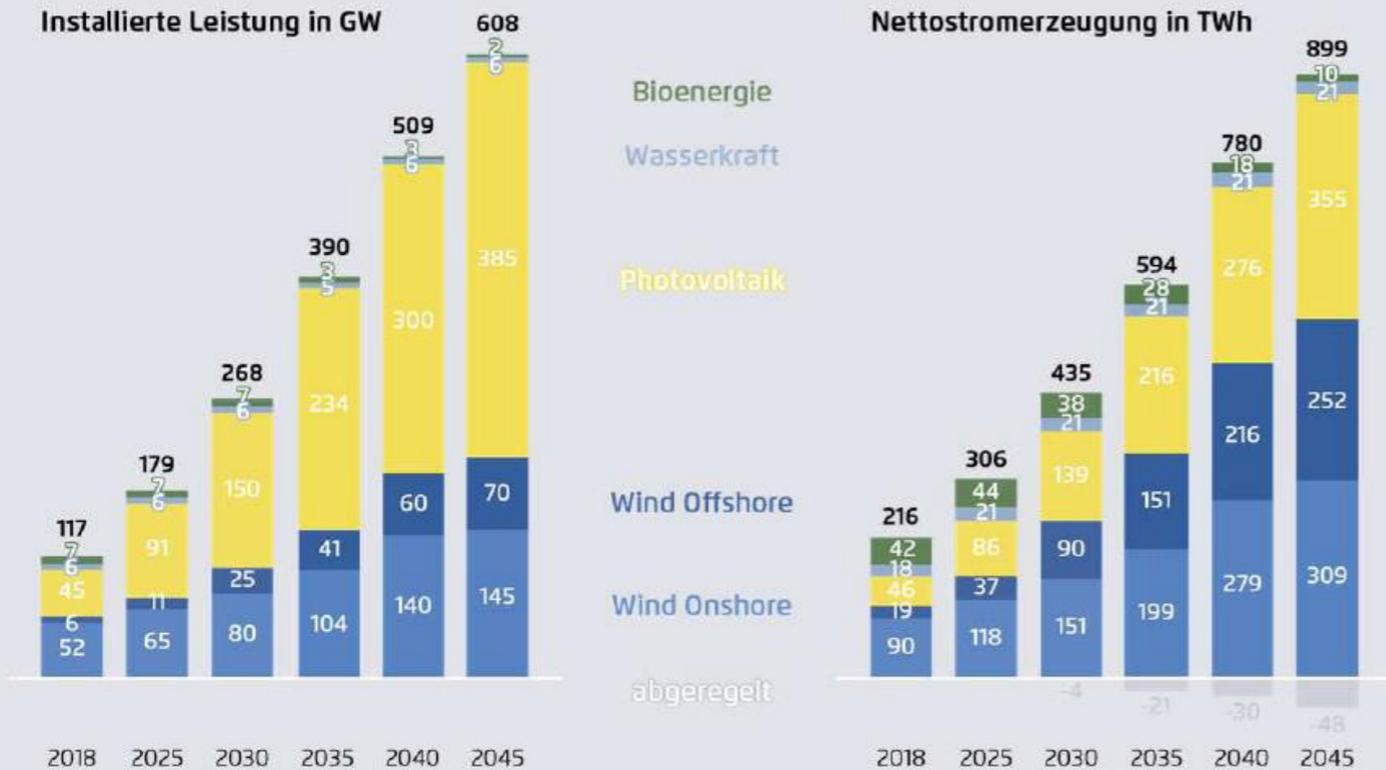
Ein aktuelles Szenario: KN45 – Studie im Auftrag der Agora Energiewende von 2021

In drei Schritten zur Klimaneutralität: Schritt 2: -95% THG bis 2045



prognos AG, Agora Energiewende, Agora Verkehrswende

Erneuerbare Energien



* Inkl. Stromerzeugung aus erneuerbar erzeugtem Wasserstoff, zwischengespeichertem und importiertem erneuerbaren Strom

- Beschleunigte Klimaneutralität erfordert schnelleren EE-Ausbau
- Höhere Erzeugung und installierte Leistung, da Effizienzmaßnahmen z.T. nicht weiter beschleunigbar
- Im Jahr 2045 sind in der Vorgängerstudie folgende Kapazitäten installiert: 128 GW Onshore Wind, 61 GW Offshore Wind, 315 GW PV
- Im Zieljahr 2050 sind in der Vorgängerstudie folgende Kapazitäten installiert: 130 GW Onshore Wind, 70 GW Offshore Wind, 355 GW PV

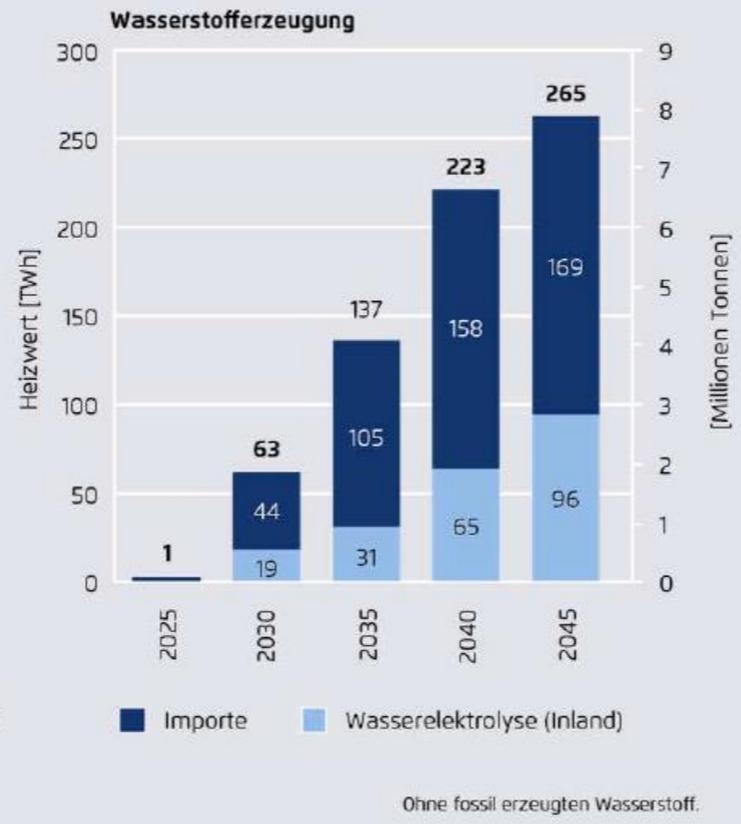
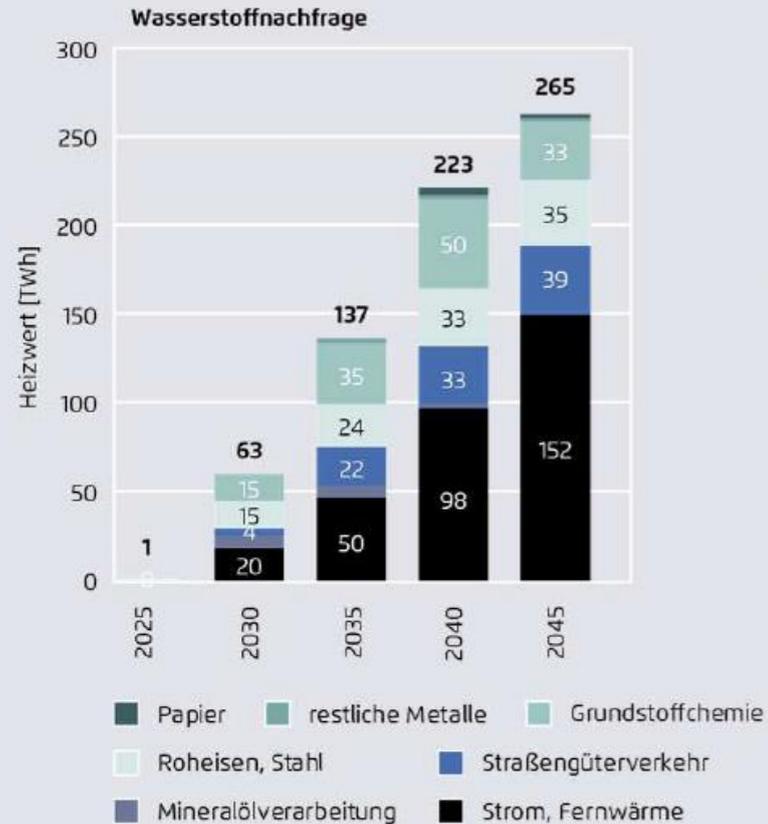
2 Die Lösung

Ein aktuelles Szenario: KN45 – Studie im Auftrag der Agora Energiewende von 2021

In drei Schritten zur Klimaneutralität: Schritt 2: -95% THG bis 2045



CO₂-freie Wasserstoffherzeugung und -nutzung in Deutschland



- Wasserstoffnachfrage 265 TWh in 2045, 40 TWh mehr als im selben Jahr der Vorgängerstudie
- 36% des Wasserstoffbedarfs werden importiert
- Kein Wasserstoff in der dezentralen Gebäudewärme
- Alle Bedarfe an PtL-Kraftstoffen werden importiert, insgesamt 158 TWh
- PtL Nutzung im int. Flugverkehr (103 TWh) und Industrie (35 TWh)
- Gesamtmenge an Wasserstoff und PtL ist 422 TWh in 2045

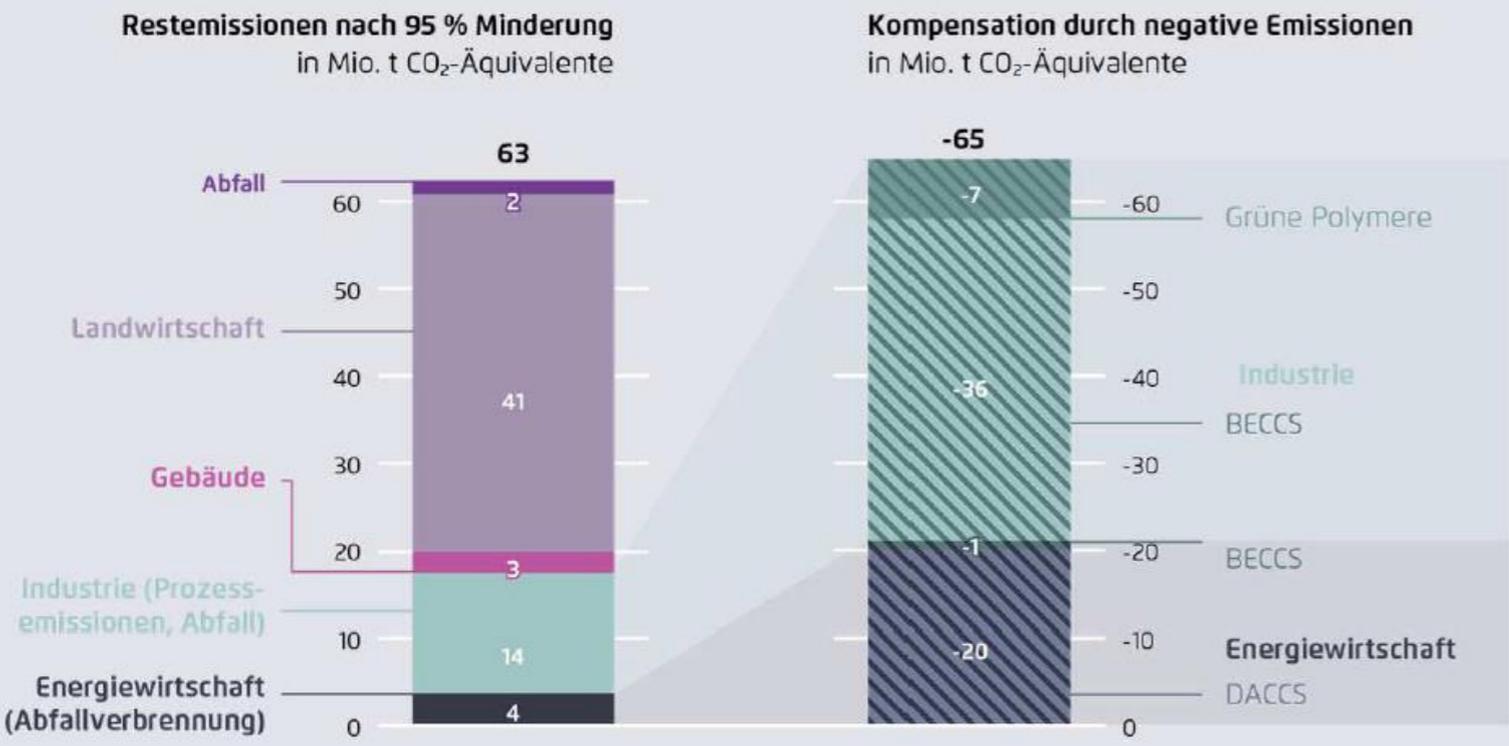
2 Die Lösung

Ein aktuelles Szenario: KN45 – Studie im Auftrag der Agora Energiewende von 2021

In drei Schritten zur Klimaneutralität: Schritt 2: -95% THG bis 2045



Schritt 3 im Detail – residuale THG-Emissionen & deren Kompensation in 2045



- *Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS):* Abscheidung und geologische Lagerung von CO₂ aus Biomasseverbrennung
- BECCS-Einsatz konzentriert in Hochtemperaturwärme für Industrie via fester Biomasse
- *Direct Air Carbon Capture and Storage (DACCS):* direkte CO₂-Abscheidung aus der Luft mit anschließender Einlagerung
- Grüne Polymere binden jährlich 7 Mio. t CO₂-Äq.
- Netto-Emissionsniveau von minus 30 Millionen Tonnen CO₂-Äq. 2050

Und was wird das kosten.... ?

Die Kosten des Umbaus des Energiesystems entsprechen denen der Wiedervereinigung

- Investitions- und Kapitalkosten eines vollständig regenerativen Energiesystems liegen bei etwa 3 -3,5 Bill. € (kumulativ) (Fraunhofer ISE 2015, S. 39 ff)
- Mehrkosten eines vollständig regenerativen gegenüber einem/dem fossilen Energiesystem liegen bei etwa 1,5 bis 2 Bill. €. (ebd.)
- Bis 2045 (24 Jahre) wären das Investitionen in Höhe von 62 bis 83 Mrd.€/a.

 Erkenntnis: Die Energiewende ist vor allem ein riesiges Konjunkturprogramm!

- Zum Vergleich: Die Kosten der deutschen Wiedervereinigung werden für den Zeitraum 1990 -2014 (ebenfalls 24 Jahre) auf 2 Bill. € geschätzt. (Wikipedia 2021)
- Die jährlichen Ausgaben der Wiedervereinigung liegen aktuell (immer noch) bei etwa 100 Mrd. €/a (ebd.)

 Erkenntnis 2: Die Energiewende ist nicht teurer als die Wiedervereinigung!

2 Die Lösung

Ein aktuelles Szenario: KN45 – Studie im Auftrag der Agora Energiewende von 2021



Hinweise:

Videoaufzeichnung des Webinars vom 6.5.2021 zur Vorstellung der Agora Studie

„Klimaneutrales Deutschland 2045“

auf youtube: <https://youtu.be/8-ZmHvqCn1k>

Videoaufzeichnung des Webinars vom 6.5.2021 zur Vorstellung des „**deep dive**“ zum **Sektor Verkehr** zur Agora Studie „Klimaneutrales Deutschland: In drei Schritten zu null Treibhausgasen bis 2050“

auf youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=EWtxcFLoRQ8>

Inhalt

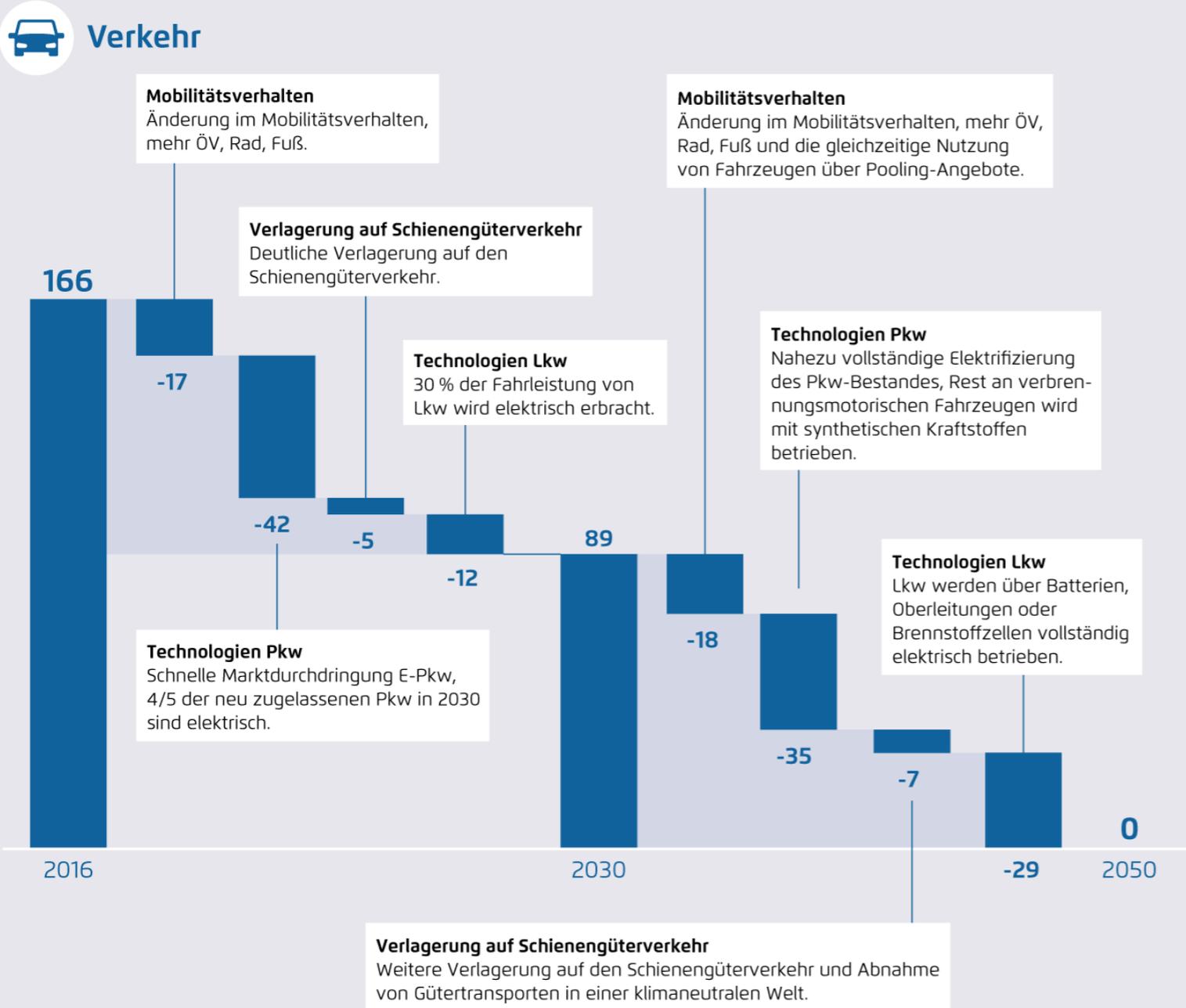
- 1) Das Problem
- 2) Die (bisher einzige) Lösung
- 3) Ein (sehr ambitionierter, aber möglicher) Masterplan für Klimaneutralität bis 2045
- 4) Konsequenzen für den Sektor Verkehr (Mobilität und Transport/Logistik)

Verkehrswende = Antriebswende + Mobilitätswende + Verkehrsvermeidung



Reduktion der Treibhausgasemissionen im Verkehr (Mio. t CO₂-Äq.)

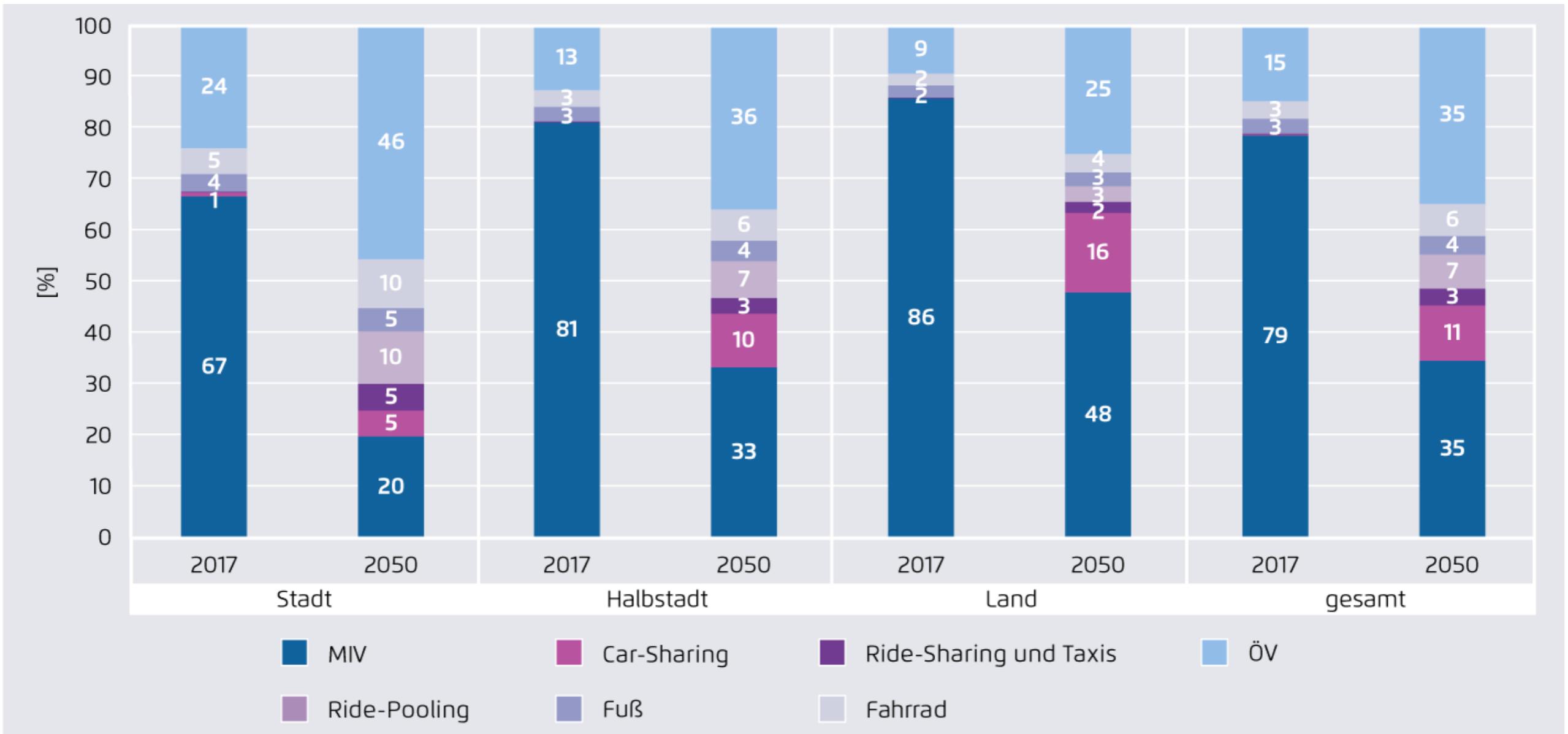
Wirkung der Maßnahmenansätze der Agora Studie „Klimaneutrales Deutschland“



Quelle: Prognos 2020

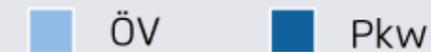
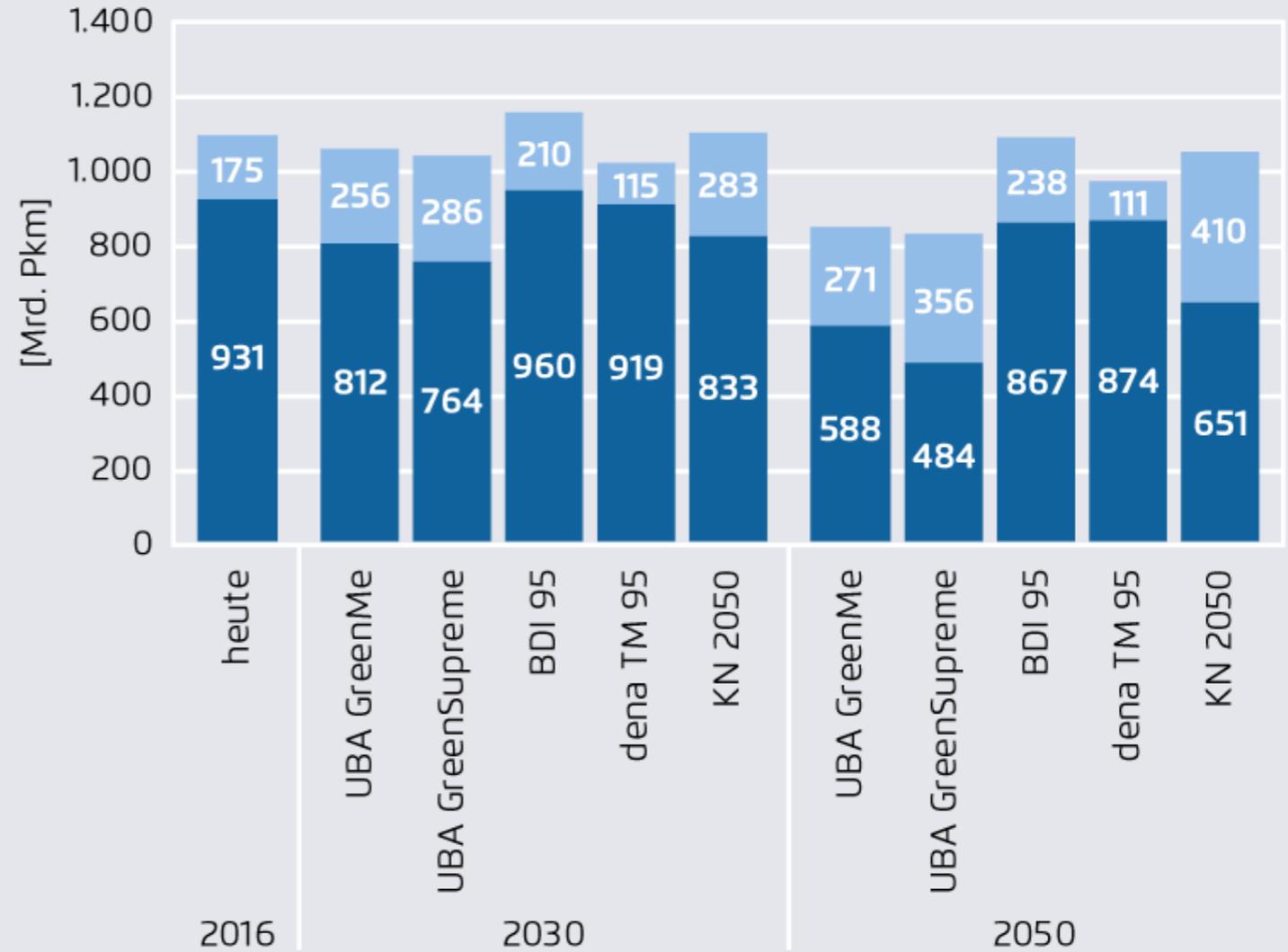
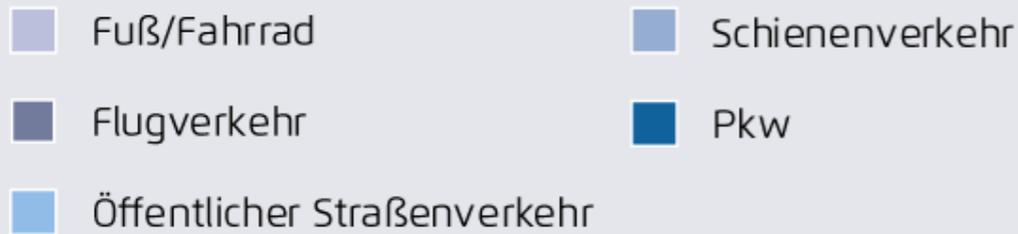
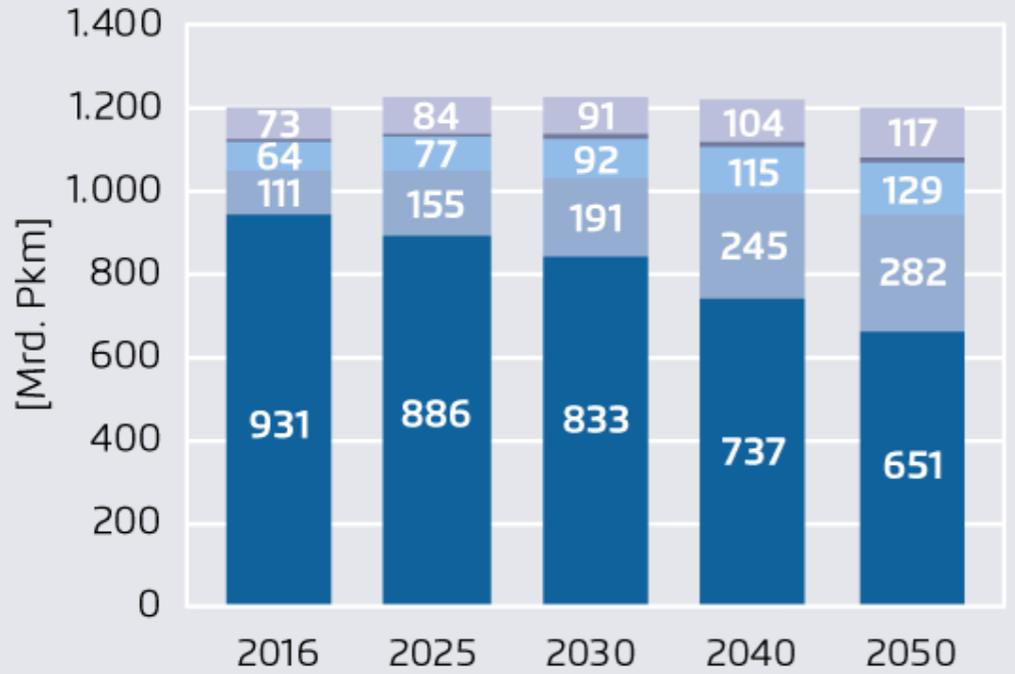
Änderung des Modal Split (nach Raumtypen) für die Energiewende

Annahmen im Rahmen der Agora Studie „Klimaneutrales Deutschland“



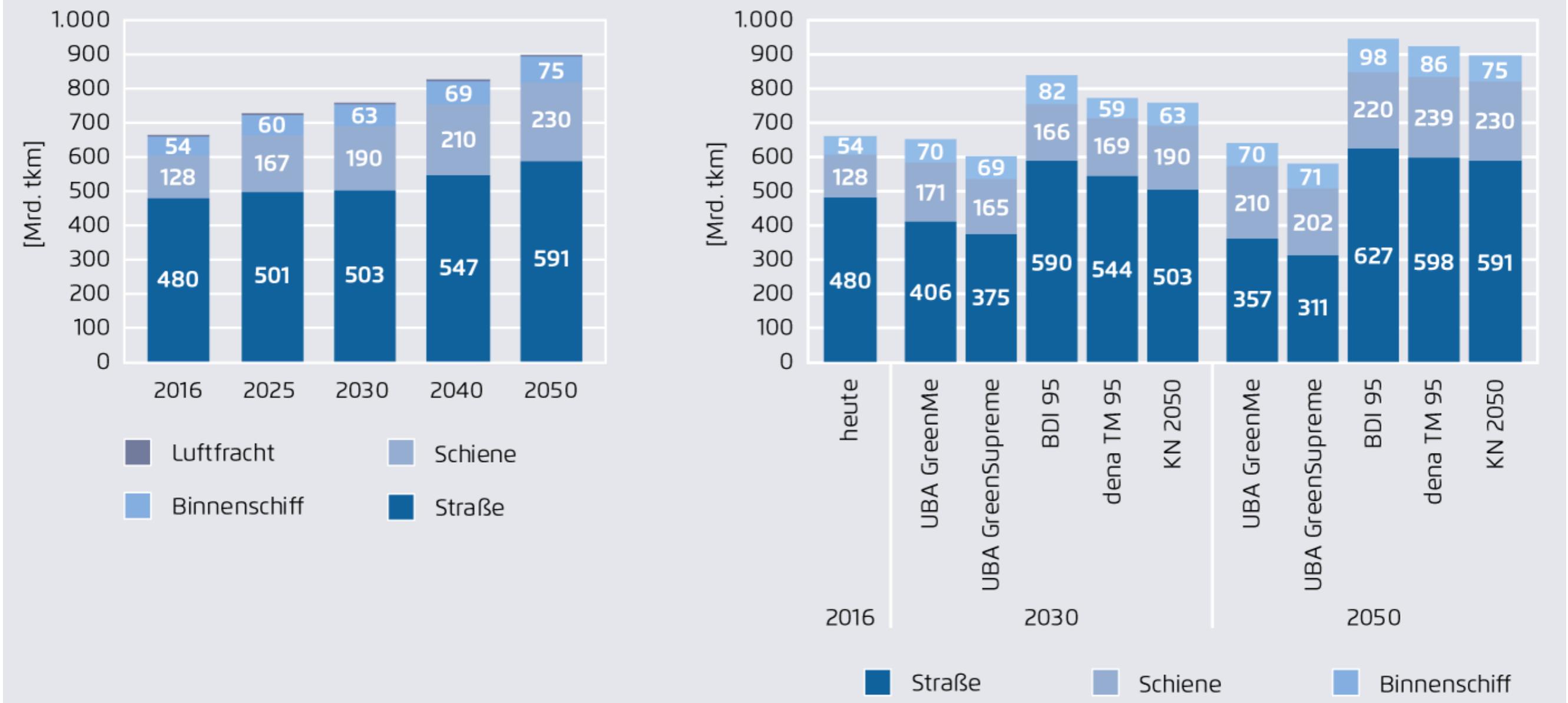
Personenverkehrsnachfrage und Einordnung zu vergleichbaren Studien

Annahmen im Rahmen der Agora Studie „Klimaneutrales Deutschland“



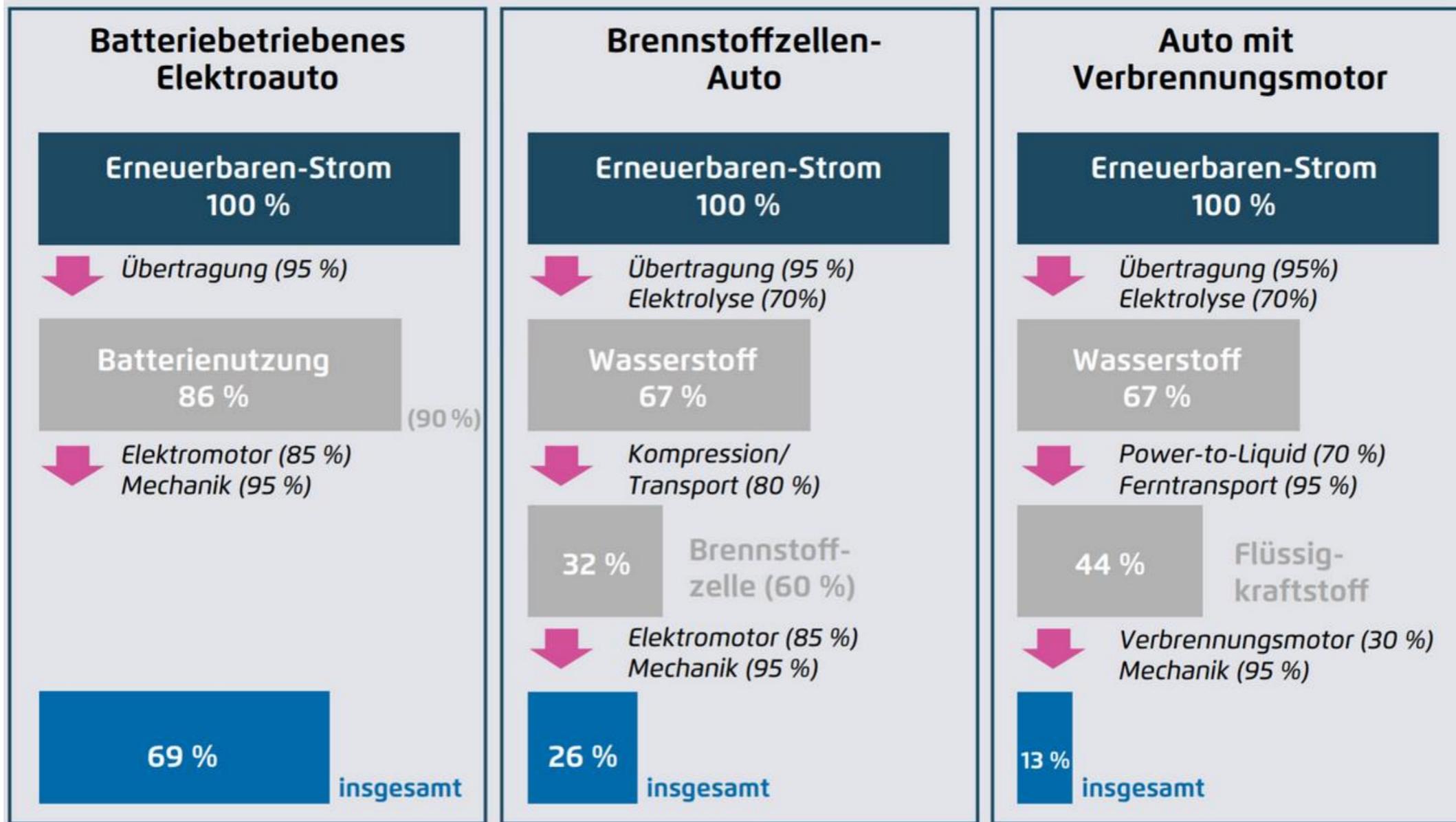
Personenverkehrsnachfrage und Einordnung zu vergleichbaren Studien

Annahmen im Rahmen der Agora Studie „Klimaneutrales Deutschland“



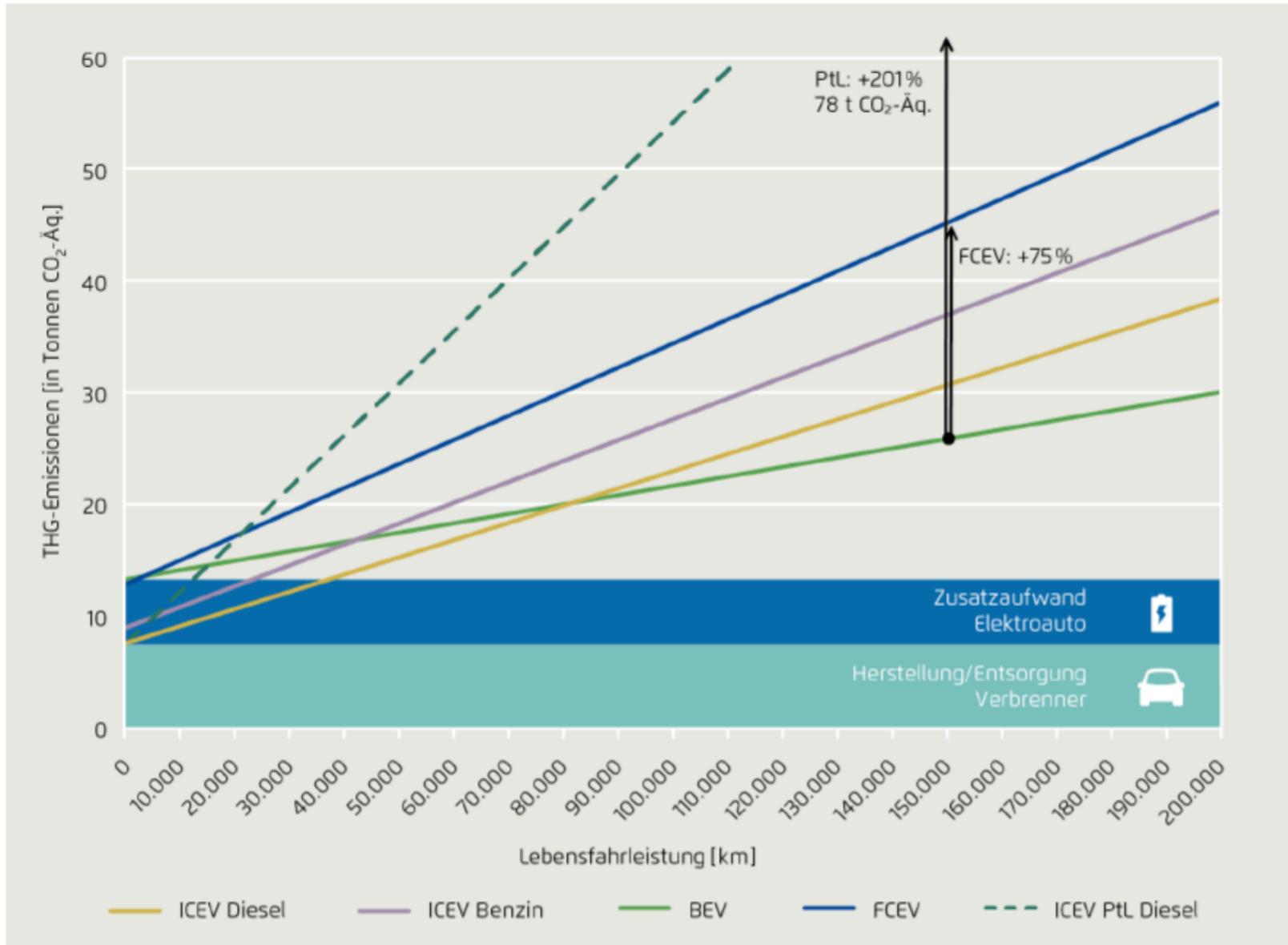
Wirkungsgradvergleich unterschiedlicher klimaneutraler PKW Antriebe

Möglichst rein elektrisch ...



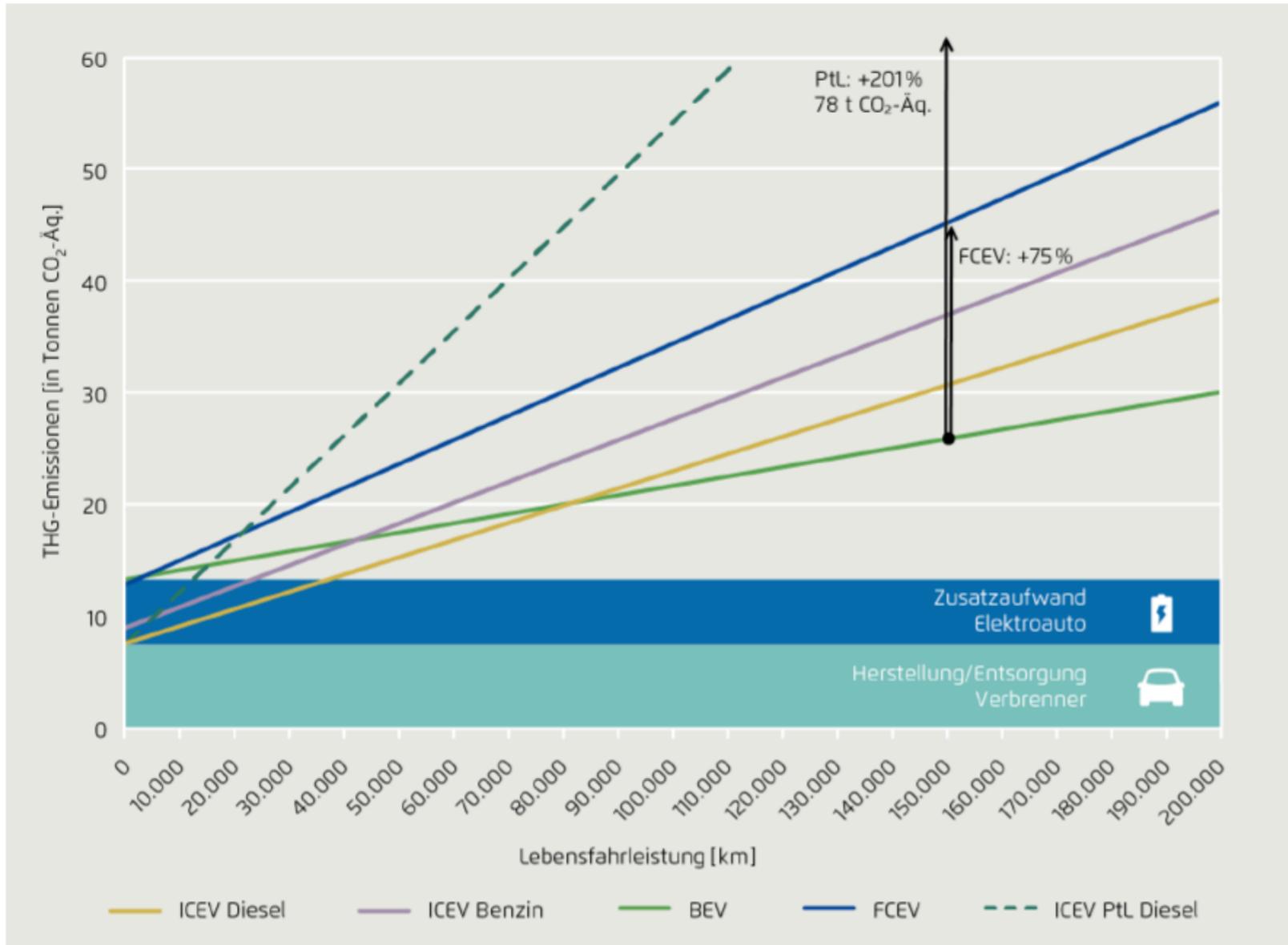
Klimabilanz über 200.000 km Nutzungsdauer IECV vs BEV, FCEV und ICEV PtL

Gemischte Nutzung, Emissionsfaktor Strom 421g CO₂/kWh



Klimabilanz über 200.000 km Nutzungsdauer IECV vs BEV, FCEV und ICEV PtL

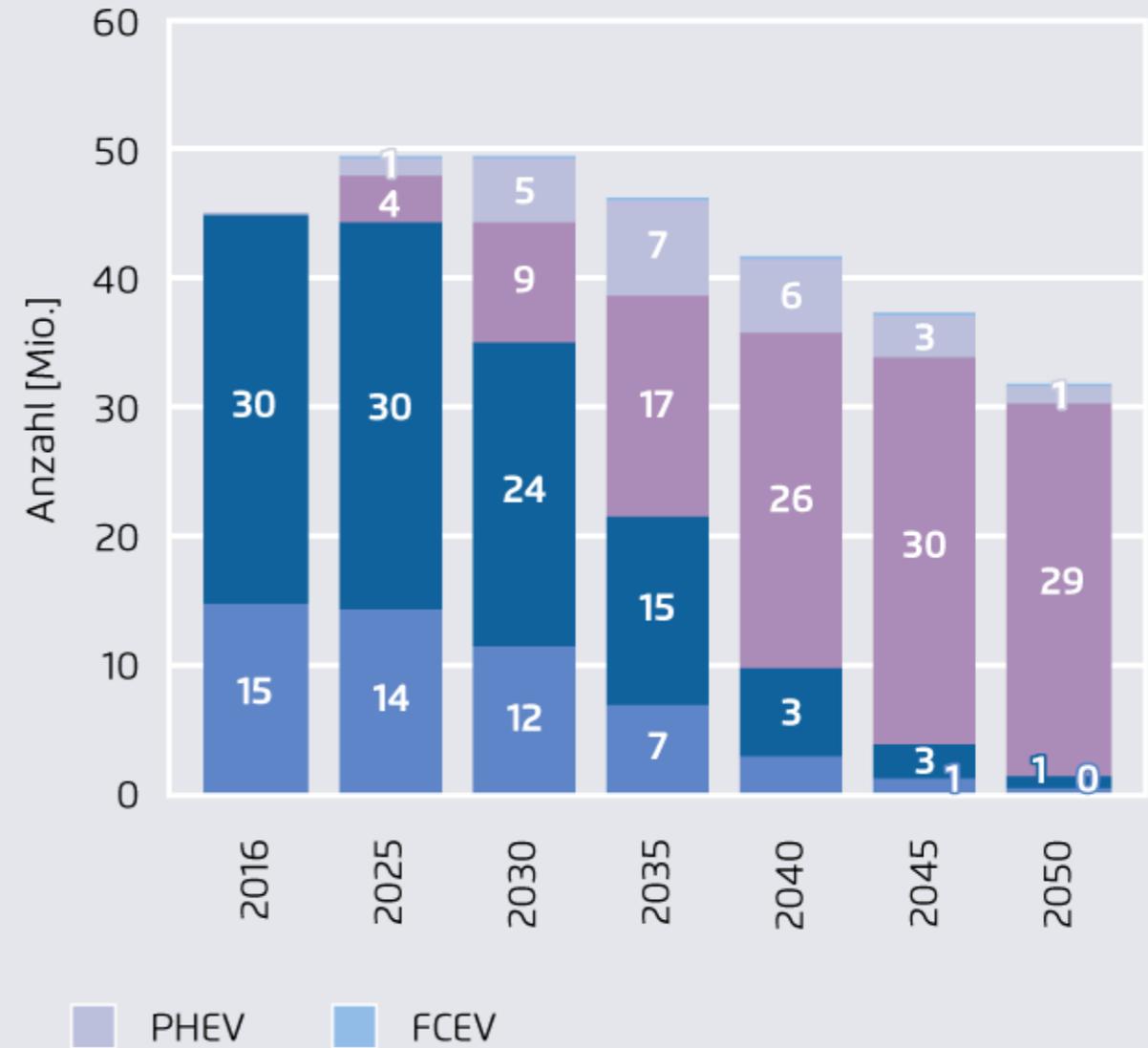
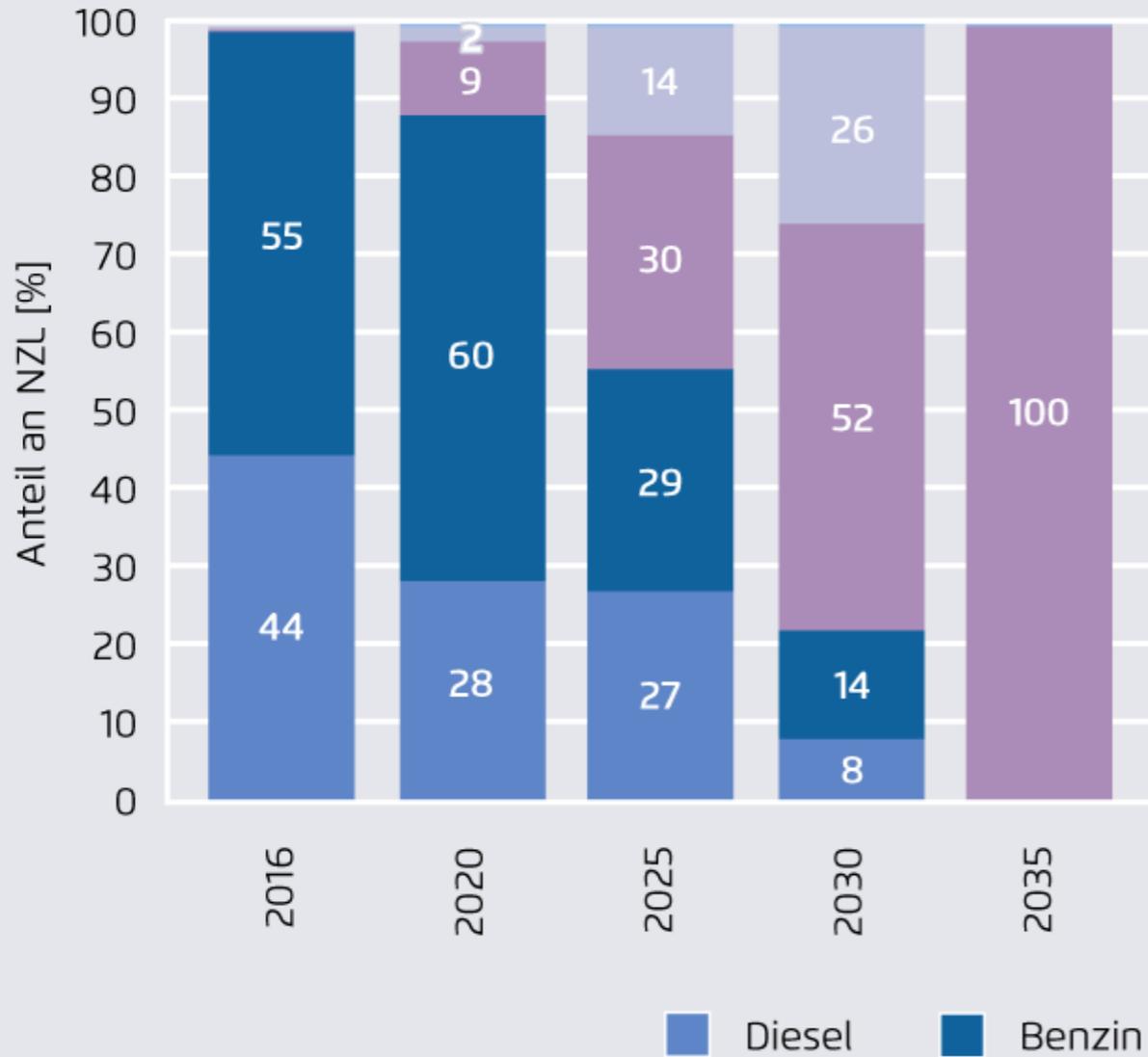
Gemischte Nutzung, Emissionsfaktor Strom 421g CO₂/kWh



Notwendige Entwicklung Neuzulassung und Bestand PKW für Klimaneutralität 2050

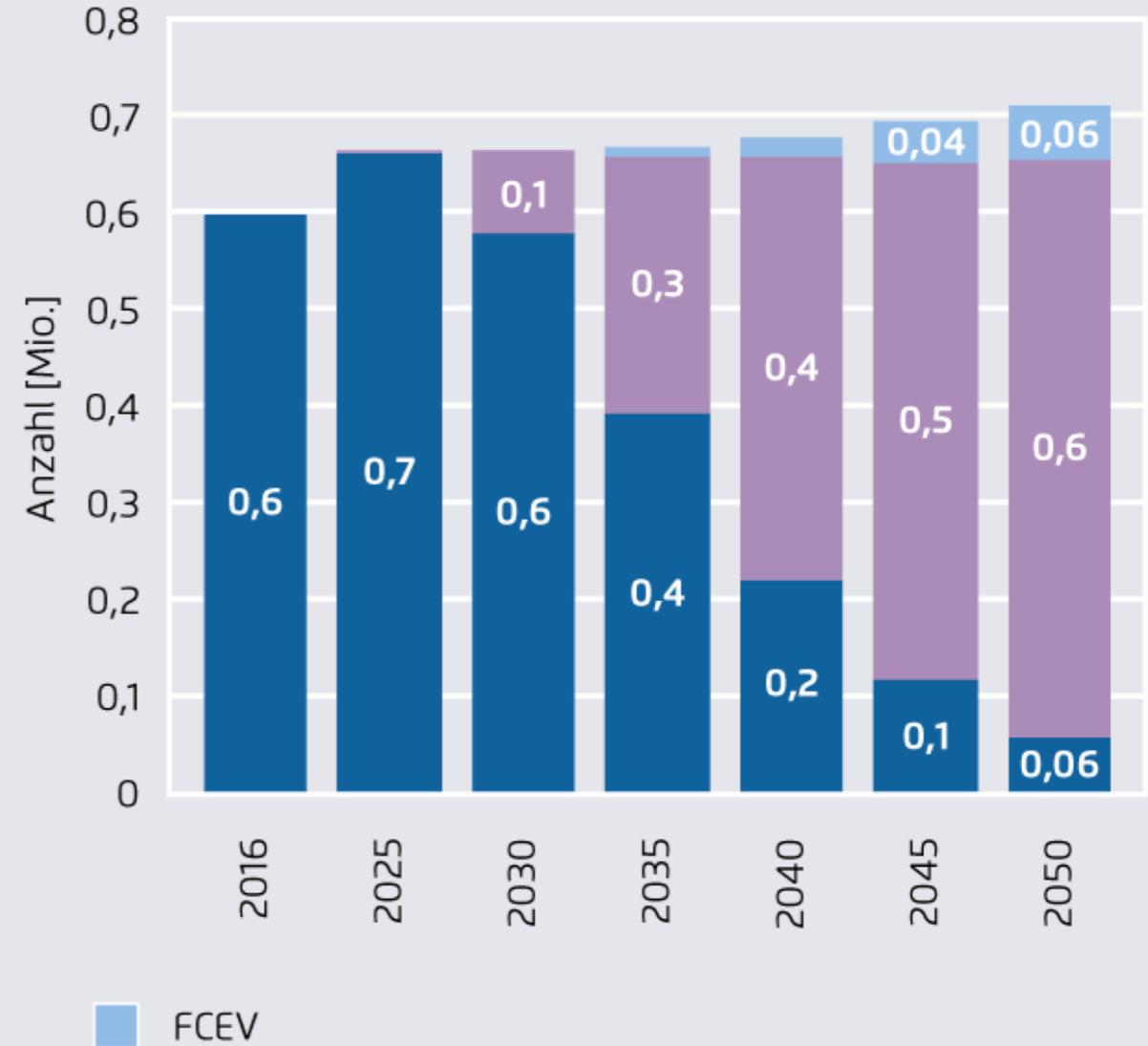
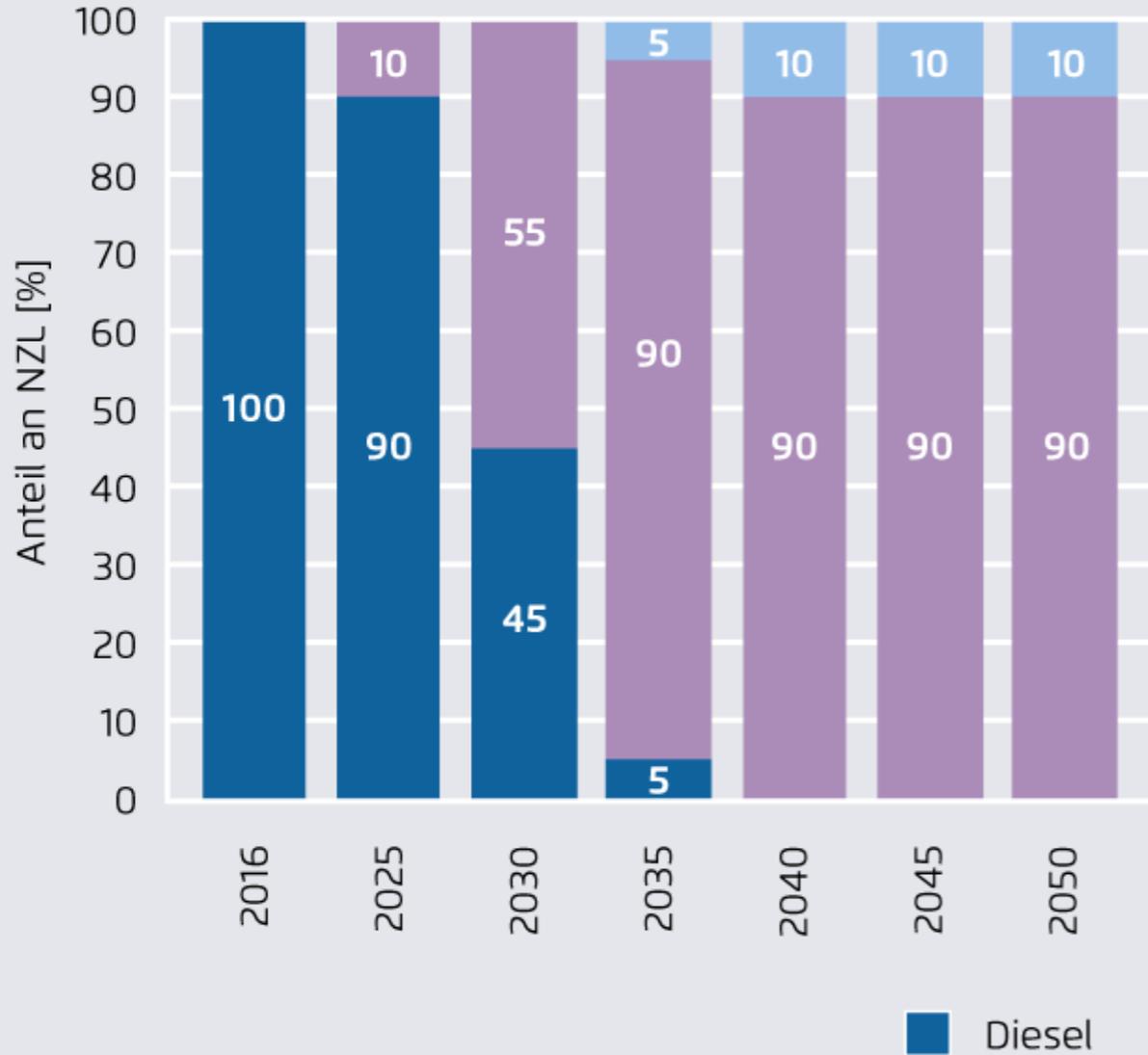
Ergebnis der Agora Studie „Klimaneutrales Deutschland“

Zum Vergleich: BEV Anteil an Neuzulassungen 2020: 6,7%, Juli 2021: 10,8%



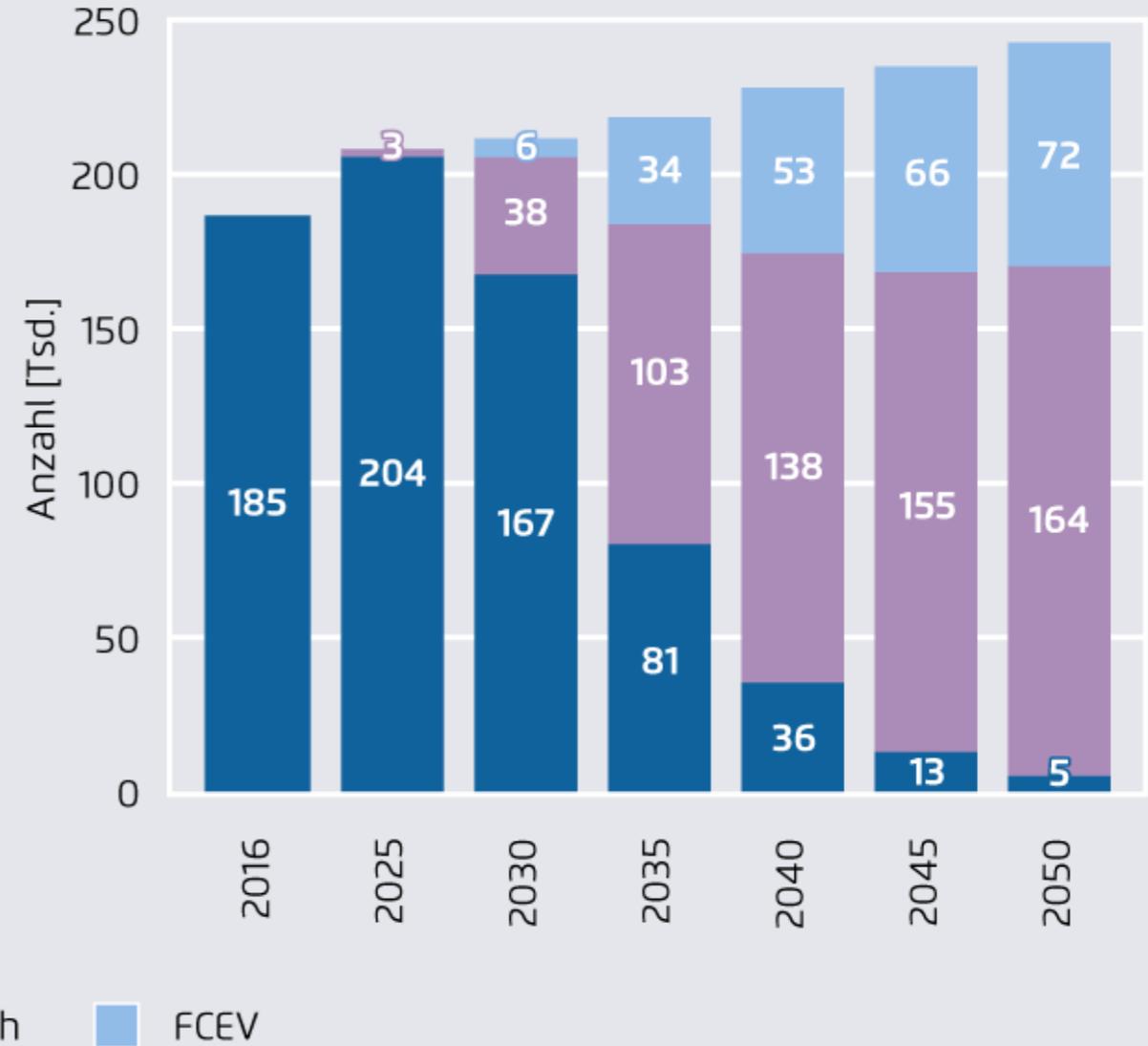
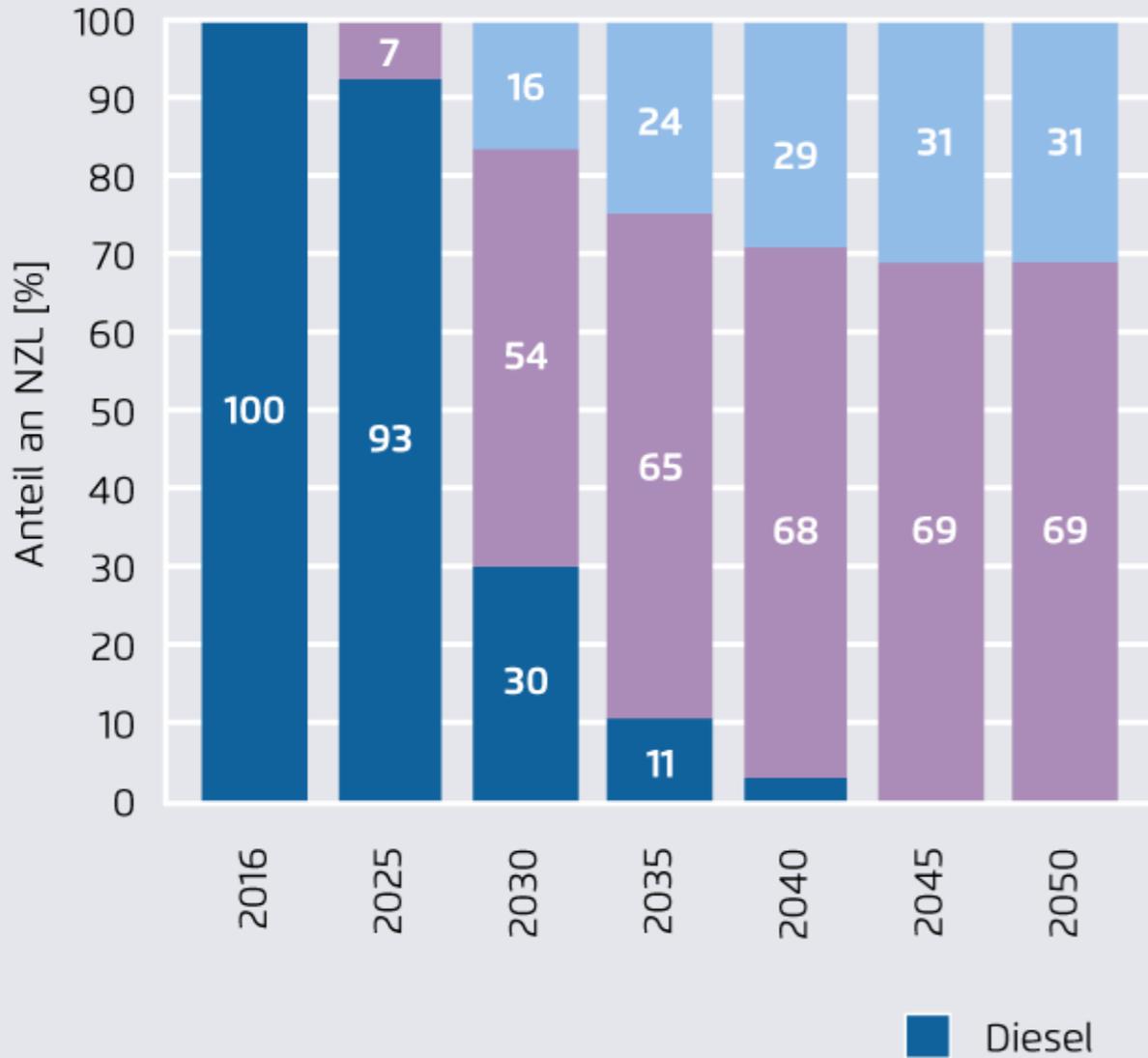
Notwendige Entwicklung Neuzulassung und Bestand LKW für Klimaneutralität 2050

Ergebnis der Agora Studie „Klimaneutrales Deutschland“



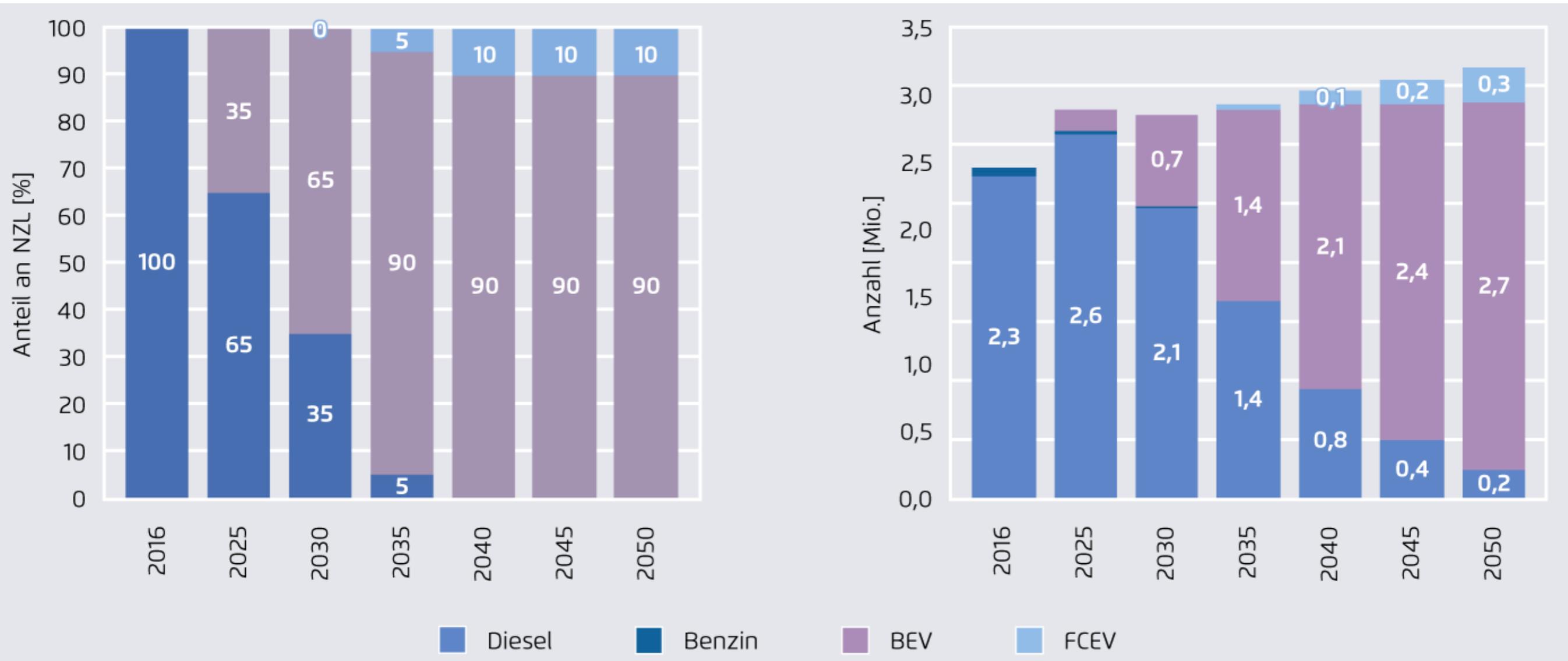
Notwendige Entwicklung Neuzulassung und Bestand Last- und Sattelzüge für Klimaneutralität 2050

Ergebnis der Agora Studie „Klimaneutrales Deutschland“



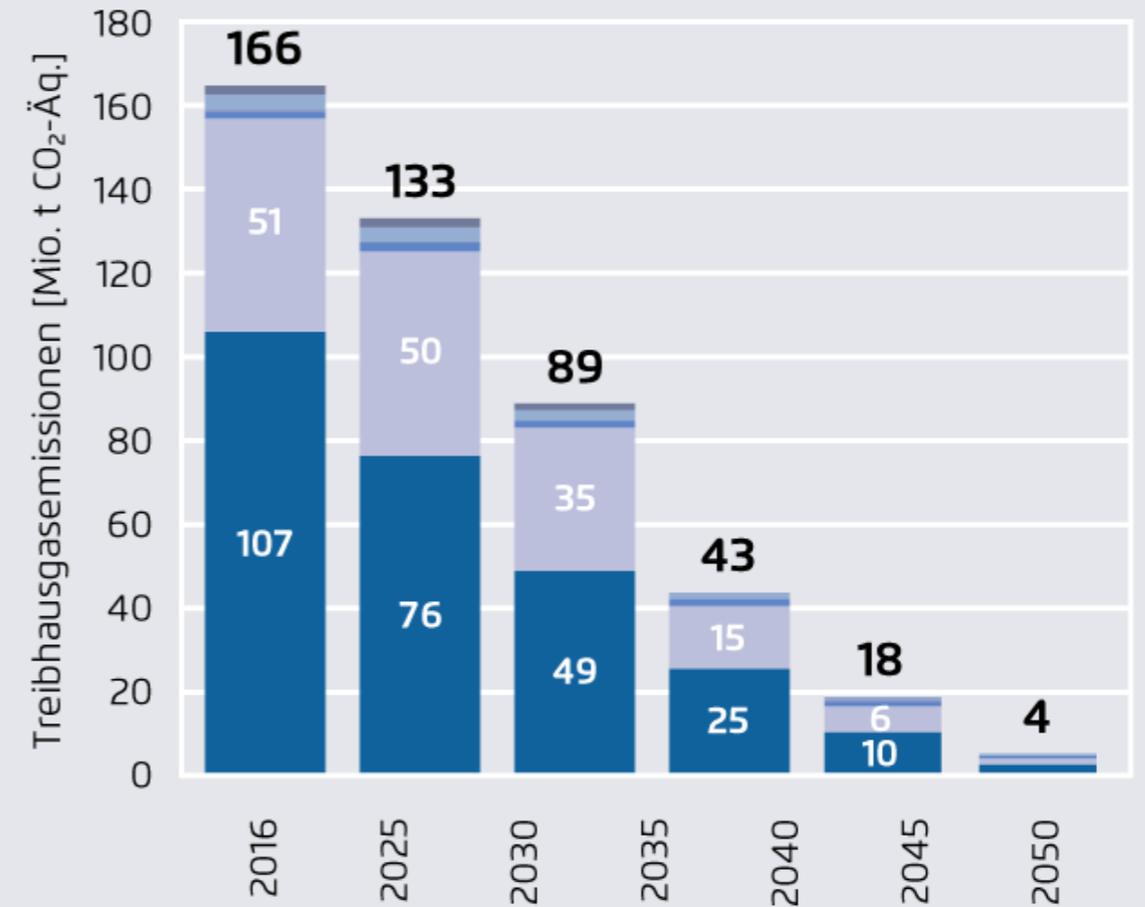
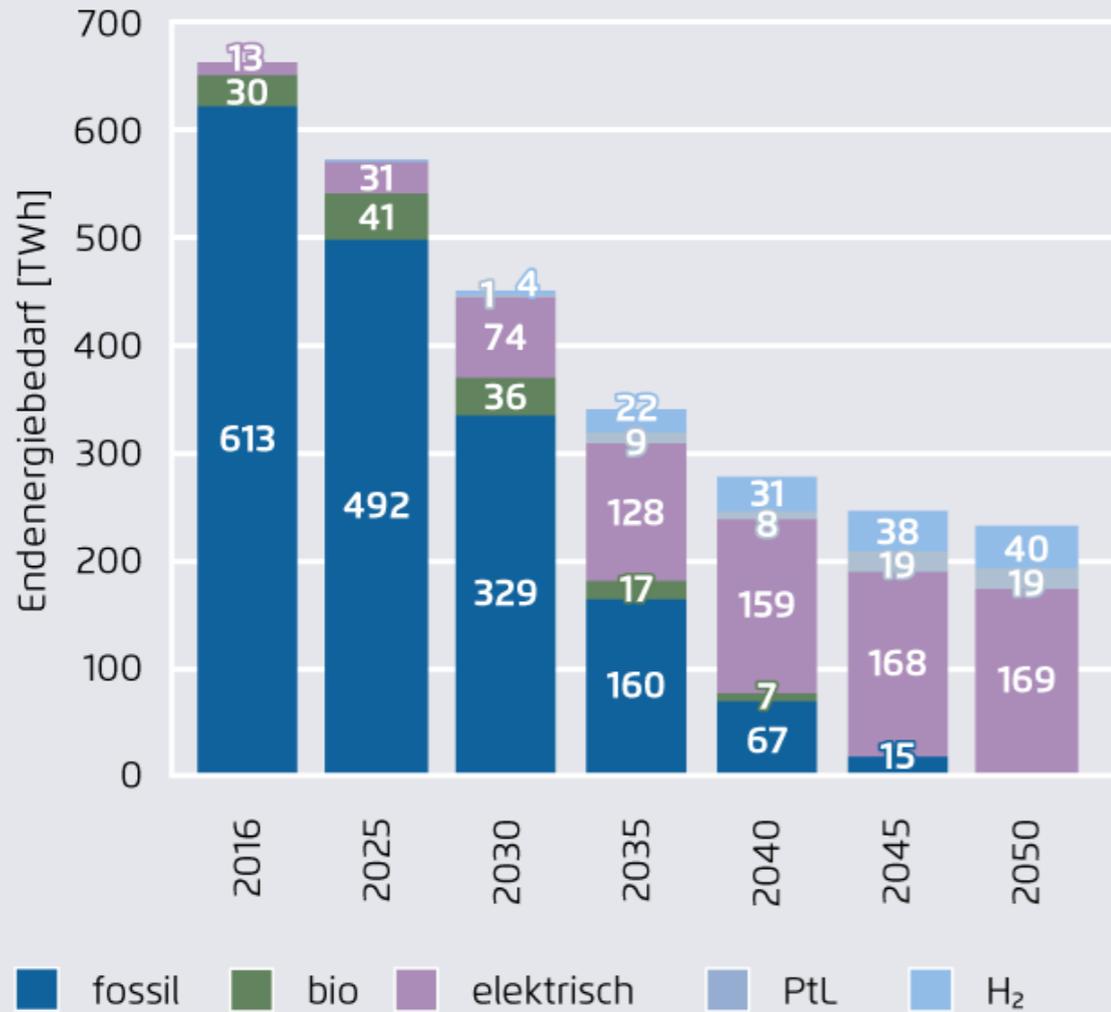
Notwendige Entwicklung Neuzulassung und Bestand leichte Nutzfahrzeuge für Klimaneutralität 2050

Ergebnis der Agora Studie „Klimaneutrales Deutschland“



Endenergiebedarf und Treibhausgasemission national (!) nach Verkehrsträgern

Ergebnis der Agora Studie „Klimaneutrales Deutschland“

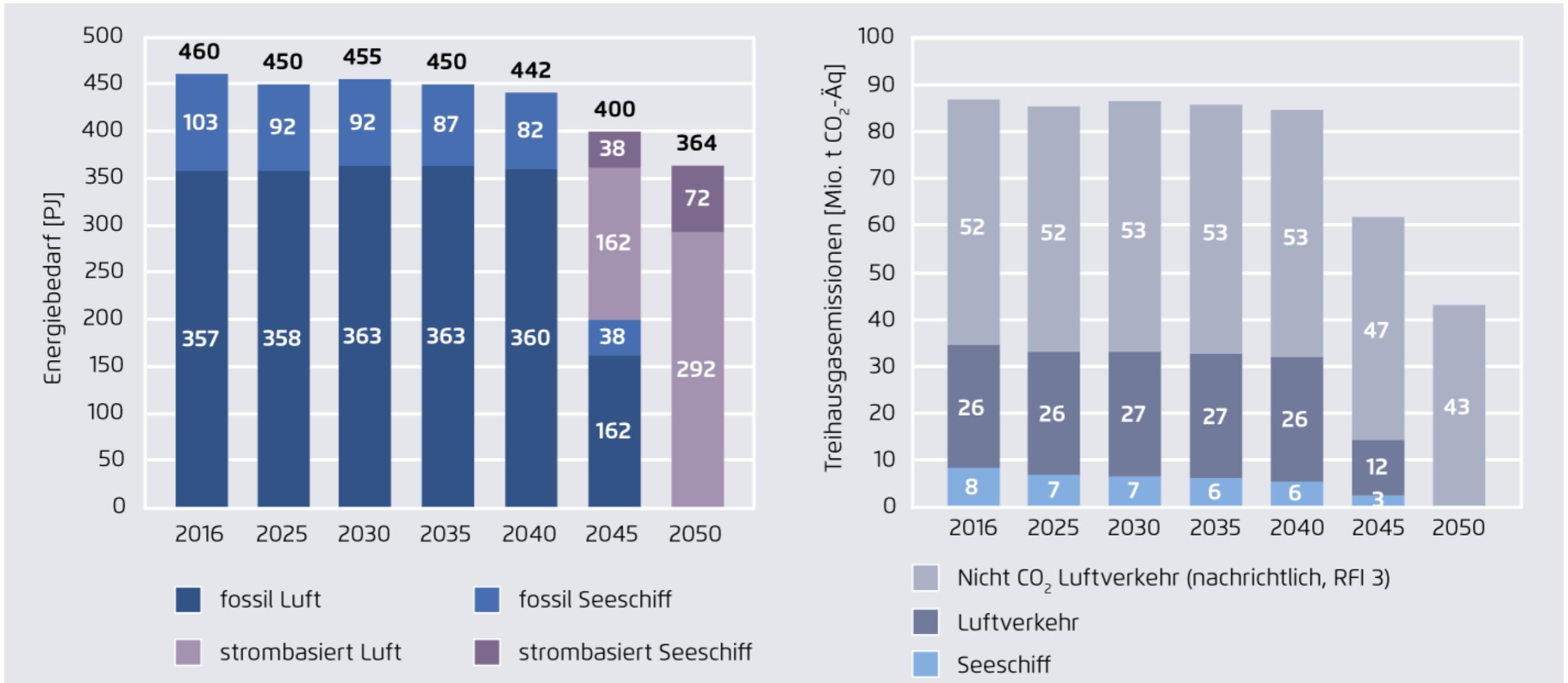


■ fossil ■ bio ■ elektrisch ■ PtL ■ H₂

■ Pkw ■ Straßengüterverkehr
 ■ Binnenschiff ■ Schienengüterverkehr
 ■ ÖV ■ Luft

Entwicklung Endenergiebedarf und Treibhausgasemissionen internationaler Verkehr

Inklusive der nicht CO₂ Effekte. Ergebnis der Agora Studie „Klimaneutrales Deutschland“



- Der Weg zu einem vollständig regenerativen Energiesystem ist im Kern geprägt vom Problem der fluktuierenden Stromerzeugung aus Wind und PV.
- Das Problem beinhaltet gleichzeitig die Lösung:
Die Nutzung der durch Windkraft und PV „geernteten“ erneuerbaren Energie in den Sektoren „Wärme“ und „Mobilität“ stabilisiert das Stromsystem und macht die Erneuerbaren in diesen Sektoren in großem Maßstab verfügbar.
- Schlüsseltechnologie ist dafür die Gewinnung von Wasserstoff aus **regenerativ erzeugtem Strom**.

Folgen:

- Vollständiger Paradigmenwechsel im Gassektor innerhalb einer „Ingenieurgeneration“:
Vom Energieträger für die Wärmeversorgung zum Energieträger für die Absicherung des Stromsystems.
- Umstellung auf H₂ Betrieb bzw. Aufbau eines H₂ Netzes in zwei Dekaden (bis 2040)
- Kein Gaseinsatz mehr zum Heizen (zu teuer, energetisch unsinnig) bedeutet, dass der Wärmemarkt für den Gassektor „verloren“ ist

Notwendiger Paradigmenwechsel in den (IngenieurInnen-)Köpfen :

Verbrennungsprozesse sind möglichst vermeiden (es sei denn es gibt ein Wärmeproblem zu lösen).

(Das bedeutet insbesondere: Synthetische Kraftstoffe absolut nur da einsetzen, wo Elektrifizierung oder direkte Nutzung von H₂ nicht möglich ist. (s. z.B. (Ueckerdt et al. 2021))

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Hans Schäfers,
Professor für intelligente Energiesysteme und Energieeffizienz

Stellv. Leiter des
Competence Center für erneuerbare Energien und Energieeffizienz (CC4E)
Energiecampus der HAW Hamburg
Am Schleusengraben 24, 21029 Hamburg
[hans.schaefers\[at\]haw-hamburg.de](mailto:hans.schaefers[at]haw-hamburg.de)

Herausgeber: Competence Center für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz
www.cc4e.de



- Verstege, J. F. (n.a.). Grafik aus Vorlesungsunterlagen: *Ursachen für Störung des Leistungsgleichgewichts*. Uni Wuppertal.
- BMWi (2020). *Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2019 – Abbildung: Entwicklung der installierten Leistung*. Zuletzt abgerufen am 16.09.2020 unter: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Entwicklung/entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland.html;view=renderPrint
- ACATECH (2017): Ausfelder et al.: »Sektorkopplung« – Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft. München 2017. : Zuletzt abgerufen am 11.05.2021 unter: https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/PDFs/ESYS_Analyse_Sektorkopplung.pdf
- FHG ISE (2021a). *Energy Charts – Leistung*. Zuletzt abgerufen am 09.02.2021 unter: https://energy-charts.info/charts/installed_power/chart.html?l=de&c=DE
- FHG ISE (2021b). *Energy Charts – Leistung*. Zuletzt abgerufen am 09.02.2021 unter <https://energy-charts.info/charts/power/chart.html?l=de&c=DE&year=2020&week=16>
- Fraunhofer IWES (2009). *Dynamische Simulation der Stromversorgung in Deutschland nach dem Ausbauszenario der Erneuerbaren-Energien-Branche*. Zuletzt abgerufen am 02.03.2020 unter: https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/100119_BEE_IWES-Simulation_Stromversorgung2020_Endbericht.pdf
- Fraunhofer IWES (2010). *Dynamische Simulation des BEE-Szenarios und Auswirkungen auf den konventionellen Kraftwerkspark*. Zuletzt abgerufen am 02.03.2020 unter: http://www.duh.de/uploads/media/STERNER_et_al_IWES_DUH_Bundespressekonf_Mar_2010.pdf
- Fraunhofer ISE (2013). *ENERGIESYSTEM DEUTSCHLAND 2050*. Zuletzt abgerufen am 02.03.2020 unter: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE_Energiesystem-Deutschland-2050.pdf
- Fraunhofer ISE (2015). *Was kostet die Energiewende*. Zuletzt abgerufen am 10.05.2021 unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/was-kostet-die-energiewende.html>
- Sterner et al. (2009). *Erneuerbares Methan*. Zuletzt aufgerufen am 17.03.2020 unter http://www.eurosolar.de/de/images/stories/pdf/SZA%201_2010_Sterner_farbig.pdf
- Agora Energiewende (2014). *Stromspeicher in der Energiewende - Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, Systemdienstleistungen und im Verteilnetz*. Zuletzt aufgerufen am 17.03.2020 unter https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2013/speicher-in-der-energiewende/Agora_Speicherstudie_Web.pdf
- Prognos 2020: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): *Klimaneutrales Deutschland*. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität. Zuletzt aufgerufen am 09.02.2021 unter: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland/>
- Prognos 2021: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021): *Klimaneutrales Deutschland 2045*. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. Zuletzt abgerufen am 10.05.2021 unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf
- Wikipedia 2021: *Kosten der deutschen Einheit*. Zuletzt abgerufen am 10.05.2021 unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Kosten_der_deutschen_Einheit#cite_note-1
- Ueckerdt et al. (2021): Ueckerdt, F., Bauer, C., Dirnacher, A. et al. Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. *Nat. Clim. Chang.* 11, 384–393 (2021). Zuletzt abgerufen am 10.05.2021 unter: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01032-7>
- IFEU 2019: Studie des IFEU im Auftrag der Agora Verkehrswende. Agora Verkehrswende (2019): *Klimabilanz von Elektroautos*. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. Zuletzt abgerufen am 19.08.2021 unter https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf