

# DIE BEDEUTUNG DES STROMVERBRAUCHS FÜR DIE ENERGIEWENDE – DIE ROLLE VON EFFIZIENZ UND FLEXIBILITÄT

**Florian ESS, Marco WÜNSCH, Inka ZIEGENHAGEN**

Prognos AG, St. Alban-Vorstadt 24, CH-4052 Basel und Goethestraße 85, DE-10623 Berlin,  
+41 61 3273-361, florian.ess@prognos.com, www.prognos.com

**Kurzfassung:** Zur Erreichung der Klimaziele in Deutschland muss insbesondere die Energiewirtschaft einen umfangreichen Beitrag leisten. Das zukünftige Stromsystem ist von hohen Anteilen erneuerbarer Energien gekennzeichnet. Gleichzeitig stellt die Elektrifizierung des Wärme- und Verkehrssektors eine zentrale Option zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesen Sektoren dar. Dadurch ist ein Anstieg des Stromverbrauchs zu erwarten. Neben flexiblen Kraftwerkskapazitäten und Stromspeichern kann auch der Stromverbrauch einen wesentlichen Beitrag in einem zukünftigen Stromsystem mit hohen Anteilen erneuerbarer Stromerzeugung leisten. Dabei sind zwei Optionen von Bedeutung: Einerseits kann durch verstärkte Effizienz der Stromverbrauch, insbesondere auch zu Spitzenlastzeiten, gesenkt werden. Andererseits können (neue) Stromverbraucher flexibel eingesetzt werden und damit das Stromsystem entlasten. Dabei stellt sich die Frage, welche Stromverbraucher für diese beiden Optionen grundsätzlich in Frage kommen, welcher Beitrag durch verstärkte Effizienz und die Flexibilisierung des Stromverbrauchs insgesamt geleistet werden kann und welche Maßnahmen für eine solche Entwicklung notwendig sind.

**Keywords:** Stromverbrauch, Effizienz, Sektorkopplung, Lastprofile, Spitzenlast, Flexibilität

## 1 Ausgangslage

### 1.1 Energie- und klimapolitische Ziele in Deutschland

In Deutschland existieren aktuell mehrere energie- und klimapolitische Ziele. Diese Ziele wurden einerseits in übergeordneten Zielsetzungen formuliert und andererseits auf sektorale Ziele heruntergebrochen:

- Auf der übergeordneten Ebene besteht die politische Zielsetzung einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 55 % bis 2030 und 80 bis 95 % (jeweils ggü. 1990) auf Basis des Energiekonzepts der Bundesregierung (vgl. BMWi 2016).
- Daneben soll gemäß dem Energiekonzept der Bundesregierung bis 2050 der Primärenergieverbrauch um 50 % (ggü. 2008) reduziert werden und der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch auf 60 % gesteigert werden.

Die Energiewirtschaft und insbesondere der Stromsektor müssen dafür einen wesentlichen Beitrag leisten. Gegenwärtig entfallen mehr als 40 % der energiebedingten Treibhausgasemissionen in Deutschland auf die Energiewirtschaft (Zahlen für das Jahr 2015, vgl. BMWi

2018). Dementsprechend bestehen auch für die Energiewirtschaft eine Reihe von mittel- bis langfristigen Zielsetzungen:

- Nach dem Klimaschutzplan (BMUB 2016) sollen die Treibhausgasemissionen im Sektor Energiewirtschaft bis 2030 um 61-62 % ggü. 1990 reduziert werden
- Daneben soll der Bruttostromverbrauch gemäß Energiekonzept um 25 % bis 2050 (ggü. 2008) reduziert werden.
- Für den Ausbau erneuerbarer Energien existieren mehrere Zielsetzungen: Gemäß EEG soll der Anteil am Bruttostromverbrauch im Jahr 2035 55 bis 60 % betragen. Zudem soll laut dem Energiekonzept der Bundesregierung der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch bis 2050 auf mindestens 80 % gesteigert werden.

Im Stromsektor gibt es mehrere Handlungsfelder, welche durch Maßnahmen adressiert werden können, um die Erreichung der langfristigen klima- und energiepolitischen Ziele zu gewährleisten. Dabei sind folgende Bereiche von hoher Relevanz:

- a) Ausbau erneuerbarer Energien.
- b) Effizienzmaßnahmen zur Reduktion des Stromverbrauchs.
- c) Reduktion der Stromerzeugung aus fossilen Kraftwerken.
- d) Verstärkte Sektorkopplung.
- e) Höhere Flexibilität im Stromsystem (erzeugungs- und verbrauchsseitig).

Diese Handlungsfelder zeigen, dass im Bereich des Stromverbrauchs wesentliche Maßnahmen zu sehen sind. Zusätzliche Effizienz im Stromverbrauch ermöglicht langfristig eine geringere Erzeugung aus konventionellen Kraftwerken und einen geringeren Bedarf an Back-up-Kraftwerken. Eine verstärkte Sektorkopplung im Verkehrs- und Wärmesektor ermöglicht die Nutzung von Stromerzeugung mit zunehmend geringer CO<sub>2</sub>-Intensität zur Dekarbonisierung des Verkehrs- und Wärmesektors. Dabei spielen Wärmepumpen zur Deckung des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs und Elektrofahrzeuge eine zentrale Rolle, da diese Technologien sehr hohe Effizienzen im Vergleich zu konventionellen Heizkesseln und konventionellen Antrieben aufweisen. Damit zusammenhängend ermöglicht die Flexibilisierung des Stromverbrauchs und der Stromerzeugung eine verbesserte Integration erneuerbarer Energien (insb. PV und Windenergie), da die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu einem großen Teil dargebotsabhängig anfällt.

Im Folgenden wird daher analysiert, welchen Beitrag der Stromverbrauch für die Erreichung der langfristigen energie- und klimapolitischen Ziele leisten kann. Dabei stellen sich die folgenden wesentlichen Fragen:

- Welcher Beitrag kann durch Effizienzmaßnahmen zur Reduktion des Stromverbrauchs geleistet werden und welche Auswirkungen ergeben sich damit auf das Stromsystem?
- In welchem Ausmaß kann ein Ausbau von Sektorkopplung, insbesondere von Wärmepumpen und Elektromobilität, zur langfristigen Zielsetzung beitragen?
- Welche Kombination von Effizienzmaßnahmen und der Flexibilisierung des (neuen) Stromverbrauchs erscheinen aus Sicht des gesamten Energiesystems sinnvoll und inwieweit kann damit die Integration erneuerbarer Energien im Stromsystem unterstützt werden?

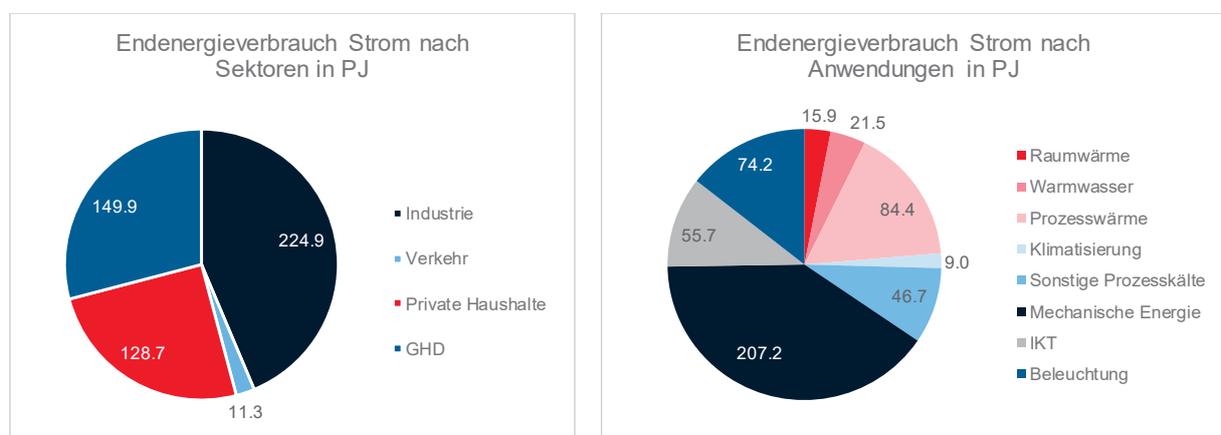
Diese Fragen werden anhand vorliegender Szenarienergebnisse diskutiert, welche auf den im Rahmen der Studie „Klimapfade für Deutschland“ (BCG & Prognos 2018) durchgeführten Analysen beruhen. Dabei wird insbesondere auf das Szenario N80 (80% Klimapfad), welches eine Erreichung des langfristigen Klimaziels in Deutschland untersucht, zurückgegriffen.

## 1.2 Stromverbrauch: Status-quo

Der Stromverbrauch in Deutschland belief sich im Jahr 2015 auf rund 595 TWh (Bruttostromverbrauch inkl. Netzverluste und Eigenverbrauch). Der Endenergieverbrauch für Strom in den Energienachfragesektoren betrug 2015 rund 515 TWh. Während der Endenergieverbrauch für Strom im Zeitraum von 1990 bis 2005 um mehr als 50 TWh gewachsen ist, ist der Stromverbrauch im Zeitraum 2005 bis 2015 in etwa konstant geblieben. In den Jahren ab 2010 zeigt sich sogar eine leicht sinkende Tendenz. Damit ist die Stromintensität der Wirtschaftsleistung gesunken. Der Stromverbrauch hat sich somit in den vergangenen Jahren von der Entwicklung der Wirtschaftsleistung entkoppelt. Im Jahr 2000 lag die Stromintensität noch bei 0,75 MJ/€<sub>2010</sub>, im Jahr 2015 lag dieser Wert hingegen bei 0,66 MJ/€<sub>2010</sub> (vgl. BMWi 2018).

Ein Großteil des Stromverbrauchs entfällt aktuell auf den Industriesektor (mit einem Stromverbrauch von 226 TWh). Der Verbrauch des GHD-Sektors (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) betrug im Jahr 2015 knapp 150 TWh. Im Vergleich dazu betrug der Stromverbrauch der Haushalte rund 129 TWh. Der Verbrauch des Verkehrssektors ist im Vergleich dazu aktuell mit rund 12 TWh relativ gering. Der größte Teil des Stromverbrauchs entfällt auf Anwendungen zur Bereitstellung von mechanischer Energie (v.a. im Industriesektor aber auch für elektrische Antriebe im Verkehrssektor) mit rund 207 TWh. Weitere Bereiche mit wesentlichen Anteilen sind die Anwendungen Beleuchtung, IKT (Information, Kommunikation und Telekommunikation) sowie Prozesswärme- und kälte. Die Anteile des Stromverbrauchs für Warmwasser und Raumwärme in Deutschland sind hingegen gegenwärtig relativ gering (vgl. Abbildung 1).

Abbildung 1: Stromverbrauch für Deutschland nach Sektoren und Anwendungen im Jahr 2015



Quelle: BMWi 2018, eigene Darstellung

Für das Stromsystem ist neben dem der Höhe des Stromverbrauchs auch der zeitliche Verlauf des von entscheidender Bedeutung. Das Lastprofil des Stromverbrauchs für Deutschland zeigt einen Tages- und Wochenverlauf mit charakteristischen Lastspitzen an Wochentagen sowie

zur Abend- und Mittagszeit und einem tieferen Niveau an Wochenenden. Im Jahresverlauf zeigt sich (neben weiteren Effekten durch Feiertage, Ferien, etc.) ein deutlich höheres Niveau in den Wintermonaten, insbesondere durch den zusätzlichen Stromverbrauch für die Bereitstellung von Raumwärme. Die Spitzenlast liegt dementsprechend in den Wintermonaten und ist stark abhängig von der jeweiligen Temperatur. In der Vergangenheit betrug die Spitzenlast für das gesamte Stromsystem Deutschlands (in Jahren mit sehr kalten Temperaturen) rund 90 GW.

## 2 Methodik

In den hier durchgeführten Analysen wird die Entwicklung des Energie- und Stromsystems in Deutschland unter Anstreben der langfristigen Klimaziele (-80 % im Jahr 2050 im Vergleich zu 1990) diskutiert. Dabei wird insbesondere auf Ergebnisse des Szenarios N80 zurückgegriffen (BCG & Prognos 2018).

Die Entwicklung des Stromverbrauchs wurde dabei auf Basis einer szenarienbasierten Bottom-up-Modellierung der Energienachfragesektoren berechnet. Die dabei berechneten Szenarien stellen keine Prognosen, sondern wahrscheinliche Entwicklungen unter bestimmten Annahmen (z.B. bei Anstreben der langfristigen Energie- und Klimaziele) dar. Die Energienachfragesektoren umfassen die Sektoren Private Haushalte, Industrie, GHD und Verkehr (in der Abgrenzung der Energiebilanz). Die Modellierung wird dabei auf der Ebene von Gebäuden, Geräten, Produktionsanlagen und Fahrzeugen durchgeführt. Dabei werden die jeweiligen Investitionszyklen und Investitionsrationalitäten in den verschiedenen Sektoren berücksichtigt. Technischer Fortschritt (z.B. höhere Effizienz von Elektrogeräten) setzt sich in Investitionszyklen um, wodurch die Trägheit des Energiesystems abgebildet wird. In den verschiedenen Sektoren wirken zudem Mengentreiber (z.B. Bevölkerungsentwicklung, Wohnfläche/Bevölkerung, Bruttowertschöpfung, etc.), welche Effizienzfortschritte kompensieren können. Politische Instrumente und Strategien werden über technische Maßnahmen in der Modellierung umgesetzt. Dabei ist entscheidend, ob die Maßnahmen auf den Bestand des Kapitalstocks oder die Neuzugänge an Geräten, Gebäuden, Anlagen und Fahrzeugen wirken.

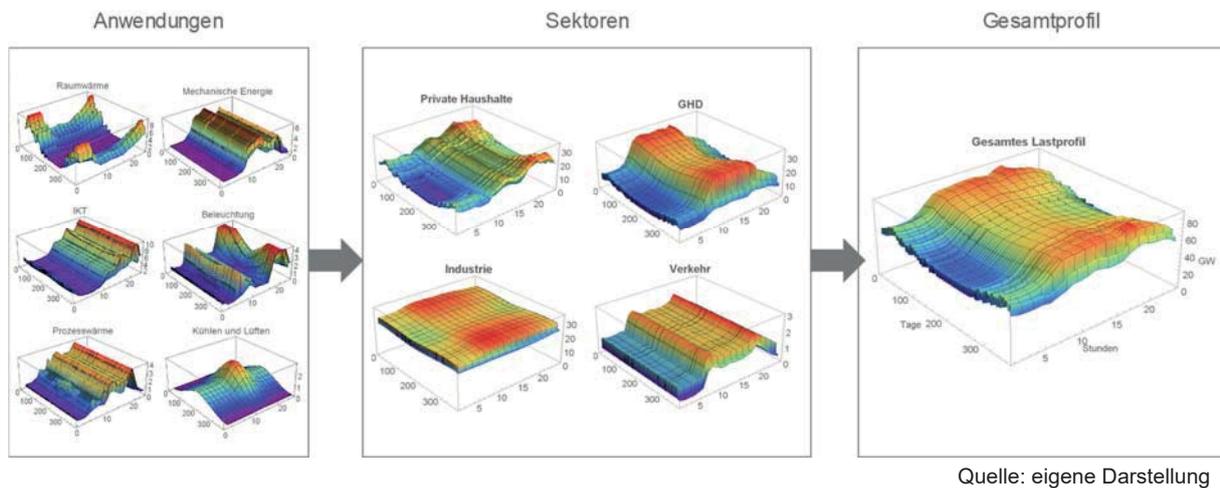
Der Endenergieverbrauch und der Stromverbrauch in den Nachfragesektoren wird danach auf der Ebene von Anwendungen aggregiert. Der sich ergebende Endenergieverbrauch pro Anwendung wird in dieser Form an die Modellierung des Strom- und Wärmesektors sowie des sonstigen Umwandlungssektors übergeben.

Auf den Endenergieverbrauch Strom werden der Verbrauch der sonstigen Umwandlung sowie Netzverluste addiert. Für den Stromverbrauch wird anschließend eine Fallunterscheidung durchgeführt: Stromverbraucher werden in a) klassische Stromverbraucher mit inflexibler Nachfrage und b) flexible Stromverbraucher unterschieden.

- a) Für die klassischen Stromverbraucher wird auf Basis des Stromverbrauchs pro Anwendung unter Verwendung anwendungsspezifischer Lastprofile der Effekt auf die sektoralen Lastprofile und das Gesamtlastprofil modelliert. Dabei wird als Basisjahr für die Witterung das Jahr 2012 herangezogen. Der Stromverbrauch dieser Verbraucher wird als inflexibel modelliert. Bei verstärkter Energieeffizienz wird jedoch der jährliche Stromverbrauch in den Anwendungen (unter Berücksichtigung einer möglichen Kompensation durch höhere Mengentreiber) tendenziell gesenkt, wodurch das Gesamtlastprofil und die

Spitzenlast im Stromsystem reduziert wird. Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung des Vorgehens der Aggregation anwendungsspezifischer Lastprofile zum Gesamtlastprofil.

Abbildung 2: Methodik der Modellierung anwendungsspezifischer Lastprofile



- b) Für flexible Stromverbraucher ergibt sich der jährliche Stromverbrauch ebenfalls aus der Modellierung der Energienachfrage. Als flexible Stromverbraucher werden Teile des industriellen Stromverbrauchs (Industrie-DSM) und zukünftig verstärkt Elektrofahrzeuge sowie der Stromverbrauch zur Bereitstellung von Raumwärme modelliert. Die zeitliche Struktur der flexiblen Stromverbraucher wird ermittelt, indem sich die stündliche Stromnachfrage auf Basis von Strommarktsignalen verändert. Unter Berücksichtigung der wesentlichen Parameter und Restriktionen der Flexibilität dieser Stromverbraucher (z.B. Wärmelastprofile, Nutzungsprofile für Elektrofahrzeuge, Batteriespeicherkapazität) wird ein flexibler Einsatz modelliert. Damit resultiert grundsätzlich ein systemdienlicher Einsatz dieser Stromverbraucher.

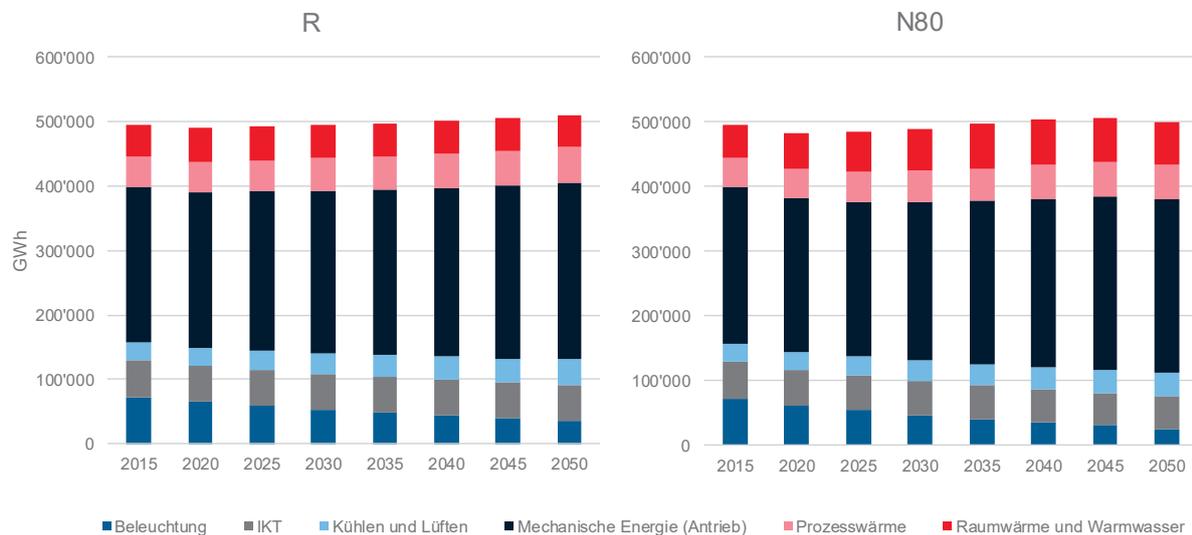
### 3 Ergebnisse

Durch den Vergleich der Ergebnisse im Szenario N80 mit einer Referenzentwicklung bzw. mit dem Status-quo kann die Bedeutung von Maßnahmen zur Erhöhung der Effizienz und der Flexibilisierung des Stromverbrauchs quantifiziert werden. Zentrale Größen sind dabei die Entwicklung des Gesamtlastprofils des Stromverbrauchs. Eine geringere Verbraucherlast (insb. der Spitzenlast) erleichtert grundsätzlich die Integration des Stromsystems und reduziert die Notwendigkeit an Back-up-Kapazitäten. Je niedriger zudem die Residuallast ist, die von konventionellen Kraftwerken gedeckt werden muss, desto geringer ist der Brennstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß dieser Kraftwerke.

### 3.1 Entwicklung des jährlichen Stromverbrauchs

Abbildung 3 zeigt den Verlauf des Stromverbrauchs pro Anwendung in der Referenzentwicklung (Szenario R) und im Szenario N80.

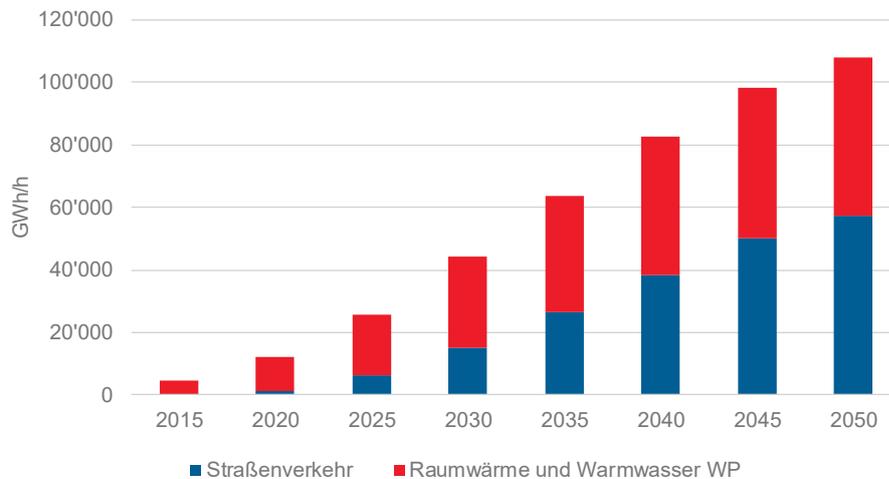
Abbildung 3: Entwicklung des Stromverbrauchs pro Anwendung in GWh, Vergleich des Referenzszenarios mit dem Szenario N80, 2015 bis 2050



Quelle: BCG & Prognos (2018), eigene Darstellung

In Abbildung 3 wird ersichtlich, dass der Stromverbrauch im Szenario N80 zwar insgesamt ungefähr auf dem Niveau des Referenzszenarios liegt, in einzelnen Anwendungen aber stärker sinkt als im Referenzszenario. Dies betrifft hauptsächlich die Anwendungen Beleuchtung, IKT und Kühlen/Lüften. Die starke Durchdringung von Wärmepumpen zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser und von Elektrofahrzeugen führen jedoch zu einem zusätzlichen Stromverbrauch, welcher die Effizienzfortschritte in den sonstigen Anwendungen in einzelnen Jahren überkompensiert. Im Jahr 2050 existieren im Szenario N80 15 Mio. Wärmepumpen und 32 Mio. Elektrofahrzeuge (inkl. Plug-in Hybride). Insgesamt liegt der Stromverbrauch im Jahr 2050 dieser neuen Stromverbraucher bei rund 108 TWh (vgl. Abbildung 4).

Abbildung 4: Entwicklung des Stromverbrauchs für Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen im Szenario N80 in GWh, 2015 bis 2050



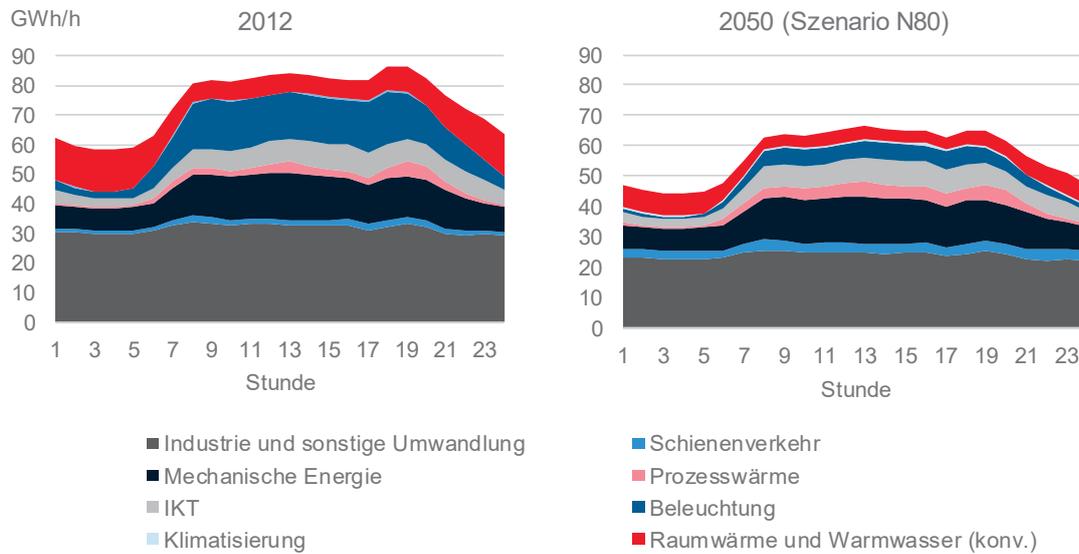
Quelle: BCG & Prognos (2018), eigene Darstellung

### 3.2 Klassische Stromverbraucher

Für die Modellierung des Stromverbrauchs erfolgt auf der Ebene der Anwendungen eine Unterscheidung in klassische (inflexible) und flexible Stromverbraucher. Klassische Stromanwendungen wie Beleuchtung, IKT, Elektrogeräte, usw. werden als inflexibel modelliert. Als flexible Stromverbraucher modelliert werden insbesondere neue Stromverbraucher wie Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge.

Neben dem jährlichen Stromverbrauch ist der zeitliche Verlauf des Stromverbrauchs für das Stromsystem relevant. Abbildung 5 zeigt einen Vergleich des Verlaufs des modellierten Stromverbrauchs im Jahr 2012 mit dem Szenario N80 im Jahr 2050. Der Stromverbrauch wird dabei pro Anwendung für einen exemplarischen Wochentag (im Winterhalbjahr) dargestellt. Die Abbildung zeigt nur den Stromverbrauch, der in der Modellierung als inflexibel unterstellt wird. Damit sind neue Stromverbraucher wie Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen und deren Stromverbrauch nicht in der Abbildung enthalten.

Abbildung 5: Vergleich eines exemplarischen Tagesverlaufs des Stromverbrauchs pro Anwendung im Winterhalbjahr für 2012 und 2050 im Szenario N80 in GWh



Quelle: BCG & Prognos (2018), eigene Darstellung

Abbildung 5 zeigt, dass sich das Niveau des Stromverbrauchs für den exemplarischen Wintertag deutlich reduziert. Dies ist insbesondere auf den Rückgang des Stromverbrauchs für konventionelle Raumwärme, Beleuchtung und die Reduktion des Stromverbrauchs im Industriesektor zurückzuführen. Diese Anwendungen weisen im Jahr 2012 einen wesentlichen Anteil an der Spitzenlast auf. Während beispielsweise nur rund 15 % des jährlichen Stromverbrauchs für Beleuchtung eingesetzt wird beläuft sich der Anteil an der Spitzenlast auf bis zu 20 %. Die Jahresspitzenlast des klassischen Stromverbrauchs reduziert sich von knapp 90 GW im Jahr 2012 im Szenario N80 auf rund 70 GW im Jahr 2050. Im Vergleich zum Referenzszenario mit einer Reduktion der Spitzenlast auf etwas weniger als 80 GW erfolgt damit im Zielszenario noch einmal ein deutlicher Rückgang der Spitzenlast. Der wesentliche Grund für diesen Rückgang liegt in Effizienzmaßnahmen im Stromverbrauch. Zudem wirken diese Effizienzmaßnahmen verstärkt auf Anwendungen mit hohem Anteil an der Lastspitze, wodurch sich die Lastspitze überproportional vermindert.

### 3.3 Flexible Stromverbraucher

Wie in Abbildung 4 dargestellt steigt der Stromverbrauch für Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen im Szenario N80 deutlich an. Die Elektrifizierung des Verkehrs- und Wärmesektors stellt in dem Szenario eine zentrale Maßnahme zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesen Sektoren dar. Für das Stromsystem ergeben sich jedoch zusätzliche Aufgaben aufgrund des Stromverbrauchs dieser Anwendungen:

- Der stündliche Stromverbrauch von Wärmepumpen zur Bereitstellung von Raumwärme ist temperaturabhängig und folgt (bei inflexiblem Einsatz) dem Wärmelastprofil. Dementsprechend steigt der Stromverbrauch an kalten Wintertagen deutlich an.

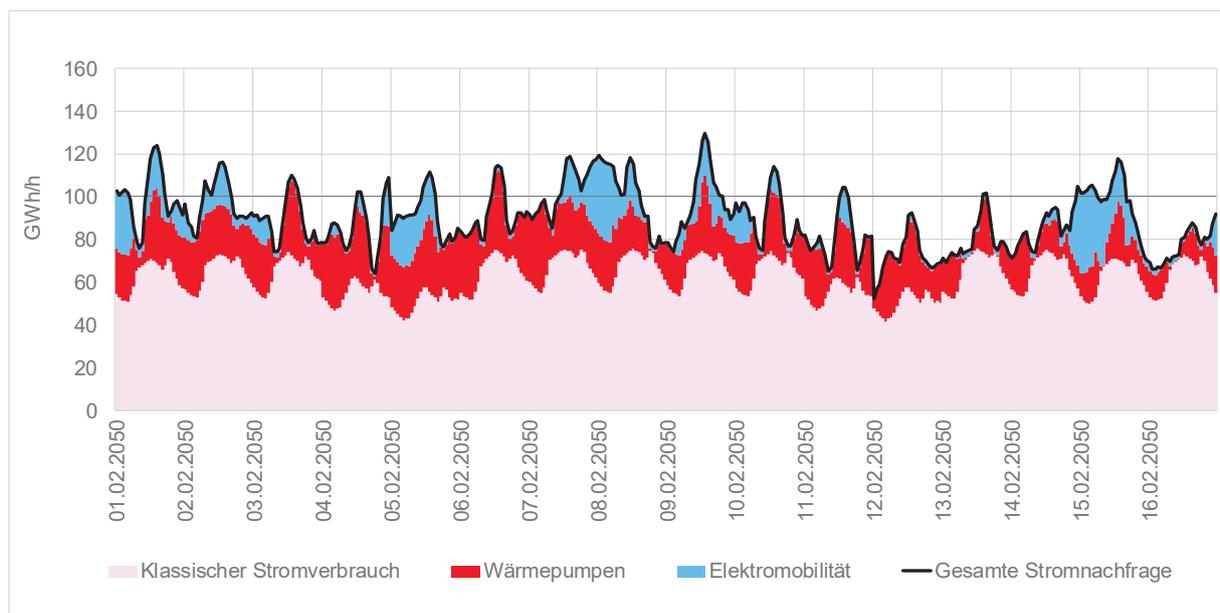
- Der Stromverbrauch von Elektrofahrzeugen ist ebenfalls temperaturabhängig (durch Heizung bzw. Klimatisierung des Fahrzeugs) und kann beispielsweise an kalten Wintertagen ca. 50 % höher sein als bei mittlerer Temperatur. Zudem sind für den stündlichen Strombedarf die Stehzeiten der Fahrzeuge und die Ladeleistung relevant.

Insgesamt ist bei inflexiblem Stromverbrauch von Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen zu erwarten, dass der Stromverbrauch zu Spitzenlastzeiten (kalter Wintertag, Abendstunden) deutlich ansteigt. Die Gesamtleistung dieser Technologien liegt im Jahr 2050 im Szenario N80 bei mehr als 200 GW. Für die individuelle Spitzenlast von Elektrofahrzeugen kann beispielsweise pro 10 Mio. Fahrzeuge eine zusätzliche Spitzenlast von rund 10 GW abgeschätzt werden.

Daher besteht bei einer umfassenden Durchdringung dieser Technologien die Notwendigkeit eines flexiblen Einsatzes. Grundsätzlich sind Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen dafür geeignet. Elektrofahrzeuge verfügen aufgrund langer Stehzeiten und der vorhandenen Batteriekapazität über die Möglichkeit, den Stromverbrauch zu verschieben. Wärmepumpen können über einen Wärmespeicher den Strombedarf ebenfalls anpassen. Im Rahmen der Szenarienrechnungen wurde für (reine) Elektrofahrzeuge eine Batteriekapazität angenommen, die langfristig auf mehr als 50 kWh ansteigt. Rund 80 % der Elektrofahrzeuge wurden dabei langfristig als flexibel modelliert. Für Wärmepumpen wurde eine Speicherkapazität zwischen 15 kWh (Einfamilienhaus) bis 50 kWh (Dienstleistungsgebäude) angenommen. Damit ist eine Verschiebung des Stromverbrauchs um 2-3 Stunden möglich. Der Einsatz der flexiblen Stromverbraucher folgt einem Strommarktsignal und verschiebt sich daher (unter Berücksichtigung der technologiespezifischen Restriktionen) in Stunden mit geringer Residuallast.

Abbildung 6 zeigt den Einsatz der flexiblen Stromverbraucher für zwei beispielhafte Wochen im Jahr 2050, welcher zusätzlich zum Stromverbrauch der klassischen Stromverbraucher auftritt.

Abbildung 6: Modellierter Stromverbrauch der flexiblen Stromverbraucher über zwei Wochen im Jahr 2050 (Februar) in GWh



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 6 zeigt, dass der Stromverbrauch der neuen Stromverbraucher sich stark an der Strommarktsituation orientiert. Beispielsweise sind die Tage zwischen dem 10.2. und dem 15.2. auf Basis des modellierten Witterungsjahrs 2012 von sehr geringer erneuerbarer Stromerzeugung bei gleichzeitig tiefen Temperaturen gekennzeichnet. In dieser Periode ist der zusätzliche Stromverbrauch durch (flexible) Elektrofahrzeuge sehr gering. Die Batterien werden vor den kritischen Tagen soweit möglich aufgeladen, sodass während der Kälteperiode möglichst wenig Strom aus dem Netz gezogen werden muss. Bei der Beheizung von Gebäuden mit Wärmepumpen werden die thermische Trägheit der Gebäude sowie die vorhandenen Wärmespeicher ausgenutzt, um in Zeiten der höchsten Residuallast für einzelne Stunden Flexibilität bereitstellen zu können. Darüber hinaus kann in Zeiten hoher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (z.B. von 15.2. bis 16.2.) durch den flexiblen Einsatz der Stromverbraucher diese Stromerzeugung zu einem großen Teil integriert werden.

Daneben ist in der dargestellten Periode der Einsatz von weiteren flexiblen konventionellen Kraftwerkskapazitäten notwendig, um den verbleibenden Stromverbrauch zu decken. Die Flexibilität im Stromverbrauch hilft aber, neben der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und weiteren Flexibilitätsoptionen (wie z.B. durch Netzausbau und Ausgleichseffekte im europäischen Verbund), die notwendige Stromerzeugung aus konventionellen Kraftwerken deutlich zu reduzieren.

Die Stromerzeugung aus konventionellen Kraftwerken (v.a. Gaskraftwerken) reduziert sich damit im Szenario N80 insgesamt auf weniger als 50 TWh pro Jahr. Im Vergleich dazu beträgt der Anteil der erneuerbaren Stromerzeugung an der Nettostromerzeugung rund 88 %. Damit reduzieren sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Stromsektor von 272 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2015 auf rund 33 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2050, was einer Reduktion um fast 88 % entspricht. Damit kann der Stromsektor in dem modellierten Szenario einen wesentlichen Beitrag für die Erreichung der langfristigen klimapolitischen Ziele Deutschlands leisten.

## 4 Fazit

Durch den im Zeitverlauf sinkenden Stromverbrauch und die Flexibilisierung der (neuen) Stromverbraucher kann die Energiewende im Stromsektor wesentlich unterstützt werden. Durch verstärkte Stromeffizienz sinkt die Spitzenlast (für den inflexiblen Stromverbrauch) in Deutschland in dem betrachteten Szenario von knapp 90 GW auf etwas weniger als 70 GW. Gleichzeitig sorgt die Flexibilisierung des Stromverbrauchs für eine Entlastung des Stromverbrauchs zu Spitzenlastzeiten mit geringer Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen. Dadurch kann die notwendige Erzeugung aus regelbaren (konventionellen) Kraftwerken deutlich reduziert werden. Zudem können flexible Stromnachfrager dazu beitragen, in Stunden hoher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (z.B. bei hoher Erzeugung aus Windkraftanlagen), CO<sub>2</sub>-freie Stromerzeugung zu integrieren. Neben dem Ausbau erneuerbarer Energien kann damit der Stromverbrauch einen wesentlichen Beitrag leisten, um die Dekarbonisierung des Stromsystems zu ermöglichen.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine langfristige Reduktion des Stromverbrauchs nur durch eine konsequente Umsetzung von Effizienzmaßnahmen realisierbar ist. Durch Effizienzmaßnahmen, welche über die derzeit umgesetzten Maßnahmen hinausgehen, ist ein

zusätzlicher Beitrag zur Integration des Stromsystems möglich. Insbesondere Effizienzmaßnahmen in (inflexiblen) Anwendungen mit hohen Anteilen an der Spitzenlast (z.B. Beleuchtung, IKT, Raumwärme) können die Erreichung der Klimaziele im Stromsektor unterstützen. Gleichzeitig sind Maßnahmen zur Flexibilisierung des Stromverbrauchs, vor allem bei einer umfassenden Elektrifizierung des Verkehrs- und Wärmesektors, von hoher Bedeutung. Die Digitalisierung und eine intelligente Steuerung des Stromverbrauchs ist dabei eine zwingende Voraussetzung. Diese Maßnahmen müssen zeitgerecht umgesetzt werden, damit die Transformation des Energie- und Stromsystems unterstützt werden kann.

## Literaturverzeichnis

- BCG & Prognos 2018      The Boston Consulting Group & Prognos AG, Klimapfade für Deutschland, im Auftrag des BDI, 2018
- BMWi 2018                Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Gesamtausgabe der Energiedaten – Datensammlung des BMWi, 2018
- BMWi 2016                Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Fünfter Monitoring-Bericht zur Energiewende – Die Energie der Zukunft, 2016
- BMUB 2016                Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung