



# Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland

Treibhausgasneutrale Orientierungsszenarien

Modul GHD und Geräte

---

Ort: Karlsruhe

Datum: 21.08.2024

## Impressum

---

### Langfristszenarien 3 – O45-Szenarien – Bericht GHD & Geräte

#### Projektleitung

**Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI**

Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe  
Dr. Frank Sensfuß, [frank.sensfuss@isi.fraunhofer.de](mailto:frank.sensfuss@isi.fraunhofer.de)

**Consentec GmbH**

Grüner Weg 1, 52070 Aachen  
Dr. Christoph Maurer, [maurer@consentec.de](mailto:maurer@consentec.de)

#### Verantwortlich für den Inhalt des Textes

Heike Brugger, [heike.brugger@isi.fraunhofer.de](mailto:heike.brugger@isi.fraunhofer.de); Tim Mandel, [tim.mandel@isi.fraunhofer.de](mailto:tim.mandel@isi.fraunhofer.de)

#### Beteiligte Institute

**Consentec GmbH**

Grüner Weg 1, 52070 Aachen  
Dr. Christoph Maurer, [maurer@consentec.de](mailto:maurer@consentec.de) (Administrative Leitung)

**Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI**

Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe  
Dr. Frank Sensfuß, [frank.sensfuss@isi.fraunhofer.de](mailto:frank.sensfuss@isi.fraunhofer.de) (Projektleitung)  
Gerda Deac, [gerda.deac@isi.fraunhofer.de](mailto:gerda.deac@isi.fraunhofer.de) (Projektmanagement)

**ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg**

Im Weiher 10, 69121 Heidelberg  
Peter Mellwig, [peter.mellwig@ifeu.de](mailto:peter.mellwig@ifeu.de)

**Technische Universität Berlin**

Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin  
Prof. Dr. Joachim Müller-Kirchenbauer, [jmk@er.tu-berlin.de](mailto:jmk@er.tu-berlin.de)

#### Verfasst im Auftrag von

**Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)**

Scharnhorststr. 34-37, 10115 Berlin

#### Veröffentlicht

Monat JJJJ

#### Hinweise

Dieser Bericht einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Die Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen unter Beachtung der Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis zusammengestellt. Die Autorinnen und Autoren gehen davon aus, dass die Angaben in diesem Bericht korrekt, vollständig und aktuell sind, übernehmen jedoch für etwaige Fehler, ausdrücklich oder implizit, keine Gewähr. Die Darstellungen in diesem Dokument spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des Auftraggebers wider.

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
1.1	Zielsetzung der ‚Langfristszenarien‘ .....	4
1.2	Zielsetzung der Orientierungsszenarien.....	4
<b>2</b>	<b>Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) .....</b>	<b>6</b>
2.1	Methodik .....	6
2.2	Ergebnisse .....	8
2.3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	12
<b>3</b>	<b>Haushalte .....</b>	<b>13</b>
3.1	Methodik .....	13
3.2	Ergebnisse .....	14
3.3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	17
<b>4</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>17</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Zielsetzung der ‚Langfristszenarien‘

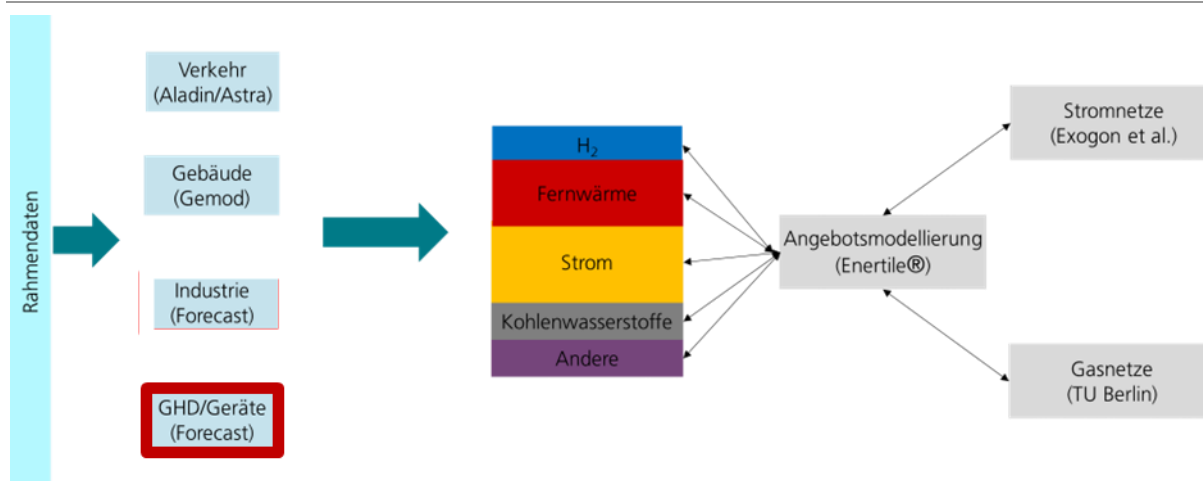
Im Rahmen des Projekts „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“ (Langfristszenarien 3), das im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) durchgeführt wird, werden Dekarbonisierungspfade für das deutsche Energiesystem entwickelt. Ziel dieses Projekts ist es, die Transformation hin zu treibhausgasneutralen Energiesystemen für alle beteiligten Akteure umfassend zu begleiten, notwendige politische und technologische Weichenstellungen zu identifizieren, die Zielkonflikte und Trade-offs von Entscheidungsoptionen aufzuzeigen und die Ausgestaltung der resultierenden Zielsysteme zu untersuchen.

Technisch basieren die Analysen auf detaillierten Systemmodellierungen von Nachfrage-, Angebots-, und Infrastruktursektoren, in denen jeweils spezialisierte Modelle zum Einsatz kommen (vgl. Abbildung 1 der Modelle für Industrie, Verkehr, Gebäude, Haushalte/Geräte (Nachfrage), Umwandlung (Angebot) sowie der Strom- und Gasnetze (Infrastruktur)). Die hohen bestehenden, und weiter zunehmenden Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen diesen werden adäquat durch den eng verzahnten Modellverbund und die iterative Vorgehensweise im Projekt erfasst.

Die wissenschaftlichen Untersuchungen basieren auf techno-ökonomischen Analysen des Gesamtsystems, mit dem Ziel, optimale Transformationspfade zu identifizieren. Einzelne Akteure, wie Unternehmen oder Privatpersonen, stehen dabei nicht im Fokus der Analyse.

Obwohl der analytische Schwerpunkt, wie in vorherigen Szenariendebatten, auf Deutschland liegt, wurden auch alle benachbarten europäischen Regionen modelliert, da eine rein nationale Betrachtung von Energiesystemen angesichts der zunehmenden Verflechtungen und Interdependenzen nicht ausreichend ist.

**Abbildung 1: Modellverbund im Projekt**



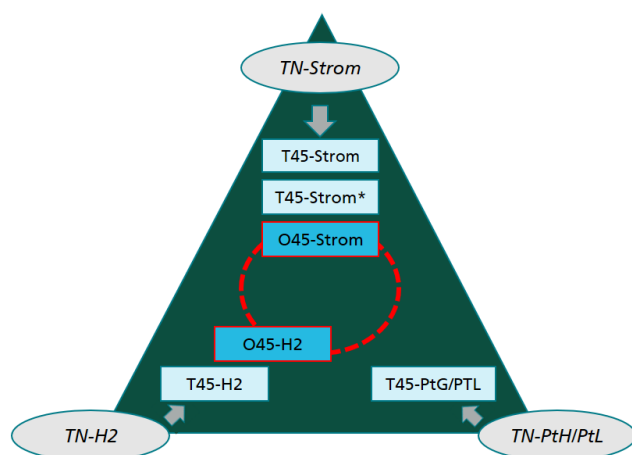
## 1.2 Zielsetzung der Orientierungsszenarien

Seit der Berechnung der vorherigen Szenarien T45-Strom\* im Jahr 2023 und 2024 haben sich Veränderungen in der deutschen und europäischen Energie- und Klimapolitik ergeben. Weiterhin ist die technologische Entwicklung ebenfalls fortgeschritten. Und nicht zuletzt haben alle relevanten Stakeholder aus Wissenschaft, Politik, direkt und indirekt involvierten Akteuren sowie die Gesell-

schaft allgemein einen deutlichen Lern- und Präferenzfindungsprozess hinter sich. Die Orientierungsszenarien basieren deshalb auf einem umfassenden Update der Rahmendaten und einer Anpassung der Restriktionen, um die jüngsten Entwicklungen adäquat in den Szenarien abzubilden.

Unter Berücksichtigung der aktualisierten politischen Ziele, jedoch auch des Herabsenkens der Zielvorgaben für das Zwischenjahr 2025 aufgrund des geringen verbleibenden Realisierungszeitraums, bilden die Orientierungsszenarien nun zwei Entwicklungspfade ab: im sogenannten O45-Strom-Szenario wird von einer stärkeren Elektrifizierung ausgegangen, wohingegen in O45-H2 in den Nachfragesektoren vermehrt Wasserstoff eingesetzt wird. Im Vergleich zu den vorangegangenen T45-Szenarien bzw. T45-Strom\*-Szenarien unterscheiden sich die Einsatzgrade der unterschiedlichen genutzten Energieträger zwischen den Szenarien weniger, wodurch die Nachfragedaten sowie die Ergebnisse der beiden O45-Szenarien näher beieinanderliegen. Dabei fließen die aktuellen Entwicklungen und die Erkenntnisse der letzten Szenarien ein, um den Lösungsraum der Energiewende noch einmal zu beleuchten. Die Ränder des Lösungsraums werden dabei bewusst verkleinert (siehe Abbildung 2).

**Abbildung 2: Positionierung der neuen Szenarien**



Quelle. Eigene Darstellung.

### **Dekarbonisierung durch einen möglichst hohen Einsatz von direktelektrischen Lösungen: Szenario O45-Strom (Basis T45-Strom bzw. T45-Strom\* (Update))**

Dieses Szenario zeichnet sich durch einen starken Einsatz direktelektrischer Lösungen in den Nachfragesektoren in Deutschland aus. Ziel ist es, ein weitgehend elektrifiziertes Energiesystem zu erreichen.

### **Dekarbonisierung durch einen möglichst hohen Einsatz an Wasserstoff: Szenario O45-H2 (Basis: T45-H2)**

Das Szenario setzt auf einen starken Einsatz von Wasserstoff in den Nachfragesektoren, wo dies ökonomisch sinnvoll ist. Der Einsatz von Wasserstoff ist in O45-H2 jedoch weniger stark ausgeprägt als in T45-H2.

## 2 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)

### 2.1 Methodik

In diesem Abschnitt wird die Entwicklung des Endenergiebedarfs für die Anwendungen Prozesswärme, Prozesskälte, mechanische Energie, Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und Beleuchtung im Sektor GHD betrachtet. Dabei wird nur das Szenario O45-Strom berechnet, da H2 und PtG/PtL auch bei starker Fokussierung langfristig nur eine geringe Rolle in diesem Sektor spielen könnten. Dazu wird das Bottom-up-Energienachfragemodell Forecast-Tertiary verwendet.<sup>1</sup> Die Entwicklung des Energiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser wird in einem separaten Bericht („Modul Gebäude“) behandelt.

Das Modell für GHD wurde mit dem Ziel entwickelt, die Entwicklung des Energieverbrauchs zu simulieren, die Wirkungen politischer Instrumente abzubilden und Energieeinsparpotenziale abzuschätzen. Das Modul ist vom Aufbau her vergleichbar mit dem Industriemodul, jedoch an die Datenverfügbarkeit und Technologiestruktur im Sektor GHD angepasst. Das heißt, im Modell wird über ein Mengengerüst der Energieverbrauch einzelner Branchen und Energiedienstleistungen in Abhängigkeit von Rahmenbedingungen (u.a. wirtschaftliche Entwicklung, Effizienzpolitik, Energiepreise) berechnet.

Zentrale Größen des Mengengerüsts für die Hochrechnung des Energieverbrauchs sind die Aktivitätsgrößen „Anzahl der Beschäftigten“ und „Nutzfläche je Branche“. Beide Größen sind direkter mit dem Energieverbrauch verknüpft als die Wertschöpfung des Sektors. Dabei sind die Beschäftigten eher für Energiedienstleistungen wie EDV-Ausstattung relevant, während die Nutzfläche die zentrale Größe für gebäudebezogene Energiedienstleistungen ist. Die zugrunde liegende Entwicklung der Rahmendaten entspricht der der T45-Szenarien (Fraunhofer ISI 2022). Die sektorale Gliederung der Aktivitätsgrößen orientiert sich an der Klassifikation der Wirtschaftszweige 2008 (WZ 2008) und unterscheidet acht Branchen. Dementsprechend erlaubt sie über das hinterlegte Mengengerüst eine „Bottom-up“-Berechnung des Energieverbrauchs für jede der Branchen, was deutlich über die Detailtiefe der Energiebilanzen nach AGEB hinausgeht, die den Energieverbrauch nur für den Sektor GHD insgesamt ausweisen.

**Tabelle 1: Aufteilung des GHD Sektors nach Wirtschaftszweigen (WZ 2008)**

Wirtschaftszweig	Nace 1.1
Erziehung und Unterricht	P
Finanz- und Versicherungsdienstleistungen	K
Gesundheits- und Sozialwesen	Q
Gastgewerbe	I
Handel; Reparatur von Fahrzeugen	G
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung	O
Verkehr, Information und Kommunikation	H+J
Sonstige Wirtschaftszweige	L+M+N+R+S

Der Stromverbrauch in diesen Sektoren wird einzelnen Anwendungen bzw. Energiedienstleistungen zugeordnet. Tabelle 2 zeigt die im Modell hinterlegten Energiedienstleistungen. Durch die Abbildung dieser Anwendungen im Modell ist es möglich, die Stromnachfrage der einzelnen Branchen -

<sup>1</sup> <https://www.forecast-model.eu/forecast-en/index.php>

ausgehend von der Technologiestruktur - zu berechnen und somit einen Großteil der Stromnachfrage des tertiären Sektors durch technologische Entwicklungen zu erklären. Damit können Energieeffizienzmaßnahmen explizit in das Modell integriert und an technologische Entwicklungen gekoppelt werden. Die explizite Abbildung von Effizienzmaßnahmen ermöglicht es u.a., Annahmen über die Wirkung politischer Instrumente, wie z.B. Maßnahmen zur Umsetzung der Ökodesign-Richtlinie, direkt in das Modell zu integrieren und somit Szenarien zu erstellen, die mit der aktuellen politischen Agenda kompatibel sind.

**Tabelle 2: Abgebildete Energiedienstleistungen im GHD-Sektor**

Abgebildete Energiedienstleistung	
Beleuchtung	Aufzüge
Straßenbeleuchtung	Kochen
IKT Büro	Waschen
Rechenzentren	Kühl- und Gefriergeräte
Klimakälte	Sonstiges

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die im O45-Szenario berücksichtigten bestehenden Mindesteffizienzanforderungen im Rahmen des EU-Ökodesigns sowie der damit verbundenen Labelling-Verordnungen. Einige dieser Produktgruppen betreffen auch den Haushaltssektor (Abschnitt 3). Zusätzliche Anforderungen und Instrumente im O45-Szenario entsprechen denen des Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenarios (MWMS) des Projektionsberichts 2023 (UBA 2023).

**Tabelle 3: Ökodesign- und Labelling-Anforderungen im O45-Szenario in den Sektoren Haushalte und GHD**

Produktgruppe	Ökodesign	Energielabel
Bürobeleuchtung und Straßenbeleuchtung	VO (EU) 2019/2020	
Elektromotoren	VO (EU) 2019/1781	
Elektronische Displays	VO (EU) 2019/2021	VO (EU) 2019/2013
Geschirrspüler im Haushalt	VO (EU) 2019/2022	VO (EU) 2019/2017
Gewerbliche Kühltheken und -regale	VO (EU) 2019/2024	VO (EU) 2019/2018
Haushaltsöfen und -herde, Dunstabzugshauben	VO (EU) 66/2014	VO (EU) 65/2014
Kühl- und Tiefkühlgeräte im Haushalt	VO (EU) 2019/2019	VO (EU) 2019/2016
Leerlauf und Stand-by	VO (EG) 1275/2008	
Lichtquellen	VO (EU) 2019/2020	VO (EU) 2019/2015
PCs (Desktop/Laptop)	VO (EU) 617/2013	
Professionelle Kühlung	VO (EU) 2015/1095	VO (EU) 2015/1094
Server	VO (EU) 2019/424	
Set-Top-Boxen	VO (EU) 2023/826	
Staubsauger	VO (EU) 666/2013	
Transformatoren	VO (EU) 548/2014	
Wäschetrockner	VO (EU) 2023/2533	VO (EU) 2023/2534
Waschmaschinen und Wäschetrockner im Haushalt	VO (EU) 2019/2023	VO (EU) 2019/2014

## 2.2 Ergebnisse

### Endenergiebedarf

Die Entwicklung des Endenergiebedarfs der GHD-Anwendungen im Szenario O45-Strom zwischen 2020 und 2045 ist in Abbildung 3 dargestellt. Hierbei handelt es sich um die prozess- und gerätebezogenen Anwendungen. Der Endenergiebedarf der gebäudebezogenen Verbraucher wird bei den Gebäuden bilanziert (insbesondere der Energiebedarf für Raumwärme, Warmwasser und Lüftung).

Im Szenario O45-Strom nimmt der Anteil fossiler und alternativer Energieträger kontinuierlich ab und beträgt 2045 noch 2,5 TWh (2 % des Gesamtenergiebedarfs). Ein Großteil der Anwendungen und Prozesse kann elektrifiziert werden. Im Basisjahr 2020 beträgt der Elektrifizierungsgrad 81 % und steigt bis 2045 auf 85 %. Für einzelne Prozesse in den Bereichen Prozesswärme und mechanischer Energie verbleiben unter Berücksichtigung der Entwicklungen für Strompreise und Investitionsausgaben THG-neutrale Alternativen (Biotreibstoffe, Nah- und Fernwärme & Solarthermie) kostengünstiger als die Elektrifizierung, so dass diese in 2045 noch 15 % des Gesamtenergiebedarfs decken. Während der Strombedarf im Jahr 2020 124,6 TWh beträgt, liegt er im Jahr 2045 noch bei 103,2 TWh und sinkt damit über den gesamten Zeitraum im Szenario T45-Strom um 17 % (Abbildung 3 und Tabelle 4). Der Gesamtenergiebedarf im Szenario Strom O45 sinkt von 179,7 TWh im Jahr 2020 um rund 32 % auf 121,6 TWh im Jahr 2045.

Dieser Rückgang resultiert aus zwei gegenläufigen Effekten: Einerseits der Reduktion des Energiebedarfs durch Effizienzverbesserungen (insbesondere auch durch Elektrifizierung, welche gegenüber Verbrennungsprozessen höhere Wirkungsgrade erzielt), andererseits der Erhöhung insbesondere des Strombedarfs durch zusätzlichen Konsum. Die Reduktion des Energiebedarfs wird in O45-Strom durch eine ambitionierte Umsetzung von Effizienzmaßnahmen und eine schnelle Verbreitung hocheffizienter Geräte (Tabelle 3) sowie durch Verhaltensänderungen bei der Nutzung von Energiedienstleistungen getrieben. Es wird davon ausgegangen, dass relevante Hemmnisse für die Umsetzung von Effizienz- und Elektrifizierungsmaßnahmen, wie etwa hohe Transaktionskosten, abgebaut werden.

Diese Hemmnisse sind insbesondere im GHD-Sektor sehr hoch, da in vielen Unternehmen der Energiebedarf mit einem Gesamtkostenanteil von weniger als 1 % eine untergeordnete Rolle spielt bzw. in vielen Unternehmen keine aktive Suche nach Einsparmaßnahmen stattgefunden hat und die Amortisationszeiten von Energieeffizienzmaßnahmen die üblichen Betrachtungshorizonte der Wirtschaftlichkeitsbewertung überschreiten können.<sup>2</sup> Insbesondere die Energiekrise infolge des Krieges in der Ukraine hat die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen auch im GHD-Sektor vorangetrieben und zu einer Neubewertung der möglichen Energiebedarfsreduktion geführt.

Auch die Berücksichtigung von 'Multiple Impacts' der Energieeffizienz ist derzeit noch nicht gängige Praxis bei der (Wirtschaftlichkeits-)Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen. Die in dem hier beschriebenen Szenario realisierten Einsparpotenziale sind daher als sehr ambitioniert einzustufen und erfordern entsprechende zusätzliche Instrumente zum Abbau von Hemmnissen, welche deutlich über das derzeit eingesetzte Instrumentarium hinausgehen. Die modellierten Veränderungen in der Nutzung von Energiedienstleistungen zeigen sich z.B. in einer Verlangsamung des Anstiegs der installierten Beleuchtungsleistung pro Gebäudefläche, aber auch in einem moderaten Anstieg des Energiebedarfs von Rechenzentren (siehe unten).

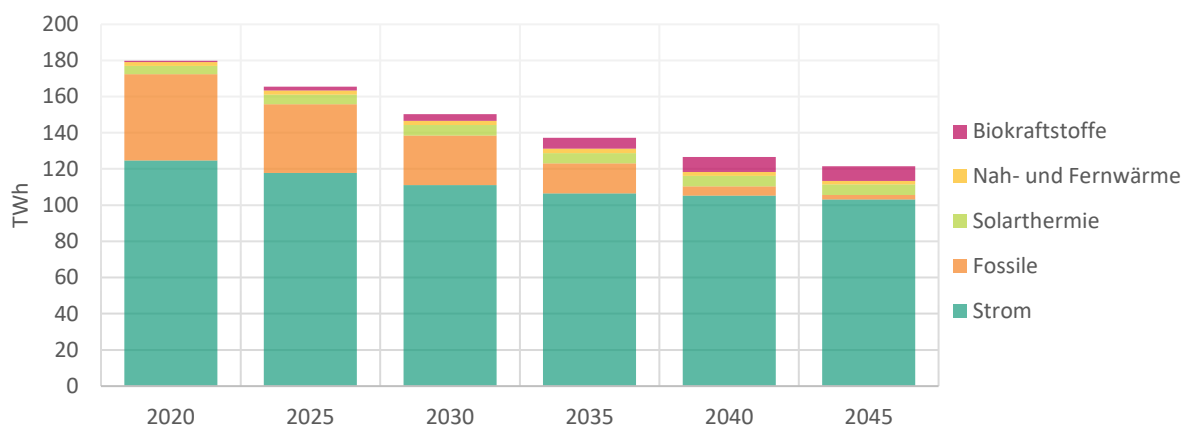
---

<sup>2</sup> Die mediane Amortisationszeit für Energieeffizienzmaßnahmen in Nichtwohngebäuden und Wohngebäuden beträgt laut DEEP-Datenbank (<https://deep.ec.europa.eu/>) 5,9 Jahre.



Darüber hinaus werden im Szenario O45-Strom alle (nahezu) betriebswirtschaftlich realisierbaren Potenziale zur Elektrifizierung von Prozessen und Anwendungen ausgeschöpft. Dies führt über Effizienzsteigerungen zu einer stärkeren Reduktion des Gesamtenergiebedarfs. Die zeitliche Umsetzung der Effizienzmaßnahmen verteilt sich nicht gleichmäßig über den Zeitraum bis 2050, sondern findet verstärkt zwischen 2020 und 2030 statt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass eine Vielzahl von Maßnahmen kurzfristig umgesetzt werden muss, um die entsprechenden Mindeststandards zu erreichen. Diese Maßnahmen, wie z.B. die Einführung hocheffizienter Beleuchtungstechnologien, wirken sich dann auch in den Folgejahren aus. Aufgrund der relativ kurzen Lebensdauer einiger Technologien, z.B. von Lampen und IKT-Geräten, und der damit verbundenen schnelleren Erneuerung des Gebäudebestandes werden die Wirkungen entsprechender Maßnahmen schneller sichtbar als z.B. bei Gebäuden oder Industrieanlagen. Gleichzeitig sind frühzeitige Maßnahmen erforderlich, um in Bereichen mit längeren Investitionszyklen (z.B. Infrastruktur in Rechenzentren) rechtzeitig die Weichen in Richtung Zielerreichung zu stellen.

**Abbildung 3: Endenergie nach Energieträgern (in TWh) im GHD-Sektor im Szenario O45-Strom**



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

**Tabelle 4: Endenergie nach Energieträgern (in TWh) im GHD-Sektor im Szenario O45-Strom**

Szenario	Energieträger	2020	2030	2040	2045
O45-Strom	Strom	124,6	111,1	105,3	103,2
	Fossile	47,8	27,2	5,0	2,5
	Solarthermie	4,5	5,9	5,8	5,8
	Nah- und Fernwärme	2,1	2,4	2,2	1,9
	Biokraftstoffe	0,7	3,7	8,3	8,1
	<b>Gesamt</b>		<b>179,7</b>	<b>150,4</b>	<b>126,6</b>

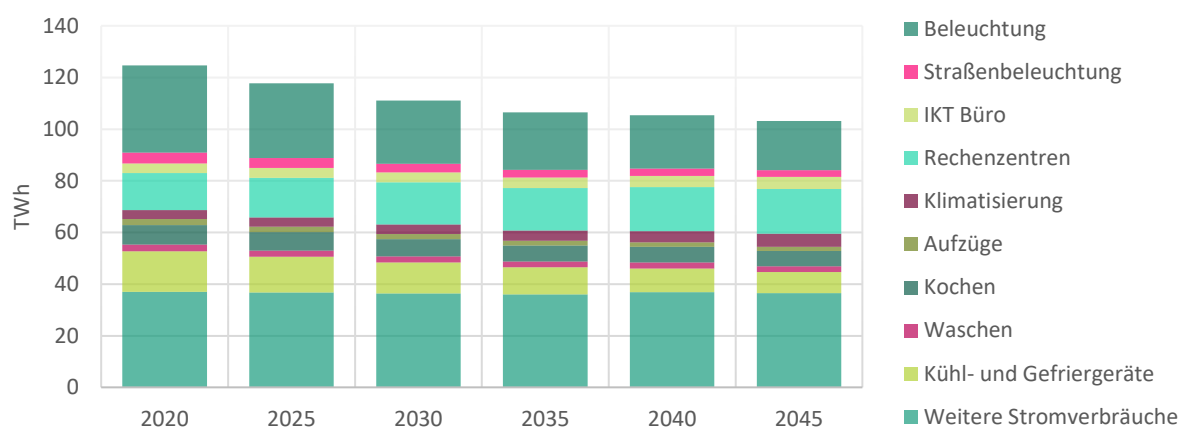
### Stromnachfrage nach Anwendungen

Im Szenario O45-Strom werden von den 124,9 TWh Strom 87,6 TWh auf der Ebene der einzelnen Anwendungen durch eine Bottom-up-Modellierung betrachtet. Im Szenario ergibt sich der Rückgang des Strombedarfs im Sektor GHD um 17 % zwischen 2020 und 2045 aus sehr unterschiedlichen Entwicklungen in den einzelnen Anwendungsbereichen (siehe Abbildung 4 und Tabelle 5). Es

ist kein einheitlicher Rückgang des Strombedarfs zu beobachten. Einerseits wirken in einigen Bereichen die bestehenden Politiken (insbesondere Mindesteffizienzstandards und verpflichtende Energieverbrauchskennzeichnung) sehr gut.<sup>3</sup> Dazu gehören die bereits gut regulierten Bereiche Kühl- und Gefriergeräte (Reduktion um 48 % zwischen 2020 und 2045) und Beleuchtung (Reduktion um 44 % bzw. 39 %). Bei der Beleuchtung werden bis 2030 bereits 27 % der Reduktion erreicht. Hier zeigen die Ergebnisse, dass bis 2030 hocheffiziente LED-Beleuchtung sowie licht- und bewegungsabhängige Steuerungen weit verbreitet sind (Anteil am Beleuchtungsstrombedarf 2020 im Jahr 2020: 16 %). Eine deutliche Reduktion des Endenergiebedarfs wird auch bei Aufzügen erreicht (Reduktion um 31 % zwischen 2020 und 2045), bei denen in den nächsten Jahren große technologische Fortschritte zu erwarten sind. In diesen Bereichen sind die zu erwartenden Effizienzsteigerungen größer als der Mehrverbrauch durch mehr Beschäftigte und sektorales Wirtschaftswachstum.

Deutlich steigende Energiebedarfe sind dagegen im Szenario O45-Strom in den Bereichen IKT-Büro (+27 %), Rechenzentren (+21 %) und Klimatisierung (+47 %) zu erwarten. Hierbei handelt es sich ausschließlich um zentrale und mobile Klimageräte. Der Verbrauch von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ist im Modul Gebäude enthalten. Dieser zusätzliche Bedarf ergibt sich aus der stetig wachsenden Nachfrage nach Dienstleistungen (in Rechenzentren) sowie der Anzahl der Geräte und deren Leistung. Das Szenario O45-Strom geht davon aus, dass auch diese Bereiche in Zukunft stärker durch Effizienzvorgaben reguliert werden. Diese Annahme führt dazu, dass der Anstieg des Strombedarfs in den Bereichen IKT, Rechenzentren und Klimatisierung im Szenario O45-Strom als moderat einzustufen ist. Hinzu kommt der Strombedarf aus neuen Anwendungen, die bisher durch fossile Energieträger gedeckt werden. Dies gilt insbesondere für die Elektrifizierung der Prozesswärme, die z.B. im Bereich des gewerblichen Kochens und Waschens nur zu einer leichten Reduktion des Strombedarfs führt. Gleiches gilt für die Elektrifizierung mechanischer Anwendungen mittels Elektromotoren, die zu einem Mehrbedarf bei den sonstigen Stromverbräuchen führt.

**Abbildung 4: Stromnachfrage nach Anwendungen im GHD-Sektor im Szenario O45-Strom**



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

<sup>3</sup> Empirische Erkenntnisse hierzu liegen aus dem kontinuierlichen Monitoring der EU-Ökodesign-Verordnung vor, vgl. European Union (2021).

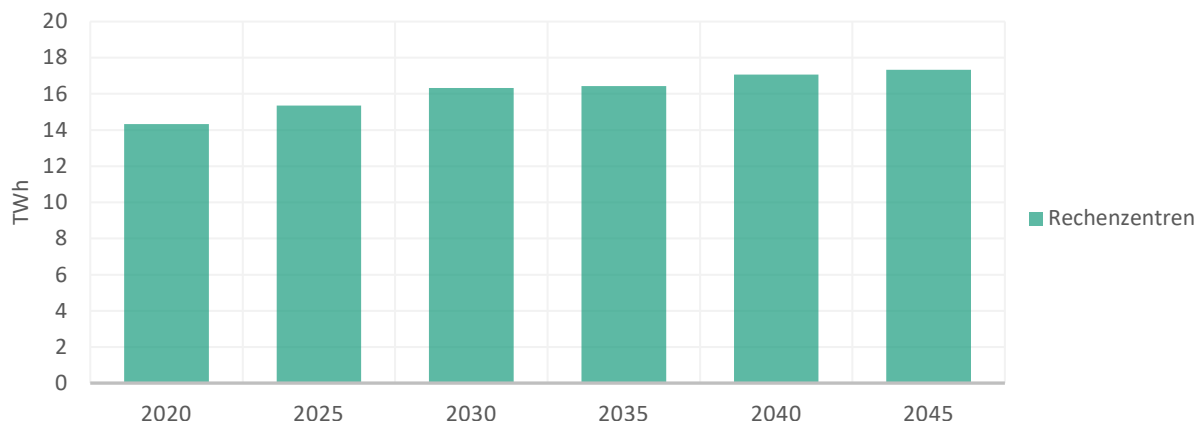
**Tabelle 5: Stromnachfrage (in TWh) nach Anwendungen im GHD-Sektor im Szenario O45-Strom**

Szenario	Anwendung Gruppe	2020	2030	2040	2045
<b>O45-Strom</b>	Beleuchtung	33,7	24,5	20,6	19,0
	Straßenbeleuchtung	4,3	3,3	2,8	2,6
	IKT Büro	3,7	3,9	4,4	4,7
	Rechenzentren	14,3	16,3	17,1	17,3
	Klimatisierung	3,5	3,7	4,3	5,1
	Aufzüge	2,3	2,0	1,7	1,6
	Kochen	7,6	6,6	6,1	5,9
	Waschen	2,5	2,3	2,2	2,2
	Kühl- und Gefriergeräte	15,7	12,0	9,2	8,2
	Weitere Stromverbräuche	37,1	36,4	36,9	36,5
	<b>Gesamt</b>		<b>124,6</b>	<b>111,1</b>	<b>105,3</b>

### Stromnachfrage in Rechenzentren

Der Energiebedarf für Rechenzentren ist in Abbildung 5 dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass mit einem weiteren Anstieg dieses Bedarfs zu rechnen ist, dass aber der Anstieg im Szenario O45-Strom eher moderat ausfällt. Auch dieser Anstieg ist das Ergebnis zweier gegenläufiger Entwicklungen. Zum einen ist mit schnellen und deutlichen Effizienzsteigerungen zu rechnen, z.B. durch erhebliche technologische Fortschritte und Effizienzsteigerungen bei der Datenkompression und -verarbeitung. Darüber hinaus kann eine gesetzliche Grundlage neben Mindestanforderungen an die Effizienz von Rechenzentren auch Investitionshemmnisse abbauen, etwa durch gezielte Förderung, optimierte Verwaltungs- und Planungsprozesse und Informationsinstrumente.

Erhebliche Effizienzsteigerungen bei der Datenübertragung, der Datenverarbeitung und in Rechenzentren haben dazu geführt, dass sich das Wachstum der Recheninstanzen deutlich vom Energiebedarf entkoppelt hat. Während weltweit die Recheninstanzen zwischen 2015 und 2021 von 0,6 Zettabyte (ZB) auf 3,4 ZB (d.h. um 440 %) anwachsen, steigt der Energiebedarf in Rechenzentren im gleichen Zeitraum von 200 TWh auf 220-320 TWh (d.h. um 10 % bis 60 %) (IEA, 2022). Es ist jedoch unklar, wie lange die Effizienzfortschritte noch mit dem wachsenden Bedarf Schritt halten können. Zumal derzeit noch große Unsicherheiten über den Daten- und Energiebedarf von Zukunftstechnologien wie autonomes Fahren, digitale Zwillinge oder Kryptowährungen bestehen. Hinzu kommt, dass viele digitale Dienste grenzüberschreitend erbracht werden können, so dass Unsicherheiten über den tatsächlichen Standort der zu errichtenden Rechenzentren bestehen. Je nach Anwendungsfall sind lokale, dezentrale Rechenzentren erforderlich (z.B. beim autonomen Fahren zur Beschleunigung der Datenverarbeitungszeit), auch Datenschutzerfordernisse können die Standortwahl beeinflussen. Aufgrund der relativ hohen Unsicherheiten sind die in T45 Strom getroffenen Annahmen als eher konservativ und der daraus resultierende Anstieg des Energiebedarfs als relativ gering einzustufen.

**Abbildung 5: Steigende absolute Energiebedarfe in Rechenzentren**

Quellen: Berechnungen Fraunhofer ISI

## 2.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der Gesamtenergiebedarf im Szenario O45-Strom sinkt zwischen 2020 und 2045 um 32 % von 179,7 TWh auf 121,6 TWh. Der Anteil der fossilen und alternativen Energieträger im Szenario nimmt kontinuierlich ab und beträgt 2045 noch 2,5 TWh (2 % des Gesamtenergiebedarfs). Durch eine weitgehende Elektrifizierung und Effizienzsteigerungen sinkt der Strombedarf des GHD-Sektors im O45-Strom von 2020 bis 2045 um 17 %. Ein Großteil der Anwendungen und Prozesse kann elektrifiziert werden. Für einzelne Prozesse und Anwendungen bleiben THG-neutrale Alternativen (Biokraftstoffe, Nah- und Fernwärme & Solarthermie) kostengünstiger als die Elektrifizierung, so dass im Jahr 2045 85 % des Gesamtenergiebedarfs des Sektors GHD durch Strom und die restlichen 15 % durch die übrigen Energieträger gedeckt werden.

Die Entwicklung des Energiebedarfs für Rechenzentren, IKT-Endgeräte und Klimatisierung ist hinsichtlich der Größenordnung mit größeren Unsicherheiten behaftet. Der Trend zeigt jedoch deutlich, dass die Anzahl der Geräte im Bereich IKT und Klimatisierung zunimmt, während die Anzahl der anderen Geräte stagniert. Auch der Energiebedarf von Rechenzentren nimmt stetig zu, so dass dieser durch eine deutliche Reduktion anderer sektoraler Anwendungen und Prozesse kompensiert werden müsste, um eine Reduktion des Energiebedarfs im GHD-Sektor zu erreichen. Eine verstärkte Elektrifizierung kann hierzu einen wichtigen Beitrag leisten. Für die maximale Ausschöpfung der hier dargestellten betriebswirtschaftlich sinnvollen Effizienzpotenziale im Szenario O45-Strom, insbesondere auch durch die Elektrifizierung von Prozessen, sind erhebliche politische Anstrengungen erforderlich.

## 3 Haushalte

---

### 3.1 Methodik

Für die Haushaltsgeräte wird nur das Szenario O45-Strom berechnet, da H<sub>2</sub> und PtG/PtL auch bei starker Fokussierung langfristig nur eine geringe Rolle spielen würden.

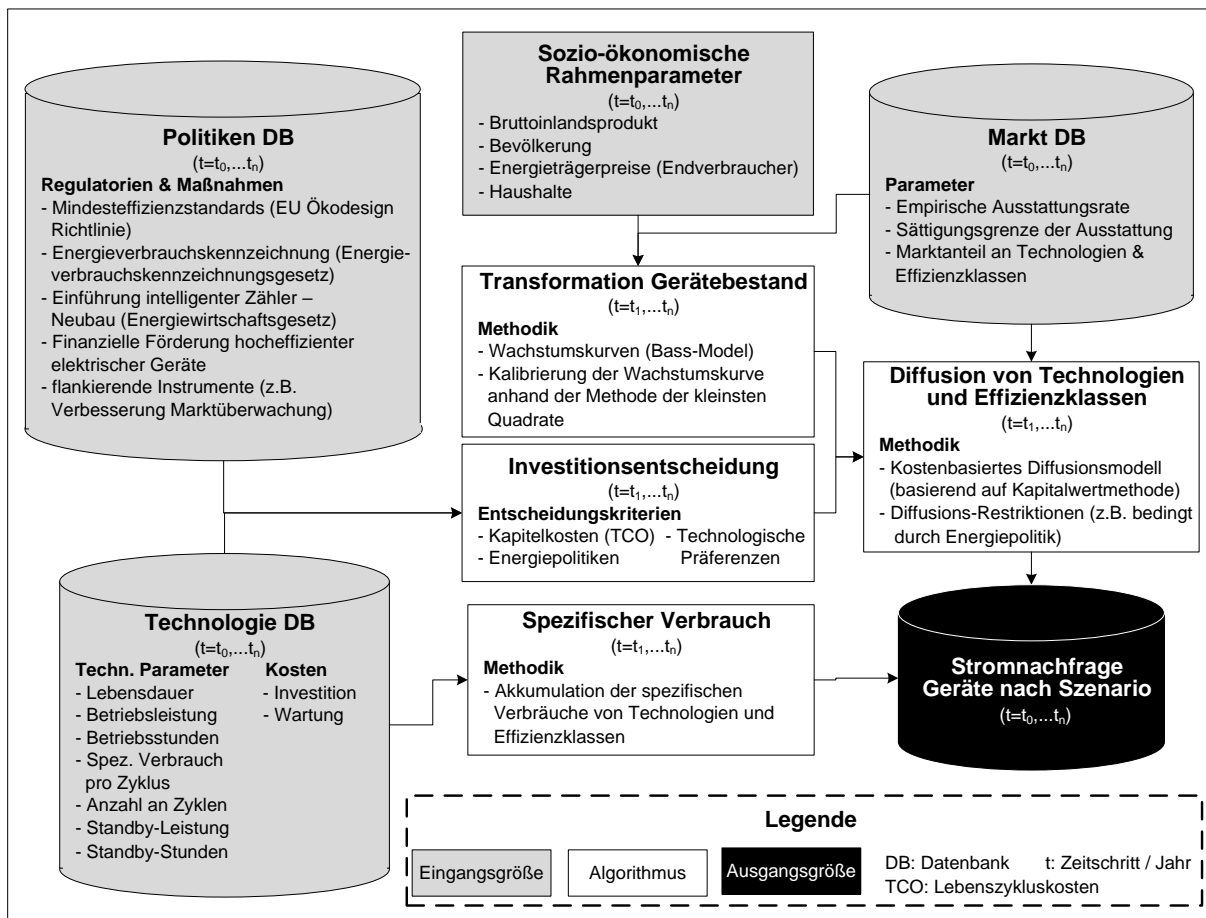
Die Berechnung des zukünftigen Energie- und insbesondere Strombedarfs der Haushaltsgeräte in den privaten Haushalten erfolgt mit der Energienachfrageplattform FORECAST. Diese Plattform wird auch für die Berechnung des Bedarfs der Industrie und des Sektors GHD verwendet. FORECAST-Residential<sup>4</sup> setzt sich aus den folgenden Gerätekategorien zusammen, die im Modell weiter nach Technologien bzw. Effizienzklassen differenziert werden: (1) Haushaltsgroßgeräte (z.B. Kühlschränke); (2) IKT-Endgeräte (z.B. Laptops); (3) Beleuchtung (z.B. LEDs); (4) Klimageräte; (5) sonstige elektrische Anwendungen (z.B. Smartphones). Die aufgeführten Gerätekategorien umfassen mit Ausnahme der Herde ausschließlich strombasierte Anwendungen. Bei den Herden wird der Gasbedarf berücksichtigt.

Eine Übersicht über die qualitativen Zusammenhänge der Modellrechnung ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Bestandsumwälzung bzw. Marktdiffusion von Neugeräten erfolgt über eine gerätespezifische Lebensdauer mit normalverteilter Ausfallwahrscheinlichkeit, die den Zeitpunkt des Lebensdauerende eines Altgerätes und des Lebensdauerbeginns eines Neugerätes bestimmt. Die Wahl der Technologien bzw. Effizienzklassen der ersetzten Altgeräte und des Bestandszuwachses, der als Neugeräte in den Bestand diffundiert, orientiert sich an den implementierten Mindesteffizienzstandards, die durch die Ökodesign-Richtlinie definiert sind, und an Schätzungen für den Markteintritt neuer Technologien und Effizienzklassen. Der jährliche Endenergiebedarf aller Geräte ergibt sich letztlich aus dem spezifischen Verbrauch, dem durchschnittlichen Ausstattungsgrad pro Wohneinheit und der Anzahl der Haushalte.

---

<sup>4</sup> <https://www.forecast-model.eu/forecast-en/index.php>

Abbildung 6: Modellüberblick FORECAST-Residential (Geräte-Modul)



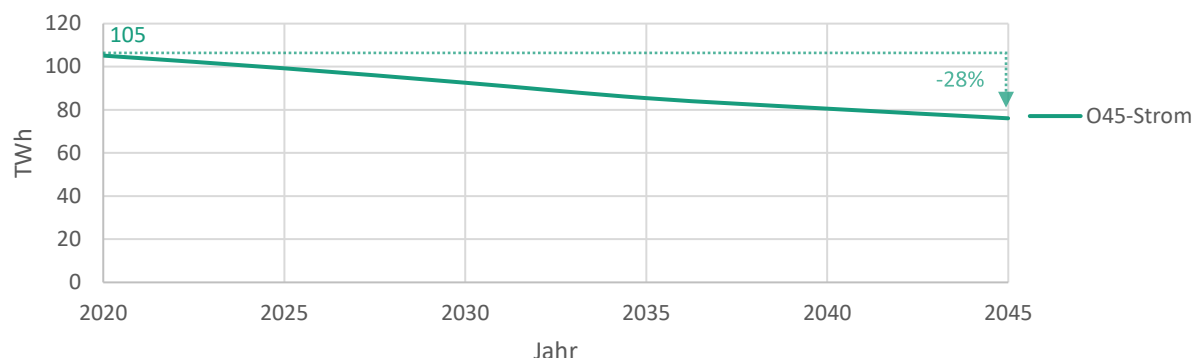
Quelle: Elsland (2016)

## 3.2 Ergebnisse

### Endenergiebedarf

Die Analyse der Endenergienachfrage bis 2045 zeigt im Szenario O45-Strom einen kontinuierlich rückläufigen Trend. Der Gesamtenergiebedarf für die Geräte privater Haushalte sinkt von 105,1 TWh im Jahr 2020 auf 76,0 TWh (-27 %) bis zum Jahr 2045. Der Endenergiebedarf für die Haushaltsgeräte in privaten Haushalten wird durch die beiden Energieträger Strom und Gas bereitgestellt (Tabelle 6). Im Jahr 2020 betrug der Energiebedarf von Haushaltsgeräten 105,1 TWh, wovon 103,9 TWh durch Strom und 1,2 TWh durch Gas bereitgestellt wurden.<sup>5</sup> Gasherde sind die einzigen verbliebenen Nicht-Stromanwendungen in privaten Haushaltsgeräten. In dem Szenario werden diese vollständig durch effiziente Elektroherde ersetzt, sodass der Gasbedarf im Jahr 2045 bei 0,0 TWh liegt.

<sup>5</sup> Die 104,9 TWh Strom für die Haushaltsgeräte im Jahr 2020 entsprechen dem Strombedarf der AGEB Anwendungsbilanzen für das Jahr 2020 für private Haushalte (AGEB, 2021), abzüglich dem Strombedarf der für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser benötigt wird.

**Abbildung 7: Endenergiebedarf für Haushaltsgeräte nach Szenario in TWh**

Endenergiebedarf inklusive Strom und Erdgas

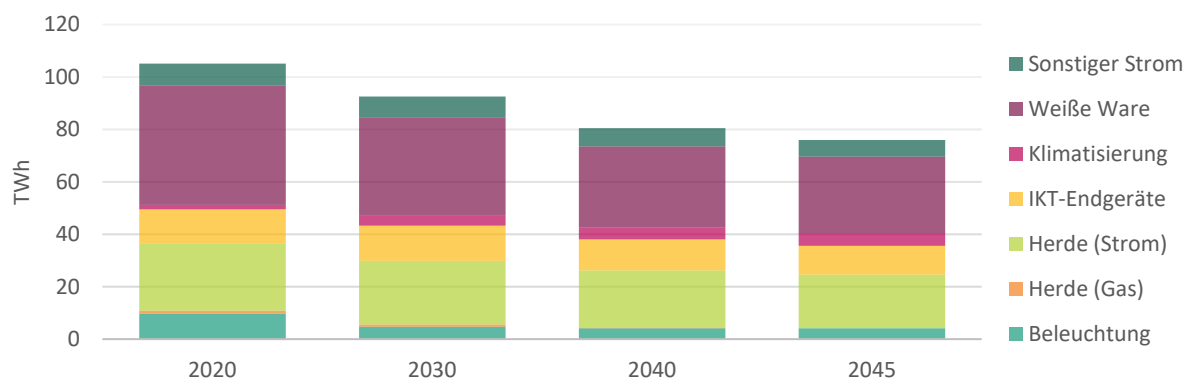
**Tabelle 6: Endenergiebedarf für Haushaltsgeräte nach Energieträger in TWh**

Szenario	Energieträger	2020	2030	2040	2045
O45-Strom	Strom	103,9	91,7	80,4	76,0
	Erdgas	1,2	0,8	0,1	0,0
	<b>Gesamt</b>	<b>105,1</b>	<b>92,5</b>	<b>80,5</b>	<b>76,0</b>

**Strom- und Gasnachfrage nach Anwendungen**

Abbildung 8 und Tabelle 7 zeigen den Energiebedarf nach Anwendungsgruppen. Die größte Verbrauchsreduktion ist auf die Weiße Ware zurückzuführen. Der Strombedarf der Weißen Ware sinkt im Szenario O45-Strom zwischen 2020 und 2045 um 16,2 TWh bzw. 36 %. Die Einsparpotenziale werden im Wesentlichen durch eine schnellere und ordnungspolitisch unterstützte Verbreitung effizienter Geräte erschlossen (vgl. Kapitel 2.1), denen ein bereits heute hoher Sättigungsgrad bei der Geräteausstattung gegenübersteht. So liegt der Ausstattungsgrad bei Kühlschränken und Waschmaschinen knapp über bzw. knapp unter 100 % und verändert sich im Zeitverlauf kaum.

Auch bei der Beleuchtung führen verschärfte Mindesteffizienzstandards zu einem Rückgang des Strombedarfs von 9,7 TWh (2020) auf 4,1 TWh (2045), was einem Rückgang von 57 % entspricht. Ein Großteil dieses Rückgangs ist auf die Mindestenergieeffizienzstandards zurückzuführen. Die Anzahl der Beleuchtungspunkte steigt von ca. 34 pro Haushalt im Jahr 2020 auf 36 im Jahr 2045. Bei den IKT-Endgeräten sinkt der Energiebedarf im Stromszenario O45 von 12,9 TWh im Jahr 2020 auf 11,0 TWh im Jahr 2045, was einem Rückgang von 15 % entspricht. Die umgesetzten Mindesteffizienzstandards führen also trotz steigender Ausstattungsraten zu Energieeinsparungen.

**Abbildung 8: Energienachfrage nach Anwendungsgruppen in TWh**

Im O45-Strom-Szenario wird ein deutlicher Anstieg des Energiebedarfs für die Klimatisierung erwartet. Hintergrund dafür sind steigende Ausstattungsraten () sowie die fortschreitende Klimaerwärmung insbesondere während der Sommermonate. Dabei handelt es sich ausschließlich um mobile Klimageräte, die nicht Teil der Gebäudeautomation sind. Der Strombedarf steigt von 1,7 TWh im Jahr 2020 auf 4,6 TWh im Jahr 2045, also um 176 %.

**Tabelle 7: Energienachfrage nach Szenario und Anwendungsgruppen in TWh**

Szenario	Anwendungsgruppe	2020	2030	2040	2045
O45-Strom	Beleuchtung	9,7	4,8	4,1	4,1
	Gasbedarf (Herde)	1,2	0,8	0,1	0,0
	Herd (Strom)	25,7	24,3	22,0	20,5
	IKT-Endgeräte	12,9	13,4	11,9	11,0
	Klimatisierung	1,7	4,1	4,6	4,6
	Weiße Ware	45,7	37,3	30,9	29,4
	Sonstiger Strom	8,3	7,9	6,9	6,4
	<b>Gesamt</b>		<b>105,1</b>	<b>92,5</b>	<b>80,5</b>



### 3.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Ausschöpfung der vorhandenen Effizienzpotenziale und die relativ konstanten Ausstattungsgrade vieler Geräte führen im Szenario O45-Strom zu einem kontinuierlichen und deutlichen Rückgang des Energiebedarfs für Haushaltsgeräte um 28 % von 105,1 TWh im Jahr 2020 auf 76,0 TWh im Jahr 2045. Im Jahr 2020 sind Gasherde die einzige nicht strombasierte Anwendung. Diese werden im Szenario bis 2045 vollständig durch Elektroherde ersetzt. Insgesamt sind in den privaten Haushalten erhebliche Einsparungen möglich, wenn einerseits Effizienzpotenziale konsequent genutzt werden und andererseits der Anstieg neuer Verbräuche begrenzt bleibt.

## 4 Literatur

---

European Union (2021): Ecodesign impact accounting annual report 2021. Overview and status report. Brussels: European Union.

Fraunhofer ISI (2022): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. T45 Welten. Modul GHD und Geräte. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung.

IEA (2022): Data Centres and Data Transmission Networks, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>, License: CC BY 4.0.

UBA (2023): Projektionsbericht 2023 für Deutschland. Gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA).