



# Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland

Treibhausgasneutrale Hauptszenarien  
Modul GHD und Geräte

## Impressum

---

# Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland

### Projektleitung

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

Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe

Dr. Frank Sensfuß, frank.sensfuss@isi.fraunhofer.de

**Consentec GmbH**

Grüner Weg 1, 52070 Aachen

Dr. Christoph Maurer, maurer@consentec.de

### Autoren

Heike Brugger, Heike.Brugger@isi.fraunhofer.de

Tim Mandel, Tim.Mandel@isi.fraunhofer.de

### Beteiligte Institute

**Consentec GmbH**

Grüner Weg 1, 52070 Aachen

Dr. Christoph Maurer, 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 (Projektleitung)

Gerda Deac, gerda.deac@isi.fraunhofer.de (Projektmanagement)

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

Im Weiher 10, 69121 Heidelberg

Peter Mellwig, peter.mellwig@ifeu.de

**Technische Universität Berlin**

Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin

Prof. Dr. Joachim Müller-Kirchenbauer, jmk@er.tu-berlin.de

### Auftraggeber

**Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)**

Scharnhorststr. 34-37, 10115 Berlin

### Veröffentlicht

September 2021

### 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

---

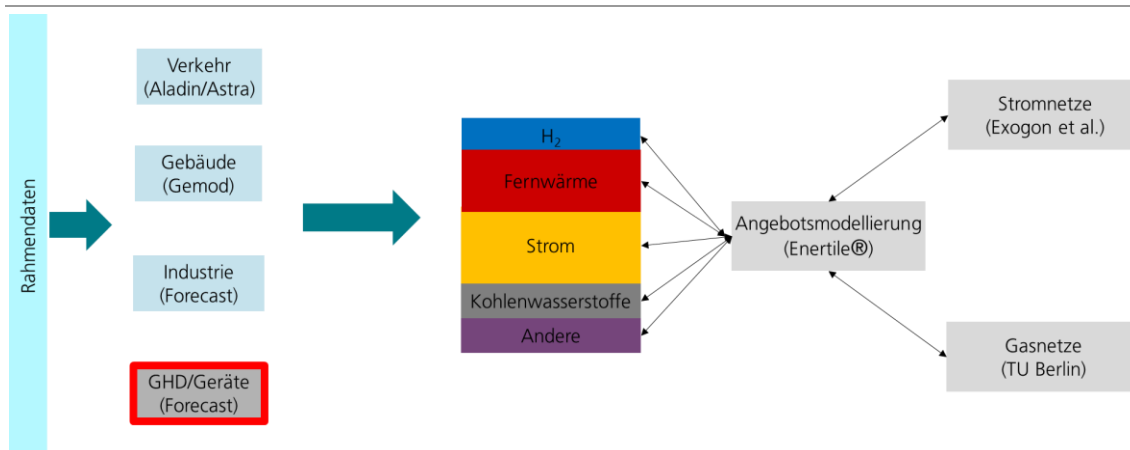
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)</b>	<b>6</b>
2.1	Methodik .....	6
2.2	Sektorspezifische Rahmendaten .....	7
2.3	Ergebnisse des Szenarios TN-Strom.....	8
2.3.1	Endenergiebedarf.....	8
2.3.2	Stromnachfrage nach Anwendungen .....	10
2.3.3	Stromnachfrage in Rechenzentren und für IKT .....	11
2.4	Zusammenfassung & Schlussfolgerungen.....	12
<b>3</b>	<b>Haushalte (Geräte)</b>	<b>14</b>
3.1	Methodik .....	14
3.2	Sektorspezifische Rahmendaten .....	15
3.3	Ergebnisse des Szenarios TN-Strom.....	16
3.3.1	Endenergiebedarf.....	16
3.3.2	Strom- und Gasnachfrage nach Anwendungen.....	17
3.4	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	19
<b>4</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>23</b>

# 1 Einleitung

Im Projekt „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“ (Langfristszenarien 3) werden im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie Szenarien für die zukünftige Entwicklung eines treibhausgasneutralen Energiesystems modelliert. Die Modellierung umfasst das gesamte Energiesystem, also übergreifend die Erzeugung von Strom, Wärme und Wasserstoff sowie die Nachfrage nach Energie in den Sektoren Industrie, Verkehr, Gebäude und Geräte. Die Energieinfrastrukturen (Strom und Gase) werden ebenfalls mit modelliert. Im Fokus der Analyse steht dabei nicht die Entwicklung eines einzelnen "Leitszenarios", sondern die Untersuchung von unterschiedlichen Szenariowelten, um durch die vergleichenden Analysen Erkenntnisse über die Vor- und Nachteile alternativer Pfade für die Transformation des Energiesystems zu gewinnen.

Somit können Pfadabhängigkeiten und robuste Entwicklungen auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität identifiziert werden. Um die zunehmenden Wechselwirkungen zwischen den Sektoren adäquat zu erfassen, ist der Einsatz eines komplexen Modellverbunds nötig. Im Projekt Langfristszenarien 3 koppeln wir spezialisierte Sektormodelle für Gebäude, Industrie, GHD&Geräte, Energieangebot, Gasnetze und Stromnetze, um eine möglichst hohe Auflösung zu erreichen.

**Abbildung 1: Modellverbund im Projekt**



In einem ersten Schritt werden im Projekt drei Szenarien berechnet, die sich hinsichtlich der Bedeutung der in den Nachfragesektoren eingesetzten Energieträger für die Dekarbonisierung unterscheiden. Das Szenario TN-Strom setzt auf eine starke Elektrifizierung des Energiesystems, um Treibhausgasneutralität zu erreichen. Das Szenario TN-H<sub>2</sub>-G setzt auf eine starke Nutzung von grünem Wasserstoff im Energiesystem. Das Szenario TN-PtG/PtL setzt auf eine starke Nutzung von synthetischen Kohlenwasserstoffen im Energiesystem.

Dieses Berichtsmodul stellt die Methodik und die Ergebnisse für den Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und Haushaltsgeräte für diese erste Szenarioanalyse treibhausgasneutraler Szenarien dar.

## 2 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)

### 2.1 Methodik

Im GHD Sektor wurde nur das Szenario TN-Strom gerechnet, da auch bei starker Fokussierung H<sub>2</sub> und PtG/PtL langfristig nur in minimalem Umfang eine Rolle spielen könnten.

Die Energiebedarfe der nicht-gebäudebezogenen Wärme- und Stromnachfrage werden im GHD Sektor mit dem Modul FORECAST-Tertiary des Energienachfragemodells FORECAST berechnet.

Das Modell für Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD) wurde mit dem Ziel entwickelt, Prognosen zur Entwicklung des Stromverbrauchs in GHD zu erstellen, die Wirkungen von politischen Instrumenten darzustellen und Strom-Einsparpotenziale abzuschätzen. Das Modul ist hinsichtlich des Aufbaus vergleichbar mit dem Industriemodul, allerdings an Datenverfügbarkeit und Technologiestruktur im Sektor GHD angepasst. D.h. im Modell wird über ein Mengengerüst der Energieverbrauch einzelner Branchen und Energiedienstleistungen in Abhängigkeit von Rahmenbedingungen (u.a. Wirtschaftsentwicklung, Effizienzpolitik, Energiepreise) berechnet.

Die Aktivitätsgrößen „Anzahl der Beschäftigten“ und „Nutzfläche je Branche“ bilden die zentralen Größen im Mengengerüst für die Hochrechnung des Energieverbrauchs. Beide Größen sind direkter an den Energieverbrauch gekoppelt als die Wertschöpfung des Sektors. Dabei sind die Beschäftigten eher für Energiedienstleistungen wie EDV-Ausstattung relevant, während die Nutzfläche für die gebäudebezogenen Energiedienstleistungen die zentrale Größe ist. Die sektorale Einteilung der Aktivitätsgrößen orientiert sich dabei an der Klassifizierung der Wirtschaftszweige 2008 (WZ 2008) und unterscheidet acht Branchen. Entsprechend erlaubt sie über das hinterlegte Mengengerüst eine „Bottom-up“-Berechnung des Energieverbrauchs für jede der Branchen, was deutlich über die Detaillierung der Energiebilanzen nach AGEB hinausgeht, welche den Energieverbrauch nur für den Sektor GHD als Ganzes ausweisen.

**Tabelle 1: Aufteilung des GHD Sektors nach Wirtschaftszweigen (WZ2008)**

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 Wirtschaftszweigen wird einzelnen Anwendungen bzw. Energiedienstleistungen zugeordnet. In Tabelle 2 sind die im Modell hinterlegten Energiedienstleistungen dargestellt. Durch die Abbildung dieser Anwendungen im Modell ist es möglich, die Stromnachfrage der einzelnen Branchen - ausgehend von der technologischen Struktur - zu berechnen und so einen Großteil der Stromnachfrage des tertiären Sektors durch die technologischen Entwicklungen zu erklären. Somit können Energieeffizienzmaßnahmen explizit ins Modell aufgenommen und an technologische Entwicklungen gekoppelt werden. Die explizite Darstellung von Effizienzmaßnahmen erlaubt unter anderem Annahmen zu den Wirkungen politischer Instrumente, wie etwa bei den Durchführungsmaßnahmen der Ökodesign-Richtlinie, direkt in das Modell zu übernehmen und dadurch 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
Klimatisierung	Sonstiges

## 2.2 Sektorspezifische Rahmendaten

Die Entwicklung der Beschäftigten (Tabelle 1) je Wirtschaftszweig stellt die wesentliche Aktivitätsgröße für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) dar. Die Werte von 2018 und 2020 sind historisch (Statistik der Bundesagentur für Arbeit, 2019, 2021). Ab 2030 handelt es sich um prognostizierte Werte, welche zugleich sektorale Prognosen als auch die gesamtwirtschaftliche Entwicklung berücksichtigen. Um die coronabedingten Sondereffekte hier nicht zu sehr zu gewichten, wurde die Prognose auf dem Basisjahr 2018 durchgeführt.

**Tabelle 3: Anzahl der Beschäftigten je Wirtschaftszweig im Sektor GHD [Mio. Beschäftigte]**

Wirtschaftszweig	WZ 2008	2018	2020	2030	2040	2050
Erziehung und Unterricht	P	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4
Finanz- und Versicherungsdienstleistungen	K	1.0	1.0	0.9	0.7	0.6
Gesundheits- und Sozialwesen	Q	5.7	5.9	6.0	5.9	5.8
Gastgewerbe	I	2.1	1.7	2.0	1.9	1.7
Handel; Reparatur von Fahrzeugen	G	5.8	5.8	5.4	4.9	4.5
Öffentliche Verwaltung, Verteidigung	O	1.9	2.1	1.7	1.6	1.5
Verkehr, Information und Kommunikation	H+J	3.6	3.7	3.4	3.1	2.9
Sonstige Wirtschaftszweige	L+M+N+R+S	8.3	8.1	8.3	7.8	7.4

Wirtschaftszweig	WZ 2008	2018	2020	2030	2040	2050
Summe		29.9	29.9	29.3	27.5	25.7

Quelle: Sozialversicherungspflichtige und geringfügig Beschäftigte; historische Werte für 2018 und 2020 (Bundesagentur für Arbeit, 2019, 2021)  
FORECAST-Tertiary

## 2.3 Ergebnisse des Szenarios TN-Strom

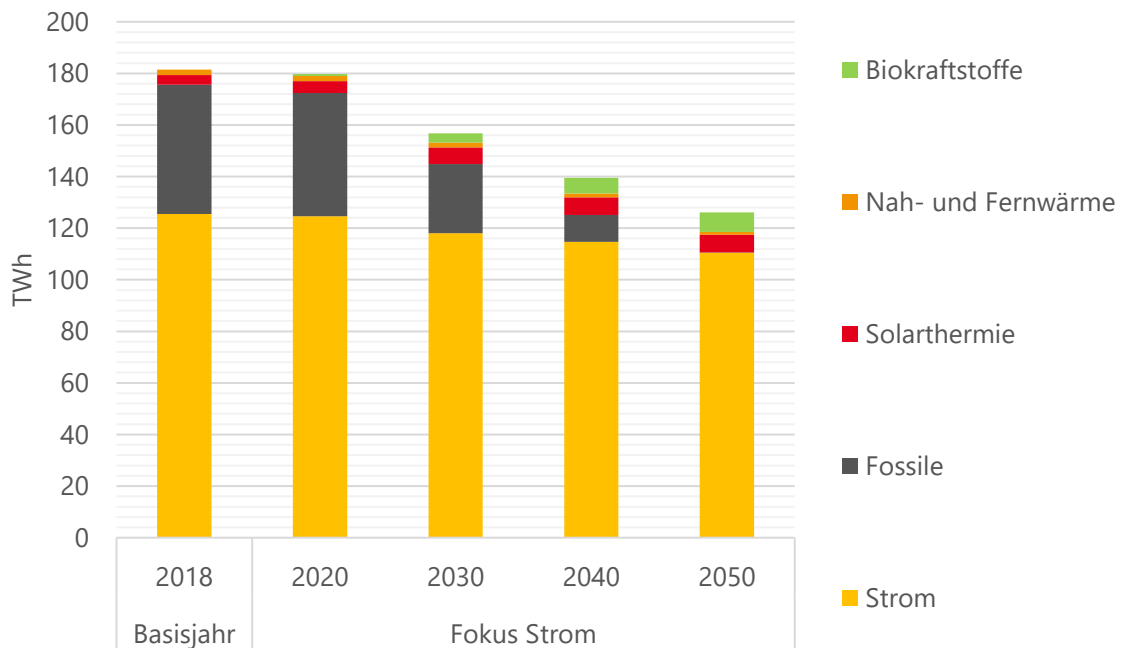
### 2.3.1 Endenergiebedarf

Die Entwicklung der Endenergienachfrage der GHD Anwendungen im Szenario TN-Strom zwischen 2018 und 2050 ist in Abbildung 1 dargestellt. Hierbei handelt es sich um die nicht gebäudebezogenen Anwendungen. Die Endenergienachfrage der gebäudebezogenen Verbraucher sind bei den Gebäuden bilanziert. Hierbei handelt es sich insbesondere um die Energiebedarfe für Raumwärme, Warmwasser und Lüftung. Der Anteil fossiler Energieträger im Szenario TN-Strom nimmt stetig ab und ist im Jahr 2050 vollständig eliminiert. Ein Großteil der Anwendungen und Prozesse kann elektrifiziert werden. Für einzelne Prozesse und Anwendungen verbleiben THG-neutrale Alternativen (Biotreibstoffe, Nah- und Fernwärme & Solarthermie) kostengünstiger als Elektrifizierung, so dass diese in 2050 noch 12 % des Gesamtenergiebedarfs im GHD-Sektor abdecken. Während die Stromnachfrage in 2018 125,5 TWh beträgt, beträgt sie in 2050 noch 110,5 TWh und sinkt damit über den Gesamtzeitraum im Szenario TN-Strom um 12 % (Abbildung 1 und Tabelle 1). Der Gesamtenergiebedarf im Szenario TN-Strom sinkt um gut 30 % von 181,5 TWh in 2018 auf 126,1 TWh in 2050.<sup>1</sup> Dieser Rückgang ist das Ergebnis zweier gegenläufiger Effekte: zum einen der Reduktion der Energiebedarfe durch Effizienzverbesserungen (insbesondere auch durch Elektrifizierung) und zum anderen der Erhöhung insbesondere der Strombedarfe durch zusätzliche Verbräuche (siehe insbesondere Abschnitt 2.3.3). Die Reduktion des Energiebedarfs wird getrieben durch eine ambitionierte Umsetzung von Effizienzmaßnahmen und der schnellen Verbreitung hocheffizienter Geräte sowie einem veränderten Verhalten bei der Nutzung von Energiedienstleistungen. Es wird davon ausgegangen, dass relevante existierende Hemmnisse für den Einsatz von Effizienz- und Elektrifizierungsmaßnahmen abgebaut werden. Diese Hemmnisse sind gerade im GHD-Sektor sehr hoch, da in vielen Unternehmen der Energiebedarf mit einem Gesamtkostenanteil von weniger als 1 % eine untergeordnete Rolle spielt bzw. vielfach in Unternehmen keine aktive Suche nach Einsparmaßnahmen stattfindet und Amortisationszeiten für Energieeffizienzmaßnahmen die gängigen Betrachtungshorizonte der Wirtschaftlichkeitsbewertung überschreiten können. Die Betrachtung von 'Multiple Impacts' der Energieeffizienz ist derzeit ebenfalls noch nicht gängige Praxis bei der Bewertung (der Wirtschaftlichkeit) von Energieeffizienzmaßnahmen. Die umgesetzten Einsparpotenziale können somit als sehr ambitioniert eingestuft werden und verlangen entsprechend ein Bündel an politischen Instrumenten zum Abbau von Hemmnissen, welches deutlich über die derzeit implementierten Instrumente hinausgeht. Die modellierten Änderungen bei der Nutzung von Energiedienstleistungen drücken sich z. B. durch eine Verlangsamung der Zunahme von installierter Lichtleistung je Gebäudefläche, eine langsamere Verbreitung von weiteren elektrischen Anwendungen sowie von Kühlregalen in Supermärkten, IKT und Rechenzentren aus. Darüber hinaus werden in dem Szenario TN-Strom alle (nahezu) wirtschaftlich realisierbaren Potentiale für die Elektrifizierung von Prozessen und Anwendungen ausgeschöpft. Dies führt, durch Effizienzverbesserungen, zu einer stärkeren Reduktion des Gesamtenergiebedarfs.

<sup>1</sup> Die 125,5 TWh Strom für die GHD-Anwendungen im Jahr 2018 entsprechen dem Strombedarf der AGEB Anwendungsbilanzen für das Jahr 2018 abzüglich des Strombedarfs für Warmwasser, Raumwärme und Lüftung (Fraunhofer ISI, 2019). Aufgrund der unterschiedlichen Bilanzierungsgrenzen ergibt sich eine Ungenauigkeit von 7 TWh zwischen den hier und in den Gebäuden ermittelten Strombedarfen, im Vergleich zu den AGEB.



**Abbildung 2: Endenergie nach Energieträgern (in TWh) im GHD-Sektor im Szenario TN-Strom**



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

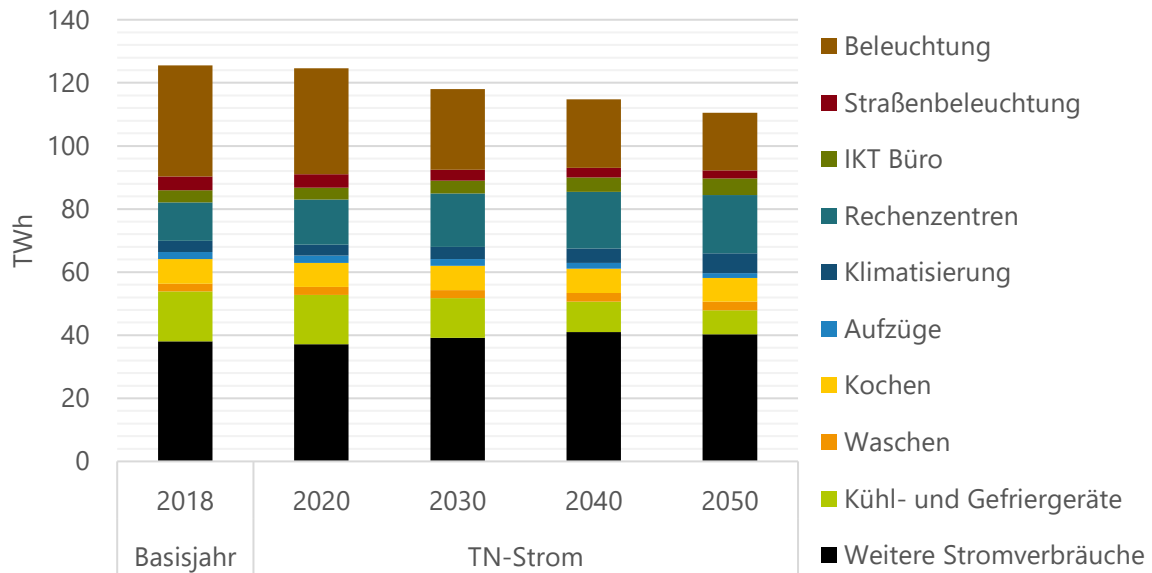
Energieträger	2018	2030	2040	2050
<b>Strom</b>	125,5	118,0	114,7	110,5
<b>Fossile<sup>2</sup></b>	50,1	26,8	10,3	0,0
<b>Solarthermie</b>	3,8	6,5	6,9	6,9
<b>Nah- und Fernwärme</b>	2,1	1,8	1,5	1,1
<b>Biokraftstoffe</b>	0,0	3,6	6,1	7,6
<b>Gesamt</b>	181,4	156,8	139,5	126,1

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 ein umfangreicher Satz an Maßnahmen kurzfristig umgesetzt werden muss, um die entsprechenden Minimalstandards zu erreichen. Diese Maßnahmen wie z. B. die Einführung von hocheffizienten Beleuchtungstechnologien wirken dann auch in den Folgejahren nach. Aufgrund der relativ kurzen Lebensdauer mancher Technologien, z. B. von Lampen und IKT-Geräten, und damit schnellerer Umwälzung des Bestandes wird die Wirkung entsprechender Maßnahmen schneller sichtbar als z. B. bei Gebäuden oder Industrieanlagen. Gleichzeitig sind bereits frühzeitige Maßnahmen erforderlich, um in den Bereichen mit längeren Investitionszyklen (bspw. die Infrastruktur in Rechenzentren) zeitnah die Weichen auf die Zielerreichung auszurichten.

<sup>2</sup> In den unterschiedlichen Szenarien kann es in der Kategorie "Fossile" zur Beimischung von biogenen Energieträgern und PtG kommen.

## 2.3.2 Stromnachfrage nach Anwendungen

**Abbildung 3: Stromnachfrage (in TWh) nach Anwendungen im GHD-Sektor im Szenario TN-Strom**



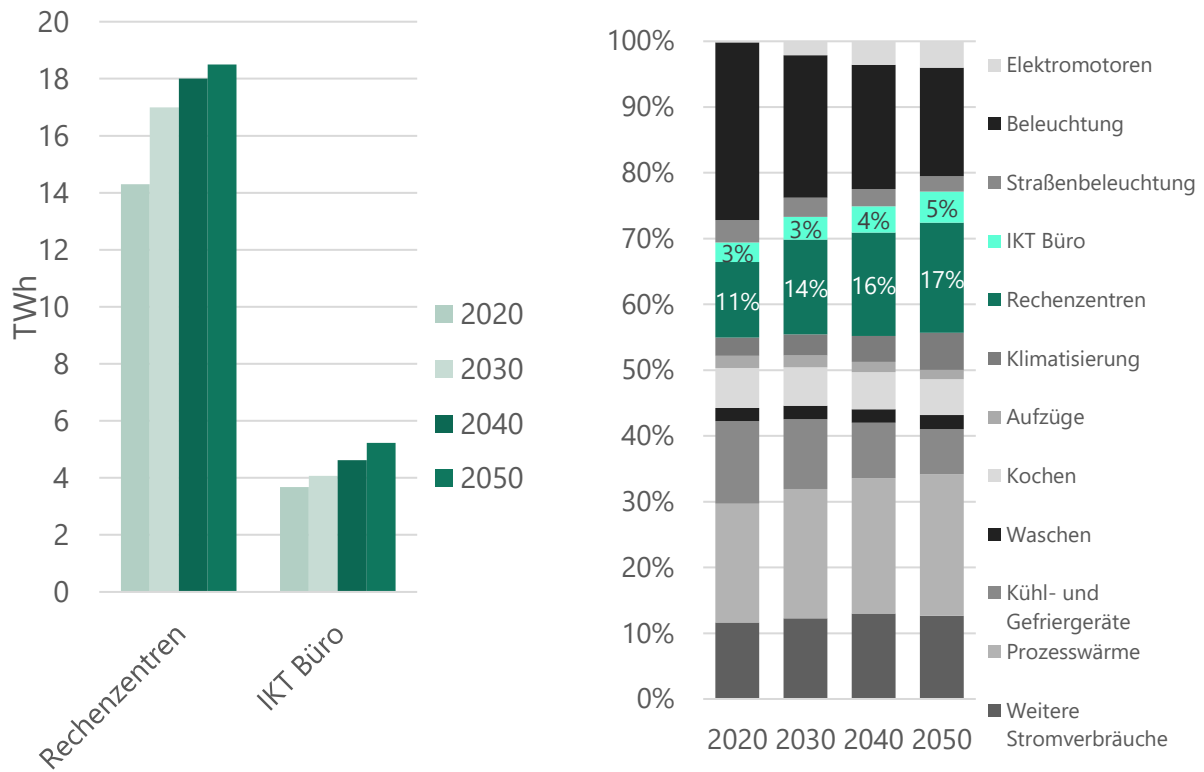
Von den 125,5 TWh Strom werden 87,4 TWh auf Ebene einzelner Anwendungen durch eine Bottom-up Modellierung betrachtet. Die in Abbildung 2 und Tabelle 2 dargestellte Reduktion der Stromnachfrage im GHD-Sektor um 12 % zwischen 2018 und 2050 entsteht durch sehr unterschiedlichen Entwicklungen in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen. Es ist kein einheitlicher Rückgang der Stromnachfrage zu beobachten. Einerseits greifen in manchen Bereichen die bestehenden Politiken (insbesondere die Mindesteffizienzstandards und die verbindliche Energieverbrauchskennzeichnung) sehr gut. Hierzu gehören die bereits heute gut regulierten Bereiche der Kühl- und Gefriergeräte (Reduktion um 52 %) und der Beleuchtung (Reduktion um 42 % bzw. 48 %). Bei der Beleuchtung werden 28 % der Reduktion bereits bis 2030 erreicht. Hier wird davon ausgegangen, dass bis 2030 hocheffiziente LED-Beleuchtungen sowie Licht- und bewegungsabhängige Steuerungen weitgehend verbreitet sind. Ebenfalls einen deutlichen Rückgang erfahren Aufzüge (Reduktion um 31 %) bei welchen in den kommenden Jahren große technologische Fortschritte zu erwarten sind. In diesen Bereichen sind die zu erwartenden Effizienzgewinne größer als der durch mehr Beschäftigte und sektoralem Wirtschaftswachstum entstehende Mehrverbrauch. Andererseits sind im Szenario TN-Strom deutlich wachsende Energiebedarfe in den Bereichen IKT-Büro (+37 %), Rechenzentren (+52 %) und in der Klimatisierung (+79 %) zu erwarten. Hierbei handelt es sich lediglich um zentrale und mobile Klimageräte. Der Verbrauch von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ist im Modul Gebäude erfasst. Diese zusätzlichen Bedarfe ergeben sich durch einen stetig weiterwachsenden Bedarf an Dienstleistungen (in Rechenzentren) sowie in der Anzahl der Geräte und ihrer Leistung. Das Szenario TN-Strom arbeitet mit der Annahme, dass auch diese Bereiche zukünftig stärker durch Effizienzvorgaben reguliert werden. Diese Annahme führt dazu, dass die Energiebedarfssteigerung der Bereiche IKT, Rechenzentren und Klimatisierung im Szenario TN-Strom als moderat einzuordnen ist. Hinzu kommen Strombedarfe aus neuen Anwendungen, welche bislang über fossile Energieträger abgedeckt werden. Dies ist insbesondere in der Elektrifizierung der Prozesswärme der Fall, welche beispielsweise im Bereich des gewerblichen Kochens und Waschens zu nur minimal sinkenden beziehungsweise sogar leicht steigenden Strombedarfen führt. Gleiches gilt für die Elektrifizierung mechanischer Anwendungen mittels Elektromotoren, welche zu Mehrbedarfen bei den weiteren Stromverbräuchen führt.

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

Anwendungen im GHD-Sektor	2018	2030	2040	2050
<b>Beleuchtung</b>	35,2	25,5	21,7	18,3
<b>Straßenbeleuchtung</b>	4,4	3,5	3,0	2,6
<b>IKT Büro</b>	3,8	4,1	4,6	5,2
<b>Rechenzentren</b>	12,2	17,0	18,0	18,5
<b>Klimatisierung</b>	3,5	3,8	4,5	6,3
<b>Aufzüge</b>	2,3	2,1	1,8	1,6
<b>Kochen</b>	7,8	7,7	7,7	7,5
<b>Waschen</b>	2,5	2,6	2,7	2,8
<b>Kühl- und Gefriergeräte</b>	15,8	12,5	9,7	7,6
<b>Weitere Stromverbräuche</b>	38,1	39,2	41,0	40,3
<b>Gesamt</b>	125,5	118,0	114,7	110,5

### 2.3.3 Stromnachfrage in Rechenzentren und für IKT

Die Energiebedarfe für Rechenzentren und für IKT Büro sind in Abbildung 3 dargestellt. Hieraus wird ersichtlich, dass mit einem weiteren Anstieg dieser Bedarfe zu rechnen ist, dass der sich im Szenario TN-Strom ergebende Anstieg jedoch recht moderat ausfällt. Auch dieser Anstieg ist das Resultat zweier gegenläufiger Entwicklungen. Zum einen sind schnelle und deutliche Effizienzverbesserungen zu erwarten, beispielsweise durch deutliche technologische Fortschritte und Effizienzverbesserungen in der Datenkomprimierung und Datenverarbeitung. Darüber hinaus kann eine gesetzliche Grundlage neben Mindestanforderungen an die Effizienz von Rechenzentren auch Barrieren abbauen und neue Geschäftsmodelle ermöglichen (so beispielsweise bezüglich der Optimierung der Auslastungsquoten, welche einen maßgeblichen Einfluss auf die Gesamteffizienz eines Rechenzentrums haben). Bisher konnten (weltweit gesehen) die Effizienzfortschritte große Teile des wachsenden Bedarfs an Datenübertragung und -verarbeitung ausgleichen. Es besteht jedoch Unklarheit darüber, wie lange die Effizienzfortschritte noch mit den wachsenden Bedarfen mithalten können. Insbesondere auch, weil derzeit noch große Unsicherheiten bezüglich des Daten- und Energiebedarfs von Zukunftstechnologien wie autonomen Fahren, digitalen Zwillingen oder Kryptowährungen bestehen. Darüber hinaus können viele digitale Dienstleistungen auch über Ländergrenzen hinweg durchgeführt werden, so dass Unsicherheiten bezüglich der tatsächlichen Lokalität der zuzubauenden Rechenzentren bestehen. Je nach Anwendungsfall sind lokalere, dezentralere Rechenzentren erforderlich (beispielsweise beim autonomen Fahren zur Beschleunigung der Datenverarbeitungszeit). Aufgrund der relativ hohen Unsicherheiten sind die zugrunde gelegten Annahmen als eher konservativ und der daraus resultierende Energiebedarfsanstieg als relativ gering einzuschätzen.

**Abbildung 4: Steigende absolute und anteilige Energiebedarfe in Rechenzentren und für IKT**

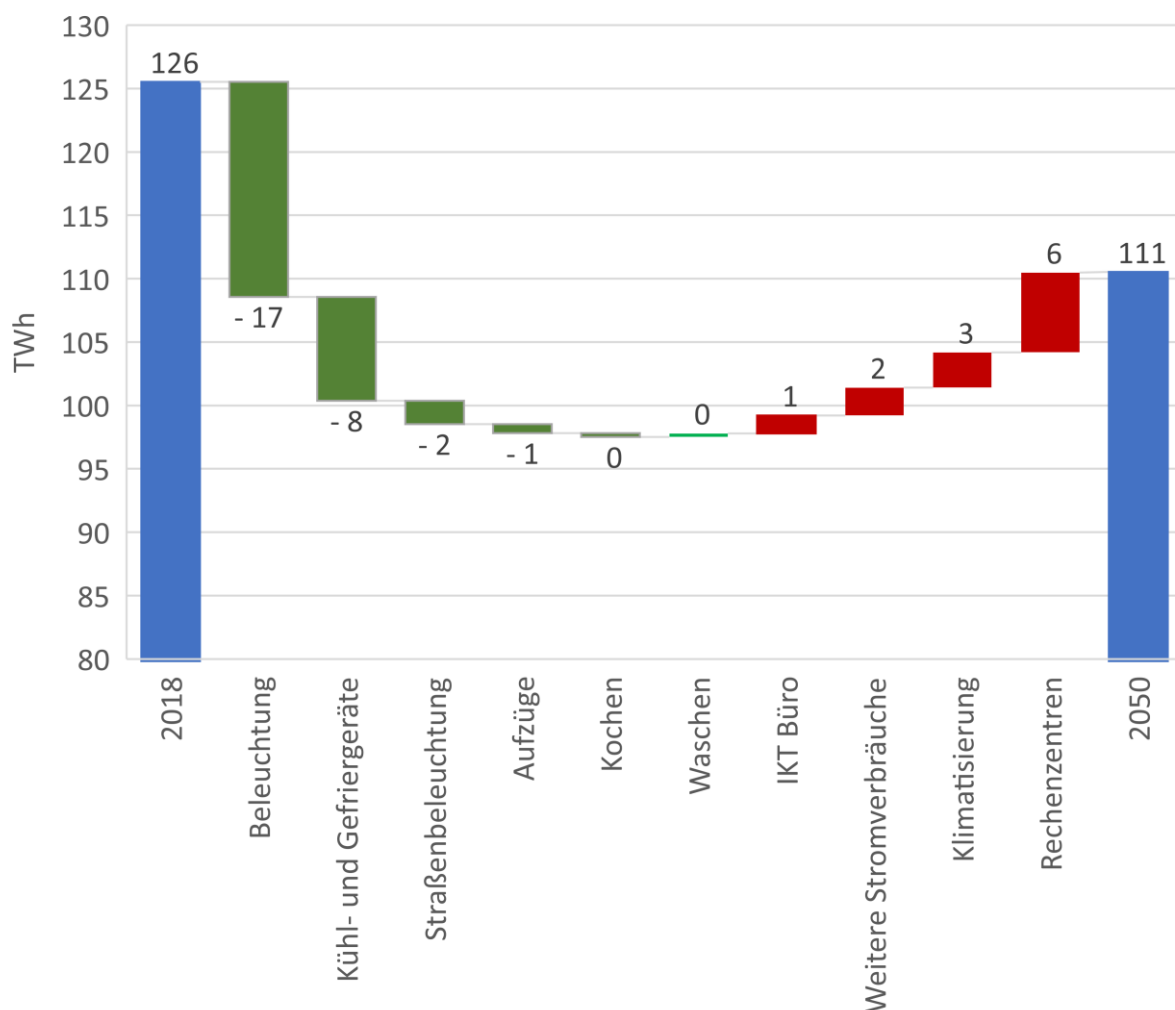
Quellen: Berechnungen Fraunhofer ISI

## 2.4 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen

Durch eine weitgehende Elektrifizierung und Effizienzgewinne reduziert sich der Strombedarf des GHD Sektors bis 2050 um 12 % im Vergleich zum Basisjahr 2018. Der Gesamtenergiebedarf im Szenario TN-Strom sinkt zwischen 2018 und 2050 um 30 %. Darüber hinaus nimmt der Anteil fossiler Energieträger im Szenario TN-Strom stetig ab und ist im Jahr 2050 vollständig eliminiert. Ein Großteil der Anwendungen und Prozesse kann elektrifiziert werden. Für einzelne Prozesse und Anwendungen verbleiben THG-neutrale Alternativen (Biokraftstoffe, Nah- und Fernwärme & Solarthermie) kostengünstiger als Elektrifizierung, so dass diese in 2050 noch 12 % des Gesamtenergiebedarfs im GHD-Sektor abdecken.

Die Veränderung der Stromnachfrage ist durch zwei gegenläufige Entwicklungen geprägt. Abbildung 4 stellt die Reduktion beziehungsweise den Zuwachs der Stromnachfrage zwischen 2018 und 2050 für die einzelnen Anwendungsbereiche dar. Zum einen gibt es Anwendungen, bei welchen ein deutlicher Rückgang der Stromnachfrage zu erwarten ist, dies ist auf die dort zu erwartenden Effizienzverbesserungen bei gleichzeitig stagnierenden bzw. moderat steigenden Anwendungsfällen zurückzuführen. So sinkt beispielsweise der Strombedarf von Kühl- und Gefriergeräten im Szenario TN-Strom zwischen 2018 und 2050 um 8 TWh. Gleichzeitig sind in anderen Anwendungsbereichen zunehmende Strombedarfe zu erwarten. Dies ist insbesondere auf einen stetig weiterwachsenden Bedarf an Dienstleistungen (in Rechenzentren) sowie eine stetig wachsende Anzahl der Geräte und ihrer Leistung (insbesondere IKT Geräte und Klimatisierung) zurückzuführen. So steigt, wie oben ausführlicher dargestellt, der Strombedarf für Rechenzentren im Szenario TN-Strom zwischen 2018 und 2050 um 6 TWh und der Strombedarf für Klimatisierung um 3 TWh.

**Abbildung 5: Veränderung des anwendungsspezifischen Strombedarfs im Szenario TN-Strom zwischen 2018 und 2050**



Die Entwicklung des Energiebedarfs von Rechenzentren, IKT-Endgeräten und Klimatisierung ist mit größeren Unsicherheiten bezüglich der Größenordnung behaftet. Dennoch zeigt der Trend klar, dass die Anzahl der Geräte im Bereich IKT und Klimatisierung zunimmt, während die Anzahl anderer Geräte stagniert. Auch der Energiebedarf in Rechenzentren nimmt stetig zu, so dass dieser durch eine deutliche Reduktion anderer Sektoranwendungen und -prozesse ausgeglichen werden muss, um eine Energiebedarfsreduktion im GHD Sektor zu erreichen. Verstärkte Elektrifizierung kann hierzu einen wichtigen Beitrag leisten.

Für die hier dargestellte maximale Ausschöpfung der (nahezu) wirtschaftlichen Effizienzpotentiale, insbesondere auch durch die Elektrifizierung von Prozessen, sind erhebliche politische Anstrengungen erforderlich.

## 3 Haushalte (Geräte)

---

### 3.1 Methodik

Bei den Geräten in Privathaushalten wird nur das Szenario TN-Strom gerechnet, da auch bei starker Fokussierung H<sub>2</sub> und PtG/PtL langfristig nur in minimalem Umfang eine Rolle spielen könnten.

Die Berechnung der zukünftigen Energie- und insbesondere Stromnachfrage der Haushaltsgeräte in den privaten Haushalten erfolgt mit der Energienachfrageplattform FORECAST<sup>3</sup>. Diese Energienachfrageplattform wird auch zur Berechnung der Nachfrage in der Industrie und für den GHD Sektor verwendet. FORECAST-Residential setzt sich aus folgenden Gerätekategorien zusammen, die im Modell des Weiteren nach Technologien und/oder Effizienzklassen differenziert werden:

1. Große elektrische Haushaltsgeräte (darunter: Kühl- und Gefriergeräte, Spülmaschinen, Waschmaschinen, Trockner, Herde)
2. IKT-Endgeräte (darunter: Desktop-Computer, PC-Bildschirme, Laptops, Fernseher, Set-Top-Boxen, Modem/Router)
3. Beleuchtung
4. Klimageräte
5. Sonstige elektrische Anwendungen: hierunter werden elektrische Kleingeräte erfasst (darunter: Spielekonsolen, Smartphones, Kaffeemaschinen, Staubsauger, Bügeleisen, Toaster, Fön, Mikrowelle, Dunstabzugshaube). Des Weiteren stellt diese Kategorie ein Restaggregat dar, das alle in den übrigen Bereichen noch nicht berücksichtigten elektrischen Anwendungen in den privaten Haushalten umfasst. Diese Kategorie beinhaltet auch die Stromnachfrage potenziell neuer Geräte, die bis 2050 neu in den Markt diffundieren.

Die aufgeführten Gerätekategorien beinhalten bis auf die Herde ausschließlich strombasierte Anwendungen. Bei den Kochherden wird zusätzlich die Gasnachfrage berechnet.

Aufgrund der hohen Datenverfügbarkeit über die Anzahl und die durchschnittlichen spezifischen Verbräuche von Haushaltsgeräten wird deren Endenergienachfrage über ein Bestandsmodell berechnet. Da für die Berechnung der Bestandsumwälzung auch vergangenheitsbezogene Daten zu erheben sind, werden in einem vorgelagerten Schritt empirische Zeitreihen für die jahresspezifische Geräteanzahl und den spezifischen Verbrauch der Geräte ermittelt bzw. geschätzt. Die Projektion des Gerätebestandes erfolgt mittels einer logistischen Funktion, die sich aus einer Kleinsten-Quadrate-Abweichung, basierend auf der empirischen Bestandsentwicklung und einer geschätzten Sättigungsgrenze, berechnet.

Die Bestandsumwälzung bzw. die Marktdiffusion neuer Geräte erfolgt anhand einer gerätespezifischen Lebensdauer mit normalverteilter Ausfallwahrscheinlichkeit, durch die der Zeitpunkt des Lebensdauer-Endes eines alten Gerätes und des Lebensdauer-Anfangs eines neuen Gerätes determiniert wird. Die Wahl der Technologien bzw. Effizienzklassen der ersetzten Altgeräte und des Bestandszuwachses, die als Neugeräte in den Bestand diffundieren, orientiert sich an der Ausgestaltung eines Szenarios, insbesondere an den implementierten Mindesteffizienzstandards, welche durch die Ökodesign-Richtlinie definiert werden, und Schätzungen für den Eintritt neuer Technologien und Effizienzklassen in den Markt. Die jährliche Endenergienachfrage aller Geräte errechnet sich demzufolge aus dem spezifischen Verbrauch (basiert entweder auf den Betriebsstunden bspw. bei Fernsehern oder auf der Anzahl an Zyklen pro Jahr bspw. bei Spülmaschinen), der durchschnittlichen Ausstattungsrate pro Wohneinheit (beispielsweise der Anzahl der Beleuchtungspunkte pro Wohneinheit oder der Anteil der Haushalte mit Klimageräten) und der Anzahl der privaten Haushalte.

---

<sup>3</sup> <https://www.forecast-model.eu/forecast-en/index.php>

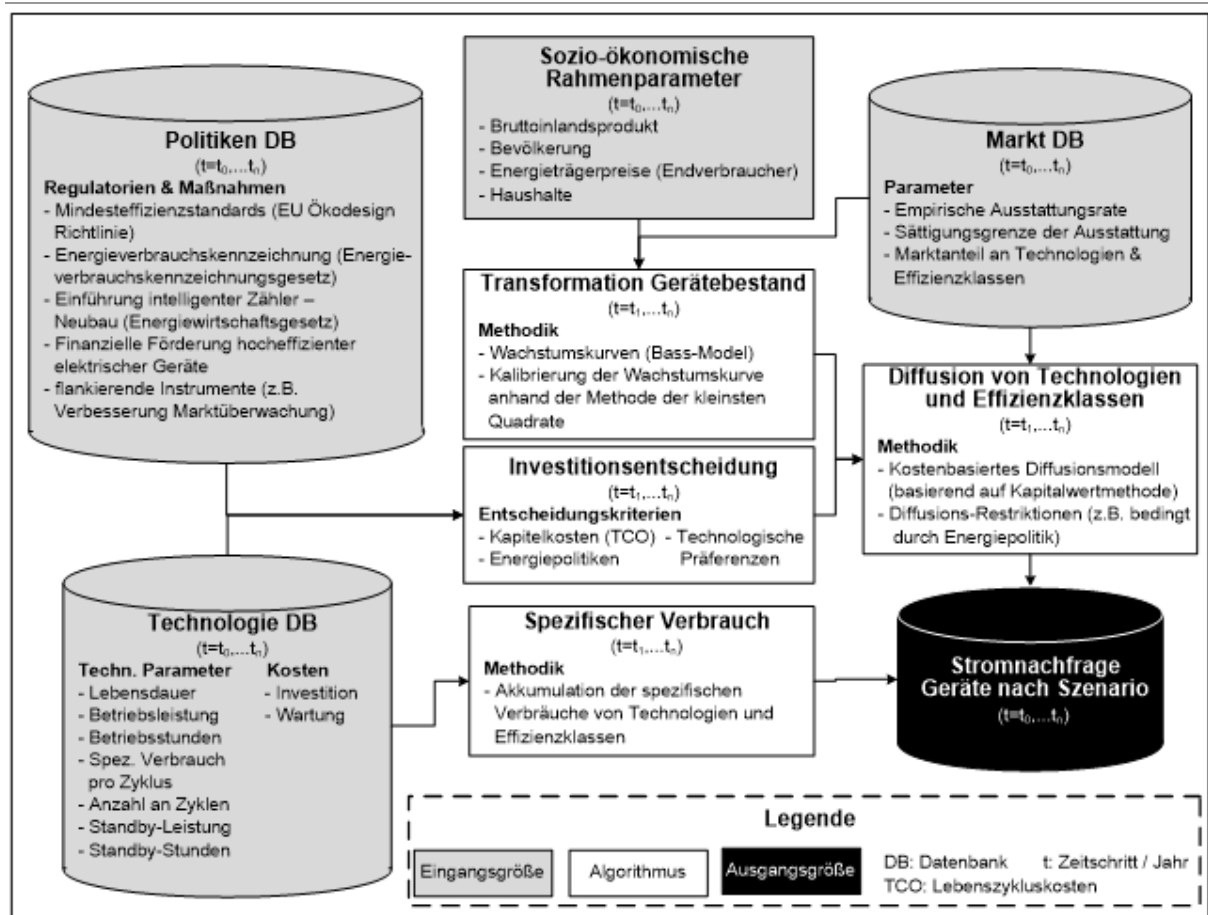
Dieser Aufbau gilt grundsätzlich für alle berücksichtigten Gerätekategorien mit Ausnahme der sonstigen elektrischen Anwendungen. Bei dieser Kategorie lässt sich dieser Ansatz aufgrund der großen Heterogenität nicht durchführen. Die Stromnachfrage im Basisjahr wird für die sonstigen elektrischen Anwendungen daher als Differenz zur Stromnachfrage laut der Energiebilanz (ohne den Verbrauch für Raumwärme und Warmwasser) ermittelt und für die Zukunft anhand einer abgeschätzten Ausstattungsrate fortgeschrieben.

Um auch die Kosten für unterschiedliche Diffusionspfade in den Szenarien bestimmen zu können, wird für alle berücksichtigten Anwendungen eine Wirtschaftlichkeitsbewertung mittels der Kapitalwertmethode durchgeführt, die folgende Kostenkategorien berücksichtigt (Elsland 2016):

1. Spezifische Investitionen der Geräte unter Berücksichtigung von Kostenlernfaktoren
2. Stromkosten der Geräte
3. Wartungskosten der Geräte

Ein Überblick über die qualitativen Zusammenhänge der Modellberechnung ist in Abbildung 6 dargestellt.

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



Quelle: Elsland, 2016

### 3.2 Sektorspezifische Rahmendaten

Die Anzahl der Privaten Haushalte ist in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen. Diese Entwicklung ist im Wesentlichen auf die Zunahme an Ein- und Zweipersonenhaushalten zurückzuführen, die sich auch in den kommenden Jahren annahmegemäß fortsetzen wird. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass

dieser Trend zu kleineren Haushaltsgrößen nach 2040 in die Sättigung geht. Die Projektion der Anzahl der Privaten Haushalte wird basierend auf der Entwicklung der Bevölkerung und der prognostizierten Anzahl der Personen je privatem Haushalt abgeleitet. In Anlehnung an die empirische Entwicklung wird im Rahmen dieser Studie die Entwicklung in Tabelle 3 angenommen.

**Tabelle 6: Rahmendaten zur Entwicklung der Anzahl von Privaten Haushalten**

	Einheit	2018	2020	2030	2040	2050
<b>Bevölkerung</b>	Mio.	82,9	83,4	83,3	82,1	80,2
<b>Anzahl Personen / Haushalt</b>		1,99	1,97	1,93	1,90	1,90
<b>Anzahl Private Haushalte</b>	Mio.	41,8	42,3	43,2	43,2	42,2

### 3.3 Ergebnisse des Szenarios TN-Strom

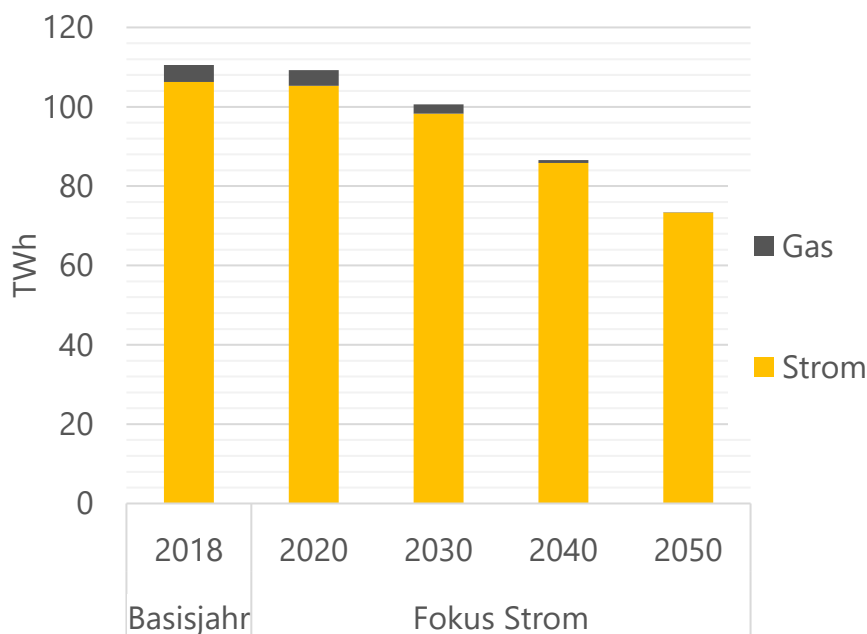
#### 3.3.1 Endenergiebedarf

Die Analyse der Endenergienachfrage bis 2050 zeigt im Szenario TN-Strom einen kontinuierlich rückläufigen Trend. Der Gesamtenergiebedarf für die Geräte privater Haushalte sinkt im Szenario TN-Strom um 34 % von 110,5 TWh im Jahr 2018 auf 73,4 TWh im Jahr 2050 (siehe Abbildung 5 und Tabelle 3). Der Endenergiebedarf für die Haushaltsgeräte in privaten Haushalten wird durch die beiden Energieträger Strom und Gas bereitgestellt. Im Jahr 2018 betrug der Energiebedarf von Haushaltsgeräten 110,5 TWh, wovon 106,2 TWh durch Strom und 4,3 TWh durch Gas bereitgestellt wurden.<sup>4</sup> Gasherde sind die einzigen verbliebenen Nicht-Stromanwendungen bei privaten Haushaltsgeräten. Im Szenario TN-Strom werden diese vollständig durch effiziente Elektroherde ersetzt, so dass der Gasbedarf im Jahr 2050 bei 0 TWh liegt.

<sup>4</sup> Die 106,2 TWh Strom für die Haushaltsgeräte im Jahr 2018 entsprechen dem Strombedarf der AGEB Anwendungsbilanzen für das Jahr 2018 für private Haushalte (RWI Leibnitz-Institut für Wirtschaftsforschung, 2019), abzüglich dem Strombedarf der für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser benötigt wird.



**Abbildung 7: Endenergie nach Energieträgern (in TWh) für Haushaltsgeräte im Szenario TN-Strom**



**Tabelle 7: Energieträger der Geräte in Privathaushalten im Szenario TN-Strom in TWh**

	2018	2030	2040	2050
<b>Strom</b>	106,2	98,2	85,9	73,3
<b>Gas</b>	4,3	2,4	0,7	0,0
<b>Summe</b>	110,5	100,6	86,6	73,3

### 3.3.2 Strom- und Gasnachfrage nach Anwendungen

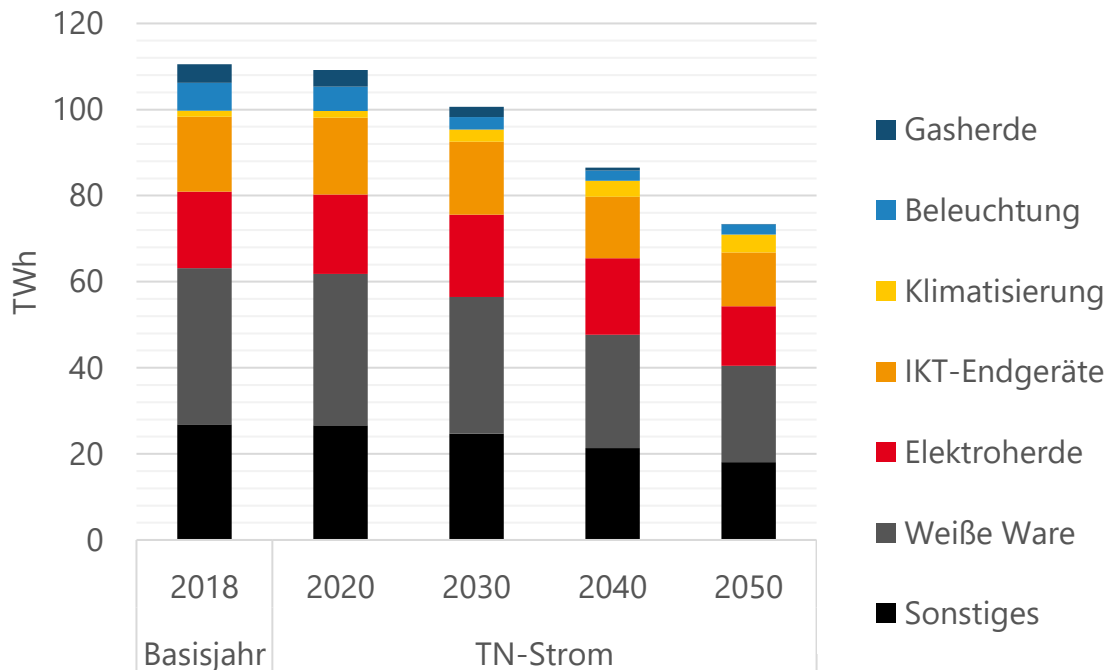
Abbildung 6 sowie Tabelle 4 stellen die Energienachfrage nach Anwendungsgruppen dar. Die größte Verbrauchsminderung ist auf die sog. „Weiße Ware“ zurückzuführen. Der Strombedarf der Weißen Ware sinkt im Szenario TN-Strom zwischen 2018 und 2050 um 13,9 TWh von 36,3 TWh auf 22,5 TWh und damit um 38 %. Die Einsparpotenziale werden im Wesentlichen durch eine schnellere und regulatorisch unterstützte Verbreitung von effizienten Geräten erschlossen, denen ein bereits schon heute hoher Sättigungsgrad an Geräteausstattung gegenübersteht. Bei der Weißen Ware wird grundsätzlich von einer geringen Steigerung der Ausstattungsrate ausgegangen. So liegt die Ausstattungsrate bei Kühlschränken und Waschmaschinen leicht über beziehungsweise leicht unter 100 % und verändert sich mit der Zeit kaum. Die Ausstattungsrate für die weitere Weiße Ware liegen bei rund 75 % in 2050 - Gefrierschränke (74 %), Geschirrspüler (75 %) und Trockner (79 %). Von allen Geräten die zur Weißen Ware gehören, wird lediglich bei den Trocknern ein deutlicher Anstieg des heutigen Niveaus von 63 % in 2018 zu 79 % in 2050 erwartet.

Standards führen auch bei der Beleuchtung zu einem Rückgang der Stromnachfrage von 6,5 TWh auf 2,4 TWh, dies entspricht einem Rückgang um 63 %. Ein Großteil dieses Rückgangs ist auf bereits bestehende Standards zurückzuführen. Dieser Rückgang ist auf eine starke Effizienzverbesserung bei nur geringfügig steigender Anzahl der Beleuchtungspunkte zurückzuführen. Die Anzahl der Beleuchtungspunkte steigt von etwa 34 pro Haushalt in 2018 auf 36 in 2050.

Bei den IKT-Endgeräten sinkt die Energienachfrage von 17,4 TWh in 2018 auf 12,5 TWh in 2050 und damit um 28 %. Somit kommt es trotz höherer Ausstattungsrate zu Energieeinsparungen. Diese sind

im Wesentlichen auf schneller umgesetzte Mindesteffizienzstandards zurückzuführen. Insbesondere im IKT-Bereich ist eine schnelle und dynamische Umsetzung von Mindesteffizienzstandards essentiell, wenn diese greifen sollen, da sich die Effizienz der IKT-Geräte sehr schnell verbessert, bei gleichzeitigem Hin-zukommen immer neuer Anwendungen.

**Abbildung 8: Energienachfrage (Strom und Gas) nach Anwendungsgruppen im Szenario TN-Strom (in TWh)**



**Tabelle 8: Energienachfrage nach Anwendungsgruppen im Szenario TN-Strom in TWh**

	2018	2030	2040	2050
<b>Weiße Ware</b>	36,3	31,7	26,3	22,5
<b>Herd (Strom)</b>	17,8	19,1	17,8	13,8
<b>IKT-Endgeräte</b>	17,4	17,0	14,3	12,5
<b>Klimatisierung</b>	1,4	2,8	3,7	4,1
<b>Beleuchtung</b>	6,5	2,9	2,4	2,4
<b>Sonstiger Strom</b>	26,8	24,7	21,3	18,1
<b>Gesamt Strombedarf</b>	<b>106,2</b>	<b>98,2</b>	<b>85,9</b>	<b>73,3</b>
<b>Gasbedarf (Herde)</b>	4,3	2,4	0,7	0,0

Die Verwendung der IKT-Geräte und die Anzahl genutzter IKT-Geräte verändert sich in kürzeren Zeitschnitten sehr dynamisch. Kleinere Verbraucher, wie beispielsweise Smartphones, Spielekonsolen oder W-Lan Verstärker werden in der Modellierung nicht explizit ausgewiesen und fließen in die Summe der sonstigen Verbräuche mit ein. Diese kleinen Verbraucher wirken sich nicht durch ihren individuellen Energiebedarf, sondern durch die sehr hohe Anzahl an Geräten auf den Energiebedarf aus. Explizit im Modell ausgewiesen werden Desktopcomputer, Laptops, Monitore, Fernseher, Router und Set-top Boxen. Während bei Desktopcomputern ein starker Rückgang der Ausstattungsrate von 90 % auf 18 % in

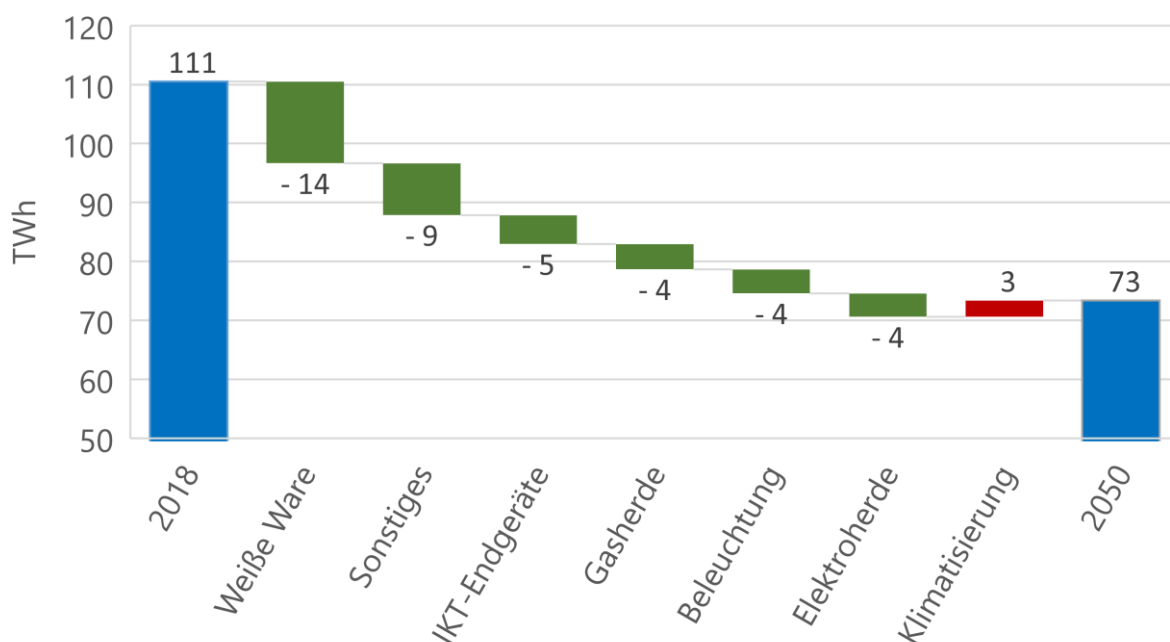
2050 zu verzeichnen ist, nimmt die Ausstattungsrate von Laptops pro Haushalt von 47 % auf 215 % in 2050 deutlich zu. Die Ausstattungsrate von Fernsehern steigt ebenfalls weiter deutlich an, von 158 % in 2018 auf 183 % in 2050. Zu erwähnen ist, dass es sich hierbei nur um die Geräte handelt, welche regelmäßig in Gebrauch sind. Altgeräte und Zweitgeräte, die im Wechsel verwendet werden, werden hier nicht mit betrachtet, da sich diese nicht auf den Energiebedarf durch die Nutzung auswirken. Die Ausstattungsraten der IKT-Geräte sind insbesondere perspektivisch von vielen Annahmen geprägt und dementsprechend mit großen Unsicherheiten behaftet.

Im Szenario TN-Strom wird ein deutlicher Anstieg der Energienachfrage für die Klimatisierung erwartet. Der diesbezügliche Strombedarf steigt von 1,4 TWh im Jahr 2018 auf 4,1 TWh im Jahr 2050 und damit um gut 300%. Dies ist auf eine deutlich stärkere Durchdringung als bisher und auf eine größere Leistungsfähigkeit der Klimageräte zurückzuführen. Im Szenario TN-Strom steigt die Ausstattungsrate von Klimageräten von 9 % im Jahr 2018 auf 30 % im Jahr 2050. Auch die hier zugrundeliegenden Annahmen sind, ähnlich wie bei der IKT, mit großen Unsicherheiten behaftet.

Aufgrund der relativ hohen Unsicherheiten insbesondere bezüglich der Ausstattungsraten mit IKT- sowie Klimageräten sind die zugrunde gelegten Annahmen in diesen beiden Anwendungsfeldern als eher konservativ einzuordnen. Der Rückgang des Energiebedarfs für IKT-Endgeräte könnte daher auch deutlich geringer ausfallen. Der resultierende Energiebedarfsanstieg der Klimageräte ist ebenfalls als relativ gering einzuschätzen.

### 3.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

**Abbildung 9: Veränderung des anwendungsspezifischen Energiebedarfs für Geräte in Privathaushalten im Szenario TN-Strom zwischen 2018 und 2050**



Durch die Hebung der vorhandenen (wirtschaftlichen) Effizienzpotentiale und durch die relativ gleichbleibenden Ausstattungsraten vieler Geräte kommt es im Szenario TN-Strom bei den Haushaltsgeräten zu einem kontinuierlichen und deutlichen Rückgang des Energiebedarfs um 34 % von 110,5 TWh in 2018 auf 73,4 TWh in 2050. In 2018 sind die Gasherde die einzige nicht strombasierte Anwendung. Diese werden bis 2050 vollständig durch Elektroherde ersetzt. In privaten Haushalten sind erhebliche Einsparungen möglich, wenn zum einen die Effizienzpotentiale konsequent genutzt werden und zum anderen

der Anstieg neuer Verbräuche eingedämmt wird. Abbildung 7 stellt die Reduktion beziehungsweise den Zuwachs der Stromnachfrage zwischen 2018 und 2050 für die einzelnen Anwendungsbereiche dar. Hieraus wird ersichtlich, dass im Szenario TN-Strom lediglich bei der Klimatisierung mit einem absoluten Anstieg des Energiebedarfs von etwa 3 TWh zwischen 2018 und 2050 zu rechnen ist. Insbesondere die IKT-Anwendungen sind jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet und das tatsächliche Reduktionspotential stark von dem Verlauf der Ausstattungsraten abhängig.

Insgesamt zeigt sich bei den Haushaltsgeräten, dass die Vorgabe von Mindesteffizienzstandards die wirksamste Maßnahme zur Senkung des Energiebedarfs darstellt. Insbesondere für IKT-Geräte müssten diese jedoch deutlich dynamischer ausgestaltet werden, um tatsächlich Wirkung entfalten zu können. Aus Sicht der Modellanalyse bieten diese regulatorischen Maßnahmen auch den Vorteil, dass sich deren Wirkung explizit nach Effizienzklassen und Jahren abbilden lassen.

Zusammenfassend lässt sich für die Haushaltsgeräte festhalten, dass eine deutliche Energiebedarfsreduktion möglich ist und sich diese in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen, mit Ausnahme der Klimatisierung, realisieren lässt. Es sind jedoch deutliche politische Anstrengungen erforderlich, um die vorhandenen Potentiale zu realisieren und insbesondere die Steigerung neuer Verbräuche (insbesondere bei IKT-Endgeräten und Klimatisierung) einzudämmen beziehungsweise perspektivisch weiter auszugleichen.

## 4 **Abbildungsverzeichnis**

---

Abbildung 1:	Modellverbund im Projekt .....	5
Abbildung 2:	Endenergie nach Energieträgern (in TWh) im GHD-Sektor im Szenario TN-Strom .....	9
Abbildung 3:	Stromnachfrage (in TWh) nach Anwendungen im GHD-Sektor im Szenario TN-Strom .....	10
Abbildung 4:	Steigende absolute und anteilige Energiebedarfe in Rechenzentren und für IKT .....	12
Abbildung 5:	Veränderung des anwendungsspezifischen Strombedarfs im Szenario TN-Strom zwischen 2018 und 2050 .....	13
Abbildung 6:	Modellüberblick FORECAST-Residential (Geräte-Modul) .....	15
Abbildung 7:	Endenergie nach Energieträgern (in TWh) für Haushaltsgeräte im Szenario TN-Strom .....	17
Abbildung 8:	Energienachfrage (Strom und Gas) nach Anwendungsgruppen im Szenario TN-Strom (in TWh) .....	18
Abbildung 9:	Veränderung des anwendungsspezifischen Energiebedarfs für Geräte in Privathaushalten im Szenario TN-Strom zwischen 2018 und 2050 .....	19

## 5 Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 1:	Aufteilung des GHD Sektors nach Wirtschaftszweigen (WZ2008).....	6
Tabelle 2:	Abgebildete Energiedienstleistungen im GHD-Sektor .....	7
Tabelle 3:	Anzahl der Beschäftigten je Wirtschaftszweig im Sektor GHD [Mio. Beschäftigte] .....	7
Tabelle 4:	Endenergie nach Energieträgern (in TWh) im GHD-Sektor im Szenario TN-Strom .....	9
Tabelle 5:	Stromnachfrage (in TWh) nach Anwendungen im GHD-Sektor im Szenario TN-Strom .....	11
Tabelle 6:	Rahmendaten zur Entwicklung der Anzahl von Privaten Haushalten .....	16
Tabelle 7:	Energieträger der Geräte in Privathaushalten im Szenario TN-Strom in TWh .....	17
Tabelle 8:	Energienachfrage nach Anwendungsgruppen im Szenario TN-Strom in TWh.....	18

## 6 Literaturverzeichnis

---

Bundesagentur für Arbeit, Tabellen, Beschäftigte nach Wirtschaftszweigen (WZ) (Quartalszahlen),  
Nürnberg, Juni 2019, Juli 2021

Eisland, R. (2016): Long-term energy demand in the German residential sector. Baden-Baden.

Fraunhofer ISI. 2019. Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2018 bis 2020 für die Sektoren  
Industrie und GHD

RWI Leibnitz-Institut für Wirtschaftsforschung, 2019. Erstellung der Anwendungsbilanzen 2018 für den  
Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland (Endbericht).