

Entwicklung des Energiebedarfs für die Wohngebäudeklimatisierung in Deutschland

Tanja Kenkmann (1), Immanuel Stieß (2), Christian Winger(1), Barbara Birzler-Harder (2), Georg Sunderer (2)

(1) Öko-Institut, Merzhauserstr. 173, 79100 Freiburg, www.oeko.de, t.kenkmann@oeko.de

(2) ISOE, Hamburger Allee 45, 60486 Frankfurt am Main, www.isoe.de

Kurzfassung:

In der hier vorgestellten Studie wurde untersucht, in welcher Höhe sich der Energiebedarf für die Klimatisierung der Wohngebäude in den Zieljahren 2020, 2030 und als Ausblick in 2050 unter bestimmten Annahmen bewegt. Es wurden Szenariorechnungen durchgeführt, die neben technischen und wirtschaftlichen Parametern wie der Entwicklung des energetischen Zustands des Wohngebäudebestands, der Klimatisierungstechnologien und der Energiepreise auch die Klimaentwicklung in Form von Klimaszenarien einbindet und einen besonderen Schwerpunkt auf die Anschaffungsbereitschaft und das Nutzerverhalten der klimatisierenden Haushalte legt. Zur Ermittlung der verhaltensbasierten Parameter wurden umfassende repräsentative empirische Untersuchungen durchgeführt.

Es wurden zwei Szenarien gerechnet, die eine Spannbreite der möglichen Entwicklung und die bestimmenden Parameter aufzeigen. Die Studie zeigt, dass der Klimatisierungsbedarf des Wohngebäudebestandes im Wesentlichen aufgrund der Klimaänderung (zunehmende Sommertemperaturen, längere Hitzeperioden, zunehmende Temperaturen in den Übergangsjahreszeiten, Überhitzung der Städte bei gleichzeitiger Verstädterung) sowohl bei großen Sanierungsanstrengungen als auch bei geringeren Sanierungsanstrengungen deutlich zunimmt. Der tatsächliche Strombedarf für die Klimatisierung ist abhängig von der Anschaffungsbereitschaft und dem Klimatisierungsverhalten der Nutzer.

Letztendlich könnte nach den Ergebnissen der Szenarien der Strombedarf für die Wohngebäudeklimatisierung im Jahr 2050 3 bis 6 Prozent des Stromverbrauchs der privaten Haushalte betragen und damit einen wesentlichen Anwendungsbereich darstellen.

Keywords: Klimatisierung, Wohngebäude, Energiebedarf, Kühlung, Klimatisierungsverhalten

1. Einführung

Zukunftsszenarien zur Entwicklung des Energiebedarfs des Wohngebäudebestandes richten ihr Hauptaugenmerk auf den Heizwärmebedarf; Zahlen zum Energiebedarf für die Klimatisierung werden nur zum Teil einbezogen, die Datenlage dazu ist schlecht und Annahmen dazu sind oft nicht gut belegt (z.B. [1] [2] [25]). Der Energieverbrauch für die Klimatisierung von Wohngebäuden wird jedoch zukünftig eine wachsende Rolle spielen. Mit

der hier vorgestellten Untersuchung wurden erstmals empirisch belegte Daten zum Status Quo der Wohngebäudeklimatisierung erhoben. Es wurden Szenarien gerechnet, die aufzeigen, welche Entwicklung des Energiebedarfs für die Klimatisierung von Wohngebäuden unter der Berücksichtigung wesentlicher Einflussparameter wahrscheinlich ist. Für die berücksichtigten Einflussparameter werden Daten aus vorliegenden Studien verwendet, bzw., wenn diese nicht vorliegen, plausible Annahmen auf der Basis vorliegender wissenschaftlicher Studien bzw. eigener Analysen getroffen.

Besondere Bedeutung wird verhaltens- und sozialwissenschaftlichen Aspekten hinsichtlich des Verbraucherverhaltens beigemessen, da dieses maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des Energieverbrauchs für die Klimatisierung von Wohngebäuden haben wird. Dies gilt insbesondere für die Anschaffungsbereitschaft bei den Nutzern, sowie für das Nutzungsverhalten. Diese Parameter werden mit der hier vorgestellten Studie erstmals untersucht.

Ziel des Vorhabens war es, eine Datenreihe für die Entwicklung des Energieverbrauchs der Wohngebäudeklimatisierung für die Verwendung in Energieverbrauchsmodellen bereit zu stellen und belastbare Aussagen zur Bedeutung der Wohngebäudeklimatisierung für den Energieverbrauch der Gebäude im Zieljahr 2030 zu treffen und einen Ausblick ins Jahr 2050 zu geben.

2. Methodik

2.1. Basisdaten

Bei der Berechnung der Szenarien für die Entwicklung des Energiebedarfs für die Wohngebäudeklimatisierung wurden Parameter berücksichtigt, von denen erwartet wird, dass sie die Entwicklung des Energiebedarfs für die Wohngebäudeklimatisierung beeinflussen. Die erwartete Entwicklung der identifizierten Parameter wurde näher untersucht und quantifiziert; Zieljahr der Betrachtung war das Jahr 2030, für das Jahr 2050 wird ein Ausblick gegeben. Für die folgenden Parameter wurden Annahmen getroffen, die im Folgenden erläutert werden:

- Entwicklung der Energiepreise
- Klimaentwicklung
- Entwicklung der Technologieverfügbarkeit
- Entwicklung der Wohnfläche und des energetischen Zustands des Gebäudebestands

2.1.1. Entwicklung der Energiepreise

Für die Entscheidung zugunsten oder gegen eine Klimaanlage hat der aktuelle Strompreis eine untergeordnete Bedeutung. Diese Schlussfolgerung legen die Ergebnisse der empirischen Untersuchungen nahe (vgl. Kapitel 2.2). Zwar sind von 2007 bis 2014 die Strompreise für Haushaltskunden um mehr als 40% gestiegen [6], jedoch ist nicht zu erwarten, dass die Strompreise zukünftig in dem Maße steigen oder sinken, dass sie als maßgebliches Entscheidungskriterium für oder gegen die Klimatisierung dienen werden.

2.1.2. Klimaentwicklung in Deutschland

In Deutschland wird es in Folge der Klimaerwärmung voraussichtlich zu einer deutlichen Zunahme der mittleren Temperaturen sowie zu einem häufigeren und längeren Auftreten von Hitzeperioden mit Auswirkungen auf das Stadtklima kommen. Diese Änderungen sind hauptsächlich in den Sommermonaten klimatisierungsrelevant, jedoch wird es auch in den Übergangsjahreszeiten zu einer deutlichen Zunahme der mittleren Temperaturen sowie zum verstärkten Auftreten von Hitzeperioden kommen [9] [11]. Im Zeithorizont bis zum Jahr 2030 sind die Änderungen noch nicht so stark, dass deutliche Auswirkungen auf den Klimatisierungsbedarf zu erwarten sind. Erst langfristig, etwa ab dem Jahr 2050, werden die Klimaänderungen stärker wirksam [10].

In den Szenario-Rechnungen werden die Temperaturdaten des Emissionsszenarios A1B des IPCC-Sonderberichtes über Emissions-Szenarien [8] verwendet. Das Szenario A1B stellt ein mittleres Szenario dar, welches demnach „mittlere“ Klimaänderungen nach sich zieht. In die hier vorgestellten Klimatisierungsszenarien wurden stündliche Temperaturdaten für die Zieljahre integriert.

2.1.3. Technologien für die Wohngebäudeklimatisierung

Nach Auswertung entsprechender Literatur konnten keine Hinweise darauf gefunden werden, dass in Wohngebäuden auf absehbare Zeit Technologien auf der Basis erneuerbarer Energien, abseits der Nutzung erneuerbaren Stroms in Kompressionskältemaschinen, eingesetzt werden können [13] [14] [15] [16] [24]].

Daher wird für die Entwicklung der Klimatisierungsszenarien davon ausgegangen, dass die gesamte Energie für die Wohngebäudeklimatisierung strombasiert bereitgestellt wird. Für die Entwicklung der Effizienz der Klimageräte wird angenommen, dass der mittlere SEER-Faktor¹ von 2,5 im Jahr 2020 auf 3,8 im Jahr 2050 ansteigt [12].

2.1.4. Entwicklung der Wohnfläche und des energetischen Zustands der Wohngebäude

Für die Entwicklung der Wohnfläche und des energetischen Zustands des Wohngebäudebestands werden Daten aus [7] verwendet. Dort wird bis zum Jahr 2050 eine Zunahme der Wohnfläche um 6% gegenüber 2015 unterstellt².

Für die Entwicklung des energetischen Zustands der Wohngebäude werden ebenfalls aus [7] die Ergebnisse der Szenarien *Zielbild -70%*³ und *Zielbild -40%*⁴ übernommen. Es werden sechs Typgebäude definiert, deren wesentliche Eigenschaften in Tabelle 1 dargestellt sind. Zusätzlich werden für jedes Typgebäude zwei Sanierungszustände definiert: (i) „san“ -

¹ Seasonal energy efficiency ratio (SEER)

² Alle umfassenden Langfristszenarien zu Energieverbrauch und Emissionen auf Bundesebene gehen trotz sinkender Bevölkerung von steigenden Wohnflächen aus.

³ Reduktion des Endenergieverbrauchs des Gebäudebestands bis 2050 um -68% ggü. 2014 durch hohe Sanierungstiefe bei allen Gebäuden mit Ausnahme der Gebäude mit Sanierungsrestriktionen

⁴ Reduktion des Endenergieverbrauchs des Gebäudebestands bis 2050 um -40% ggü. 2014. Ein größerer Anteil der Gebäude verbleibt im teil- oder unsanierten Zustand.

entspricht EnEV-Standard (2009 –25%) und (ii) „san plus“ – entspricht dem Passivhausstandard.

Tabelle 1: Wesentliche Eigenschaften der Typgebäude, nach [7]

	EFFH I	EZFH II	EZFH III	MFH I	MFH II	MFH III
Anzahl im Jahr 2009 (Mio.)	3,777	8,463	2,884	0,921	1,974	0,349
Baujahr	bis 1948	1949-1994	1995-2050	bis 1948	1949-1994	1995-2050
Wohnfläche [m ²]	148,1	151,6	151,7	397,4	509,6	586,7
Außenwand U-Wert	1,77	1,13	0,45	1,91	1,15	0,53
Dach U-Wert	1,57	0,81	0,37	1,75	0,99	0,39
Fußboden U-Wert	1,47	1,24	0,52	1,10	1,66	0,57
Fenster U-Wert	3,39	3,50	2,52	3,29	3,32	2,82

2.2. Durchführung einer repräsentativen empirischen Erhebung zur Bestimmung der Anschaffungsbereitschaft für Klimaanlage in der Wohnung oder im Wohngebäude

Durch die im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten Erhebungen sollten zum einen aktuelle und belastbare Zahlen zum Bestand an Klimageräten in Wohngebäuden in Deutschland ermittelt werden, sowie Daten zum Nutzungsverhalten der Betreiber der Anlagen bzw. zur Nutzungsintensität. Zum anderen sollten die Akzeptanz von Klimaanlage und die Einflussfaktoren, die diese Akzeptanz/Adoption von Klimaanlage beeinflussen, ermittelt und in ihrer Stärke abgeschätzt werden. Neben klimatischen Gegebenheiten sowie technischen und ökonomischen Einflussgrößen sind dabei insbesondere soziale und soziokulturelle Faktoren zu berücksichtigen [17] [18] [19].

Einflussfaktoren und Dimensionen für die Akzeptanz sind daher:

- Individuelle Komfortbedürfnisse (operationalisiert als Einstellungen zu Hitzeempfinden und Leidensdruck),
- Informiertheit, Awareness, Erfahrung mit Klimatisierung,
- Allgemeine Einstellungen zu Klima, Umwelt, Technikaffinität,
- Spezielle Einstellungen zu Klimaanlage und Klimatisierung,
- Lärm, Handling, Gesundheitsrisiken, Platzbedarf, Ästhetik,
- „Normalitätserwartung“, d.h. die Frage danach, ob sich eine breitflächige Klimatisierung durchsetzen wird,
- (Wahrgenommene) Kosten für Anschaffung und Betrieb,
- Bauliche-technische Restriktionen,
- Aufwand der Umsetzung,

- Soziodemographie, insbesondere Alterseffekte.

Mit Hilfe einer standardisierten Erhebung wurden repräsentative Daten über die tatsächliche Verbreitung und Nutzung von Klimaanlage in Wohngebäuden erhoben. Dazu wurden im März/April 2015 nach einer Zufallsstichprobe 10.050 Personen in einer Mehrthemenbefragung telefonisch nach Besitz und Nutzung von Klimageräten – differenziert nach Gerätetypen – befragt. Grundgesamtheit waren alle Personen in Deutschland, die älter als 18 Jahre sind.

Zur vertiefenden Analyse der oben aufgeführten Faktoren wurde eine standardisierte Online-Befragung durchgeführt. Gefragt wurde nach den Gründen für die Nutzung bzw. Nicht-Nutzung, sowie nach der Bereitschaft eine Klimaanlage anzuschaffen. Die Stichprobe der Breitenbefragung setzte sich zusammen aus Nicht-Nutzern (n=772) und Nutzern (n=204) von Klimaanlage. Die Erhebung erfolgte durch sog. computer-assistierte Web-Interviews (CAWI). Die Ergebnisse der Befragung wurden bi- und multivariat ausgewertet. Maßgebliche Einflussfaktoren für die Bereitschaft zur Anschaffung und Nutzung von Klimaanlage wurden mit Hilfe einer Faktoranalyse ermittelt.

Durch die Mehrthemenbefragung sowie durch die Breitenbefragung konnte der aktuelle Bestand der in privaten Haushalten vorhandenen Klimaanlage ermittelt werden. Des Weiteren wurde eine Datenbasis für Szenarien zur künftigen Nutzung von Klimaanlage geschaffen. Die Bildung der Szenarien über die künftige Verbreitung von Klimaanlage in Privathaushalten in Deutschland erfolgte dabei in drei Schritten. Über die Interpretation der Ergebnisse der Breitenbefragung von Nutzern/Nicht-Nutzern von Klimaanlage konnte die Größe der Potenzialgruppe abgeschätzt werden, die überhaupt bereit ist, sich eine Klimaanlage anzuschaffen. Die daran anschließende Festlegung möglicher jährlicher Wachstumsraten erfolgte unter Bezugnahme der Auswertung zusätzlicher Studien, insbesondere einer Zeitreihe des Sozial-ökonomischen Panels (SOEP) zur Klimatisierung (Kapitel 3.1). Auf dieser Grundlage erfolgte eine Projektion auf die Haushalte bzw. den Gebäudebestand in der Bundesrepublik Deutschland.

2.3. Berechnung der Szenarien für die Entwicklung des Strombedarfs für Klimatisierung von Wohngebäuden

Die Berechnung der Szenarien des Strombedarfs für die Klimatisierung von Wohngebäuden (kurz „Klimatisierungsszenarien“) erfolgte durch ein für diese Aufgabe entwickeltes mehrdimensionales Datenbank-basiertes Modellierungstool. Die beschriebenen Datengrundlagen sowie zahlreiche weitere Annahmen fließen in die Szenarioberechnung ein. Es wurden zwei Szenarien gerechnet, die unterschiedliche Varianten der Entwicklung und eine Spannbreite für den künftigen Stromverbrauch der Wohngebäudeklimatisierung in Deutschland aufzeigen. Die Unterschiede der Szenarien sind in Abbildung 1 dargestellt. Abbildung 2 zeigt die Schritte, die in dem Modellierungstool für jedes der beiden Szenarien gerechnet werden.

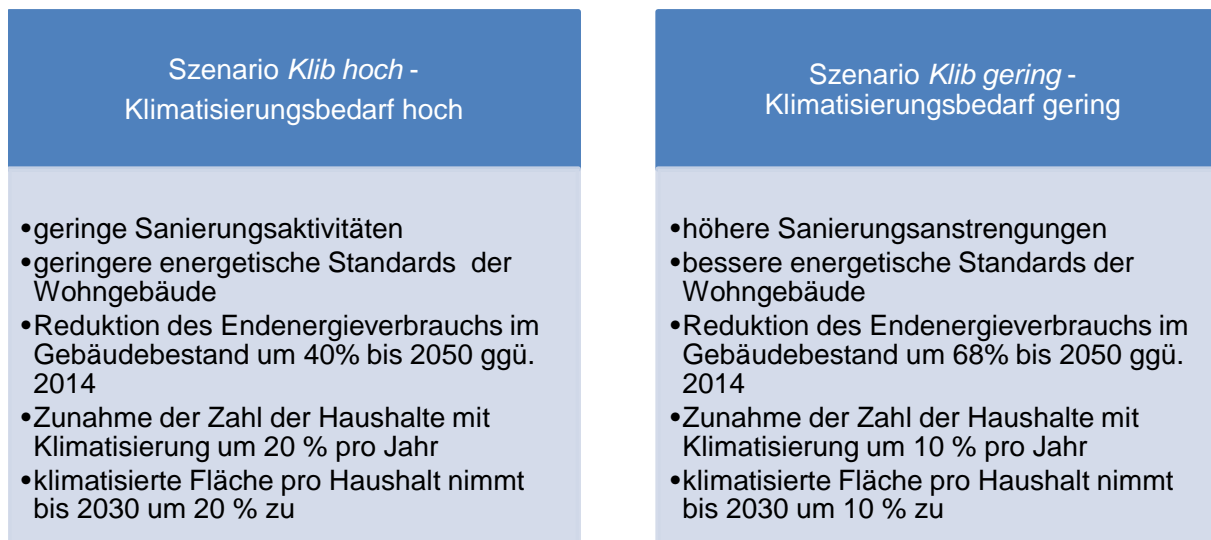


Abbildung 1: Szenarien, für die der Klimatisierungsbedarf abgeschätzt wurde

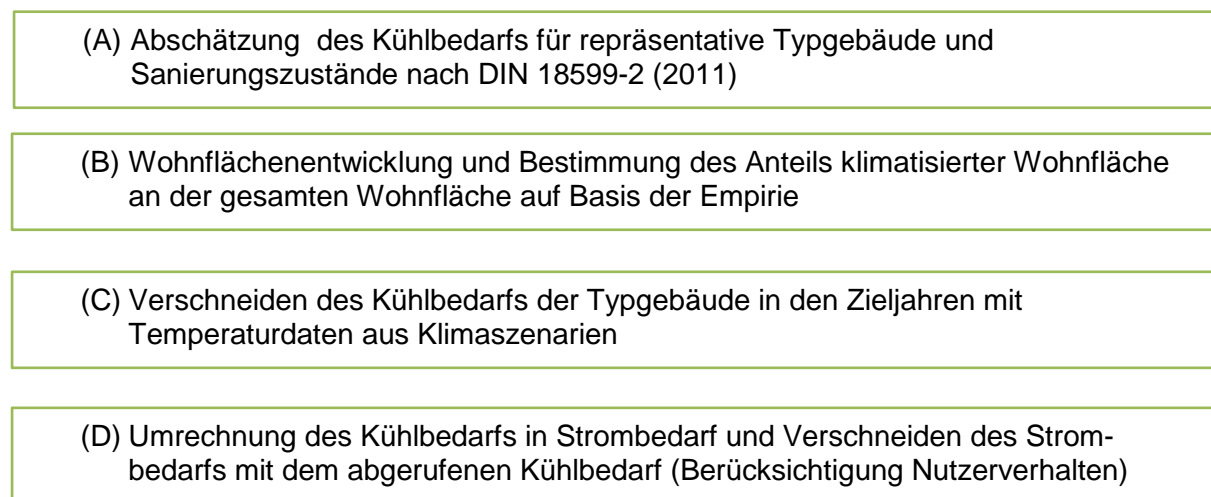


Abbildung 2: Schritte für die Erstellung der Klimatisierungsszenarien

Für die sechs Typgebäude und zwölf Sanierungszustände wird der Kühlbedarf nach DIN 18599-2 (2011) abgeschätzt. Dabei werden Wärmeeinträge aus folgenden Quellen berücksichtigt:

- Solare Einstrahlung durch transparente Bauteile und durch opake Bauteile (wesentliche Inputdaten sind Ausrichtung des Gebäudes, Verschattung der Fenster)
- Transmissionswärmequellen
- Lüftungswärmequellen
- Interne Wärmequellen

Für einige für den Kühlbedarf wesentliche Parameter liegen keine statistischen Angaben vor; dies trifft insbesondere auf die Beschattung und das Vorhandensein bzw. die Art des

Sonnenschutzes zu. Hier wurden begründete Expertenschätzungen vorgenommen und mittlere Werte angenommen.

Für jedes Typgebäude wird für jede Außentemperatur zwischen 15 und 40°C und für jeden Monat des Jahres sowie für jeweils fünf Referenzstandorte (Rostock, Essen, Mannheim, Potsdam, Garmisch-Partenkirchen) der Kühlbedarf errechnet. Die Plausibilität der (Zwischen-)Ergebnisse wurde auf der Ebene der Einzelgebäude geprüft.

Weiterhin fließen die folgenden Annahmen in die Klimatisierungsszenarien ein:

- Etwa 1,45% der Wohnfläche in Deutschland wird klimatisiert (Basisjahr 2015, errechnet auf Basis der Ergebnisse der Empirie). Dies entspricht insgesamt einer Fläche von 56,6 Mio. Quadratmetern.
- Im *Szenario Klib gering* wächst der Anteil an Privathaushalten in Deutschland mit einer Klimaanlage jährlich um 10 %. Im *Szenario Klib hoch* wächst der Anteil der Haushalte mit Klimaanlage jährlich um 20 %.
- Die gekühlte Wohnfläche nimmt im gleichen Maße zu wie die Zahl der klimatisierenden Haushalte. Zusätzlich wird angenommen, dass sich die Wohnfläche pro Haushalt um etwa 0,25 % pro Jahr vergrößert (). Außerdem nimmt im Szenario *Klib hoch* die klimatisierte Wohnfläche pro Haushalt ggü. 2015 bis 2030 um 20 % zu, im Szenario *Klib gering* steigt sie im gleichen Zeitraum um 10 %.
- Der Anteil der klimatisierten Wohnfläche ist bei allen Typgebäuden gleich. Er wird auf der Basis der Zahl der klimatisierenden Haushalte und weiterer Angaben aus der empirischen Erhebung zur Anzahl der gekühlten Räume und der Wohnungsgröße abgeschätzt.
- Auf der Basis der Ergebnisse der Empirie zum Klimatisierungsverhalten wird abgeschätzt, dass die Klimageräte werktags durchschnittlich 5,4 Stunden und an Wochenendtagen durchschnittlich 5,9 Stunden betrieben werden. Es wird davon ausgegangen, dass die potenziellen Nutzer ihre Klimaanlage genauso nutzen würden, wie die aktuellen Nutzer.

3. Ergebnisse

3.1. Entwicklung der Verbreitung von Klimaanlagen in Deutschland 2007 bis 2013

Klimaanlagen sind eine Technologie, die bereits seit Jahrzehnten am Markt etabliert ist. Dennoch ist ihre Verbreitung in privaten Haushalten in Deutschland bislang nur gering. In der Vergangenheit hat der Bestand von Klimaanlagen nur langsam zugenommen. Entsprechend gering sind die Wachstumsraten. Dafür geben die jährlich im SOEP⁵ erhobenen Daten zum

⁵ „Das Sozio-oekonomische Panel (SOEP) ist eine repräsentative Wiederholungsbefragung, die bereits seit 30 Jahren läuft. Im Auftrag des DIW Berlin werden zurzeit jedes Jahr in Deutschland etwa 30.000 Befragte in fast 11.000 Haushalten von TNS Infratest Sozialforschung befragt. Die Daten geben Auskunft zu Fragen über Einkommen, Erwerbstätigkeit, Bildung oder Gesundheit. Weil jedes Jahr die gleichen Personen befragt werden, können langfristige soziale und gesellschaftliche Trends besonders gut verfolgt werden.“ (Quelle: www.diw.de, Abruf 20.03.2017)

Bestand von (stationären) Klimaanlage in Deutschland Hinweise (Tabelle 2). Es ist jedoch zu beachten, dass im SOEP-Panel nicht zwischen Lüftung, z.B. in einem Passivhaus, und einer Klimaanlage unterschieden wurde. Außerdem wurden wohl nur fest installierte Geräte erfasst, damit wären die mobilen Klimageräte in dieser Statistik nicht enthalten (vgl. auch <https://data.soep.de/variables/55306>).

Aus dieser Zeitreihe ergibt sich für den Zeitraum von 2007 bis 2013, dass der Anteil der Wohnungen mit einer Klimaanlage um insgesamt um 0,52 % zugenommen hat (Tabelle 3). Dies entspricht einer jährlichen Wachstumsrate von 5,9 %.

Tabelle 2: *Entwicklung der stationären Klimatisierung und Lüftung*

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Ja [%]	1,27	1,23	1,65	1,49	1,67	1,59	1,79
Nein [%]	95,23	95,03	96,27	95,96	96,20	96,83	97,46
k.A. [%]	3,51	3,74	2,09	2,55	2,13	1,57	0,76
Nennungen	11.279	10.644	11.641	10.564	12.028	12.128	14.063

Quelle: SOEP - <https://data.soep.de/variables/55306>, Abruf 2016

Tabelle 3: *Entwicklung des Bestands an Klima- und Lüftungsanlagen in Deutschland 2007-2013*

Bestand Klima-/Lüftungsanlagen in 2007	1,27%
Bestand Klima-/Lüftungsanlagen in 2013	1,79%
Differenz gesamt in Prozent	0,52%
Differenz Prozentpunkte/Jahr	0,087%
Durchschnittliches Wachstum/Jahr	5,9%

Quelle: SOEP - <https://data.soep.de/variables/55306>

3.2. Anschaffungsbereitschaft

Über die Befragungen konnte ein aktueller Stand bezüglich der Durchdringung von Klimaanlage in Privathaushalten in Deutschland ermittelt werden. Demnach verfügten im Jahr 2015 3,14 % der Privathaushalte in Deutschland („IST-Gruppe“) bereits über eine Klimaanlage. Über die Auswertung der Breitenbefragung konnte zudem eine Potenzialgruppe ermittelt werden, deren Mitglieder eine starke Bereitschaft signalisieren, sich zukünftig eine Klimaanlage für ihren Privathaushalt anschaffen zu wollen (Tabelle 4). Diese „Potenzialgruppe“ (5,1 %) setzt sich zusammen aus Personen, bei denen eine konkrete Bereitschaft zur Anschaffung einer Klimaanlage besteht (Anschaffung im nächsten Jahr geplant bzw. Anschaffung in den nächsten fünf Jahren sehr wahrscheinlich), der empfundenen Dringlichkeit der Klimatisierung sowie der Akzeptanz der resultierenden Anschaffungskosten einer Klimaanlage. Nimmt man nun die IST- und die Potenzialgruppe zusammen, so ergibt sich ein Wert von 8,21 %.

Würde man die Spannweite weiter erhöhen und zudem all diejenigen Personen hinzuziehen, die eine Anschaffung einer Klimaanlage unter Berücksichtigung des Klimatisierungsbedarfs für ihren Privathaushalt in den kommenden fünf Jahren als wahrscheinlich erachten, so würde sich der Anteil weiter erhöhen („Anschaffungsbereite“ insgesamt 21,1 %). Die Gruppe

der „Anschaffungsbereiten“ weist dabei ähnliche Ausprägung der einzelnen Faktoren auf wie die tatsächlichen Nutzer von Klimaanlageanlagen.

Tabelle 4: Anteil Privathaushalte mit Klimaanlage in Deutschland sowie Potenzialgruppe für das Jahr 2015 (Angabe in %)

Bestand 2015	3,14%
Anschaffungsbereite	21,1%
...mit Klimatisierungsbedarf	15,0%
...nicht zu teuer	5,1%
...Potenzialgruppe	5,1%
Bestand 2015 und Potenzialgruppe	8,21%

Auch zur Art der Nutzung konnten aus den Erhebungen Erkenntnisse gewonnen werden, die in die Modellierung des zukünftigen Energieverbrauchs der Wohngebäudeklimatisierung eingingen. So wurde die mittlere angestrebte Innenraumtemperatur der Nutzer mit 21°Celsius angegeben. 53 % der Nutzer kühlen nur einen Raum, 26 % zwei Räume und 17 % mehr als zwei Räume ihrer Wohnung. Die durchschnittliche Anzahl an Nutzungstagen beträgt 35,5 Tage pro Jahr. Auch Daten zu den Nutzungszeiten wurden erhoben und für die Szenarioberechnung bereitgestellt.

3.3. Abschätzung künftiger Wachstumsraten

Auf Basis der zuvor erörterten Datengrundlage werden im Folgenden zwei Entwicklungsszenarien vorgestellt, wie sich der Anteil der Privathaushalte mit einer Klimaanlage bis in das Jahr 2030 entwickeln könnte.

Im ersten Szenario wird davon ausgegangen, dass der Anteil an Privathaushalten in Deutschland mit einer Klimaanlage jährlich um 10 % wachsen wird. Dieser Wachstumspfad liegt über der im SOEP ermittelten Wachstumsrate, erscheint aber angesichts der ermittelten Bereitschaft zur Anschaffung von Klimageräten plausibel. Dieses Szenario entspricht einem unteren Wachstumspfad bei dem zudem von einer höheren Sanierungsrate mit einer vergleichsweise raschen Verbesserung des Wärmeschutzes und somit einem geringen Kühlungsbedarf ausgegangen wird. Ein wichtiger Einflussfaktor auf die Nutzung von Klimaanlageanlagen sind längere Hitzeereignisse mit einem nur geringen nächtlichen Temperaturrückgang („Tropennächte“). Dies ist auch in Gebäuden mit einem guten Wärmeschutz der Fall, so dass auch bei optimalem Wärmeschutz von einem zunehmenden Klimatisierungsbedarf auszugehen ist. Nach diesem Szenario wird sich der Bestand an Klimaanlageanlagen in Privathaushalten in Deutschland auf Basis der festgestellten 3,14 % in 2015 auf 4,7 % (2020), 6,3 % (2025) und letztlich auf 7,9 % im Jahr 2030 erhöhen (Tabelle 6).

Im zweiten Szenario wird von einer geringeren Sanierungsrate und einer weniger raschen Verbesserung des Wärmeschutzes und somit einem erhöhten Kühlungsbedarf ausgegangen. Bei diesem Szenario kann von einem jährlichen Wachstum von 20 % ausgegangen werden. Dieser Wert entspricht in etwa dem der Potentialgruppe der oben dargestellten „Anschaffungsbereiten“. Nach diesem Szenario wird sich der Bestand an Klimaanlageanlagen in Privathaushalten in Deutschland auf Basis der festgestellten 3,14 % in 2015 auf 6,3 % (2020), 9,4 % (2025) und letztlich auf 12,6 % im Jahr 2030 erhöhen (Tabelle 6).

Tabelle 5: Szenarien für die Entwicklung des Anteils der Privathaushalte mit Klimagerät in Deutschland (Angaben in %)

	Szenario Klib hoch	Szenario Klib gering
Zuwachs bezogen auf 2015	20%	10%
IST 2015	3,14%	3,14%
2020	6,3%	4,7%
2025	9,4%	6,3%
2030	12,6%	7,9%
[2050]	25,1%	14,1%

Zu einer erhöhten Anschaffungsbereitschaft von Klimaanlage durch Privathaushalte könnten insbesondere Hitzeereignisse, zunehmendes Wissen über und sinkende Kosten für Klimaanlage beitragen.

3.4. Szenarioergebnisse: Entwicklung einzelner Parameter

Die Ergebnisse für die Abschätzung des Kühlbedarfs für die Typgebäude sind beispielhaft in Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt. Das Beispiel eines Sommertages mit 30° Höchsttemperatur zeigt, dass der größte Wärmeeintrag im unsanierten Typgebäude, etwa 50%, aus der Transmissionswärme resultiert. Im sanierten Gebäude ist der Anteil dieser Wärmequelle deutlich geringer (Abbildung 3). In Abbildung 4 wird gezeigt, dass es die Wärmeeinträge aus Lüftung (darunter fällt auch der Wärmeeintrag bei geöffneter Wohnungstür) und Transmissionswärme sind, die mit zunehmender Außentemperatur steigen, während die Wärmeeinträge aus internen Lasten und der solaren Einstrahlung unabhängig von der Außentemperatur sind. Das verdeutlicht die Bedeutung der energetischen Sanierung für die Reduzierung des sommerlichen Kühlungsbedarfes.

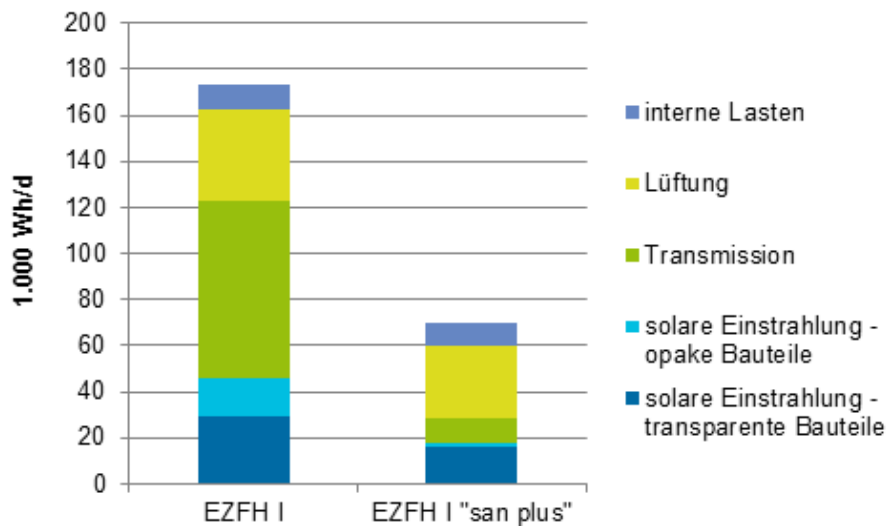


Abbildung 3: Wärmeeintrag nach Wärmequellen in den Typgebäuden EZFH I und EZFH I "san plus" am Standort Potsdam an einem Julitag mit 30° Tageshöchsttemperatur

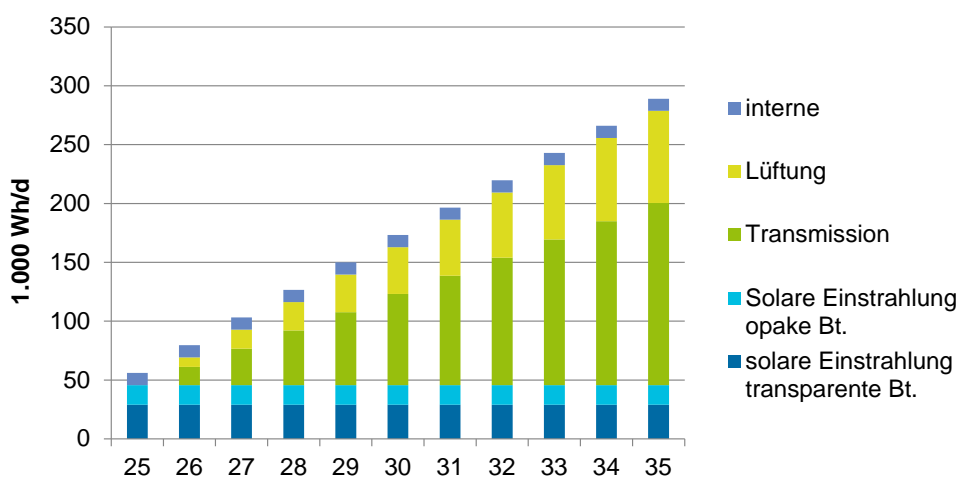


Abbildung 4: Wärmeeintrag in das Typgebäude EZFH I bei verschiedenen Tageshöchsttemperaturen im Juli am Referenzort Potsdam nach Wärmequellen

Während die Entwicklung der Wohnfläche insgesamt bis 2050 in beiden Szenarien gleich bleibt, verändern sich die Anteile der verschiedenen energetischen Zustände je nach Szenario deutlich. Im Szenario *Klib gering* weisen die Typgebäude mit dem energetischen Zustand „san plus“ 2030 deutlich höhere Anteile auf als im Szenario *Klib hoch*. 2050 weist im Szenario *Klib gering* nahezu die gesamte Wohnfläche einen sehr guten energetischen Zustand auf (Abbildung 5 und Abbildung 6).

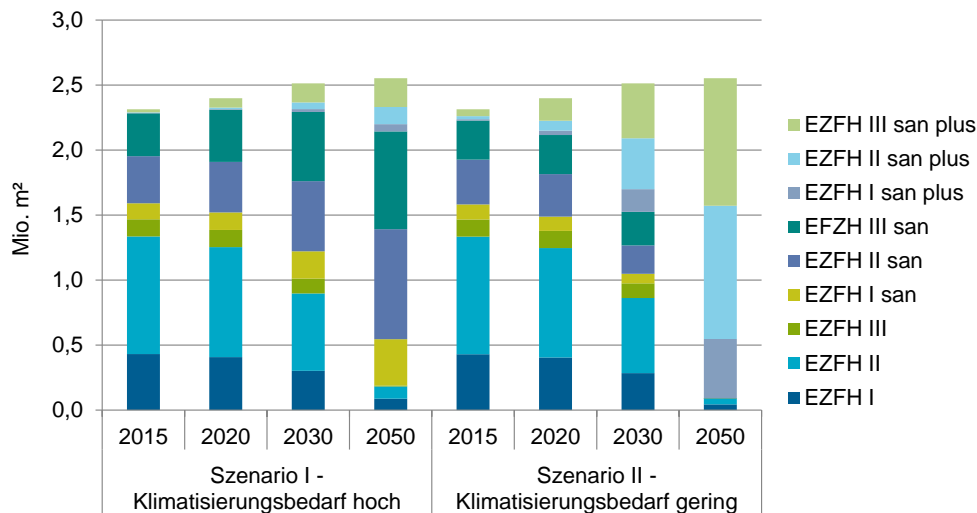


Abbildung 5: Entwicklung der Wohnfläche in EZFH im Vergleich der Szenarien nach Typgebäuden und Sanierungszuständen

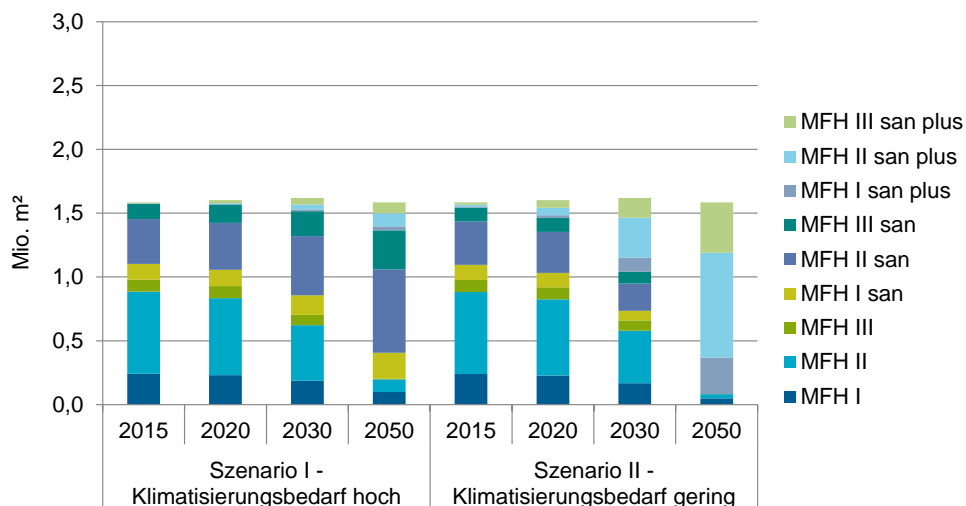


Abbildung 6: Entwicklung der Wohnfläche in MFH im Vergleich der Szenarien nach Typgebäuden und Sanierungszuständen

Im Basisjahr 2015 betrieben 3,14% der Haushalte Deutschlands ein Klimagerät. Damit werden etwa 1,45% der Wohnfläche in Deutschland klimatisiert. Dies entspricht insgesamt einer Fläche von 56,6 Mio. Quadratmetern, die sich gleichmäßig auf die verschiedenen Gebäudetypen verteilen. Abbildung 8 zeigt, wie sich die klimatisierte Wohnfläche in den verschiedenen Szenarien bis 2030 [2050] entwickelt.

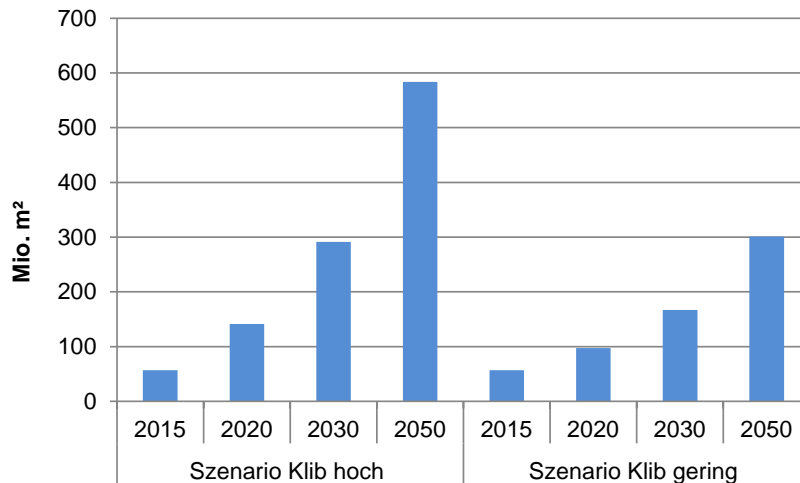


Abbildung 7: Entwicklung der klimatisierten Wohnfläche in den Szenarien im Vergleich

3.5. Szenarioergebnisse: Klimatisierungs- und Strombedarf

Tabelle 7 zeigt die in den Klimatisierungsszenarien bestimmten Jahressummen für den Klimatisierungsbedarf des Wohngebäudebestandes in den zwei Szenarien unter Berücksichtigung der tatsächlich gekühlten Wohnfläche. Es wird gezeigt, dass im Szenario *Klib hoch* der Klimatisierungsbedarf im Jahr 2030 nahezu das doppelte des Klimatisierungsbedarfes aus dem Szenario *Klib gering* beträgt. Dies liegt im Wesentlichen an dem schlechteren energetischen Zustand der Gebäude und den daraus resultierenden höheren Wärmeeinträgen und der höheren Anschaffungsbereitschaft bei den Haushalten. Es wird gezeigt, dass auch bei großen Sanierungsanstrengungen (Szenario *Klib gering*) der Klimatisierungsbedarf deutlich zunimmt. Zwischen 2020 und 2030 steigt der Klimatisierungsbedarf um mehr als 50 Prozent; im Szenario *Klib hoch* findet mehr als eine Verdopplung des Klimatisierungsbedarfs statt. Zwischen 2030 und 2050 findet im Szenario *Klib gering* mehr als eine Verdopplung des Klimatisierungsbedarfs statt, im Szenario *Klib hoch* ist es nahezu eine Verdreifachung. Dies zeigt die Folgen der Klimaänderung.

Bei dem Strombedarf für die Klimatisierung, der sich aus dem Klimatisierungsbedarf errechnet, (Tabelle 8) verhält es sich ebenso. Aufgrund des immer größer werdenden Unterschieds im energetischen Zustand des Gebäudebestands nimmt der Unterschied im Stromverbrauch zwischen den betrachteten Jahren immer weiter zu: Im Jahr 2020 beträgt der Strombedarf des Szenarios *Klib gering* noch etwa zwei Drittel des Strombedarfs im Szenario *Klib hoch*, während es 2050 nur noch 40 Prozent sind.

Tabelle 6: Jahressumme des Klimatisierungsbedarfs der Haushalte mit Klimatisierung für den Wohngebäudebestand nach Szenarien

		2020	2030	[2050]
<i>Klib hoch</i>	GWh/a	12.147	26.317	76.712
<i>Klib gering</i>	GWh/a	8.201	13.919	30.818

Tabelle 7: *Jahressumme des Strombedarfs für die Klimatisierung der Nutzerhaushalte bei vollständiger Deckung des Klimatisierungsbedarfs des Wohngebäudebestands*

		2020	2030	[2050]
<i>Klib hoch</i>	GWh/a	4.859	9.399	20.187
<i>Klib gering</i>	GWh/a	3.280	4.971	8.110

Allerdings wird nur ein Teil des bestehenden Klimatisierungs- bzw. Strombedarfs auch tatsächlich abgerufen, da die klimatisierenden Haushalte (oder Nutzerhaushalte) im Mittel nicht die gesamte Wohnung und nicht 24 Stunden am Tag klimatisieren, sondern nur einige Stunden. Daher wird nur ein Teil des Klimatisierungs- bzw. Strombedarfs auch tatsächlich abgerufen. Unter den oben genannten Annahmen zur klimatisierten Wohnfläche in den Nutzerhaushalten und zu den Klimatisierungszeiten liegt der Jahresstrombedarf für die Klimatisierung im Jahr 2020 zwischen 886 GWh/a und 1.313 GWh/a und im Jahr 2030 zwischen 1.309 GWh/a und 2.475 GWh/a und damit deutlich geringer. Im Jahr 2050 liegt der Strombedarf nach den beschriebenen Annahmen zwischen 2.145 GWh/a und 5.332 GWh/a (Tabelle 9).

Tabelle 8: *Jahressumme des Strombedarfs für die Klimatisierung der Nutzerhaushalte bei Berücksichtigung der Klimatisierungszeiten und des Anteils klimatisierter Wohnfläche*

		2020	2030	[2050]
<i>Klib hoch</i>	GWh/a	1.313	2.475	5.332
<i>Klib gering</i>	GWh/a	886	1.309	2.145

4. Diskussion

Bis 2050 muss mit einer deutlichen Zunahme des Stromverbrauchs für die Klimatisierung gerechnet werden. Treiber dieser Zunahme sind ein verändertes Nutzerverhalten, die Zunahme der Wohnfläche und der Zahl der Haushalte sowie die zunehmenden Sommertemperaturen. Auch Temperaturzunahmen in den Übergangsjahreszeiten tragen zum wachsenden Klimatisierungsbedarf bei.

Maßnahmen zur Verbesserung des winterlichen Wärmeschutzes sind ebenso zur Verringerung des sommerlichen Kühlungsbedarfes geeignet. Insbesondere die Reduktion der Transmissionswärmeeinträge leistet hier den größten Beitrag, aber auch die solare Einstrahlung wird im vollsanierten Gebäude deutlich verringert. Sonnenschutzvorrichtungen an Fenstern und die Ausrichtung der Gebäude sind ebenfalls wesentliche Einflussgrößen für die Höhe des Kühlbedarfs. Dies sollte bei der Planung von Baugebieten Berücksichtigung finden. Die Ergänzung von Sonnenschutzvorrichtungen im Gebäudebestand kann ggf. durch geeignete Politikinstrumente forciert werden.

Im Folgenden werden die Szenarioergebnisse mit den Ergebnissen anderer Studien verglichen. Im Szenario *Klib gering* ergibt sich für das Jahr 2020 ein weit geringerer Stromverbrauch für die Wohngebäudeklimatisierung als in [20] für 2015 ausgewiesen. Mögliche Ursachen dafür sind die sehr optimistischen Annahmen zur Wohngebäudesanierung bis zum Jahr 2020 im Szenario *Klib gering* – die in der Realität

noch nicht erreicht sein dürften. In der Realität bewegt sich die Transformation des Gebäudebestands eher auf dem Pfad des Szenarios *Klib hoch*. Aber auch eine Überschätzung des Stromverbrauchs in [20] ist möglich. Wahrscheinlich ist die Ursache eine Kombination aus beidem (Tabelle 10).

Der Anteil des Strombedarfs für die Klimatisierung am gesamten Strombedarf privater Haushalte (ohne Strombedarf für Heizung und Warmwasserbereitung) könnte nach diesen Szenariorechnungen im Jahr 2050 zwischen 3% und 6% betragen - verglichen mit den Ergebnissen der Modellierung der Energienachfrage privater Haushalte nach Anwendungsgruppen in [21] (KS 80 und im KS 95) und damit einen wesentlichen Anwendungsbereich beim Stromverbrauch der privaten Haushalte darstellen.

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Szenariorechnungen werden außerdem verglichen mit Angaben in [21], die in Anlehnung an [8] und eine darauf aufbauende Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes [22] abgeschätzt wurden. In Tabelle 9 sind die Ergebnisse aus [21] und der hier durchgeführten Berechnung gegenübergestellt.

Generell liegen die in [21] ausgewiesenen zu erwartenden Stromverbräuche für die Klimatisierung im Jahr 2030, und auch im Jahr 2050 deutlich höher als in der hier vorliegenden Szenariorechnung. Zwischen dem Szenario KS 80 in [21] und dem Szenario *Klib hoch* ergibt sich eine Abweichung von etwa 10%, im Szenario KS 95 in [21] liegt der erwartete Stromverbrauch bei mehr als dem Doppelten des Szenarios *Klib gering*.

Für die sehr deutliche Zunahme in allen drei Klimaschutzszenarien aus [21] um etwa das 4fache zwischen 2010 und 2020 gibt es aus den hier vorgestellten Klimatisierungsszenarien keine Hinweise, sie erscheint stark überschätzt. Zwischen den Jahren 2030 und 2050 gibt es in den Klimaschutzszenarien in [21] hingegen nur noch eine geringe Zunahme des Stromverbrauchs (im Aktuelle Maßnahmen Szenario AMS) bzw. einen Rückgang des Stromverbrauchs für die Wohngebäudeklimatisierung im Szenario KS95. Die hier vorgestellten Szenariorechnungen kommen dagegen zu dem Ergebnis, dass weiterhin mit einer deutlichen Zunahme des Stromverbrauchs für die Klimatisierung gerechnet werden muss, mit großen Unterschieden zwischen den beiden Szenarien, d.h. in Abhängigkeit vom Umfang der energetischen Ertüchtigung des Gebäudebestands und der erzielten Sanierungstiefe und dem unterschiedlichen Nutzerverhalten. Für das ambitionierte Szenario *Klib gering* beträgt der Stromverbrauch im Jahr 2030 etwas mehr als ein Viertel des im Klimaschutzszenario -95% ausgewiesenen Stromverbrauchs, im Jahr 2050 sind es etwa 44 Prozent.

Tabelle 9: Vergleich der Ergebnisse der Szenarioanalysen im Vergleich zu den Annahmen der Klimaschutzszenarien 2050: Entwicklung des Strombedarfs für die Wohngebäudeklimatisierung

Szenario		2010	2015	2020	2030	2040	2050
Klib hoch			1.139*	1.313	2.475		5.332
Klib gering			1.139*	886	1.309		2.145
AMS**	GWh/a	833		3.472	6.167	6.694	6.750
KS 80**	GWh/a	833		3.333	5.500	5.833	5.833
KS 95**	GWh/a	833		3.194	5.111	5.139	4.889

* [20]; ** [21]: AMS="Aktuelle Maßnahmen Szenario", KS80=Minderung der Treibhausgasemissionen um 80%; KS95=Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95%

5. Fazit

Die Klimatisierung von Wohngebäuden wird in der Zukunft einen nennenswerten Anteil am Stromverbrauch privater Haushalte einnehmen. Wenn die energetische Ertüchtigung des Wohngebäudebestandes so umgesetzt wird, wie es auch für zielkompatible die Reduzierung des Heizenergiebedarfs erforderlich ist, so wird auch der Anstieg des Klimatisierungsbedarfs maßgeblich gemindert.

Wird im Gegensatz dazu bei der Dekarbonisierung des Gebäudebestandes stärker auf den Einsatz erneuerbarer Energien bei geringeren Sanierungsanstrengungen gesetzt, so erhöht dies deutlich den Strombedarf für die Klimatisierung der Wohngebäude.

Perspektivisch, das heißt über das Jahr 2050 hinaus, muss aufgrund der weiteren Zunahme der Temperaturen infolge des Klimawandels mit einer weiteren deutlichen Steigerung des Strombedarfs für die Klimatisierung von Wohngebäuden gerechnet werden. Hier spielen insbesondere die Dauer von Hitzeereignissen, sowie die zunehmende Überhitzung von Städten bei gleichzeitig wachsender Verstädterung eine große Rolle. Gerade in verstädterten Regionen im Süden und Westen Deutschlands ist daher mit einem Anwachsen des Klimatisierungsbedarfs zu rechnen.

Das Ergebnis der Klimatisierungsszenarien wurde als Inputdaten für das Strommarktmodell Powerflex in Form von Lastkurven für den stündlichen Strombedarf für die Wohngebäudeklimatisierung, regionalisiert auf Bundeslandebene, zur Verfügung gestellt. Sie stehen weiteren Anwendern kostenfrei zur Verfügung.

Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des Projektes „Einbindung des Wärme- und Kältesektors in das Strommarktmodell PowerFlex zur Analyse sektorübergreifender Effekte auf Klimaschutzziele und EE-Integration“ durchgeführt. Das Projekt wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), FKZ 0325708. Die Autoren danken dem BMWi für die Förderung und dem Projektkoordinator Dr. Matthias Koch für die engagierte und kompetente Begleitung.

Literatur

- [1] Bundesregierung (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Hg. v. Bundesregierung Deutschland.
- [2] Nitsch et al (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, BMU KKZ 03MAP146
- [3] Adnot et al (2003): Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC), Volume 1 bis Volume 3
- [4] Weiss, W. & Biermayr, P. (2009): Potential of Solar Thermal in Europe
- [5] Riviere et al (2008): Preparatory Study on the environmental performance of residential room conditioning appliances

- [6] Statistisches Bundesamt (Hg.) (2015b): Preise. Daten zur Energiepreisentwicklung. Lange Reihen von Januar 2000 bis Dezember 2015. Wiesbaden. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/Energiepreisentwicklung.html>.
- [7] Bürger, Veit; Hesse, Tilman; Palzer, Andreas; Köhler, Benjamin; Herkel, Sebastian; Engelmann, Peter (2016): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. Endbericht. Unter Mitarbeit von Dietlinde Quack. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau (Climate Change, 06/2016).
- [8] IPCC (2000): Emissions Scenarios. Summary for Policymakers. Unter Mitarbeit von Nebojsa Na-kicenovic and Rob Swart (Eds.).
- [9] Deutschländer, Thomas; Dalelane, Clementine (2012): Auswertung regionaler Klimaprojektionen für Deutschland hinsichtlich der Änderung des Extremverhaltens von Temperatur, Niederschlag und Windgeschwindigkeiten. Hg. v. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe und Bundesanstalt Technisches Hilfswerk, Deutscher Wetterdienst, Umweltbundesamt (UBA). Offenbach a.M.
- [10] <http://www.dwd.de/>, Klimawandel, Klimaszenarien (Zukunft) Deutschland
- [11] Kuttler, Wilhelm (2004): Beitragsserie: Klimaänderung und Klimaschutz. Stadtklima Teil 2: Phänomene und Wirkungen. In: UWSF - Z Umweltchem Ökotox 16 (4), S. 263–274. DOI: 10.1065/uwsf2004.08.083.
- [12] Stiftung Warentest (2014): Die Kühlmacher. Klimageräte: Die Sonnenseite des Hauses hat im Sommer ihre Schattenseiten: Hinter Glasflächen wird es unerträglich heiß. Klimageräte schaffen Abhilfe, doch nur sechs sind gut. In: Stiftung Warentest - test (07), S. 64–69.
- [13] Kim, D. S.; Infante Ferreira, C. A. (2008): Solar refrigeration options – a state-of-the-art review. In: International Journal of Refrigeration 31 (1), S. 3–15. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2007.07.011.
- [14] Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (2013): Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik. Grundlagen der Kälteerzeugung. Universität Stuttgart.
- [15] Al-Alili, Ali; Hwang, Yunho; Radermacher, Reinhard (2014): Review of solar thermal air conditioning technologies. In: International Journal of Refrigeration 39, S. 4–22. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2013.11.028.
- [16] Marques, Antonio Carlos Ventili (2014): Technological Forecasting: Heat Pumps and the Synergy with Renewable Energy. In: Energy Procedia 48, S. 1650–1657. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.02.186.
- [17] Healy, Stephen (2008): Air-conditioning and the “homogenization” of people and built environments. In: Building Research & Information 36, S. 312–322.
- [18] Strengers, Yolande (2010): Air-conditioning Australian households: The impact of dynamic peak pricing. In: Energy Policy 38, Nr. 11, S. 7312–7322.

- [19] Walker, Gordon; Shove, Elizabeth; Brown, Sam (2014): How does air conditioning become 'needed'? A case study of routes, rationales and dynamics. In: Energy Research & Social Science 4, S. 1–9.
- [20] RWI (2018): Erstellung der Anwendungsbilanzen 2016 und 2017 für den Sektor der Privaten Haushalte und den Verkehrssektor in Deutschland
- [21] Öko-Institut e.V.; Fraunhofer ISI (2015): Klimaschutzscenario 2050. 2. Modellierungsrunde. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Öko-Institut e.V.; Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI). Berlin. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/2451/2015-608-de.pdf>, zuletzt geprüft am 15.05.2017.
- [22] Umweltbundesamt (2010): Analyse der Vorstudien für Wohnungslüftung und Klimageräte. Veröffentlichung im Rahmen des Projektes "Materialeffizienz und Ressourcenschonung" (MaRess). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3946.pdf>, zuletzt geprüft am 30.03.2017.
- [23] DESTATIS 2019 Onlinequelle:
https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/Wohnen/Tabellen/HuG_Wonflaeche_AnteileEVS.html, letzter Zugriff 01.02.2019
- [24] Braungardt, Sibylle; Bürger, Veit; Zieger, Jana; Kenkmann, Tanja (2018): Contribution of Renewable Cooling to the Renewable Energy Target of the EU
- [25] Thamling, Nils; Pehnt, Martin; Kirchner, Joachim (2015): Energieeffizienzstrategie Gebäude