

Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien

Beteiligte Gutachter und Gutachterin



prognos

- Sebastian Lübbers
- Marco Wunsch
- Miriam Lovis



BCG
THE BOSTON CONSULTING GROUP



ewi

- Johannes Wagner



Fraunhofer
ISI

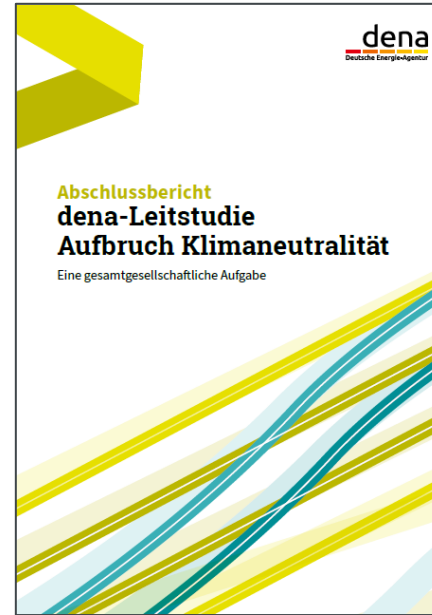
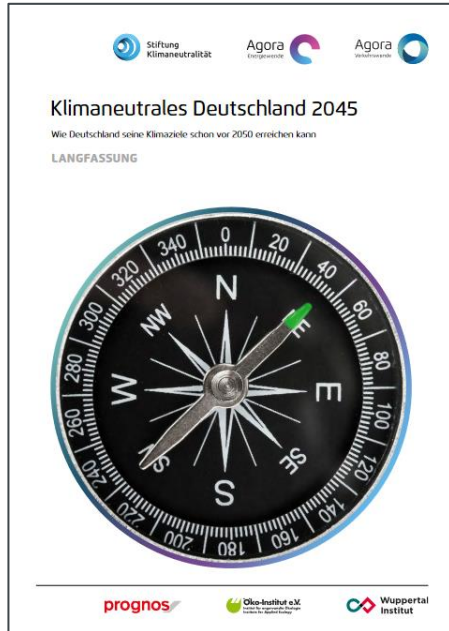
- Frank Sensfuß



PIK

- Gunnar Luderer
- Frederike Bartels

Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien



Übersicht über ausgewählte Szenarien und Modelle

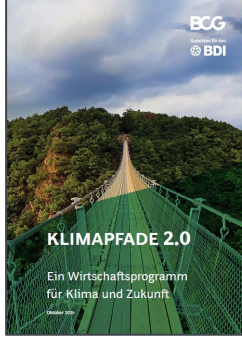
Nr.	Titel	BearbeiterIn	Im Auftrag von	Ausgewählte Szenarien
1	Klimaneutrales Deutschland 2045	Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut	Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende, Agora Verkehrswende	1. KNDE2045
2	Klimapfade 2.0 – Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft	BCG	BDI	2. Klimapfade 2.0 Zielpfad
3	Aufbruch Klimaneutralität	EWI, FIW, ITG, Uni Bremen, Stiftung Umweltenergiericht, Wuppertal-Institut	dena	3. KN 100
4	Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3	Consentec, Fhg- ISI, TU Berlin, ifeu	BMWK	4. TN-Strom
5	Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045	PIK, MCC, PSI, RWI, IER, Hereon, Fhg-ISI, Fhg-ISE, Fhg-IEG, Fhg-IEE,DLR-VF, DLR-VE, DLR-FK	Ariadne - Kopernikus-Projekte	5. REMIND-Mix 6. REMod-Mix 7. TIMES PanEU-Mix 8. FORECAST-Mix 9. DLR-Mix

SKN/Agora – KNDE2045



- Die Studie Klimaneutrales Deutschland 2045 zeigt, dass Deutschland mit einer beschleunigten, umfassenden Nutzung klimafreundlicher Technik und einer starken Klimapolitik die Klimaneutralität bereits im Jahr 2045 erreichen und im Zeitraum ab 2045 mit Netto-Negativemissionen einen zusätzlichen Beitrag für den internationalen Klimaschutz leisten kann. Hierzu ist es nicht notwendig, gegenüber dem Zieljahr 2050 neue Technologiepfade zu beschreiten. Die Transformation des Energiesystems erfolgt allerdings schneller. Dies führt dazu, dass bestimmte Maschinen und Anlagen zum Teil etwas früher ausgetauscht werden.
- Es werden in der Studie keine weitergehenden Verhaltensänderungen in Form von Konsumeinschränkungen unterstellt. Allerdings werden heute erkennbare Trends zu Konsumänderungen stärker berücksichtigt, zum Beispiel beim Markthochlauf von Fleisch- und Milchalternativen und synthetischem Fleisch. Klimaneutralität 2045 kann unter Beibehaltung der zugrunde gelegten Rahmenbedingungen zur demografischen und wirtschaftlichen Entwicklung in Deutschland erreicht werden.
- Für die Auswahl der notwendigen Maßnahmen zur Zielerreichung im Szenario Klimaneutrales Deutschland 2045 ist das Hauptkriterium nach wie vor die Wirtschaftlichkeit. Maßnahmen mit geringeren CO₂-Vermeidungskosten wurden in der Regel vorgezogen. Aufgrund der schnelleren Transformation fand die Frage der technischen Umsetzbarkeit und des möglichen Markthochlaufs eine noch stärkere Beachtung. Berücksichtigt wurden vor allem Technologien mit geringen technischen und wirtschaftlichen Risiken. Der zusätzliche Einsatz von CCS für die schnellere Zielerreichung wurde minimiert; wo immer möglich, wurden alternative Technologien bevorzugt.
- Das Szenario Klimaneutrales Deutschland 2045 berücksichtigt die Treibhausgasemissionen sämtlicher Sektoren. Die Einteilung in die Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr, Industrie, Gebäude, Landwirtschaft, Abfall und Landnutzung wird ebenso wie der Detaillierungsgrad der Analysen beibehalten und ermöglicht so den direkten Vergleich der Studienergebnisse.

BDI - Klimapfade 2.0 – Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft



Energie

- Zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit ist im Zielpfad die Annahme unterstellt, dass Deutschland seine Spitzenlast aus eigener Kraft decken können soll. Dies treibt die notwendige gesicherte Leistung (v.a. Erdgas/H2 Kraftwerke) nach oben.

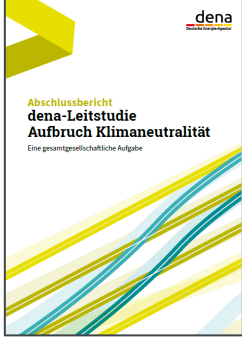
Verkehr

- Zentraler Hebel zur Dekarbonisierung des Verkehrs ist der Antriebswechsel mit überwiegend direkter Elektrifizierung von Pkw, leichten Nutzfahrzeugen sowie eines Großteils schwerer Nutzfahrzeuge. Dennoch bleibt eine ambitionierte Beimischung/Nutzung von 22 % grünen Kraftstoffen (Biokraftstoffe 1. Generation, fortschrittliche Biokraftstoffe, H2 und PtL) bis mind. 2030 für die Dekarbonisierung der Pkw-/Lkw-Bestandsflotten unverzichtbar. Um Nutzungskonkurrenzen bei Biomasse (BDI-Studie unterstellt systemdienlichen Einsatz überwiegend in Industrie und Fernwärme) und PtL auszuschließen, unterstellt BDI-Studie Importe von zusätzliche rd. 3,5 Mt Biokraftstoffen gegenüber 2019 und einen vollständigen PtL-Import. Für die Dekarbonisierung des Straßenverkehrs werden 2030 ca. 3 Mt PtL-Importe benötigt. Diese PtL-Importmengen stehen nach 2030 schrittweise für den steigenden Bedarf der internationalen Verkehre (Luft- und Seeverkehr) zur Verfügung.

Gebäude

- Ein wesentlicher Treiber des Dekarbonisierungspfades im Gebäudesektor bis 2030 war die Annahme, dass – außerhalb urbaner Gebiete, wo Anschlussmöglichkeiten an Fernwärmenetze bestehen/entstehen sollten – ein schnellstmöglicher Umstieg auf die Nutzung von Umweltwärme und Strom erforderlich ist, da bis 2030 keine sinnvollen Alternativen verfügbar sind. Entsprechend gibt es bis 2030 in der BDI-Studie im Gebäudesektor eine vergleichsweise hohe Zahl von Wärmepumpen.
- Das Effizienzniveau, auf das Wohnbestandsgebäude im Durchschnitt saniert werden sollten, um Wärmepumpen kosteneffizient einsetzen zu können, wurde als ein Verbrauchsniveau von 70 kWh/m²/a definiert. Dies entspricht dem Effizienzniveau des zum Zeitpunkt der Studie geltenden Neubaustandards. Im Bestand erfordert dies bei Ein- und Zweifamilienhäusern damit im Durchschnitt eine Halbierung des Energieverbrauchs.

Dena - Aufbruch Klimaneutralität



- Im Rahmen der dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität wurde mit dem Szenario Klimaneutralität 100 (KN100) ein Pfad zur Klimaneutralität in Deutschland und Europa entworfen und quantifiziert. Das KN100 beschreibt eine konsistente Transformation der Endverbrauchssektoren und des Energiesystems unter bestmöglicher Berücksichtigung des aktuell verfügbaren und relevanten Wissens bezüglich Abhängigkeiten und Wechselwirkungen verschiedener Systemkomponenten, Innovationsprozessen sowie techno-ökonomischer und gesellschaftlicher Entwicklungen.
- Für die Endverbrauchssektoren Industrie, Verkehr und Gebäude wurden exogene Transformationspfade basierend auf Bottom-Up-Modellen entwickelt. Der Gebäudesektor wurde von FIW/ITG modelliert, Verkehr und Industrie vom EWI. Die kostenminimale Bereitstellung der Endenergiebedarfe im Umwandlungssektor wurde mit dem EWI Energiesystemmodell DIMENSION simuliert.
- Ein wichtiges Merkmal der Studie ist das Zusammenbringen von wissenschaftlicher Modellierung, fachlichem Austausch mit gesellschaftlichen Akteuren und branchenspezifischer Praxiserfahrung. Die Parametrierung der Transformationspfade sowie der Energiesystemmodellierung wurde gemeinsam mit Vertretern und Experten unterschiedlichster Branchen (Multi-Stakeholder-Ansatz) diskutiert, mit dem Ziel, eine fundierte Basis für den gesellschaftlichen und politischen Diskurs zur Klimaneutralität in Deutschland zu schaffen.
- Das Szenario KN100 orientiert sich am Klimaschutzgesetz 2021. Sowohl die sektorspezifischen als auch die sektorenübergreifenden Emissionsziele werden erreicht. Auf europäischer Ebene wird ebenfalls ein Emissionsminderung unterstellt, die sich an den Zielen der Europäischen Union orientiert. Bis zum Jahr 2030 wird eine Emissionsminderung von 55 % gegenüber 1990 unterstellt sowie Klimaneutralität bis 2050.
- Zusätzlich werden vier Pfadausprägungen betrachtet in denen die Entwicklung der Endverbrauchssektoren in den Dimensionen Elektrifizierung und Effizienzentwicklung gegenüber dem Hauptszenario KN100 variiert werden.
- Detaillierte Informationen zu Annahmen und Ergebnissen der Modellierung sind unter www.ewi.uni-koeln.de/publikationen/dena-ls2 zu finden.

BMWK - Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3

TN-Strom

- Zentrale Fragestellung: Welche techno-ökonomischen Wirkungen haben bestimmte Pfade zur Dekarbonisierung des Energiesystems?
- Vorgehensweise:
 - Modellierung diverser Szenarien zum Vergleich alternativer Transformationspfade
 - Modellierung des gesamten Energiesystems
 - Modellverbund: Kopplung von spezialisierten Sektormodellen für Gebäude, Industrie, Verkehr, GHD & Geräte, Energieangebot (Strom, Wärme, Wasserstoff), Gasnetze und Stromnetze, um eine möglichst hohe Auflösung zu erreichen
- Für den nachfolgenden Szenarienvergleich sind die Daten des Szenarios TN-Strom herangezogen worden, das auf einen starken Einsatz von Strom in den Nachfragesektoren setzt.
- Dieses Szenario wurde vor der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes modelliert, so dass in diesem Szenario Treibhausgasneutralität erst in 2050 erreicht wird.
- Weitere Informationen zu dem Projekt unter www.langfristszenarien.de




Ariadne - Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045



Ariadne-Philosophie: Robuste Eigenschaften und relevante Unsicherheiten von Transformationspfaden

- Im Modellvergleich kombiniert Ariadne die Realisierungen von sechs Gesamtsystem- und Sektormodellen zur Exploration möglicher Transformationsfaden zur Klimaneutralität 2045 mit unterschiedlichen technologischen Schwerpunkten.
- Die Gesamtsystemmodelle berücksichtigen dabei sektorübergreifende energiewirtschaftliche Wechselwirkungen, während die Sektormodelle eine Perspektive auf sektorspezifische Transformationschancen und –herausforderungen ermöglichen.
- Die Vielfalt der Modelle erlaubt es, eine große Bandbreite an relevanten strukturellen Unsicherheiten und Optionen aufzuzeigen. Gleichzeitig werden über die Modelle hinweg robuste Eigenschaften der Transformation herausgearbeitet.
- Der vorliegende Studienvergleich greift das Technologiemix-Szenario heraus, dargestellt aus Gesamtsystem- und Sektorsperspektive.

Big Five Szenario	Ariadne-Zielszenario	Ariadne-Modell
REMIND-Mix	Technologiemix  <ul style="list-style-type: none"> • Erschließung der wirtschaftlichen Potenziale der direkten Elektrifizierung • Zusätzlich Nutzung von Wasserstoff und E-Fuels • EE-Importpotenzial auf 250-350TWh beschränkt (2045) • Sektorübergreifende Flexibilität bei der Erreichung des 65%-Ziels für 2030. 	REMIND – modelliert Deutschlands Energieökonomie im Kontext des globalen Wandels. Es verbindet ein intertemporales makro-ökonomisches Wachstumsmodell mit einer detaillierten Darstellung des Energiesystem und der Nachfragesektoren Verkehr, Gebäude und Transport.
REMod-Mix		REMod – sektorübergreifendes Energiesystemmodell, das technisch umsetzbare und kostengünstige Klimaschutzpfade des deutschen Energiesystems bis 2050 berechnet. Die stündliche Auflösung ermöglicht eine detaillierte Modellierung von EE-Integration und Sektorenkopplung. REMod ist auch Sektorleitmodell für die Gebäudewärme.
TIMES PanEU-Mix		TIMES PanEU - 30 Regionen umfassendes Pan-Europäisches Energiesystemmodell, das auf einzelstaatlicher Ebene alle an der Energieversorgung und -nachfrage beteiligten Sektoren enthält. Das Modell unterstellt bei Berücksichtigung von Restriktionen einen vollständigen Wettbewerb zwischen verschiedenen Technologien bzw. Energieumwandlungspfaden.
FORECAST-Mix		Forecast - bottom-up Energienachfrage- und Technologiemodell des Industriesektors. Energieverbrauch, Emissionen und Kosten werden für acht Einzelsektoren auf Prozessebene berechnet.
DLR-Mix		DLR/DEMO/Vector21 – Modellfamilie Verkehrssektor Deutschland; DLR-DEMO: Verkehrsentwicklung in allen Bereichen und für alle Verkehrsträger; DLR-Vector21: Marktentwicklung von Fahrzeugtechnologien; DLR: Emissionen und Endenergie.

Agenda

1.

THG-Emissionen und EEV

2.

Energiewirtschaft

3.

Industrie

4.

Gebäude

5.

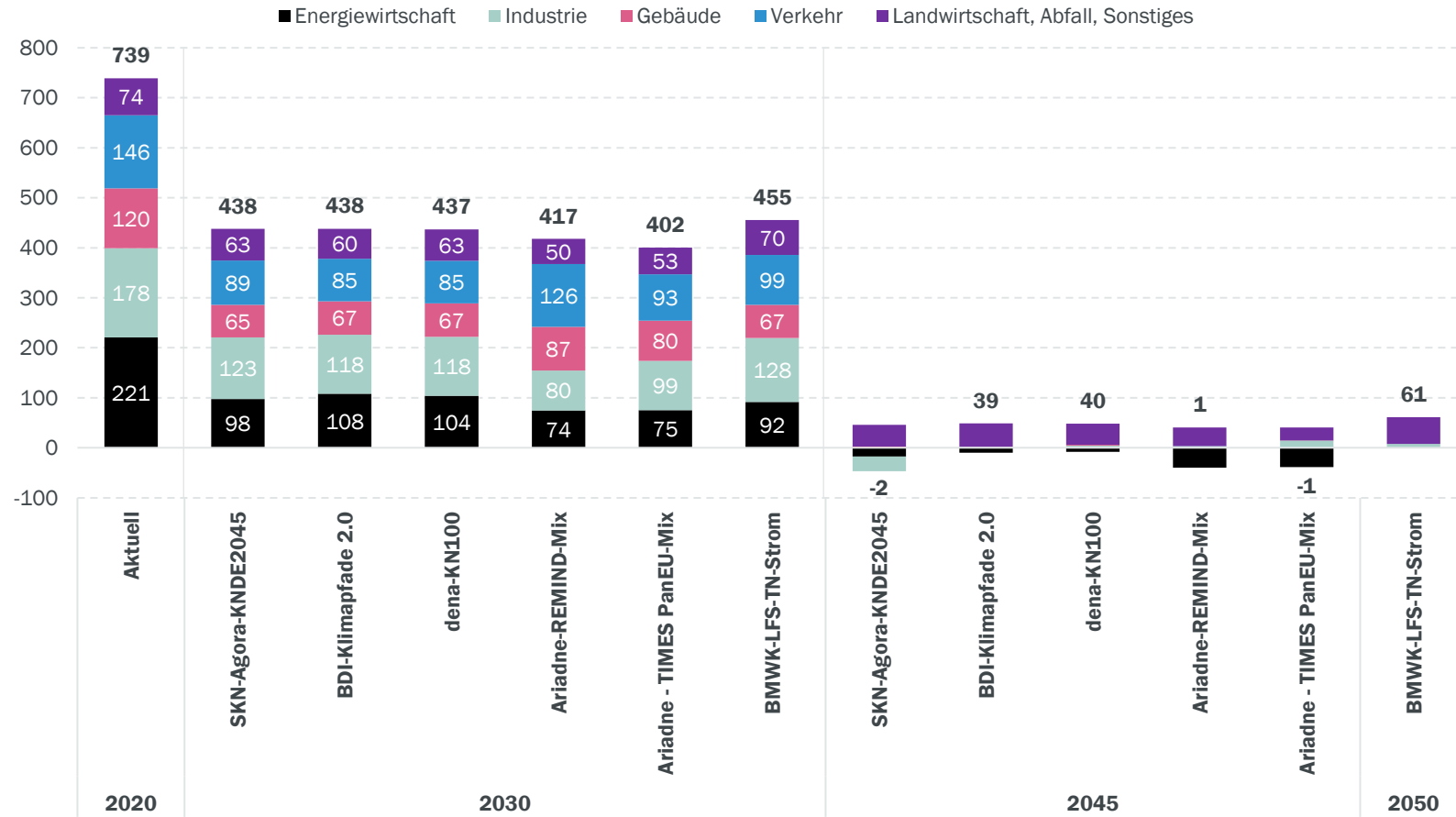
Verkehr

6.

Übergeordnete Ergebnisse

THG-Emissionen ohne LULUCF

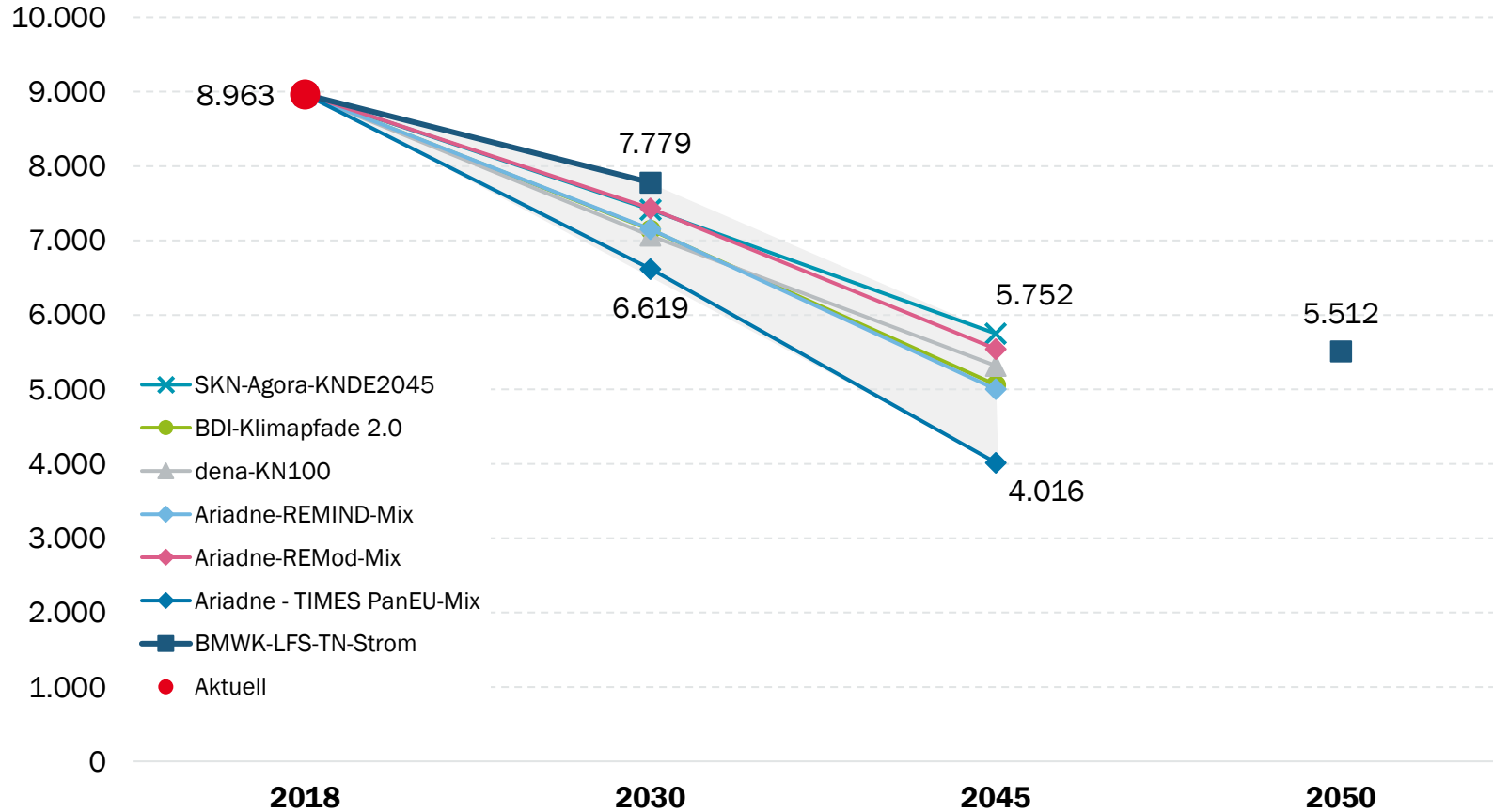
[MtCO₂äq/a]



- Alle Szenarien **erreichen** mindestens **65 % THG-Minderung bis 2030** (BMWK-LFS-TN-Strom erreicht das 65%-Ziel unter Berücksichtigung der negativen Emissionen des LULUCF-Sektors, gemäß KSG -25 Mt)
- **Sektorziel** für Energiewirtschaft für 2030 wird von allen Szenarien **eingehalten** und z.T. deutlich übererfüllt
- Großteil der **residualen Emissionen** im Jahr 2045 stammen aus dem **Landwirtschaftssektor**

Endenergieverbrauch

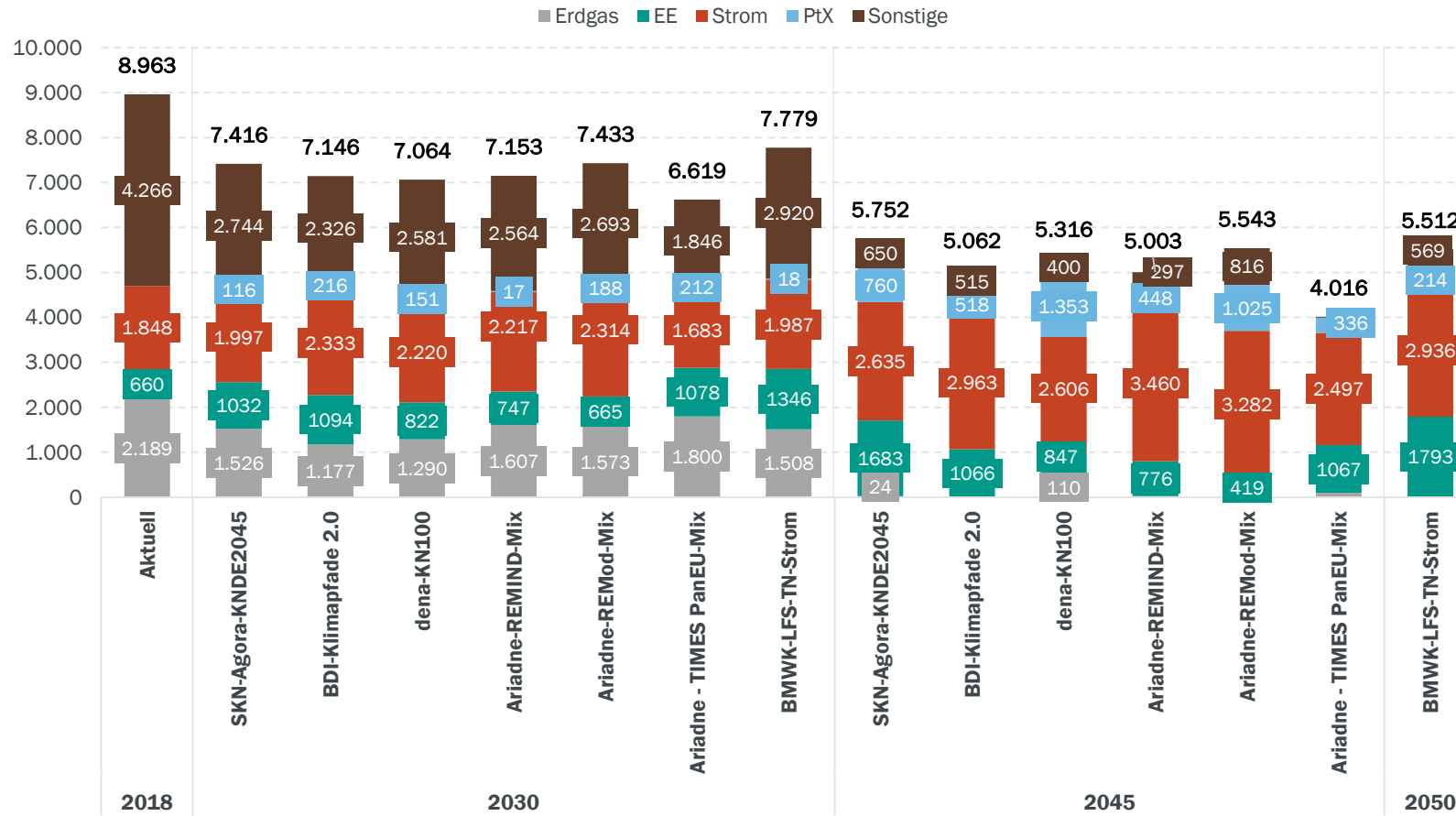
[PJ/a]



- Abgesehen von einer Ausnahme erwarten die Studien einen **Rückgang** des EEV bis 2030 um **rund 20 %**, bis **2045** um **rund 45 %**.

Endenergieverbrauch nach Energieträger

[PJ/a]



- Erdgasverbrauch sinkt bis 2030, macht aber weiterhin großen Anteil vom EEV aus (16 – 27 %)
- Große Bandbreite Anteil PtX am EEV im Jahr 2045 zwischen 4 und 25 %
- Strom wird bis zum Jahr 2045 in allen Szenarien der dominante Energieträger im EEV sein → Anteil Strom am EEV steigt von rund 20 % im Jahr 2020 auf 25 bis 33 % im Jahr 2030 und auf 46 bis 69 % im Jahr 2045

Agenda

1.

THG-Emissionen und EEV

2.

Energiewirtschaft

3.

Industrie

4.

Gebäude

5.

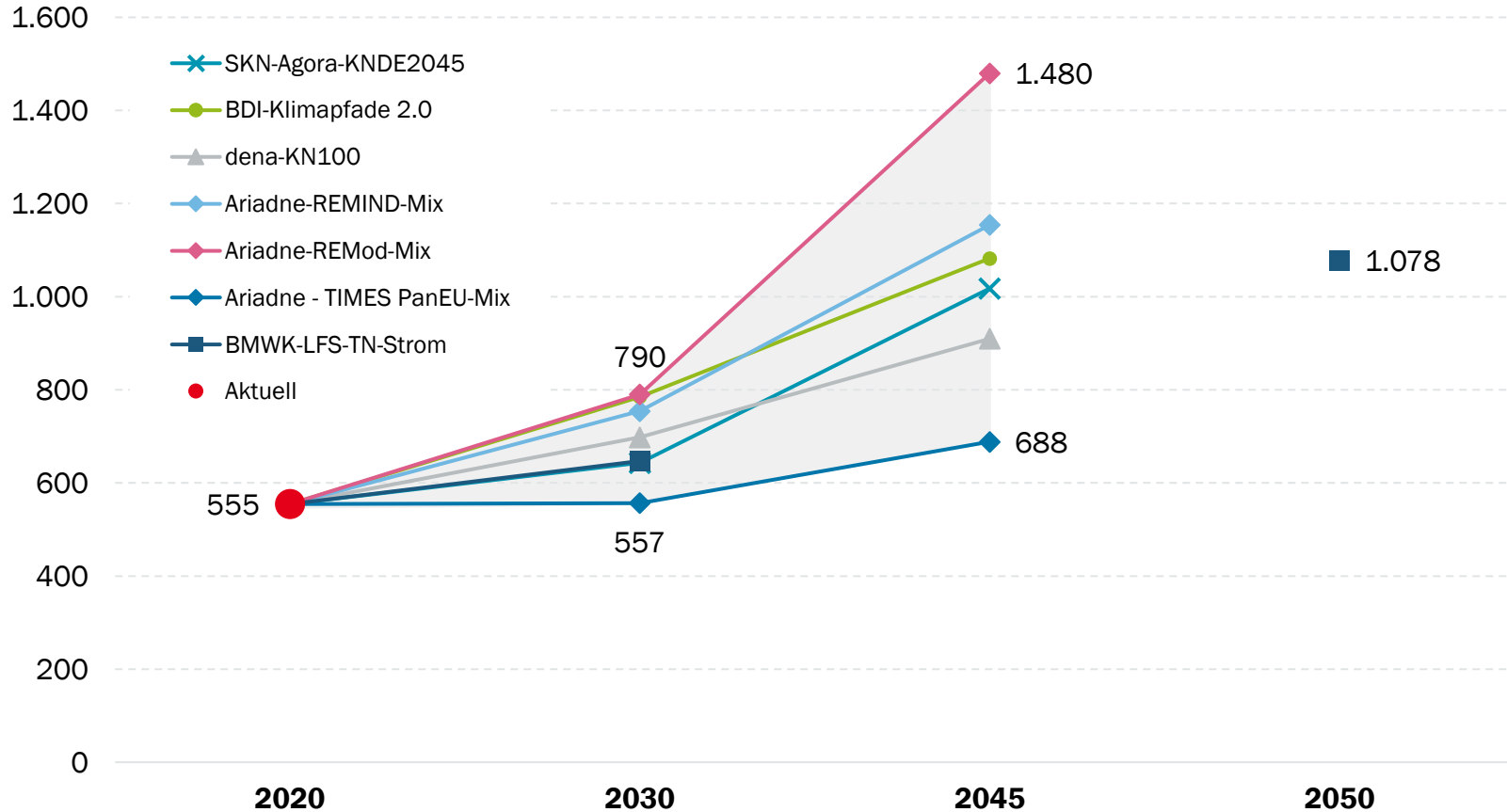
Verkehr

6.

Übergeordnete Ergebnisse

Bruttostromverbrauch

[TWh]

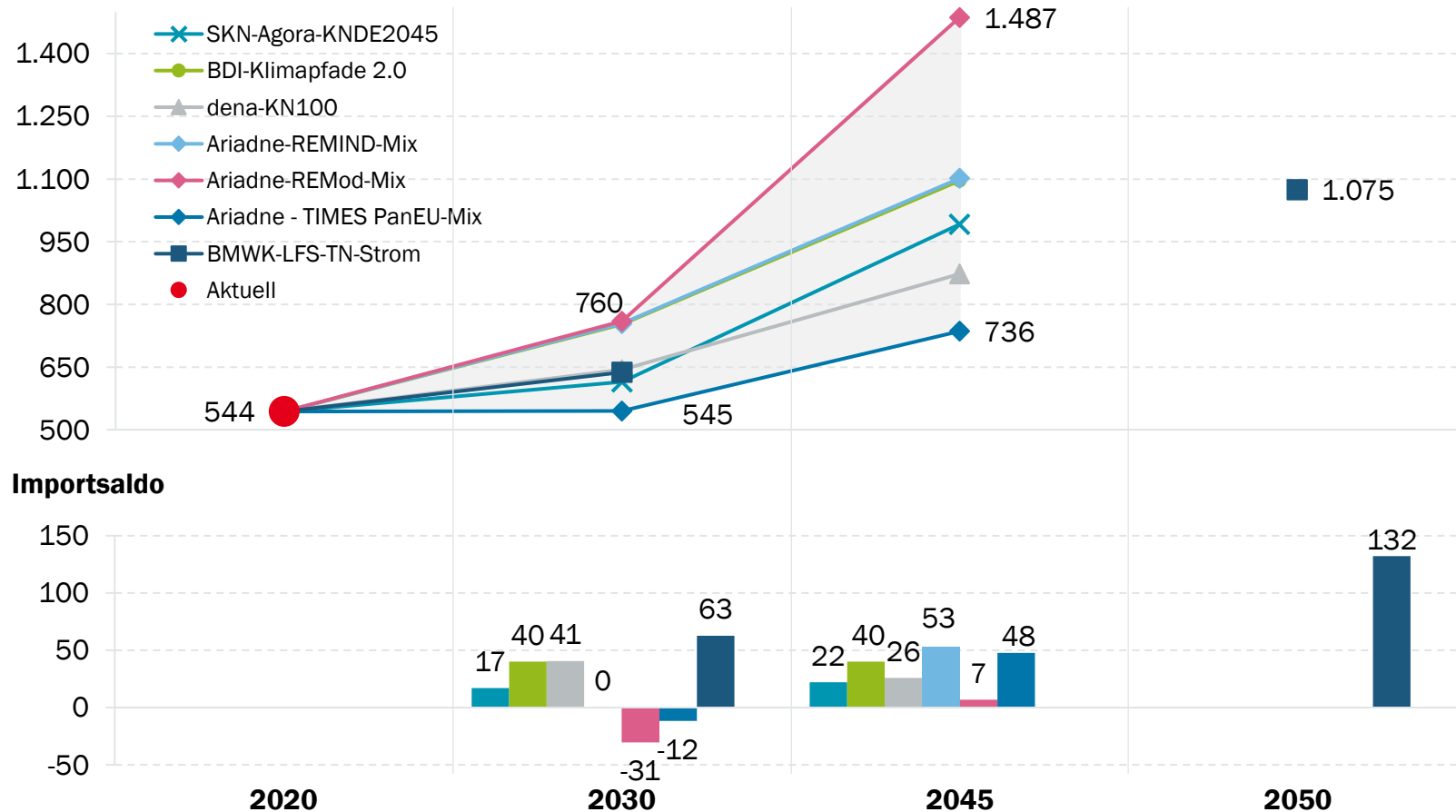


- **Wesentliche Varianz schon bis 2030, über Zeitverlauf bis 2045 steigend (Faktor 2)**
- **Differenz durch unterschiedlichen Einsatz von Elektrolyseuren, den Elektrifizierungsgrad in den Endnutzungssektoren (Industrie, Gebäude und Verkehr), sowie die Anwendung von Energieeffizienzmaßnahmen**
- **Anteil Elektrolyse am Stromverbrauch in 2030 bis zu 9 % (~68 TWh) und in 2045 bis zu 18 % (~ 263 TWh)**

Nettostromerzeugung

[TWh]

Nettostromerzeugung

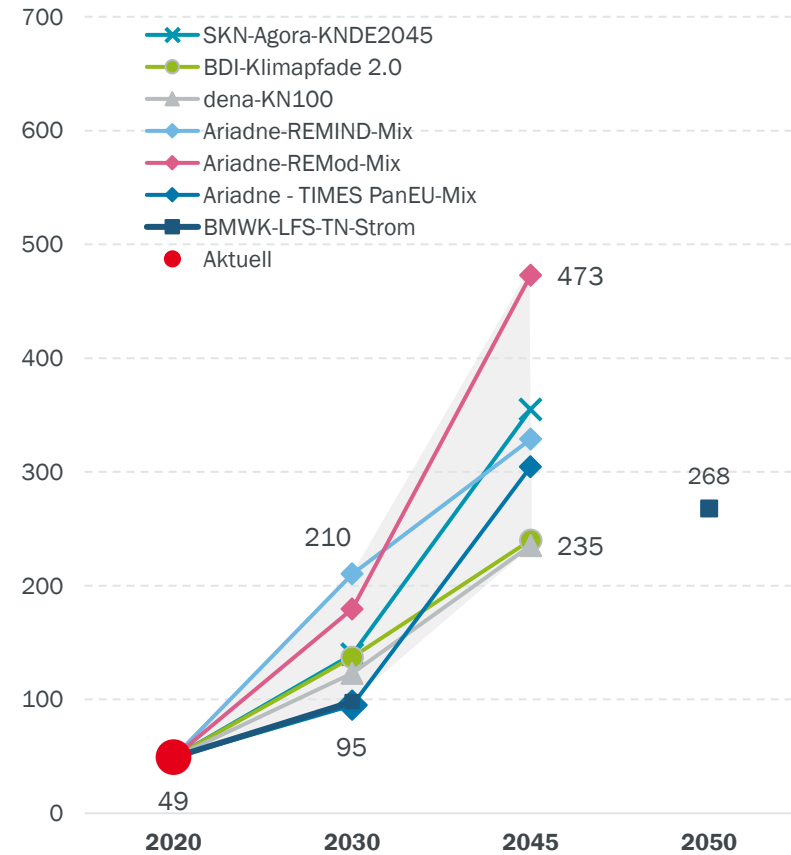


- Im Zeitverlauf bis 2045 **steigende Varianz**
- **Nettostromerzeugung** steigt bis 2045 um mindestens 35 %, davon machen **Wind und PV** einen Anteil in 2030 von mind. 60 % und in 2045 von mind. 86 % aus
- Stromerzeugung aus **Erdgas** nimmt bis 2025/2030 in allen Szenarien zu, danach starker Rückgang und teilweiser Wechsel zur H₂-Verstromung
- In allen Szenarien wird H₂ zur **Stromerzeugung** eingesetzt
- Verstromung aus **Biomasse** nimmt bis 2045 in allen Szenarien ab
- Alle Szenarien weisen für 2045 einen **positiven Importsaldo** auf

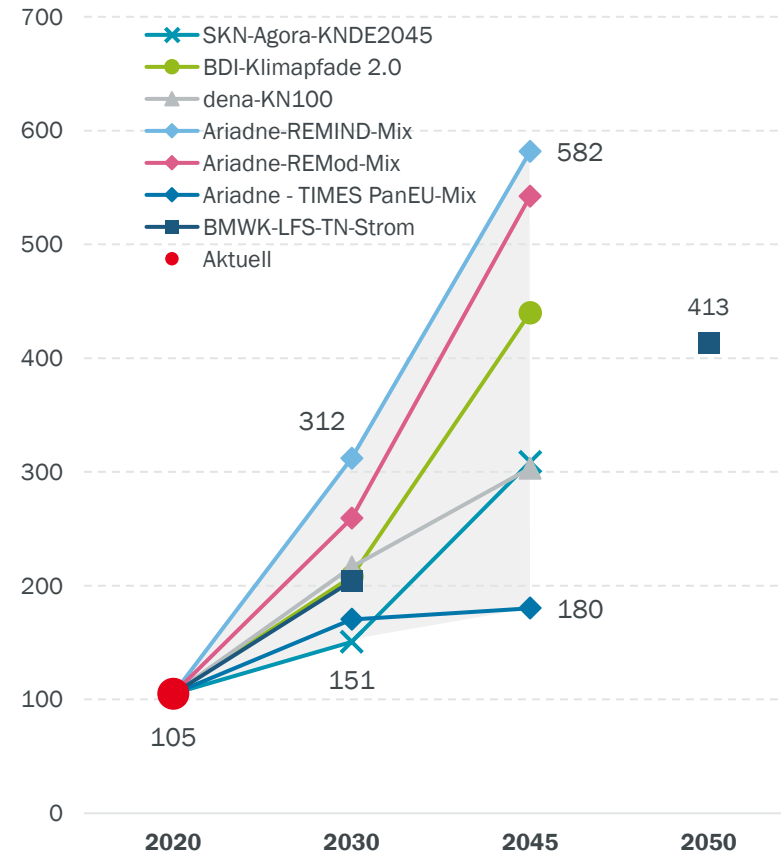
Stromerzeugung aus Photovoltaik und Wind

[TWh]

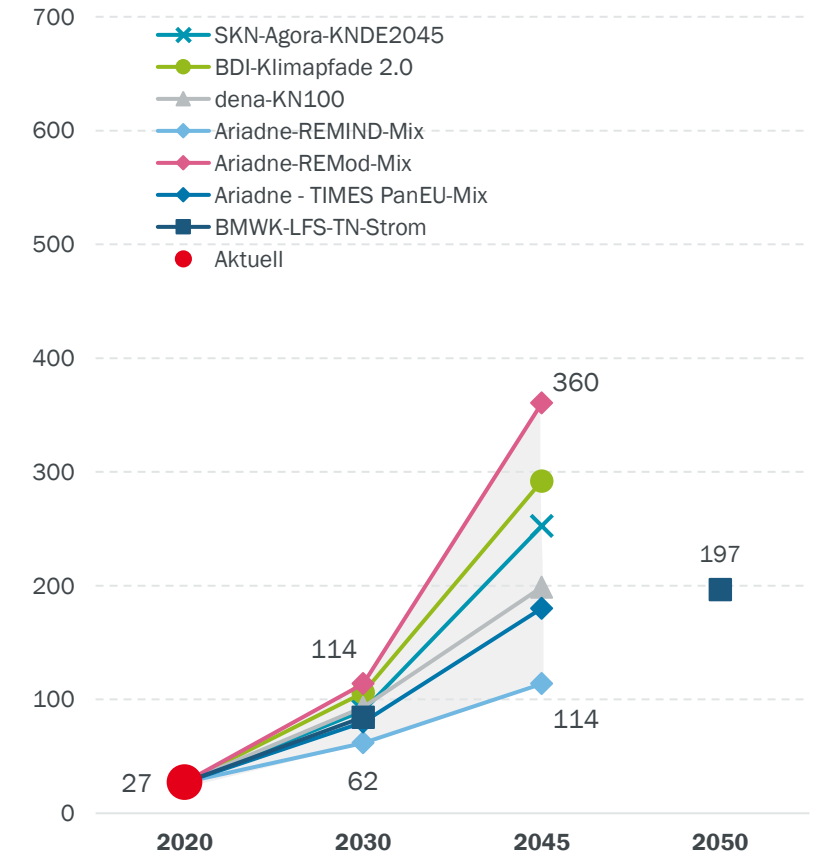
PV



Wind onshore

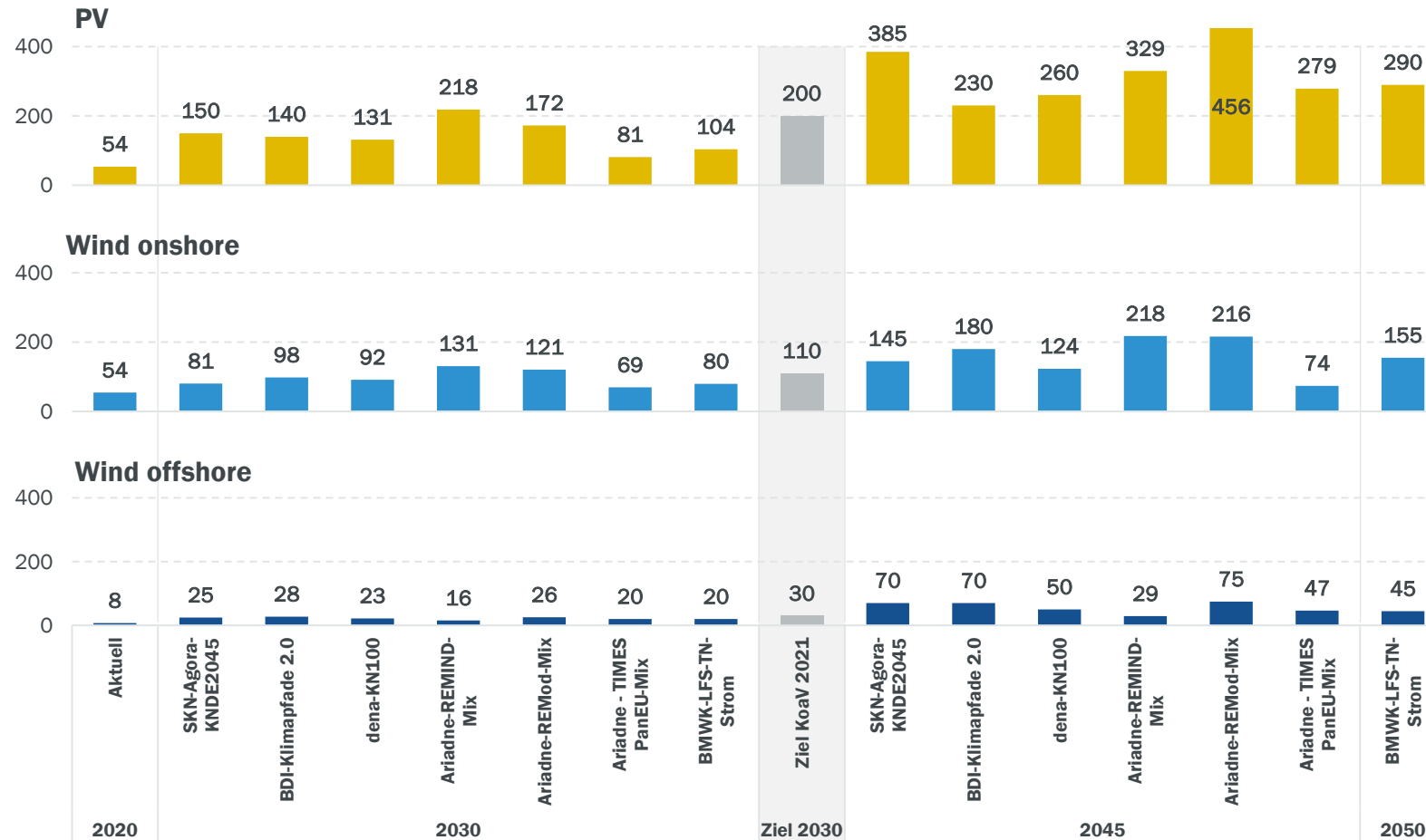


Wind offshore



Installierte Leistung PV und Wind on-/offshore

[GW]



Installierte Leistung PV

- Großteil der Szenarien erreicht nicht das neue PV-Ziel von 200 GW in 2030 aus dem KoA 2021
- In allen Szenarien ist der Ausbau der PV-Kapazitäten bis 2030 der größte

Installierte Leistung Wind onshore

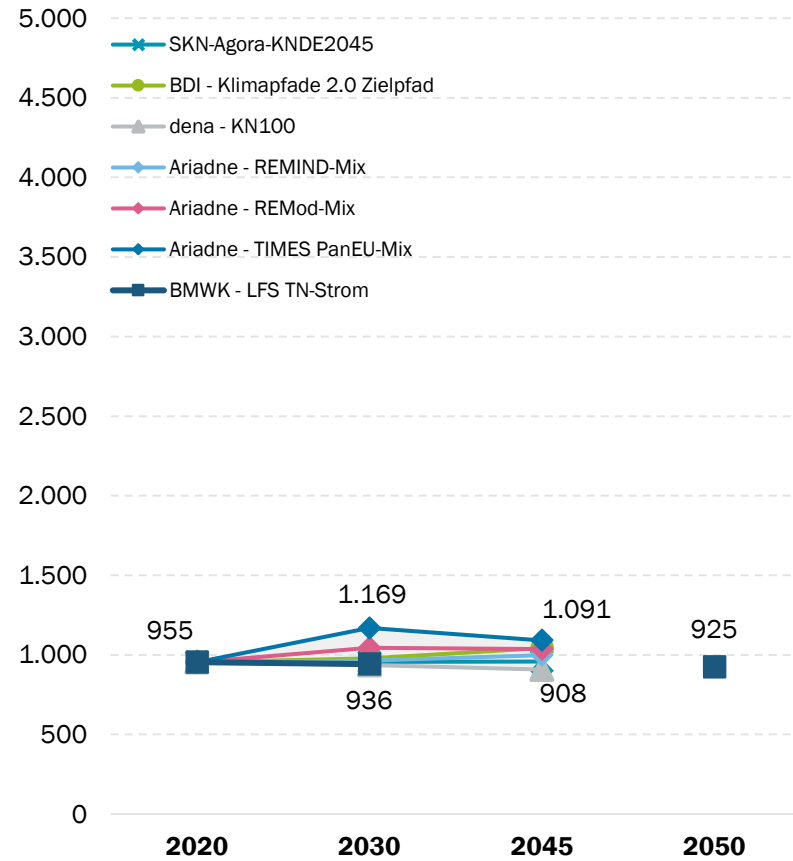
- 2 aus 6 Szenarien erreichen das neue Wind onshore-Ziel von 110 GW in 2030 aus dem KoA 2021

Installierte Leistung Wind offshore

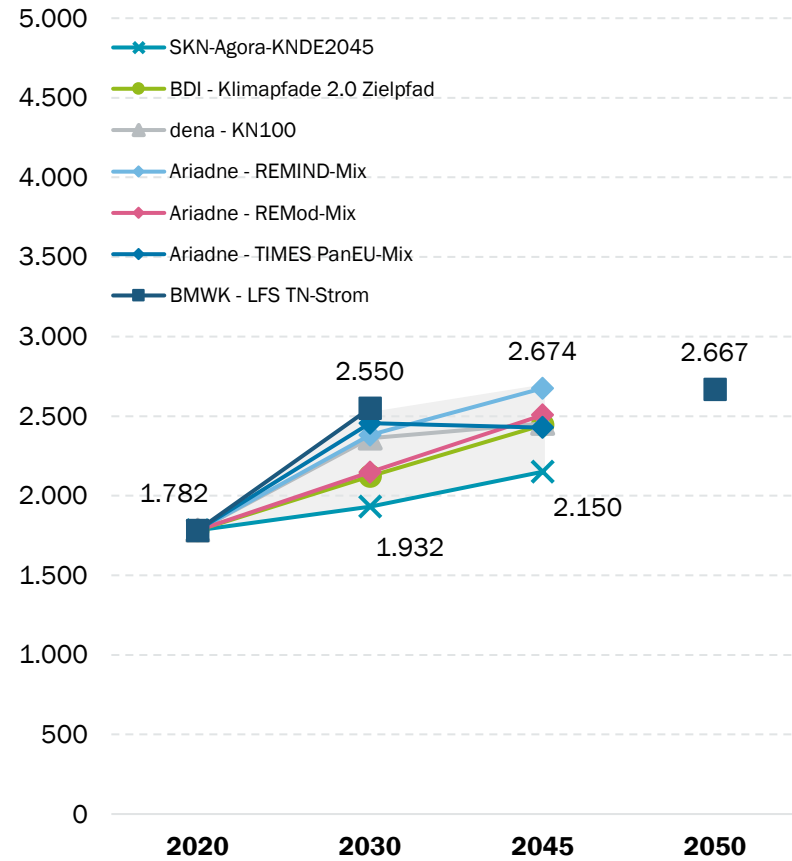
- Kein Szenario erreicht das neue Wind offshore-Ziel von 30 GW in 2030 aus dem KoA 2021
- Alle Szenarien weisen mindestens eine Verdopplung der Kapazitäten bis 2030 vor

Vollbetriebsstunden PV und Wind

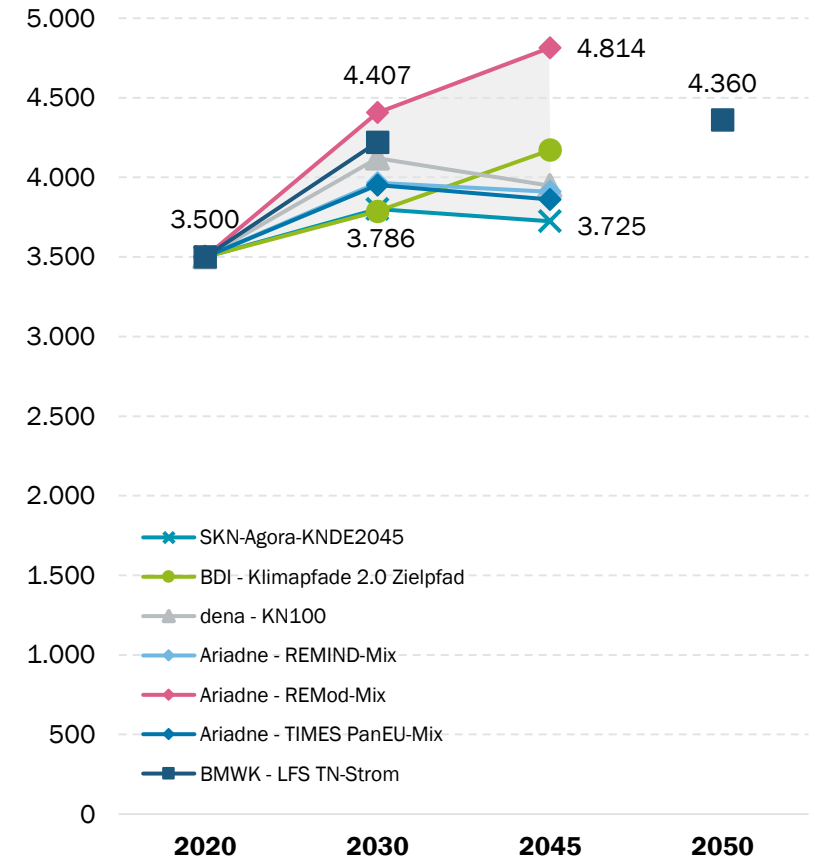
PV



Wind onshore

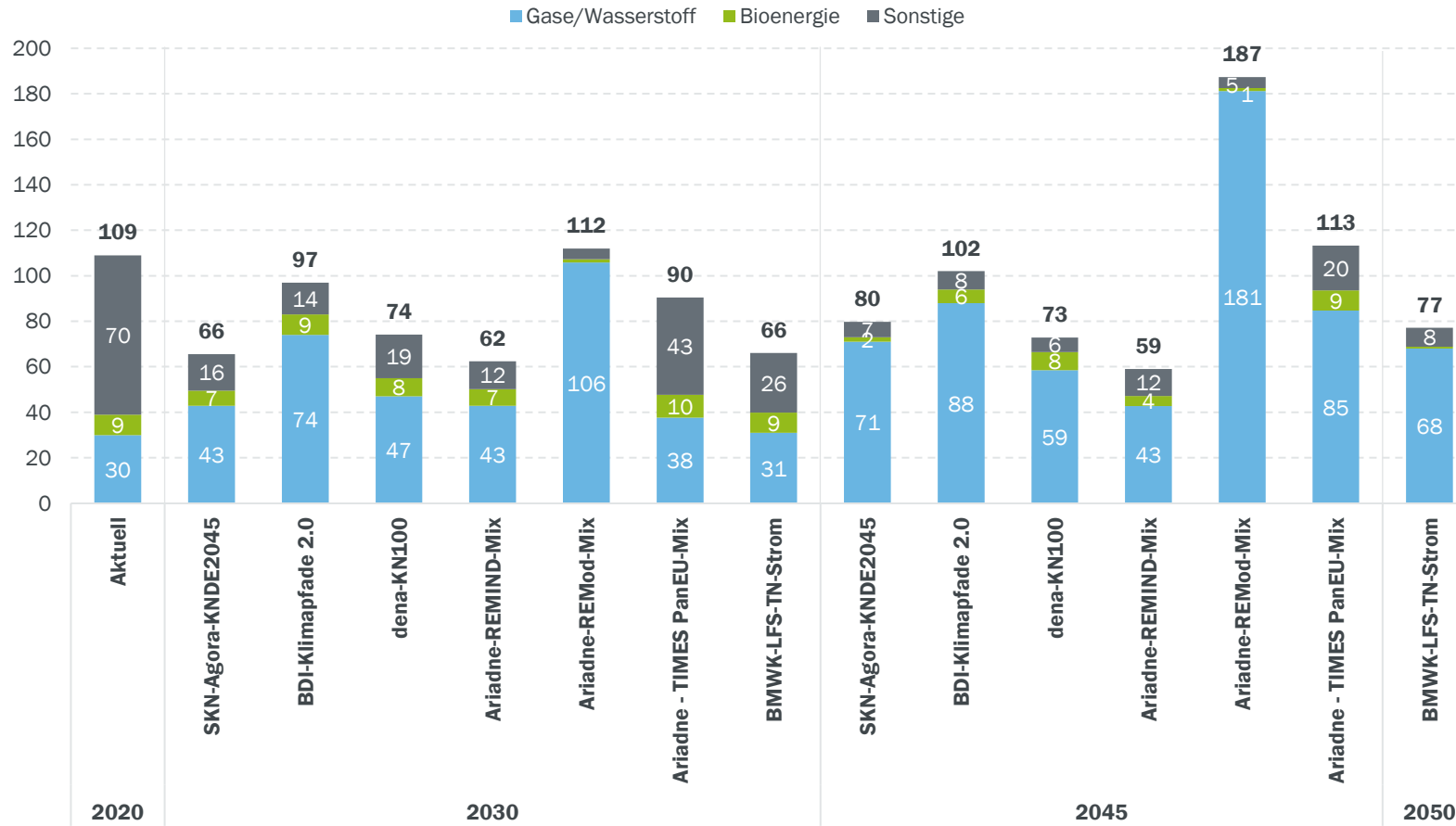


Wind offshore



Installierte Leistung Regelbare Kraftwerke

[GW]



Installierte Leistung Gas/H₂-Kapazitäten

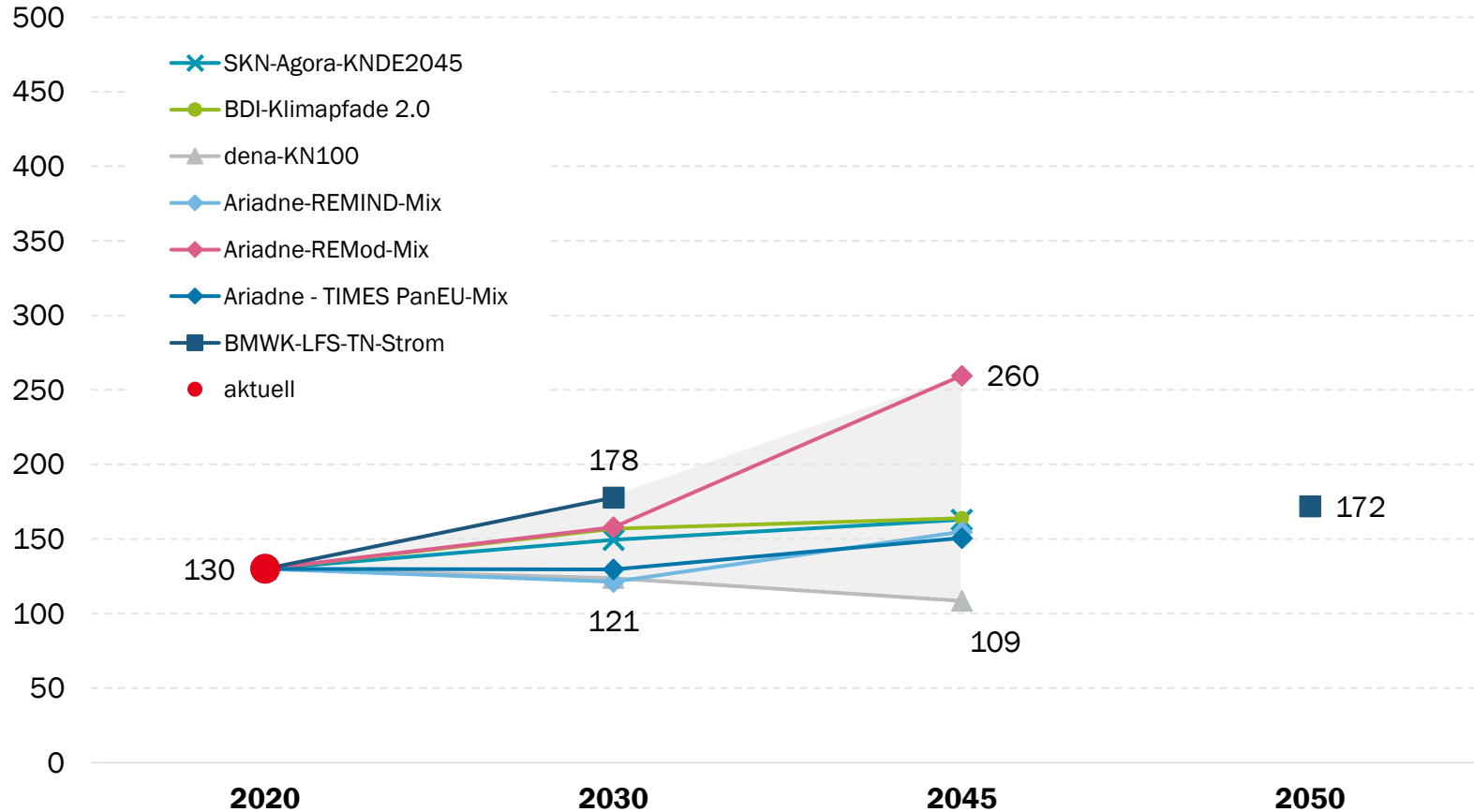
- Alle Szenarien zeigen einen Anstieg der installierten Leistung von Gaskraftwerken bis 2030
- Die Bandbreite ist sehr groß und reicht von 31 GW bis auf 106 GW im Jahr 2030

Installierte Leistung Bioenergie

- Keine Zunahme der Bioenergie, stattdessen stagniert der Anteil der Bioenergie bzw. sinkt langfristig bis 2045

Fernwärmeerzeugung

[TWh/a]



- Abgesehen der beiden Ausreißer nach oben und unten liegt langfristig ein einheitliches Bild über die Erzeugungsmenge (~161 TWh) vor
- Ariadne-Szenarien haben keinen H₂-Einsatz in der Fernwärme, bis 2030 sieht nur SKN/Agora einen H₂-Einsatz vor
- Kein einheitliches Bild über den Einsatz von Biomasse in der Fernwärme → 50 % der Szenarien erwarten einen sinkenden Anteil, die anderen 50 % erwarten einen steigender Einsatz
- Alle Szenarien außer dena-KN100 sehen langfristig eine steigende Fernwärmeerzeugung. Die Anzahl der mit Wärmenetzen versorgten Wohneinheiten steigt jedoch auch in dena-KN100 deutlich an und liegt in 2045 43 % über den heutigen Werten.

Agenda

1.

THG-Emissionen und EEV

2.

Energiewirtschaft

3.

Industrie

4.

Gebäude

5.

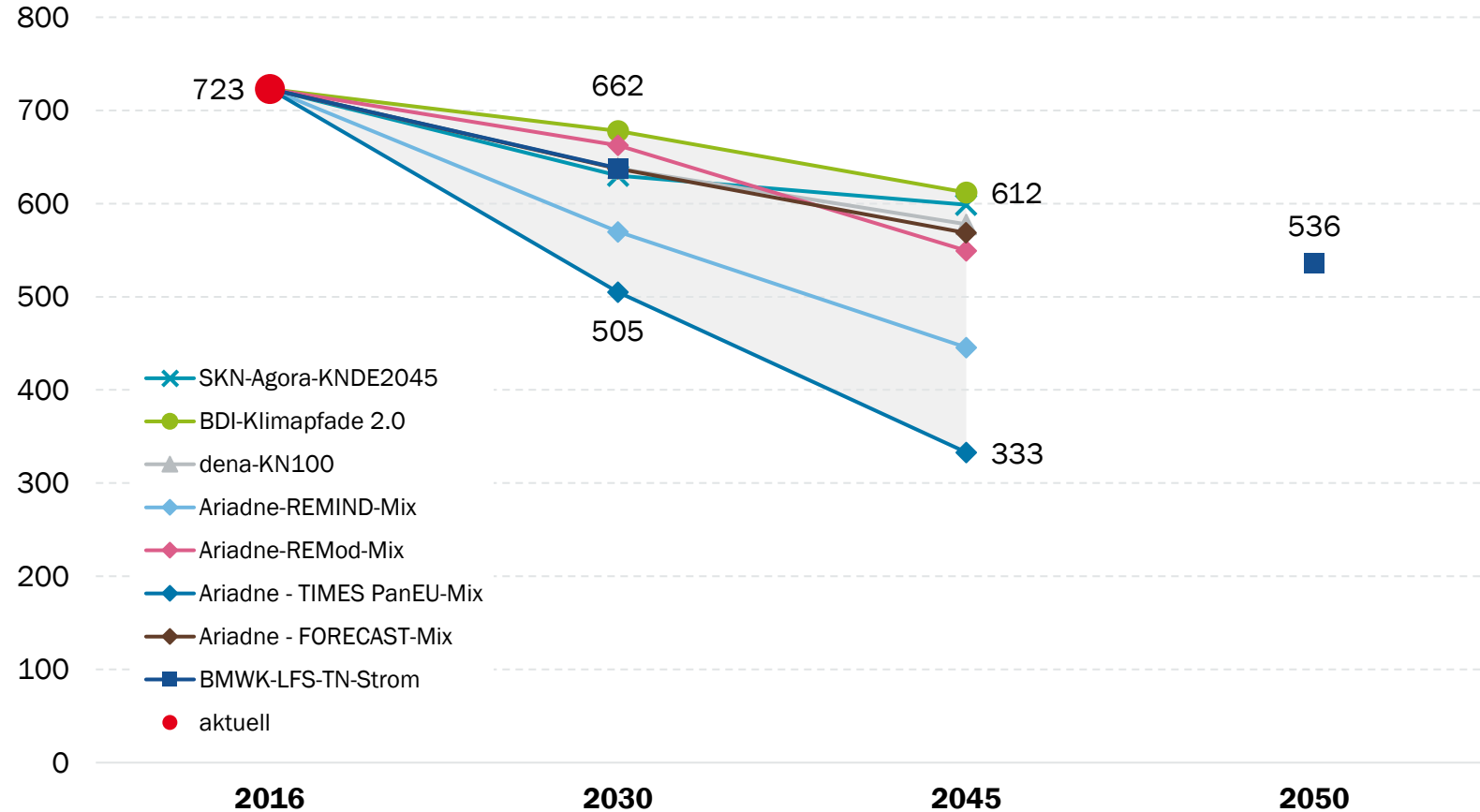
Verkehr

6.

Übergeordnete Ergebnisse

Endenergieverbrauch der Industrie

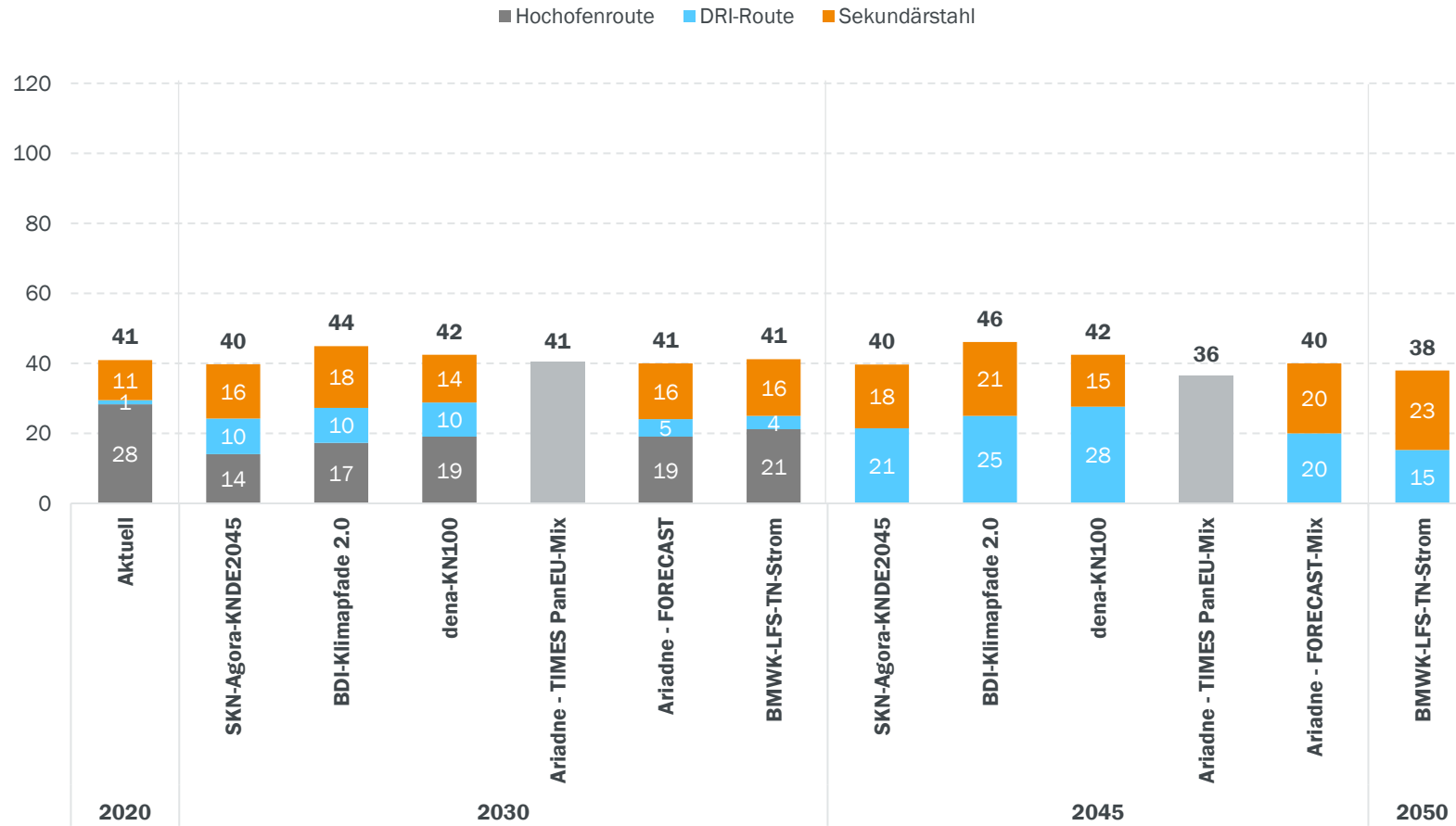
[TWh]



- Alle Szenarien weisen mittel- und langfristig einen **Rückgang** des EEVs auf, den stärksten Rückgang erwarten zwei der Ariadne-Szenarien
- **Elektrifizierung** der Industrie nimmt bis 2045 zu
- Alle Szenarien weisen eine **Zunahme** vom Anteil H₂ auf, beim Einsatz von Biomasse unterschiedliches Bild

Entwicklung der Stahlerzeugung in Deutschland

[Mt]



- Gesamte **Stahlmenge** bleibt bis 2045 konstant bzw. leicht steigend beim BDI-Szenario
- Langfristig wird die **Hochofenroute** durch **DRI-Stahl** ersetzt
- In **2045** wird die gesamte Stahlmenge durch **DRI** und **Sekundärstahl** gedeckt

Agenda

1.

THG-Emissionen und EEV

2.

Energiewirtschaft

3.

Industrie

4.

Gebäude

5.

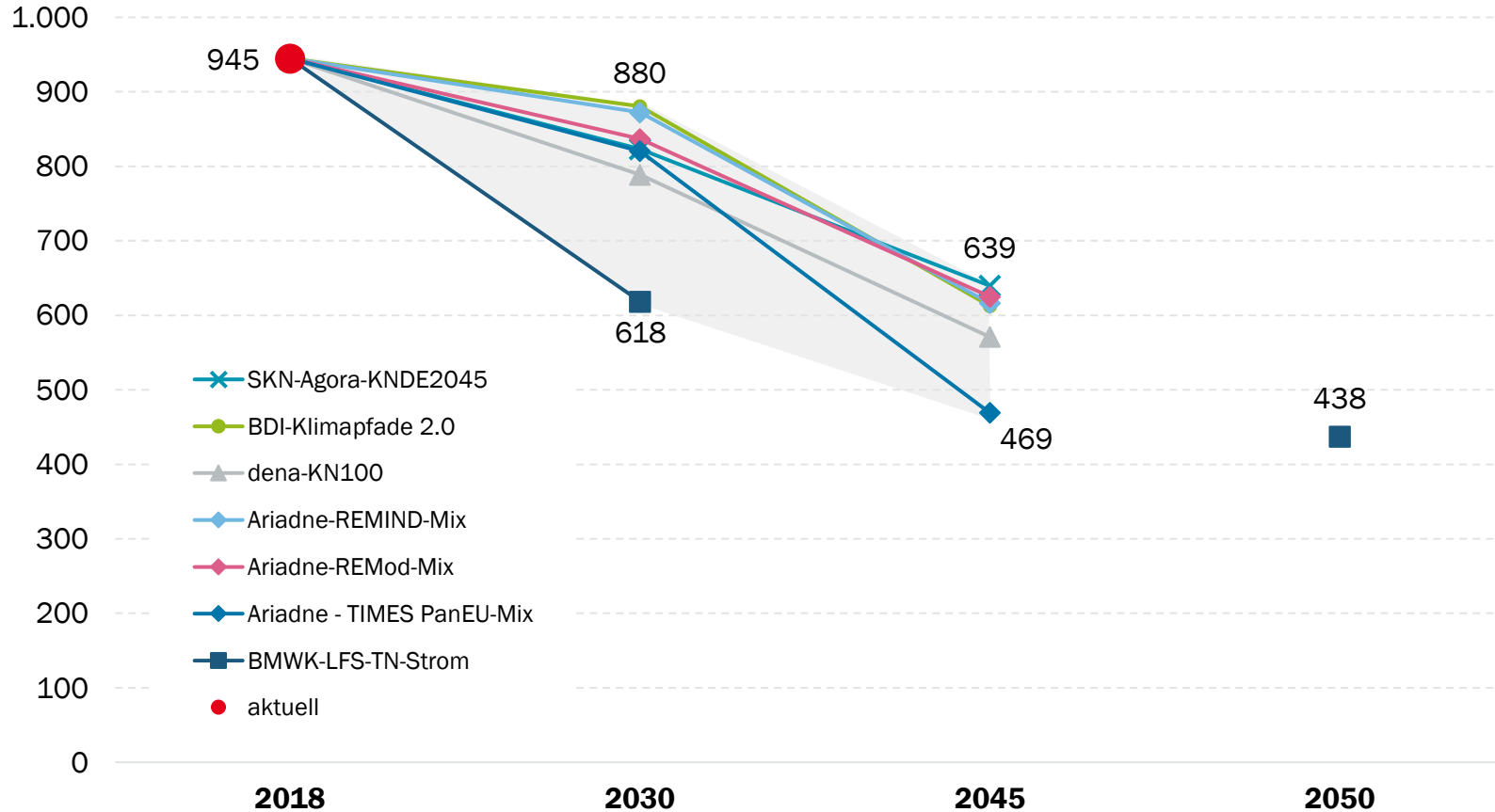
Verkehr

6.

Übergeordnete Ergebnisse

Endenergieverbrauch der Gebäude (PHH+GHD)

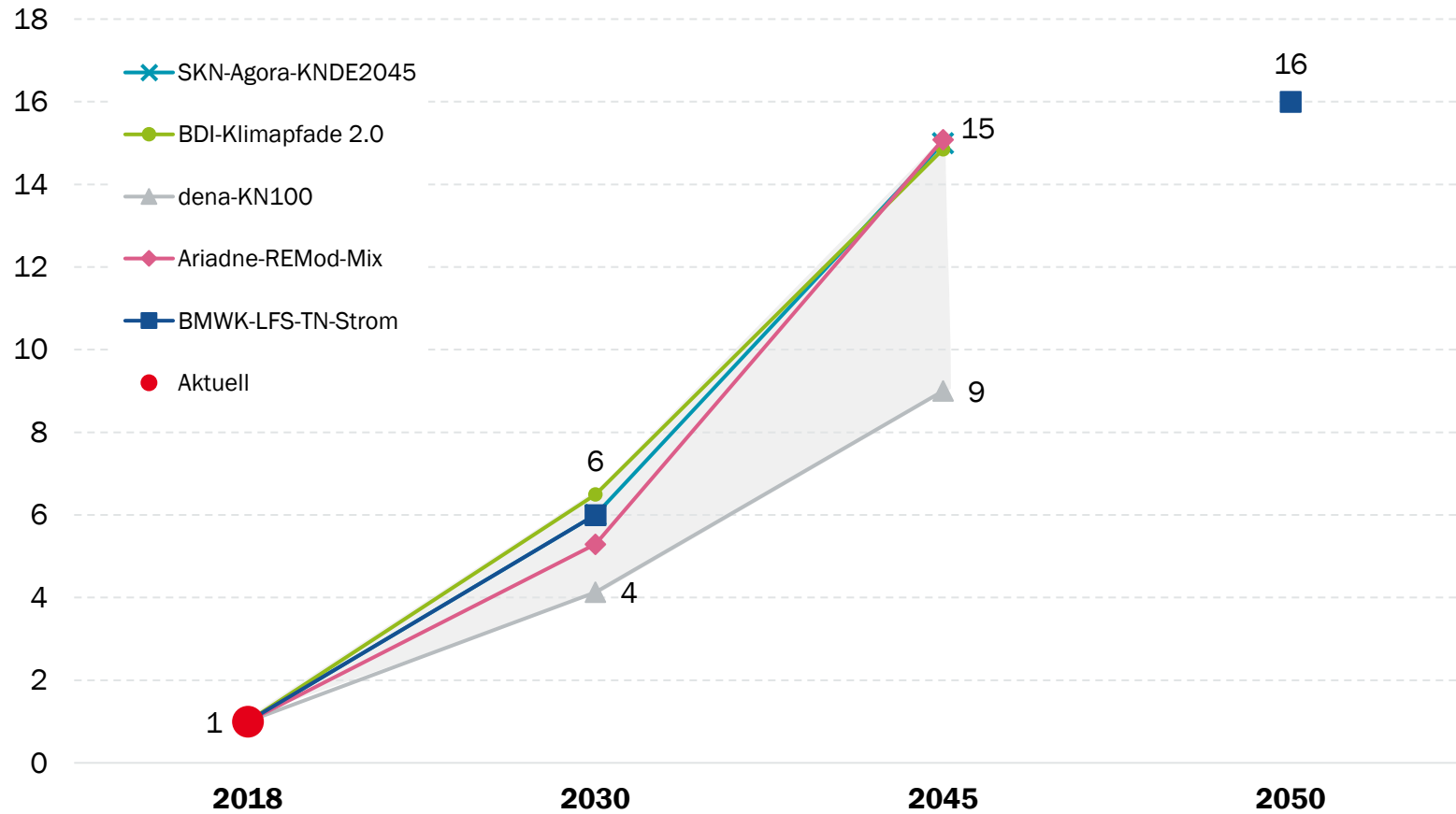
[TWh]



- Szenarien sagen für 2030 mehrheitlich einen EEV zwischen rund 780 und 880 TWh voraus – wobei 100 TWh angesichts der Trägheit des Gebäudesektors und der bereits heute auftretenden Zielverfehlungen eine sehr große Spannweite darstellt
- Kein einheitliches Bild über den Einsatz von Biomasse und H₂
- Steigende Sanierungsrate für PHH bis 2030 auf mindestens 1,6 %

Anzahl Wärmepumpen

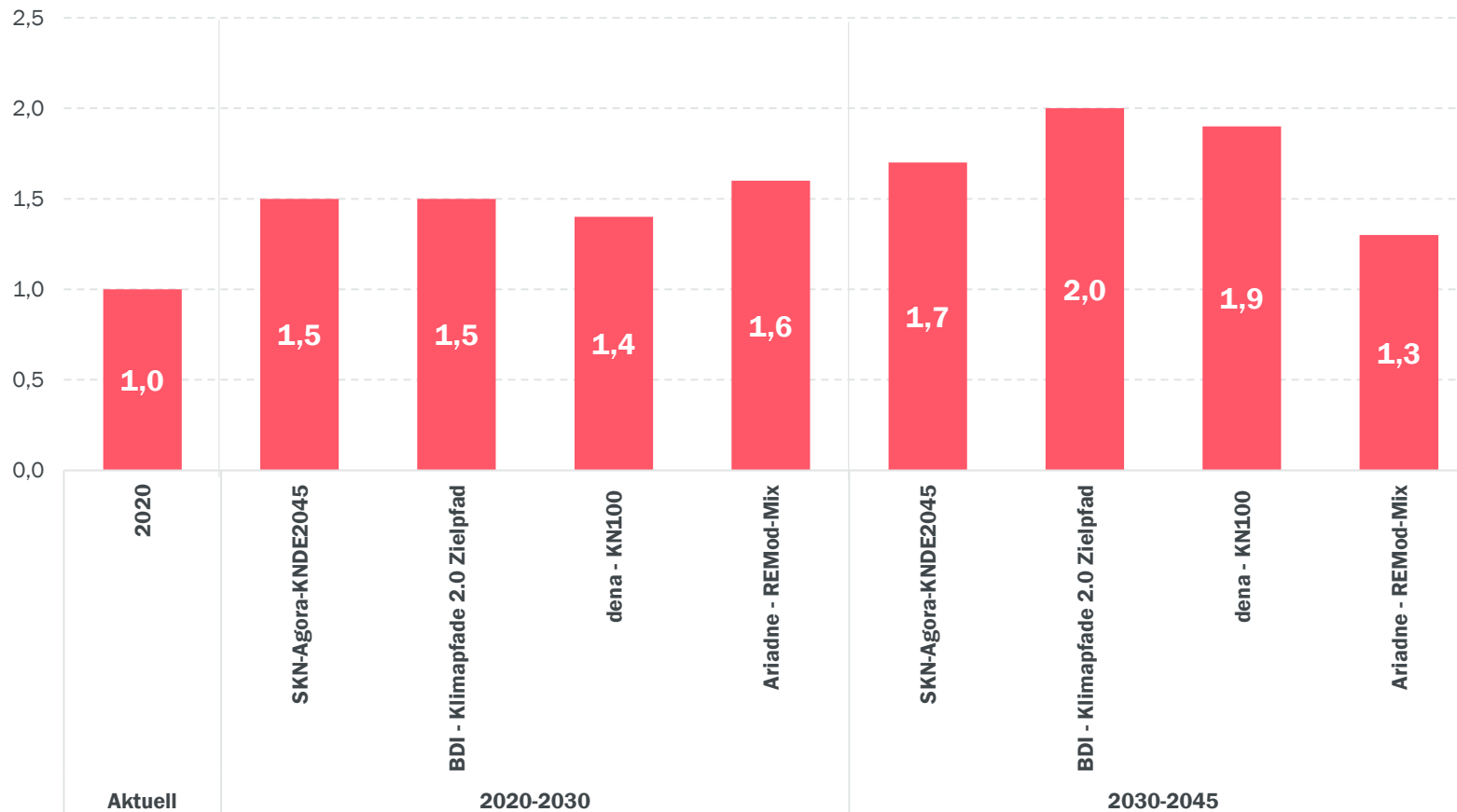
[Mio.]



- Abgesehen vom Ausreißer nach unten ein **einheitliches Bild** über die **Anzahl der Wärmepumpen**
- dena-KN100 geht im Vergleich zu den anderen Szenarien von weniger installierten Wärmepumpen aus. Zu beachten ist, dass in diesen Zahlen bei dena-KN100 nur Wärmepumpen in Wohngebäuden enthalten sind.

Sanierungsrate PHH & GHD

[Mittlere Sanierungsrate pro Jahr in %]



- Alle Szenarien erwarten einen Anstieg der mittleren Sanierungsrate von derzeit rund 1,0 %

Agenda

1.

THG-Emissionen und EEV

2.

Energiewirtschaft

3.

Industrie

4.

Gebäude

5.

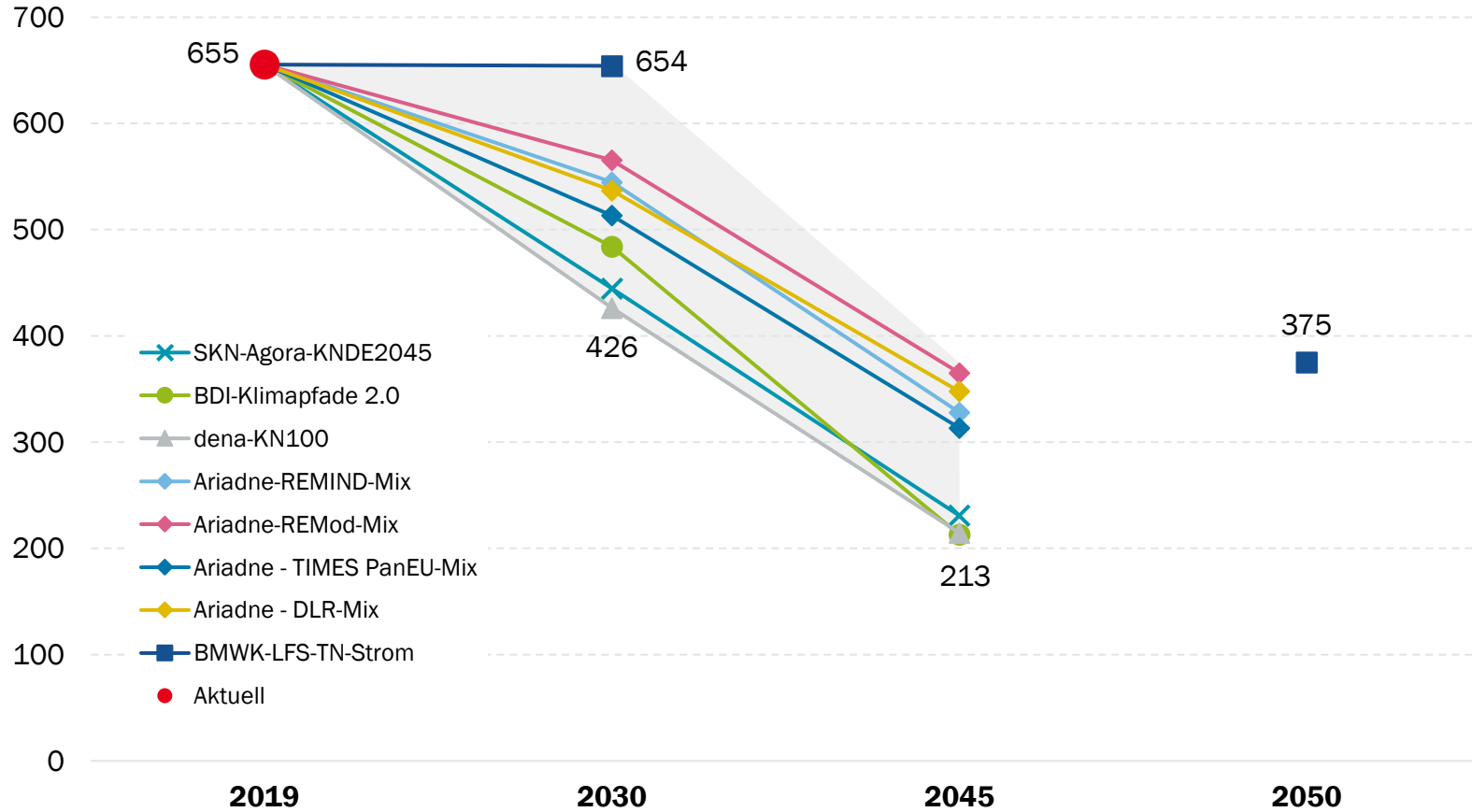
Verkehr

6.

Übergeordnete Ergebnisse

Endenergieverbrauch im Verkehr (national)

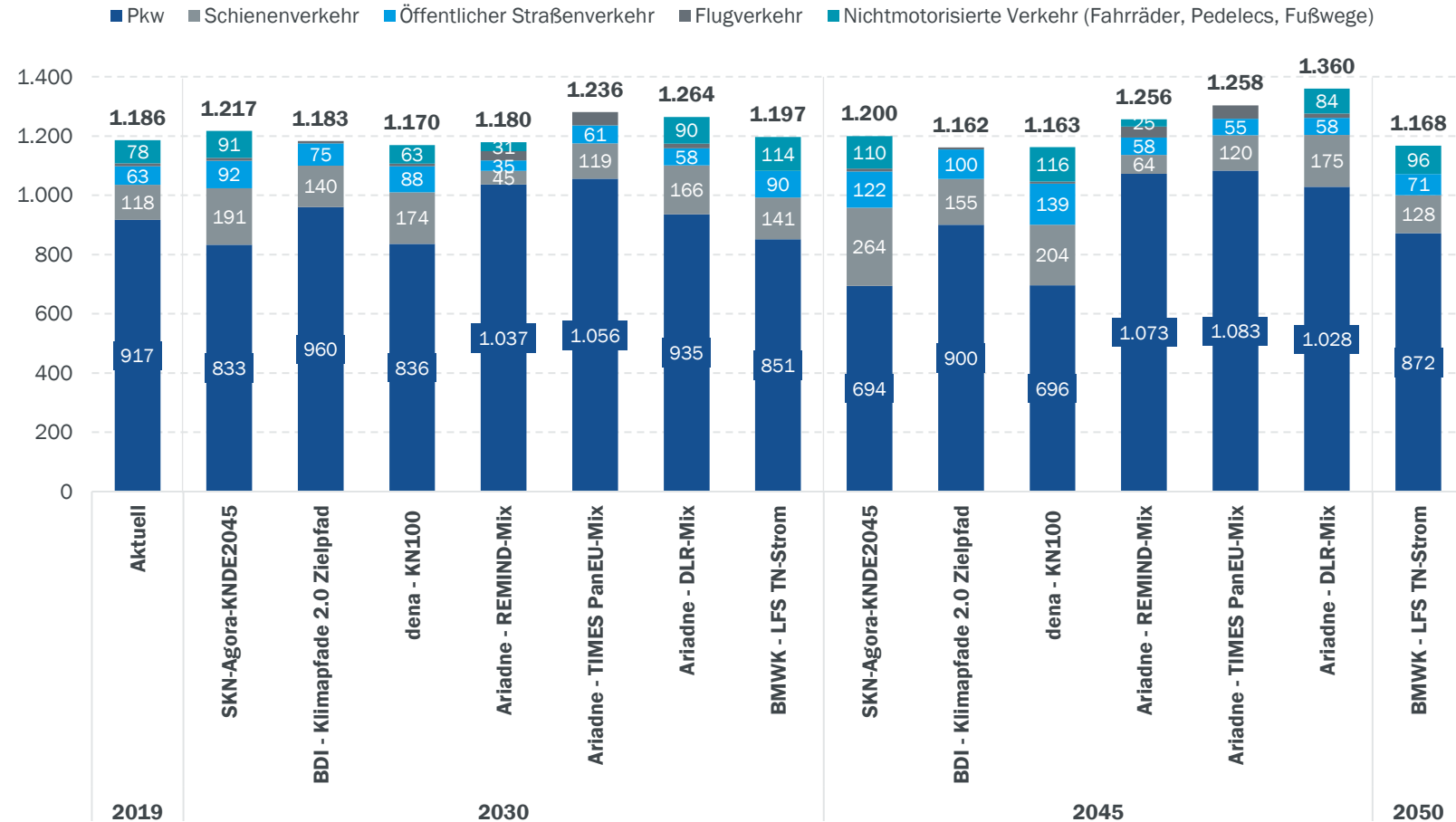
[TWh]



- Alle Szenarien weisen einen **Rückgang** im **EEV** und eine **zunehmende Elektrifizierung** auf
- Die großen Unterschiede lassen sich durch die **unterschiedlichen Entwicklungen** in der **Personenverkehrsnachfrage** erklären. Die Szenarien mit höherem EEV in 2045 haben gleichzeitig eine steigende Personenverkehrsnachfrage

Personenverkehrsnachfrage nach Verkehrsträger (national)

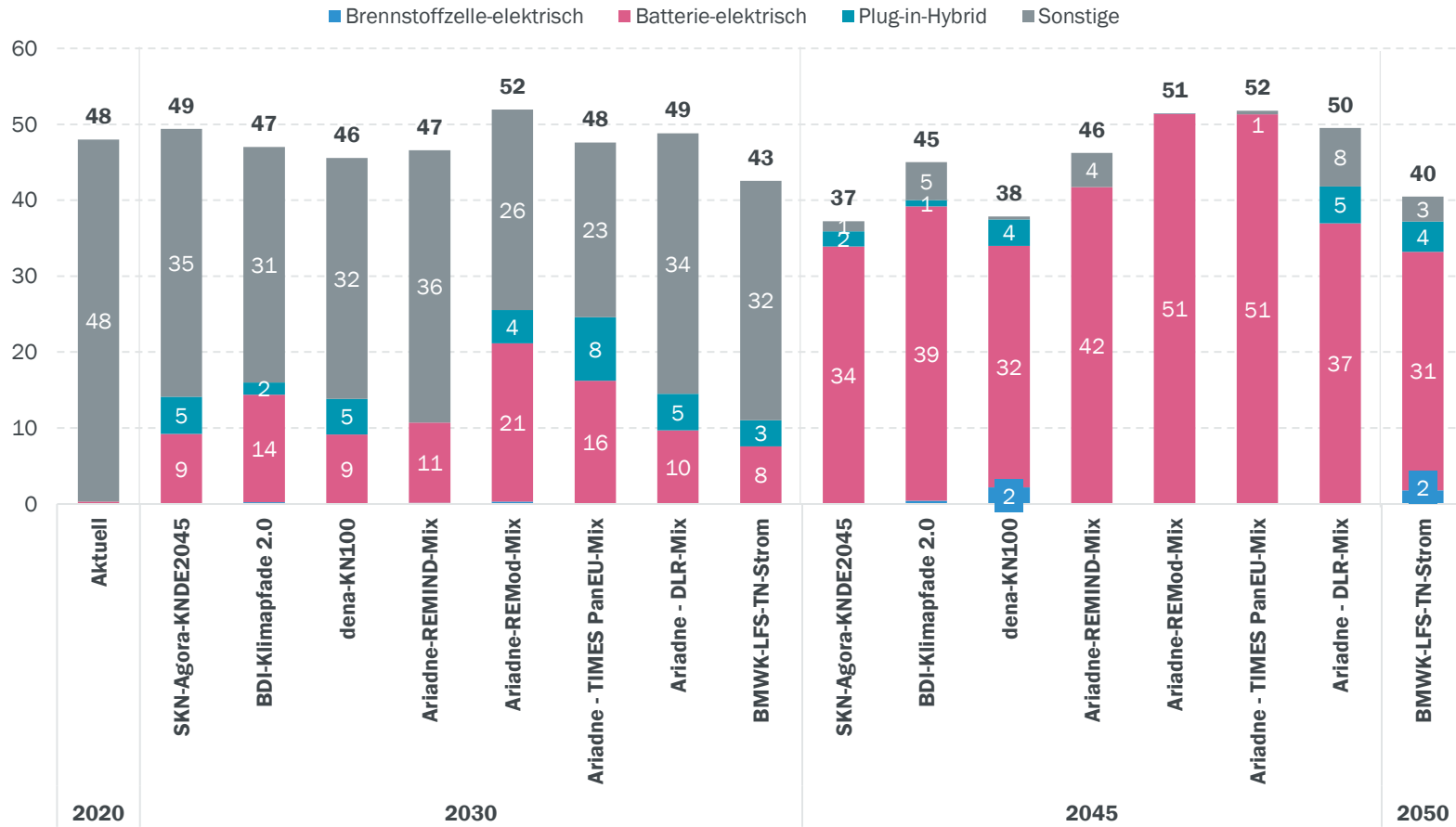
[Mrd. Pkm/a]



- Abgesehen von den Ariadne-Szenarien sehen die Szenarien eine **konstante bis leicht abnehmende Personenverkehrsnachfrage**
- Unterschiedliches Bild in der Entwicklung des motorisierten Verkehrs und des Schienenverkehrs (Bahn)
- BDI-Szenario nutzt für Basisjahr 2019 Emissionsfaktoren lt. UBA (2021) für Bottom-Up-Modellierung, daher höherer Pkw-Anteil am Modal-Split unterstellt, Reduktion des Pkw-Anteils erfolgt durch erwarteten Verkehrsträgerwechsel

Bestandsstruktur Pkw

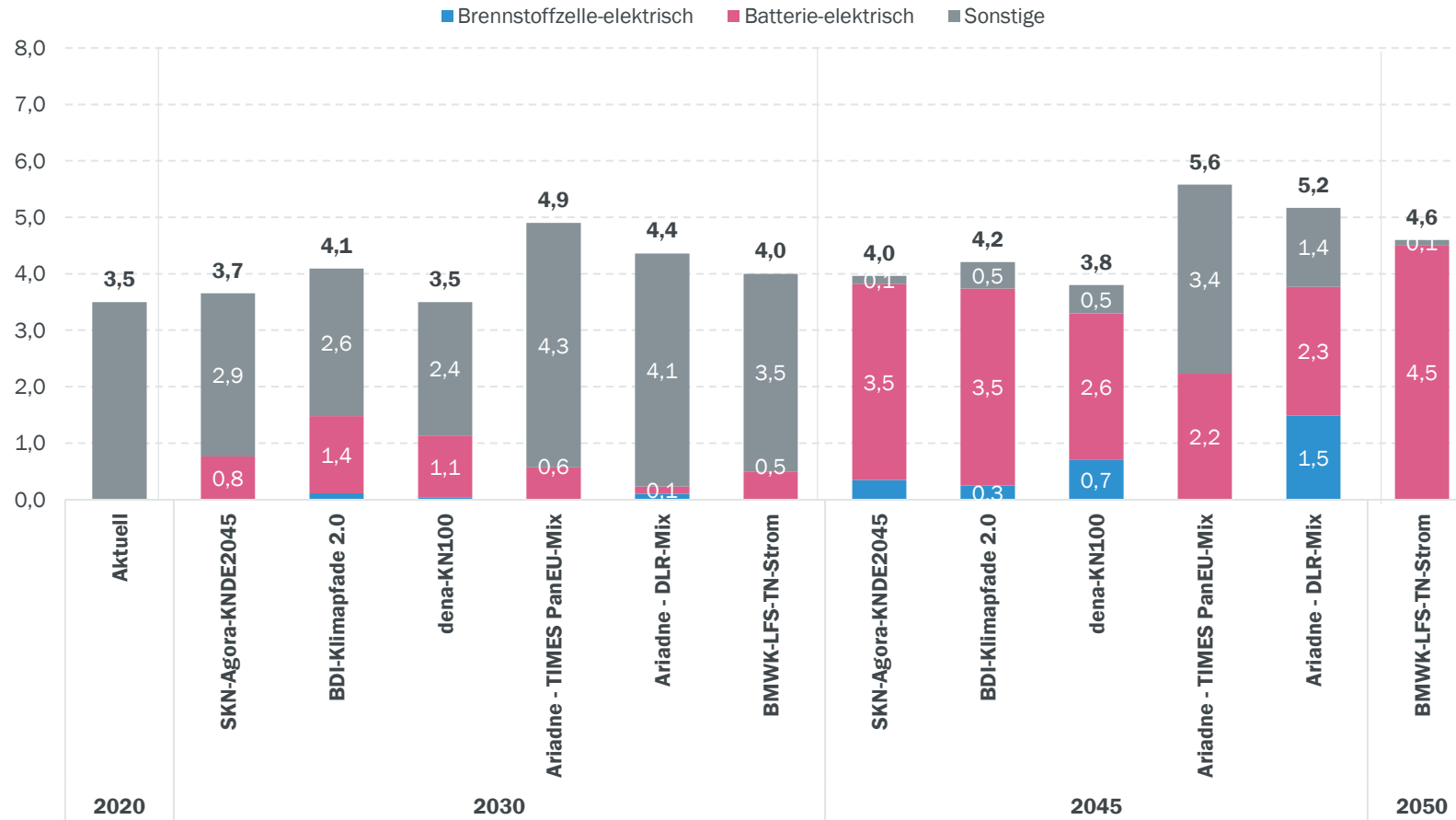
[Mio.]



- **Verkehrsverlagerung** induziert eine Reduktion des PKW-Bestands
 - PKW-Bestand in Ariadne-Szenarien tendenziell höher aufgrund geringerer erwarteter Verlagerung
- Alle Szenarien sehen mehrheitlich langfristig den Wechsel zu **Batterie-elektrisch betriebenen Pkws**

Bestandsstruktur Lkw

[Mio.]



- Alle Szenarien sehen mehrheitlich den Wechsel zu **Batterie-elektrisch betriebenen Lkws** vor
- Im BDI-Szenario weist schwere Nutzfahrzeugflotte (SNF) deutlich höheren Anteil an brennstoffzellen-elektrischem Antrieb als leichte Nutzfahrzeugflotte (LNF) aus

Agenda

1.

THG-Emissionen und EEV

2.

Energiewirtschaft

3.

Industrie

4.

Gebäude

5.

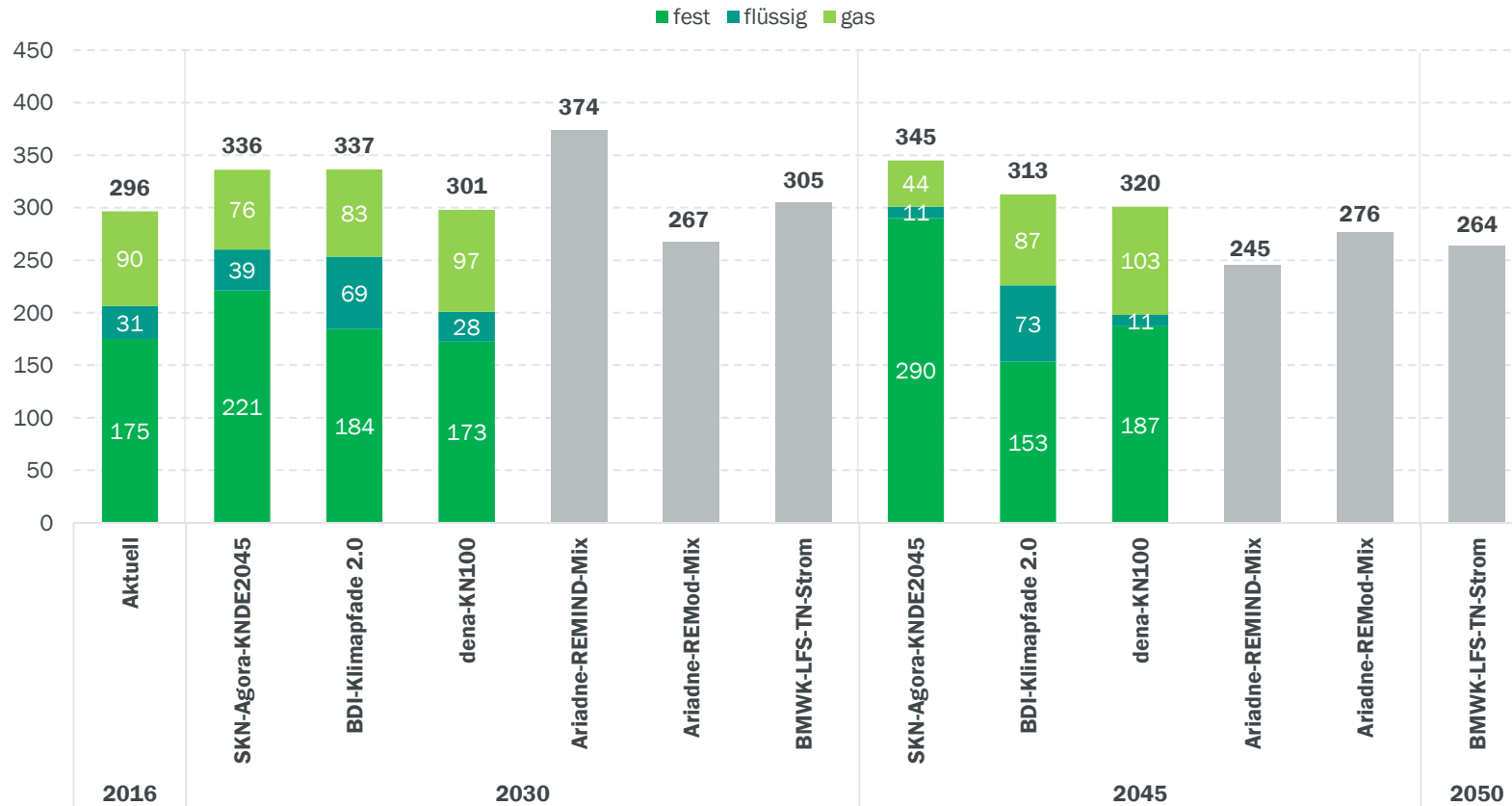
Verkehr

6.

Übergeordnete Ergebnisse

Energetischer Biomasseeinsatz nach Biomasseart

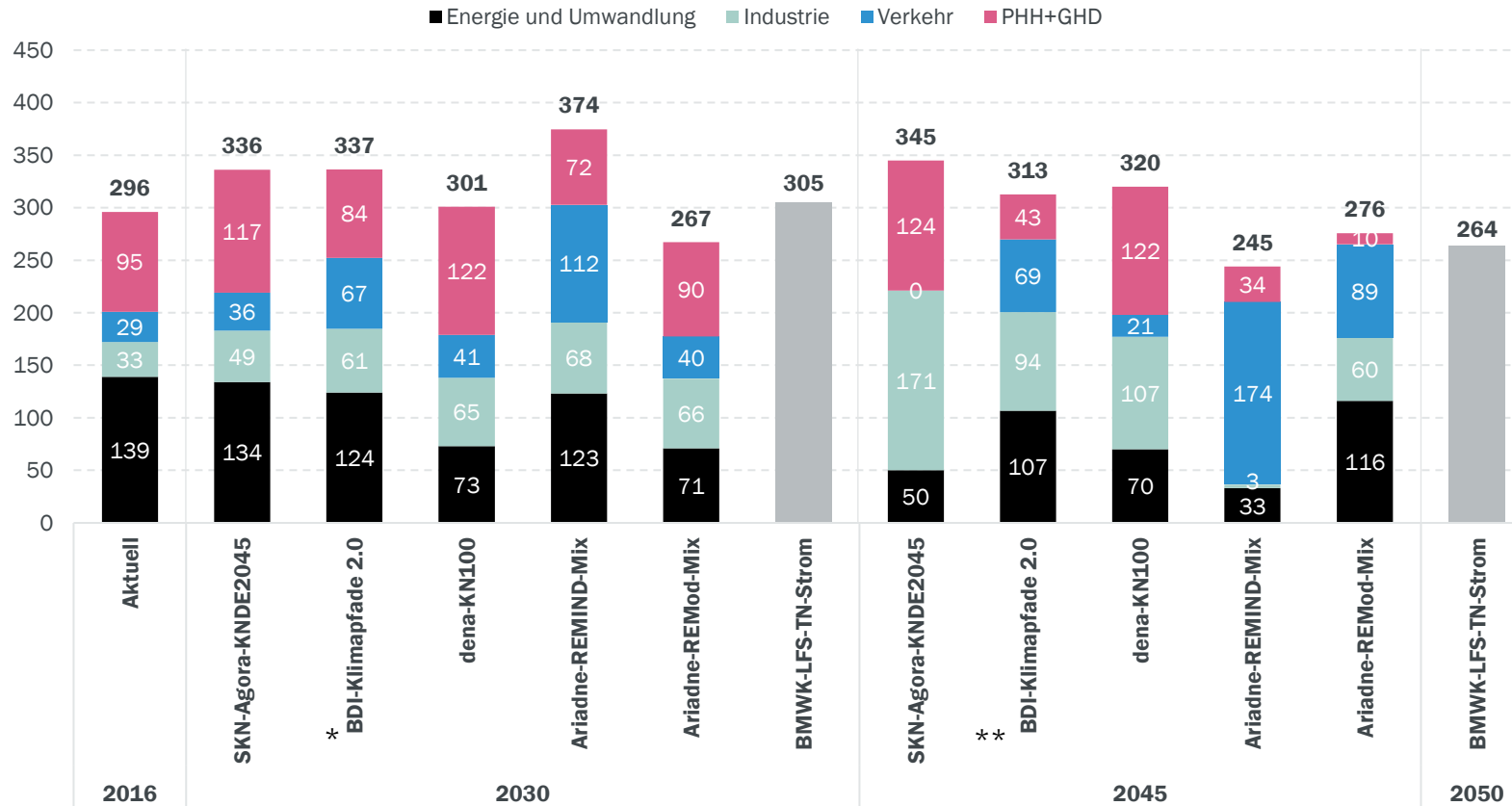
[TWh/a]



- Bis 2045 nimmt die **Bandbreite** des **energetischen Biomasseeinsatzes** zu → eine Hälfte der Szenarien sieht langfristig eine Zunahme des nachhaltigen Biomassepotenzials, die andere Hälfte eine Abnahme
- Das SKN-Agora-Szenario sieht langfristig einen **Wechsel vom gasförmigen zu festem Biomasseeinsatz**

Energetischer Biomasseeinsatz nach Sektoren

[TWh/a]

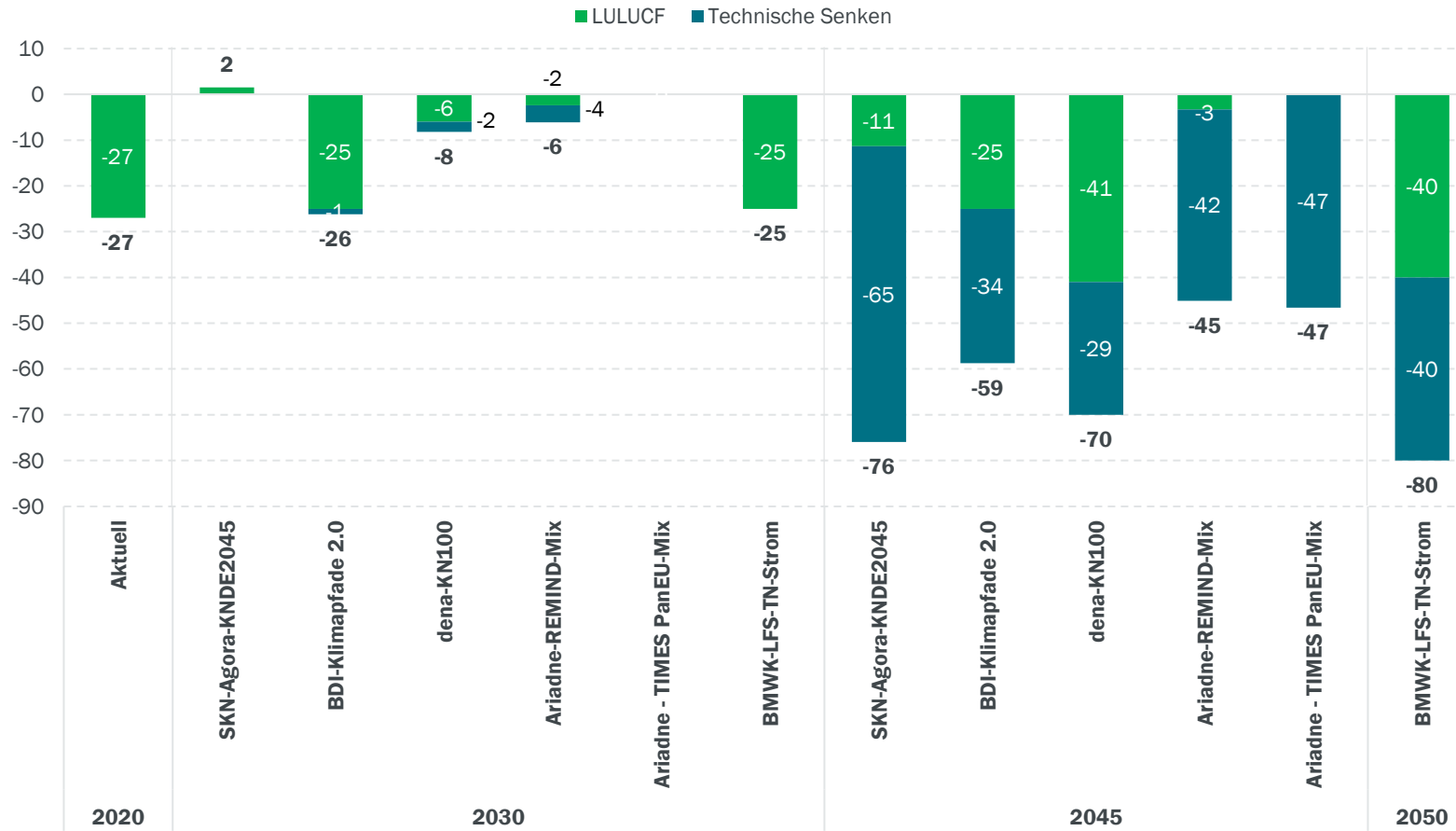


- In allen Szenarien findet bis 2045 ein **Rückgang des Biomasseeinsatzes im Umwandlungssektor** statt
- Ariadne- und BDI-Szenarien sehen **Anstieg des Biomasse-Einsatzes im Verkehrssektor**, insb. im internationalen Verkehr, bei BDI-Szenario über zusätzlichen Import von Biomasse; SKN, BDI und dena nehmen eine starke Zunahme im **Industriesektor** an
- Ein Treiber für die unterschiedliche Entwicklung ist der Einsatz von **BECCS** – entweder im Umwandlungs- oder im Industriesektor

Hinweis: Grauer Balken = keine Angaben über die Sektoren
 Hinweis für BDI-Klimapfade 2.0: Biomassenachfrage für nat. und internat. Verkehr ausgewiesen
 * rund 3,5 Mt Biokraftstoffe müssen importiert werden
 ** 67 TWh für internat. Verkehre erforderlich

CO₂-Senken

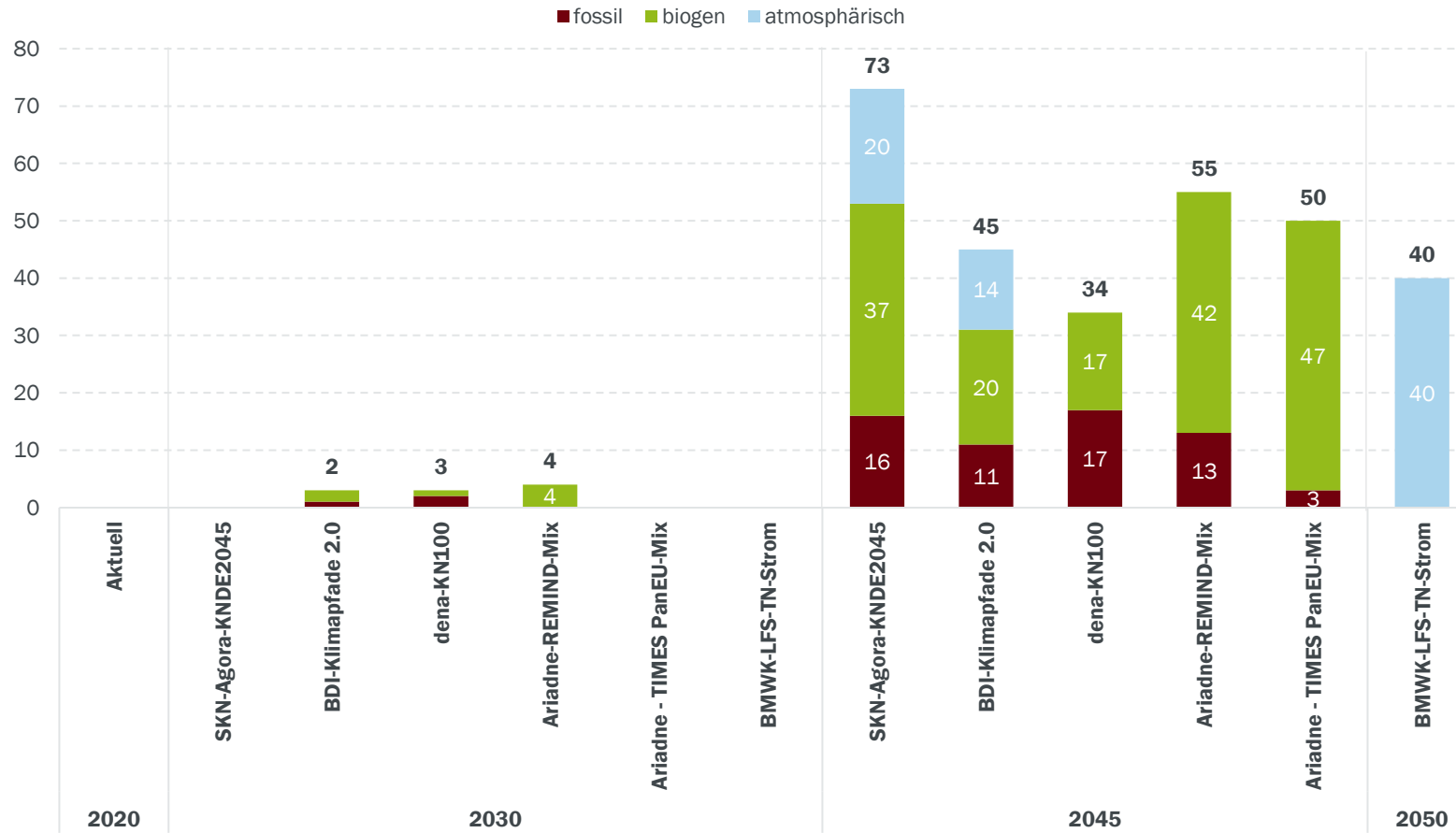
[Mt CO₂äq/a]



- Alle Szenarien erreichen Klimaneutralität nur durch **Einsatz** von **technischen CO₂-Senken**
- Abgesehen vom BDI-Szenario nimmt die **LULUCF-Senke bis 2030 sehr stark ab**
- **SKN-Szenario** erreicht Klimaneutralität **ohne** Einberechnung von **LULUCF** (nur nachrichtlich ausgewiesen)

CCS – Menge geologisch gespeichertes CO₂

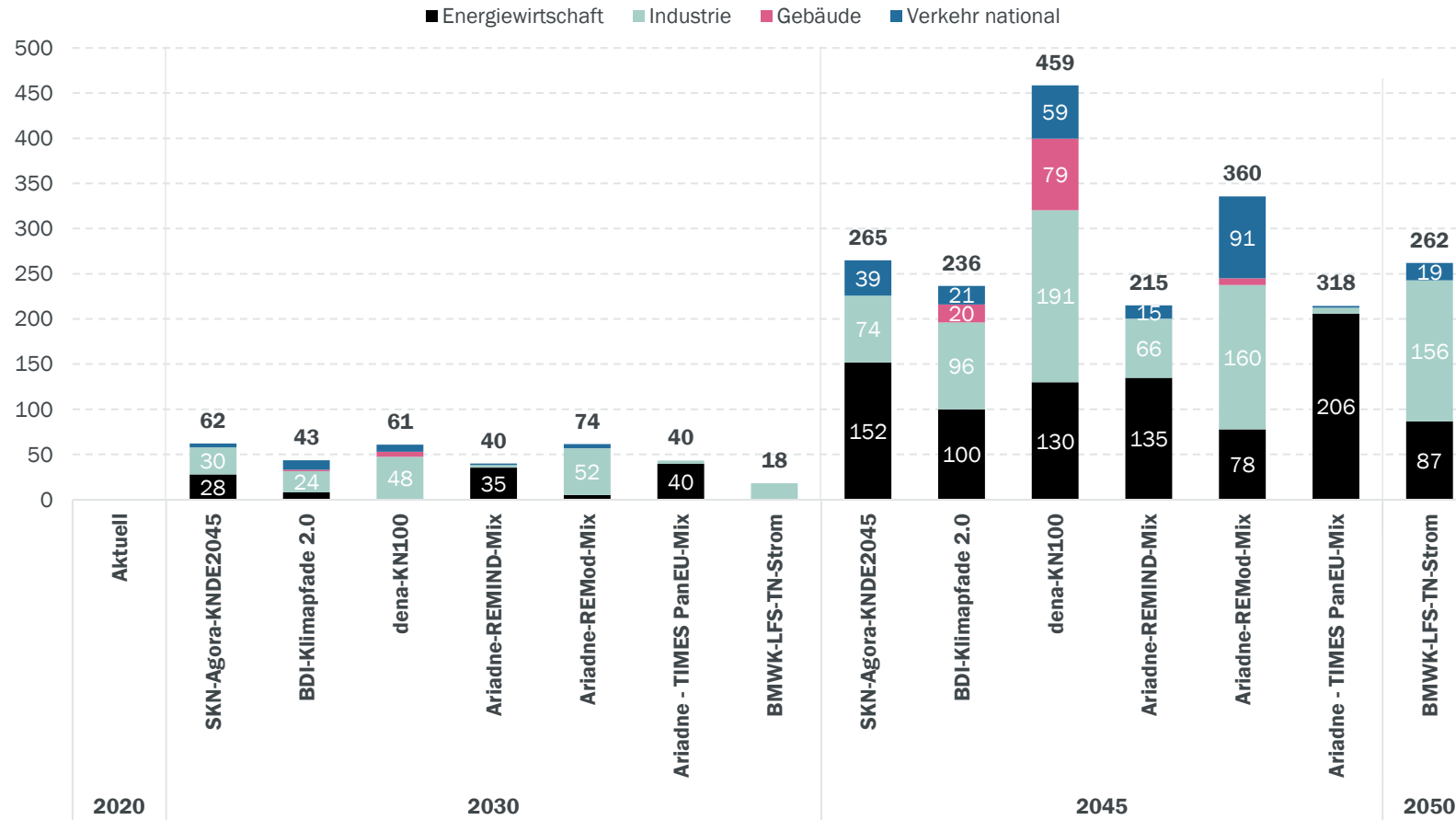
[Mt CO₂/a]



- Einstimmiges Bild über den **geringen CCS-Einsatz bis 2030**
- **Unterschiedliches Bild über Einsatz von DACCS und BECCS** → SKN/Agora, BDI und BMWK sehen den Einsatz von DACCS; bei dena-KN100 ist DACCS nicht Teil des kostenminimalen Modellergebnis.
- In allen Szenarien ist der Einsatz von **CCS fossiler CO₂-Emissionen notwendig** (Prozessemissionen insb. bei der Zement- und Kalkproduktion)

Einsatz von CO₂-frei hergestelltem Wasserstoff

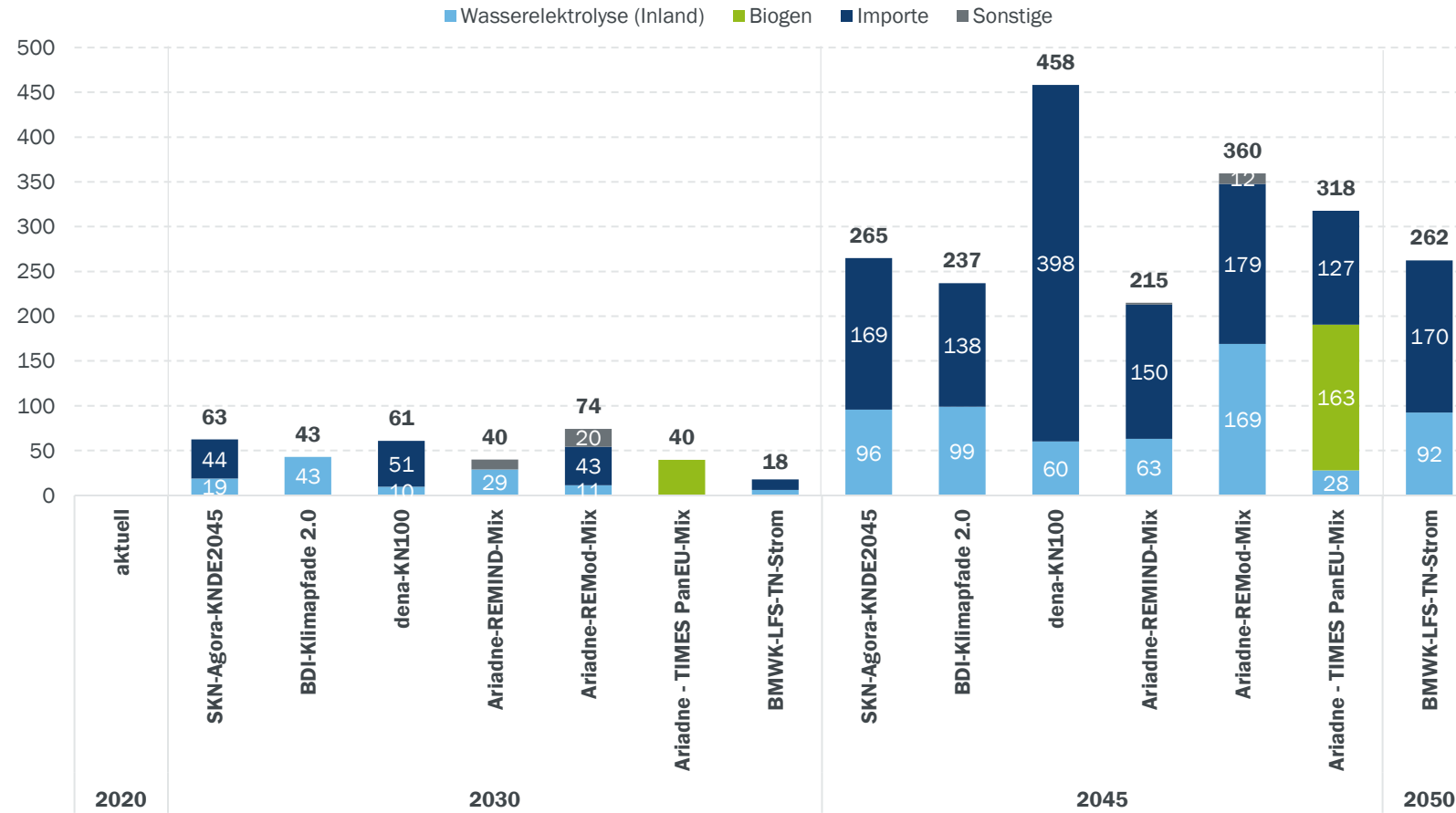
[TWh/a]



- Eindeutiges Bild über die Notwendigkeit des Einsatzes von H₂
- Alle Szenarien sehen den **größten H₂-Bedarf im Umwandlungs- und Industriesektor**; dena-Szenario Ausreißer nach oben beim H₂-Einsatz im Gebäude-Sektor

H₂-Angebot - Inländische Erzeugung und Import

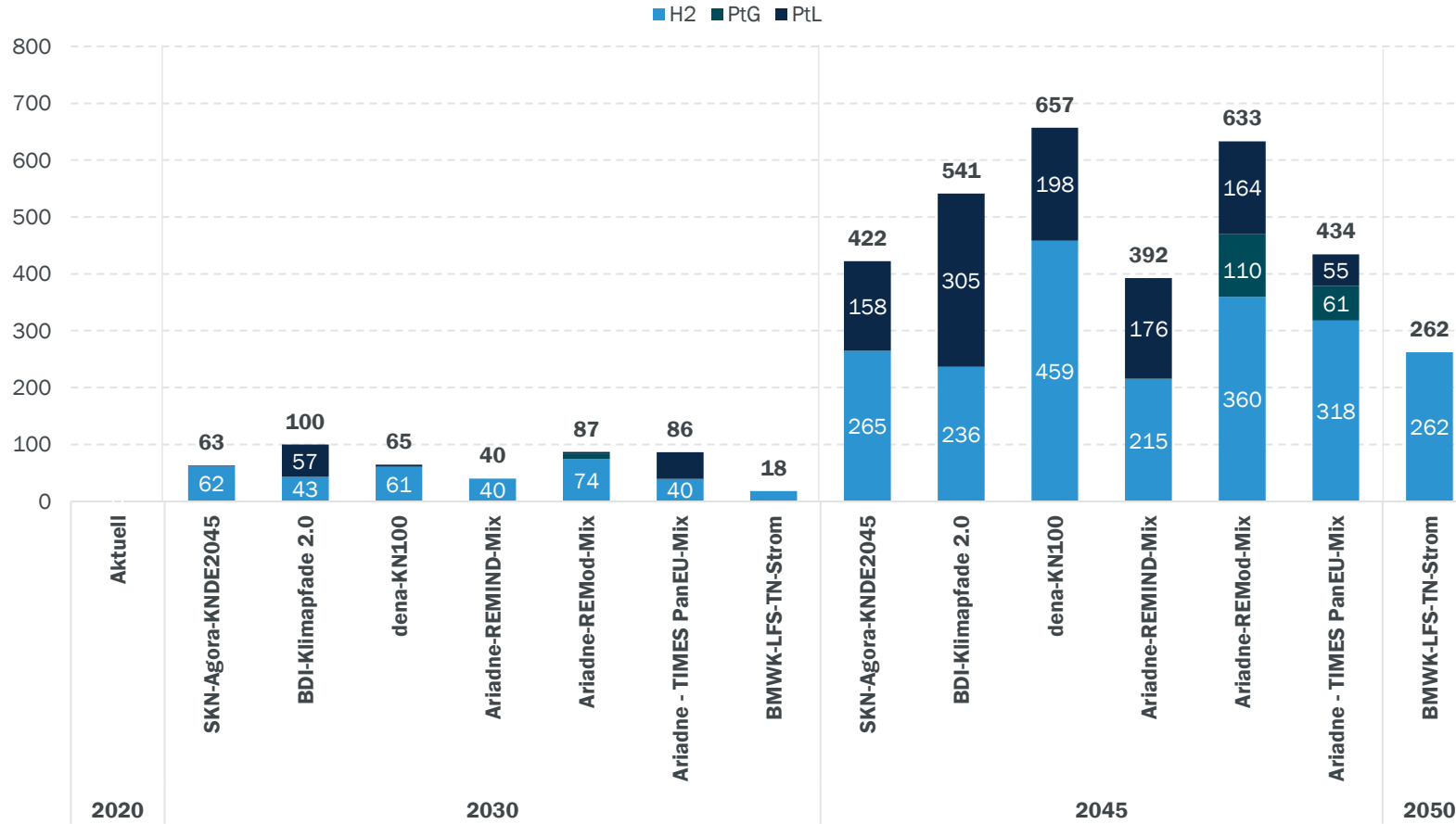
[TWh/a]



- Überwiegend erwarten die Szenarien höhere H₂-Importe als Erzeugung im Inland
- Nur im Ariadne Szenario TIMES PanEU-Mix wird die biogene H₂-Produktion eingesetzt
- In dena-KN100 sind im Jahr 2030 zusätzlich zu den hier gezeigten H₂-Mengen 5 TWh blauer-H₂ im System, der aus dem Ausland importiert wird.

Nachfrage nach H₂, PtG und PtL

[TWh/a]



- Alle Szenarien weisen einen **starken Anstieg** in der Nachfrage nach H₂ und E-Fuels zwischen 2030 und 2045 vor (mindestens Faktor 4)
- Bandbreite der Nachfragemengen nimmt von 2030 bis zum Jahr 2045 enorm zu
- Ariadne-Szenarien REMod-Mix und TIMES PanEU-Mix erwarten einen Einsatz von PtG bis 2045

Abkürzungsverzeichnis

BECCS	Bioenergy with Carbon Capture & Storage (Bioenergie mit CO ₂ -Abscheidung und –Speicherung)
CCS	Carbon Capture & Storage (CO ₂ -Abscheidung und –Speicherung)
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DACCS	Direct Air Carbon Capture and Storage (Direkte CO ₂ -Abscheidung aus der Atmosphäre)
DRI	Direct Reduced Iron (Direktreduktion)
EEV	Endenergieverbrauch
EZFH	Ein- und Zweifamilienhäuser
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistung
H ₂	Wasserstoff
KSG	Klimaschutzgesetz
Lkw	Lastkraftwagen
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft)
MFH	Mehrfamilienhäuser
Mrd. Pkm/a:	Milliarden Personenkilometer pro Jahr
Mt CO ₂ äq	Mega-Tonnen Kohlenstoffdioxid Äquivalente
PHH	Private Haushalte
Pkw	Personenkraftwagen
PtX	Power-to-X
PV	Photovoltaik
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
THG-Emissionen	Treibhausgas-Emissionen
TWh	Terawattstunde
VLH	Vollbetriebsstunden