Klimaschutz und Energieeffizienz durch digitale Gebäudetechnologien

Studie

www.bitkom.org

bitkom

Herausgeber

Bitkom e. V.
Albrechtstraße 10 | 10117 Berlin

Autoren

Severin Beucker | Borderstep Institut | beucker@borderstep.de
Simon Hinterholzer | Borderstep Institut | hinterholzer@borderstep.de

Ansprechpartner

Dr. Sebastian Klöß | Bereichsleiter Consumer Technology & AR/VR
T 030 27576-210 | s.kloess@bitkom.org

Niklas Meyer-Breitkreutz | Referent Digitalisierung & Nachhaltigkeit
T 030 27576-403 | n.meyer-breitkreutz@bitkom.org

Sebastian Schaule | Referent Energie
T 030 27576-204 | s.schaule@bitkom.org

Verantwortliche Bitkom-Gremien

AK Digitalisierung & Nachhaltigkeit | AK PropTech | AK Smart Home

Mit freundlicher Unterstützung von

ISS Facility Services Holding GmbH
Somfy GmbH
Techem Energy Services GmbH

Satz & Layout

Anna Stolz | Bitkom e. V.
Lea Joisten | Bitkom e. V.

Titelbild

© Christian Holzinger – pexels.com

Copyright

Bitkom 2021

Diese Publikation stellt eine allgemeine unverbindliche Information dar. Die Inhalte spiegeln die Auffassung im Bitkom zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider. Obwohl die Informationen mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt wurden, besteht kein Anspruch auf sachliche Richtigkeit, Vollständigkeit und/oder Aktualität, insbesondere kann diese Publikation nicht den besonderen Umständen des Einzelfalles Rechnung tragen. Eine Verwendung liegt daher in der eigenen Verantwortung des Lesers. Jegliche Haftung wird ausgeschlossen. Alle Rechte, auch der auszugsweisen Vervielfältigung, liegen beim Bitkom.

Abkürzungs- und Einheitsverzeichnis

Abkürzung	Definition
BIM	Building Information Modelling
EZFH	Ein- und Zweifamilienhäuser
GA	Gebäudeautomation
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GMFH	Große Mehrfamilienhäuser
iMSys	Intelligentes Messsystem
KSG	Klimaschutzgesetz
kWh	Kilowattstunde
MFH	Mehrfamilienhäuser
Millionen	Millionen
mME	Moderne Messeinrichtung
MsbG	Messstellenbetriebsgesetz
NWG	Nicht-Wohngebäude
PJ	Petajoule
SMGW	Smart-Meter-Gateway
t CO_2	Tonnen Kohlenstoffdioxid
THG	Treibhausgas
WG	Wohngebäude

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungs- und Einheitsverzeichnis 3

Zusammenfassung 7

1 Einleitung 10
1.1 Hintergrund und Zielsetzung des Vorhabens 10
1.2 Vorgehensweise und Methoden 12

2 Klimaschutz und Energieeffizienz im Gebäudesektor durch Digitalisierung 15
2.1 Bedeutung des Gebäudesektors für Klimaschutz und Energieeffizienz 15
2.2 Rolle und Bedeutung von Digitalisierung im Gebäudesektor 20
2.3 Schwerpunktsetzung der Studie und Abgrenzung zu bestehenden Untersuchungen 29
2.3.1 Eingrenzung des Gebäudesektors 29
2.3.2 Auswahl von digitalen Technologien und Szenarien 30
2.3.3 Abgrenzung zu bestehenden Untersuchungen im Gebäudesektor 31

3 Klimaschutzpotenziale ausgewählter digitaler Gebäudetechnologien 36
3.1 Klimaschutzpotenziale aus Anwendungen der Gebäudeautomation 36
3.1.1 Methodische Grundlagen der Szenarientwicklung und -berechnung 36
3.1.2 Reduktion des Wärmebedarfs (Raumheizung und Trinkwarmwasser) 42
3.1.3 Reduktion des Energiebedarfs für Kühlung und Beleuchtung 46
3.1.4 Intelligente Sektorenkopplung und Flexibilität 52
3.2 Bewertung der CO_2-Minderungspotenziale aus dem Einsatz von Gebäudeautomation 59
3.3 Weitere mögliche Umwelteffekte digitaler Gebäudetechnologien 63

4 Fazit 69

5 Factsheet 77

Quellen 78

6 Anwendungsbeispiele 84
6.1 Techem: Digitaler Leitstand ermöglicht Effizienzsteigerungen 84
6.2 Somfy: Dynamische Gebäudehülle gewinnt Wärme und verringert Energieverluste 85
6.3 ISS: Transparenz und Lösungen für nachhaltiges Facility Management 86

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Gebäudebezogener Endenergiebedarf in Deutschland im Jahr 2019 10
Abbildung 2: Endenergieverbrauch im deutschen Gebäudebestand 17
Abbildung 3: Gebäude des Modellquartiers 22
Abbildung 4: Schema der Gebäudeautomation im Versuchsquartier Berlin, Prenzlauer Berg 23
Abbildung 5: Smart-Home- und Smart-Building-Plattformen und deren Verbindungen 24
Abbildung 6: Planung des seriellen Sanierens 27
Abbildung 7: Berechnung der Energieeinsparung durch Gebäudeautomation (GA) 37
Abbildung 8: Gebäudebezogener Energiebedarf für Wärmeerzeugung nach Energieträger 38
Abbildung 9: Prognose der CO_2-Emissionen im Gebäudebereich unter Einhaltung der Klimaziele (KSG 2021) im Jahr 2030 39
Abbildung 10: Mögliche Verbreitung von Gebäudeautomation 41
Abbildung 11: Über einen digitalen Leitstand können Energieeffizienzpotentiale ermittelt werden. 43
Abbildung 12: CO_2-Minderungspotenziale im Gebäudesektor (Wärme) im BAU-Szenario 44
Abbildung 13: CO_2-Minderungspotenzial im Gebäudesektor (Wärme) im AD-Szenario 45
Abbildung 14: Anteilige CO_2-Minderungspotenziale im Verhältnis zu den Gesamtemissionen 46
Abbildung 16: Endenergiebedarf in den Bereichen Klimatisierung und Beleuchtung von Gebäuden 49
Abbildung 19: Relative Reduktion der CO_2-Emissionen im Bereich Beleuchtung und Klimatisierung 52
Abbildung 20: Beispiel einer modernen Messeinrichtung 55
Abbildung 21: Dynamische Ansteuerung von Wärmepumpen und elektrischen Direktheizungen 57
Abbildung 22: CO_2-Minderungspotenziale durch intelligente Sektorenkopplung mit Power-to-Heat in Gebäuden (BAU-Szenario) 58
Abbildung 23: CO_2-Minderungspotenziale durch intelligente Sektorenkopplung mit Power-to-Heat in Gebäuden (AD-Szenario) 59
Abbildung 24: Gesamte CO_2-Minderungspotenziale BAU-Szenario 60
Abbildung 25: Gesamtes CO_2-Minderungspotenzial AD-Szenario 60
Abbildung 26: CO_2-Minderungspotenziale je nach Segment (AD-Szenario) 62
Abbildung 27: Emissionen des Gebäudesektors je nach Szenario 63
Abbildung 28: Beitrag digitaler Gebäudetechnologien zur Erreichung der Emissionsminderungsziele im Gebäudesektor (Summe der betrachteten AD-Szenarien) 72

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: GA-Effizienz-Gesamtfaktoren fBAC,th für den Bedarf an thermischer Energie je nach Automationsklasse für Wohn- und Nicht-Wohngebäude gemäß DIN EN 15232 ____ 21
Tabelle 2: Einsatzfelder und Szenarien für den Einsatz von Gebäudeautomation ____ 31
Tabelle 3: Studien mit Schwerpunkt auf Nachhaltigkeitspotenzialen im Gebäudesektor durch Digitalisierung ____ 33
Tabelle 4: Zusammenfassung möglicher Umwelteffekte der analysierten Einsatzfelder von Gebäudeautomation ____ 65

Zusammenfassung

Für die Erreichung der deutschen Klimaschutzziele und die Umsetzung der Energiewende ist der Gebäudesektor essenziell. Trotz zahlreicher Bemühungen sinkt der Energieverbrauch nur langsam und ist im Vergleich zu anderen Sektoren hoch. Mit 2.956 Petajoule (PJ) sind Gebäude für ein Drittel des Endenergiebedarfs in Deutschland verantwortlich und liegen damit noch über dem Bedarf der Industrie und des Verkehrs. Ähnlich stellt sich die Situation bei den CO_2-Emissionen dar.

Im Jahr 2018 verursachte der Gebäudesektor mit 187 Millionen t CO_2 (BMWi, 2020) etwa 22 Prozent der in Deutschland insgesamt emittierten Klimagase von 856 Millionen t CO_2eq[1] (UBA, 2021). Er ist damit von höherer Bedeutung als die Klimawirkung der Industrie (ca. 63 Millionen t CO_2eq) und die gesamte Klimawirkung der Landwirtschaft (62 Millionen t CO_2eq) zusammen (UBA, 2021). Grund hierfür ist auch, dass viele Gebäude noch mit fossiler Primärenergie (Gas und Öl) beheizt werden. Außerdem verfügt Deutschland über einen sehr großen Gebäudebestand, der zwar teilweise energetisch saniert ist, jedoch gemessen an heute geltenden Standards einen zu hohen Wärmebedarf besitzt. Da Gebäude zudem einen sehr langen Lebenszyklus besitzen (Jahrzehnte bis Jahrhunderte), kommt dem Energieverbrauch in der Nutzungsphase eine entscheidende Bedeutung zu.

Neben den bekannten Maßnahmen, wie der baulichen Sanierung (Dämmung, Tausch von Fenstern, etc.), der Modernisierung von Anlagen (zum Beispiel Tausch von Heizkesseln) und der Dekarbonisierung von Energieträgern (zum Beispiel Ersatz von Erdgas durch Erdwärme), bieten digitale Technologien zahlreiche Möglichkeiten, um Treibhausgase und den Energiebedarf von Gebäuden zu senken. Dies kann beispielsweise durch die Reduktion des Energiebedarfs für Heizung oder auch durch die Unterstützung einer energie- und rohstoffbewussten Gebäudeplanung erfolgen. Zukünftig wird auch die verstärkte Nutzung und Speicherung erneuerbarer Energien in Gebäuden eine große Rolle spielen. Mit dem Fortschreiten der Energiewende und -märkte werden Gebäude zu einem Anwendungsfeld für Sektorenkopplung werden. Energie aus dem Netz oder der Eigenzeugung kann dann sowohl in den Gebäuden als auch für Mobilität genutzt und umgewandelt werden.

Die vorliegende Studie hat die Potenziale für Klimaschutz und Energieeffizienz erfasst, die sich durch digitale Technologien im Gebäudesektor erschließen lassen. Dafür wurden einzelne Technologien und ihr möglicher Beitrag zum Klimaschutz und der Energieeffizienz in Gebäuden analysiert. In einem zweiten Schritt wurden Szenarien für Wohn- und Nicht-Wohngebäude für die

1 Um Klimawirkungen der Sektoren zu vergleichen, die hohe Mengen anderer Klimagase wie z. B. Methan und Lachgas emittieren, wird deren Klimawirkung auf CO_2-Äquivalente normiert (t CO_2eq). Im weiteren Verlauf der Studie werden ausschließlich energie-/verbrennungsbedingte CO_2-Emissionen betrachtet, weshalb die Einheit dort auf t CO_2 vereinfacht wird.

Jahre 2030 und 2045 berechnet, die CO_2-Minderungspotenziale für ausgewählte Technologien ausweisen. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf dem Energiemanagement durch Gebäudeautomation, da diese aufgrund bestehender Normen und Erfahrungen die verlässliche Bestimmung von Minderungspotenzialen zulässt.

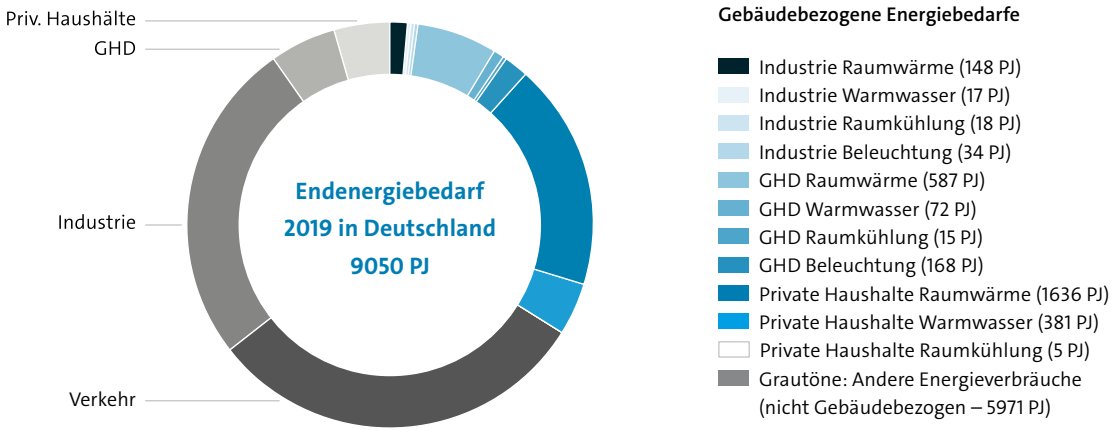
Insgesamt zeigt sich, dass durch einen ambitionierten Ausbau von Gebäudeautomation kurz- bis mittelfristig (2030) bis zu 14,7 Millionen t CO_2-Emissionen im Gebäudesektor eingespart werden können. Dies entspricht fast 30 Prozent des im Klimaschutzgesetz formulierten Reduktionsziels für den Gebäudesektor. Weitere hohe Potenziale ließen sich aus dem Einsatz digitaler Technologien (zum Beispiel Building Information Modelling) zur Analyse und Bewertung der Energie- und Rohstoffflüsse entlang des Lebenszyklus von Gebäuden erschließen.

1 Einleitung

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Zielsetzung des Vorhabens

Der Gebäudesektor in Deutschland ist neben dem Verkehr und der industriellen Produktion einer der wesentlichen Verursacher von CO_2-Emissionen[2]. Er war im Jahr 2019 für etwa 2.956 Petajoule (PJ) und damit für rund ein Drittel des gesamten Endenergiebedarfs in der Bundesrepublik Deutschland verantwortlich (BMWi (Hrsg.), 2021). Von diesem Endenergiebedarf werden ein Drittel von Nicht-Wohngebäuden und zwei Drittel von Wohngebäuden verursacht. Der größte Anteil (über 90 Prozent) des gebäudebezogenen Energieverbrauchs wird zudem für Raumwärme- und Warmwassererzeugung benötigt (BMWi, 2020).



Quelle: Borderstep Institut, Daten aus (BMWi 2021)

Abbildung 1: Gebäudebezogener Endenergiebedarf in Deutschland im Jahr 2019

Die Emissionen aus Gebäuden sind zwar in den letzten Jahren durch die Modernisierung von Heizungen, die teilweise Dekarbonisierung der Energieversorgung und die bauliche Sanierung leicht gesunken. In absoluten Zahlen und aus Sicht des Klimaschutzes verbraucht der Sektor jedoch noch deutlich zu viel Energie beziehungsweise verursacht zu viele Emissionen. Dies macht das Umweltbundesamt in seiner letzten Klimabilanz für das Jahr 2020 deutlich und verweist darauf, dass der Gebäudesektor die im Klimaschutzplan formulierten Ziele für die Senkung der CO_2-Emissionen nicht erreicht hat[3]. Anstelle der angestrebten 118 Millionen t CO_2 im Jahr 2020 sanken die Emissionen nur von 123 Millionen t CO_2 auf 120 Millionen t CO_2. Diese Differenz mag

2 Kohlenstoffdioxid (CO_2) ist nicht das einzige, jedoch das bedeutendste Treibhausgas (THG) (siehe ↗ **https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/kohlendioxid-emissionen#kohlendioxid-emissionen-im-vergleich-zu-anderen-treibhausgasen**, Abruf August 2021). Dies gilt insbesondere für den Gebäudesektor, der noch zu großen Anteilen fossil beheizt wird. Im Folgenden wird daher die Reduktion von CO_2-Emissionen als Indikator verwendet.

3 Siehe ↗ **https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-sinken-2020-um-87-prozent** (Abruf August 2021)

klein erscheinen, gewinnt jedoch durch das im Juni 2021 verabschiedete Klimaschutzgesetz an Bedeutung. Laut den dort beschriebenen Sektorenzielen dürfen im Jahr 2030 durch Gebäude maximale Emissionen von 67 Millionen t CO_2 freigesetzt werden (Bundesregierung, 2021). Dies entspricht einer Reduktion der CO_2-Emissionen von über 44 Prozent und erfordert große Anstrengungen und wirksame Maßnahmen. Sollten die bestehenden Maßnahmen im Gebäudesektor (zum Beispiel Modernisierung von Heizungen, Dekarbonisierung von Energieträgern und baulicher Sanierung) unverändert fortgeführt werden, so besteht die Gefahr, dass die Ziele im Gebäudesektor deutlich verfehlt werden. Das Umweltbundesamt erwartet in diesem Fall Emissionen von ca. 90 Millionen t CO_2 im Jahr 2030 (BMU, 2019a)[4].

Parallel zu dieser Entwicklung wurde mit dem Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) ein sukzessiv steigender Preis für CO_2-Emissionen aus fossilen Brennstoffen eingeführt, der auch auf Heizenergie umgelegt wird. Aufgrund des aktuell geltenden CO_2-Preises von 25 Euro je Tonne führt dies im internationalen Vergleich noch zu überschaubaren Preissteigerungen von wenigen Cent für thermische Energie[5]. Allein dies hat jedoch ausgereicht, um eine kontroverse Diskussion über eine gerechte Verteilung der Kosten zwischen Vermietern und Mietern anzuregen. Der Druck auf den Gebäudesektor nimmt also zu und verschärft die Diskussion darüber, wie die im Klimaschutzgesetz verankerten Ziele für das Jahr 2030 erreicht werden können. Zudem stellt sich die Frage, ob es über die bestehen Maßnahmen (Modernisierung von Heizungen, Dekarbonisierung von Energieträgern und baulicher Sanierung) hinaus ergänzende Ansätze gibt, die einen raschen und signifikanten Beitrag zur Emissionsminderung leisten können. Die Digitalisierung von Gebäuden und der Energiewirtschaft wird hierbei immer wieder als eine ergänzende Strategie genannt[6].

Ziel dieser Studie ist daher zu analysieren, welche Rolle digitale Gebäudetechnologien für den Klimaschutz im Gebäudesektor spielen können. Unter digitalen Gebäudetechnologien werden dabei verschiedene Anwendungen (Hard- und Software) verstanden, die den Energieverbrauch beziehungsweise die Emissionen von Gebäuden entlang ihres Lebenszyklus senken. Beispielsweise kann dies durch die digitale Planung während der Bauphase, die Steuerung des Energieverbrauchs in ihrer Nutzungsphase oder auch die Unterstützung beim Rückbau umgesetzt werden. Entscheidend für die Analyse ist zudem, dass die digitalen Technologien beziehungsweise Anwendungen Nettoeinsparungen erzielen. Das heißt, dass durch ihren Einsatz reelle Einsparungen

4 Die Werte für die Emissionen der Ziele der Bundesregierung werden nach dem Quellprinzip (Nur Emissionen, die direkt in Gebäuden stattfinden) zugeordnet. In den Berechnungen der Einsparpotenziale dieser Studie werden Emissionen nach dem Verursacherprinzip verwendet. Diese sind höher, da auch Emissionen der Vorketten (insbesondere bei Elektrizität und Fernwärme berücksichtigt werden).

5 Siehe ↗ **https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/heizen-und-warmwasser/klimapaket-was-bedeutet-es-fuer-mieter-und-hausbesitzer-43806** (Abruf August 2021)

6 Siehe hierzu zum Beispiel die »Umweltpolitische Digitalagenda« des BMU aus dem Jahr 2020 unter: ↗ **https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/broschuere_digitalagenda_bf.pdf** oder auch die Studie zur »Rolle der Digitalisierung im Gebäudebereich« aus dem Jahr 2017 im Auftrag des BMWi unter: ↗ **https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/rolle-der-digitalisierung-im-gebaeudebereich.pdf?__blob=publicationFile&v=8** (Abruf August 2021)

erzielt und Emissionen nicht in andere Sektoren (zum Beispiel IKT-Sektor) verlagert werden. Im deutschen und internationalen Sprachgebrauch werden solche Anwendungen oft auch unter dem englischen Begriff Property Technology, kurz PropTech, zusammengefasst.[7]

1.2 Vorgehensweise und Methoden

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine Kurzstudie. Sie erhebt keine eigenen Primärdaten zur Analyse oder Bewertung von Umweltwirkungen, sondern nutzt bestehende Untersuchungen zu digitalen Technologien im Gebäudesektor, ordnet diese ein und nimmt darauf aufbauend Abschätzungen zur möglichen Minderung von CO_2-Emissionen und Umweltwirkungen durch die Technologien und Anwendungen vor. Dabei wird folgendermaßen vorgegangen:

- Für ausgewählte digitale Technologien beziehungsweise Anwendungen werden Szenarien zu CO_2-Einsparpotenzialen für die Zeiträume bis 2030 und 2045 definiert. Die Zeiträume der Szenarien orientieren sich an den national und international etablierten Jahreszahlen der Klimaschutzpläne und -ziele (zum Beispiel nationaler Klimaschutzplan).

- Um den Einfluss verschiedener Ausrüstungsgrade beziehungsweise Durchdringungstiefen des Gebäudesektors zu verdeutlichen, werden je Technologie beziehungsweise Anwendung ein Business-as-Usual(BAU)-Szenario sowie ein Ambitioniertes-Digitalisierungs(AD)-Szenario ermittelt. Während das BAU-Szenario von einem moderaten Ausbau ausgewählter Technologien unter dem bestehenden Förderregime ausgeht, nimmt das AD-Szenario an, dass der Ausbau und die Nutzung der Technologie aufgrund veränderter Rahmenbedingungen (zum Beispiel stärkere Förderung oder verändertes Recht) schneller erfolgt.

- Die Auswahl der Technologien, für die Szenarien berechnet werden, erfolgte in Abstimmung mit dem Auftraggeber. Sie richtet sich danach, ob den Technologien aufgrund von bestehenden Untersuchungen und daher mit hinreichender Sicherheit ein signifikantes Treibhausgasminderungspotenzial zugeordnet werden kann. Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Szenarien und die dabei getroffenen Annahmen werden in Kap. 2.3 und 3.1.1 beschrieben.

- Da das Energiemanagement mit Gebäudeautomation zahlreiche Varianten und Komplexitätsstufen zulässt, wird anhand von Exkursen zu den Szenarien beschrieben, wie unterschiedliche Teilfunktionen und die Gebäudeautomation Einfluss auf die Energieeffizienz in einem Gebäude nehmen können.

Für alle betrachteten Technologien werden zudem, soweit die Daten- und Quellenlage dies zulässt, in vereinfachter Form mögliche lebenszyklusweite Umwelteffekte beschrieben (siehe Kap. 3.3). Diese Beschreibung soll auf potenzielle Folgeeffekte hinweisen, jedoch keine Lebenszy-

7 Unter PropTech werden die Digitalisierung der Wertschöpfungskette sowie Unternehmen der Immobilienwirtschaft verstanden. Siehe auch: ↗ **https://www.bitkom.org/PropTech** (Abruf September 2021)

klusanalyse (Ökobilanz) ersetzen. Folgeeffekte würden zum Beispiel dann vorliegen, wenn durch die Herstellung oder den Betrieb der Technologie mehr Ressourcen und Energie verbraucht würden, als diese durch ihren eigentlichen Zweck (zum Beispiel Energieeinsparung) erreichen könnte.

Ebenfalls betrachtet werden Rebound-Effekte, die aus einer Technologie beziehungsweise Anwendung resultieren können. Solche Effekte könne zum Beispiel dann eintreten, wenn eine effizienzsteigernde Maßnahme zu einer erhöhten Nachfrage in der Wirtschaft führt und so die absolute Einsparung einer Technologie durch Mengenwachstum konterkariert wird (Madlener & Alcott, 2011). In der Literatur werden Rebound-Effekte unterschiedlicher Ordnung unterschieden (siehe Kap. 3.3). Da die Ermittlung solcher Effekte komplex ist, können sie im Rahmen dieser Kurzstudie nicht vollständig bestimmt werden. Es wird daher nur auf ausgewählte Effekte und ihre Wirkrichtung hingewiesen.

2 Klimaschutz und Energieeffizienz im Gebäudesektor durch Digitalisierung

2 Klimaschutz und Energieeffizienz im Gebäudesektor durch Digitalisierung

Der Gebäudesektor besitzt für den Klimaschutz in Deutschland und der Europäischen Union eine große Bedeutung. Zum einen ist er für einen hohen Anteil am Endenergieverbrauch verantwortlich (siehe auch Kap. 1.1) und verursacht damit einen deutlichen Anteil an den Treibhausgasemissionen. Zum anderen sind Gebäude eine wichtige Schnittstelle zu zahlreichen Bedarfsfeldern und Anwendungen der Energiewende. Bisher wurden Gebäude weitestgehend als ein Abnehmer von Wärme und für Strom gesehen. Dies wandelt sich jedoch stark, da mit der Energiewende dezentrale Versorgungs- sowie Erzeugungsstrukturen (zum Beispiel durch Photovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpen) an Bedeutung gewinnen und zum Beispiel durch Elektromobilität, Batterien und thermische Speicher neue Energiesenken in Gebäuden entstehen.

Parallel hierzu erfolgt bereits seit Jahren eine schrittweise Digitalisierung des Energiesystems und des Gebäudesektors. Diese wird einerseits durch politischrechtliche Vorgaben angetrieben (zum Beispiel Rollout von intelligenten Stromzählern) als auch andererseits durch das wachsende Angebot an Smart-Home und Smart-Building-Lösungen verstärkt. Zunächst soll, um die Wandlungsprozesse besser einordnen zu können, ein genauerer Blick auf den Gebäudesektor und seine Struktur geworfen werden. Anschließend wird die Rolle der Digitalisierung im Gebäudesektor detaillierter betrachtet.

2.1 Bedeutung des Gebäudesektors für Klimaschutz und Energieeffizienz

Unterteilung des Gebäudesektors

Der deutsche Gebäudesektor ist heterogen und umfasst Gebäude aus unterschiedlichen Bauphasen und verschiedenen Baualtersklassen[8]. Grundlegend kann zwischen Wohn- und Nicht-Wohngebäuden unterschieden werden. Der Gesamtbestand wird insgesamt mit rund 21,7 Millionen angegeben, wovon ca. 18,9 Millionen Wohngebäude und der Rest, das heißt 2,8 Millionen, Nicht-Wohngebäude sind (dena, 2021). Der Wohngebäudesektor unterteilt sich wiederum in Ein- und Zweifamilienhäuser ((EFZH) 15,7 Millionen) sowie in Mehrfamilienhäuser ((MFH) 3,2 Millionen). Dabei haben die Ein- und Zweifamilienhäuser im Vergleich zu den Mehrfa-

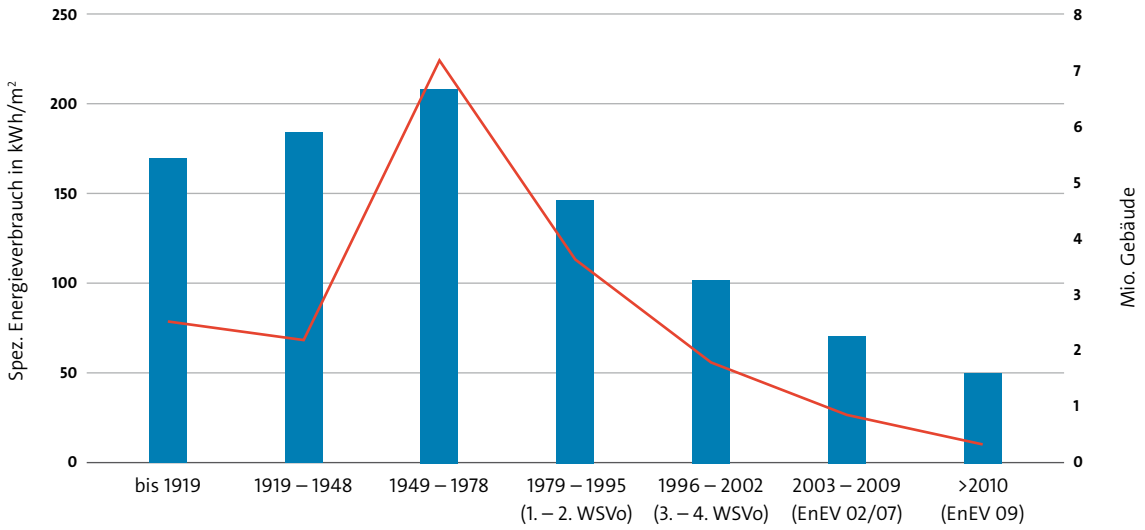
8 Das Institut Wohnen und Umwelt (IWU) aus Darmstadt erfasst regelmäßig den deutschen Gebäudebestand und teilt diesen nach Baualter und Gebäudegröße in Klassen ein. Daraus ergeben sich sogenannten Gebäudeklassen und damit auch eine Gebäudetypologie, die abhängig vom Errichtungszeitraum übliche Konstruktionsweisen und typische Bauteilflächen (zum Beispiel Fenstergrößen) berücksichtigt, die Einfluss auf den Heizwärmebedarf haben. (siehe auch: ↗ **https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/gebaeudetypologie/**, Abruf August 2021)

milienhäusern größere Wohnflächen je Wohneinheit und weisen im Schnitt auch größere quadratmeterbezogene Energieverbräuche auf (dena, 2021).

Entscheidend für den Beitrag zum Energieverbrauch sind vor allem das Baualter und der energetische Sanierungszustand von Gebäuden, da dieser maßgeblich für den Bedarf an Wärmeenergie verantwortlich ist. Während neue, in den letzten Jahren errichtete, Gebäude aufgrund geltender Verordnungen (EnEV beziehungsweise GEG) bereits niedrige bis sehr niedrige Energieverbräuche pro Quadratmeter aufweisen, sind diese bei älteren Gebäuden um ein Vielfaches höher. Ein genauer Blick in die Daten eröffnet jedoch interessante Zusammenhänge, denn es ist keineswegs so, dass der Energiebedarf von Gebäuden, die im letzten Jahrhundert errichtet wurden, kontinuierlich gesunken wäre (siehe Abbildung 2). Vielmehr zeigt sich, dass bestimmte Gebäudeklassen, die in den Nachkriegsjahren (seit 1945) bis zum Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung (im Jahr 1979) gebaut wurden, besonders hohe Energieverbräuche pro Quadratmeter aufweisen. Gleichzeitig ist der Bestand dieser Gebäude mit mehreren Millionen (siehe Abbildung 2) groß, so dass hier ein hoher Handlungsbedarf besteht. Da es sich bei den Wohngebäuden, wie oben erwähnt, überwiegend um Ein- und Zweifamilienhäuser handelt, ist ihre energetische Sanierung an eine Vielzahl von Investitionsentscheidungen privater Eigentümer oder Vermieter gebunden.

Im Gegensatz dazu handelt es sich bei Mehrfamilienhäusern in der Mehrzahl um Mietshäuser, die sich im Besitz von privaten, kommunalen, genossenschaftlichen oder kirchlichen Vermietern befinden. Sie weisen, wie auch die Ein- und Zweifamilienhäuser, eine große Bandbreite an Gebäudeklassen auf, wobei sie im Durchschnitt etwas geringere Energieverbräuche pro Quadratmeter haben (siehe dena, 2021). Dies kann sowohl auf ein besseres Volumen-Oberflächenverhältnis der Gebäude als auch auf einen höheren Sanierungsstand zurückgeführt werden.

Endenergieverbrauch im deutschen Gebäudebestand



Mittlerer Energieverbrauch in kWh/m²
Anzahl Gebäude

Quelle: Borderstep Institut 2021, Daten aus (BMWi 2015)

Abbildung 2: Endenergieverbrauch im deutschen Gebäudebestand

Heterogener als der Wohngebäudesektor ist der Nicht-Wohngebäudesektor. Unter Nicht-Wohngebäuden werden Gebäude zusammengefasst, die, gemessen an der Gesamtnutzfläche, überwiegend für Nichtwohnzwecke bestimmt sind. Dies sind zum Beispiel Anstaltsgebäude, Büro- und Verwaltungsgebäude, landwirtschaftliche Betriebsgebäude und nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude, wie Fabrikgebäude, Hotels etc.[9]. Die unterschiedlichen Zwecke der Nicht-Wohngebäude verdeutlichen, dass es schwierig ist, diesem Sektor einen charakteristischen Energieverbrauch pro Quadratmeter zuzuordnen. Dafür sind die Unterschiede in der Nutzung der Gebäude (zum Beispiel Bürogebäude vs. Fabrikgebäude) zu groß. Dies wird augenscheinlich, wenn man beispielsweise versucht, ein Bürogebäude mit einer Produktionsstätte oder Werkshalle zu vergleichen. Beide Gebäude haben gänzlich unterschiedliche Anforderungen und Energiebedarfe, die stark von ihrer jeweiligen Nutzung abhängen. Für eine Diskussion und Definition von wirksamen Klimaschutzmaßnahmen in Nicht-Wohngebäuden ist daher eine weitere Eingrenzung des Sektors notwendig. Diese wird in Kap. 3.1.1 vorgenommen.

9 Für eine Definition des Nicht-Wohngebäudesektors siehe zum Beispiel: ↗ **https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Glossar/nichtwohngebaeude.html** (Abruf Juni 2021)

Klimapolitische Bedeutung des Gebäudesektors

Aufgrund seines hohen Anteils am Endenergieverbrauch steht der Gebäudesektor seit vielen Jahren im Fokus der Politik. Dementsprechend gibt es zahleiche Ansätze, um den Energiebedarf von Wohngebäuden zu senken (zum Beispiel Sanierungsprogramme der KfW, Kesseltauschbonus zur Modernisierung von Heizungen, Förderprogramme für private solarthermische Anlagen, Marktanreizprogramm (MAP)). Mit diesen Maßnahmen konnte bereits eine deutliche Reduktion der Emissionen im Gebäudesektor um 42 Prozent von 210 Millionen t CO_2 im Jahr 1990 auf rund 120 Millionen t CO_2 im Jahr 2020 erlangt werden. Damit wurden die im Klimaschutzplan vorgesehenen 118 Millionen t CO_2 für den Gebäudesektor zwar fast erreicht (siehe auch Kap. 1.1 und BMU, 2019b), die nach dem aktuellen Klimaschutzgesetz 2021 für das Jahr 2030 angestrebte maximale Menge von 67 Millionen t CO_2 und die Emissionsfreiheit des Gebäudesektors im Jahr 2045 können aber nur mit großen zusätzlichen Anstrengungen geschafft werden. Zudem hat die Europäische Union eine Verschärfung der Klimaschutzziele bis 2030 beschlossen und schlägt die Einführung eines europaweiten CO_2-Preises für den Gebäudesektor vor[10].

Hinzu kommt, dass sich die dafür notwendigen Investitionen von den Gebäudeeigentümern derzeit nur bedingt refinanzieren lassen, denn die Preise für fossile Energie gelten als zu niedrig und bieten zu wenig Anreize für Investitionen zur Effizienzsteigerung (Beucker & Hinterholzer, 2019). Dies mag auch erklären, dass trotz zahlreicher Förderprogramme und Ansätze die von der Bundesregierung angestrebte Verdopplung der Sanierungsquote von Gebäuden von ca. 1 Prozent auf 2 Prozent in den letzten Jahren nicht realisiert wurde (Dena, 2019). Zudem ist Deutschland ein Mieterland, das heißt, dass im europäischen Vergleich ein hoher Anteil (58 Prozent, Stand 2018[11]) der Menschen zur Miete wohnt. Speziell bei vermieteten Wohnungen und Wohngebäuden ergibt sich daraus ein weiteres Problem, das unter dem Begriff des Investor-Nutzer-Dilemmas bekannt[12] ist. Demnach tragen die Vermietenden die Investitionen für Effizienzmaßnahmen, während die Mietenden davon in Form niedrigerer Energiekosten profitieren. Da die Investitionen der Vermietenden durch rechtliche (zum Beispiel Begrenzung der Umlagefähigkeit nach BGB) und marktliche Beschränkungen (zum Beispiel Mietspiegel) nur begrenzt auf die Miete und damit die Mietenden umgelegt werden können, fehlt der Anreiz für Investitionen in Sanierungen und Effizienzmaßnahmen.

Aufgrund der großen Bedeutung von Heizwärme für den Gebäude- und insbesondere den Wohngebäudesektor (siehe auch Kap. 1.1) fokussieren sich die meisten klimapolitischen Maßnahmen auf die Senkung des Wärmebedarfs von Gebäuden sowie die Dekarbonisierung der Energieträger. Dies ist auch nachvollziehbar, liegt hier doch der weitaus größte Hebel für die Senkung der

10 Siehe ↗ **https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_de** (Abruf August 2021)

11 Siehe ↗ **https://de.statista.com/statistik/daten/studie/155713/umfrage/anteil-der-buerger-mit-wohneigentum-nach-bundesland/** (Abruf August 2021)

12 Der Begriff des Investor-Nutzer-Dilemmas leitet sich von der Principal-Agent-Theory ab (siehe (Kathleen M. Eisenhardt, 1989)).

CO_2-Emissionen. Der Stromverbrauch in Haushalten ist dagegen seit Jahren rückläufig[13] – dies ist auch ein Effekt zahlreicher gesetzlicher Initiativen zur Senkung des Stromverbrauchs (zum Beispiel Energielabel für Elektrogeräte, Verbot von Glühlampen) – und wird außerdem in zunehmendem Maße aus erneuerbaren Quellen gedeckt. Man könnte daher zu dem Schluss kommen, dass der Stromverbrauch in Wohngebäuden kein relevantes Thema mehr sei.

Dies kann sich jedoch in den nächsten Jahren aus zwei Gründen schnell ändern. Zum einen ist ein Anstieg des gebäudebezogenen Stromverbrauchs durch den Ausbau der Ladeinfrastruktur für Elektromobilität vorgezeichnet. Da zumindest ein Teil der Ladevorgänge im privaten Umfeld und über das Stromnetz erfolgen wird, wird dies zu einem höheren Stromverbrauch in Gebäuden führen. Zum anderen kann eine weitere Erhöhung des Strombedarfs in Gebäuden aus dem zunehmenden Einsatz von Wärmepumpen oder einem höheren Kühlbedarf in den Sommermonaten entstehen. Schließlich werden Gebäude selbst zum Ort von Stromerzeugung (zum Beispiel aus Photovoltaikanlagen) sowie der Wandlung und Speicherung von Energie (zum Beispiel Nutzung von eigenerzeugtem Überschussstrom zur Warmwasserbereitung (Power-to-Heat) oder Speicherung von Strom in stationären Batterien oder Elektromobilen). Damit wird Strom einen Teil der bisherigen (fossilen) Energieträger in Gebäuden ersetzen und das Energiemanagement in Wohngebäuden sowie die Optimierung der verschiedenen Energiequellen und -senken zu einer wichtigen Aufgabe.

Gleichermaßen von den Veränderungen betroffen ist der Sektor der Nicht-Wohngebäude. Allerdings muss hier nach Zweck und Nutzungsart des Gebäudes unterschieden werden. Während sich beispielsweise in Bürogebäuden ähnliche Herausforderungen für den Einsatz von Wärmpumpen, die Ladung von Elektromobilen und den Kühlbedarf abzeichnen, sieht dies im Fall von Fabrik- und Produktionsgebäuden grundsätzlich anders aus. Hier kann zum Beispiel im Fall energieintensiver Industrien auch der Wechsel der Energieversorgung auf grundsätzlich andere Energieträger (Wasserstoff etc.) notwendig werden, da sich hohe Strombedarfe und -dichten lokal oder regional nicht immer über regenerative Quellen decken lassen.

Die zuletzt geschilderten Möglichkeiten zeigen, dass sich mit der wachsenden Bedeutung von Strom als Energieträger sowie dem Voranschreiten der Energiewende die Rolle von Gebäuden im Energiesystem insgesamt verändert. Während im fossilen Energiesystem die zentralisierte Versorgung im Mittelpunkt stand und von einer kontinuierlichen Energieabnahme beziehungsweise -lieferung ausgegangen wurde, so verändert sich dies mit der Zunahme dezentraler und volatilerer Erzeugung aus erneuerbaren Quellen (Sonne, Wind etc.). Gleichzeitig wächst in Verbindung mit neuen Technologien (Energieerzeugung, -speicherung und -umwandlung) und der Kopplung von Sektoren (Wohnen, Arbeiten, Mobilität etc.) der Bedarf für dezentralere Versorgungsstrukturen und einen Ausgleich regenerativer Energiequellen und -speicher. Gebäude werden, da sie ein physischer Ort sind, an dem diese Veränderungen stattfinden, zu einem netzdienlichen Element in einer neuen Energieversorgung (Kalz et al., 2018). Entgegen ihrer früheren Rolle als

13 Siehe ↗ **https://de.statista.com/statistik/daten/studie/245790/umfrage/stromverbrauch-eines-privathaushalts-in-deutschland/** (Abruf August 2021)

Energieabnehmer, werden Gebäude und ihre Eigentümer damit auch zu Produzenten und können neue Marktrollen, wie die des Erzeugers oder Vermarkters von Energie, einnehmen. Hierfür ist wiederum die Digitalisierung eine wesentliche Voraussetzung, da sie eine präzise und verteilte Erfassung und Abrechnung von Energieerzeugung und -verbrauch sowie eine Optimierung von Energieflüssen ermöglicht.

2.2 Rolle und Bedeutung von Digitalisierung im Gebäudesektor

Die Digitalisierung hält, wie in den vorangegangenen Kapiteln deutlich wurde, über verschiedene Wege Einzug in den Gebäudesektor. Im Folgenden werden Anwendungen beschrieben, die zur Energieeffizienz oder zum Klimaschutz in Gebäuden beitragen. Dies kann zum einen in Form von der direkten Nutzung digitaler Technologien in den Gebäuden selbst erfolgen, wobei diese je nach Anwendung und Marktzugang unterschiedlich definiert werden (zum Beispiel Gebäudeautomation, Smart Home, Smart Building). Zum anderen ermöglichen digitale Technologien und Infrastrukturen zahlreiche Anwendungen, die entlang des Lebenszyklus eines Gebäudes genutzt werden können (zum Beispiel Building Information Modelling (BIM)) oder die über weitere Sektoren (zum Beispiel in Form von Elektromobilität) Einzug in Gebäuden halten und damit einen Einfluss auf deren Energieverbrauch und Klimawirkungen haben.

Energiemanagement mit Gebäudeautomation

An erster Stelle stehen Systeme, die ein Energiemanagement in Gebäuden unterstützen. Dies sind Systeme, die darauf ausgelegt sind, Energie in Gebäuden effizient zu nutzen und den Verbrauch zu optimieren. Seit den 1980er Jahren werden unter dem Begriff der Gebäudeautomation (GA) Technik und Software zur automatischen Steuerung, Regelung und Überwachung von Gebäuden eingesetzt. Diese Technik, die ursprünglich vor allem in Nicht-Wohngebäuden zum Einsatz kam, gründet in der Mess-, Steuer und Regeltechnik für komplexere Heiz-, Belüftungs- und Klimatisierungsaufgaben (Aschendorf, 2014). Mit den Fortschritten im Bereich der Mikroelektronik sowie der Software hat sich die Technik radikal verändert. Leistungsumfang, Funktionen und Bedienbarkeit orientieren sich heute an modernen, verteilten Soft- und Hardwarearchitekturen sowie neuronalen Algorithmen und Ansätzen der Künstlichen Intelligenz (KI). Dies ermöglicht eine kontinuierliche Analyse und Steuerung komplexer Energiemanagementaufgaben.

Eine präzise Bestimmung der durch die Gebäudeautomation erzielbaren Treibhausgasminderung ist jedoch komplex. Am Markt sind verschiedene Systeme und Anwendungen verfügbar, die entlang des Lebenszyklus von Gebäuden zu einer Reduktion von Emissionen führen können. Zudem können technisch sehr ähnliche Ansätze, die von unterschiedlichen Herstellern stammen, in der Praxis zu abweichenden Einsparungen führen (Beucker & Hinterholzer, 2021). Schließlich ist ein erfolgreicher Einsatz der Technik auch von dem Verhalten der Bewohnenden sowie dem Alter und dem Zustand (beziehungsweise des spezifischen Energiebedarfs) der Gebäude abhängig.

Die Erfahrungen mit dem Einsatz von Gebäudeautomation sowie die mit ihr erzielbaren Einsparungen haben sich auch in der Normung niedergeschlagen. Die zentrale Norm auf europäischer Ebene ist hierbei die DIN EN 15232 »Energieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement«. Das Energiemanagement ist gemäß dieser Norm eine von mehreren Funktionen der Gebäudeautomation, die auf die Optimierung der Energieverwendung und Verringerung der Betriebskosten abzielt (siehe ebd.).

In der Norm wird beschrieben, wie Einspareffekte durch Gebäudeautomation ermittelt und welchen Automationsgraden im Gebäude welche Effizienzklassen (A, B, C und D) zugeordnet werden können. Dabei gilt, dass mit steigendem Umfang der Regelung und dem Automationsgrad auch eine höhere Energieeffizienz erreicht wird. Zudem werden GA-Effizienzklassen für verschiedene Gebäudetypen (Wohngebäude, Nicht-Wohngebäude) beschrieben. Für Nicht-Wohngebäude gelten andere Funktionen und damit je nach Nutzung (zum Beispiel Büro, Schule, Sportstätte) auch individuelle GA-Effizienzklassen, die in Tabelle 1 dargestellt sind. Bei großen Effizienzsteigerungen (Faktoren <0,7) in Nicht-Wohngebäuden, die mit Systemen der GA-Effizienzklasse A erreicht werden, hängen die Einsparungen zum Teil stark von Heizwärme- und Kühlbedarf der Lüftung ab.

GA-Energieeffizienzklassen und Faktor für den Bedarf an Wärmeenergie

Wohngebäude	A	B	C	D
	Hohe Effizienz	Erhöhte Effizienz	Standard	Nicht effizient
Faktor fBAC,th[14]	0,81	0,88	1	1,10
Nicht-Wohngebäude	**A**	**B**	**C**	**D**
	Hohe Effizienz	Erhöhte Effizienz	Standard	Nicht effizient
Faktor fBAC,th[14]	0,5 – 0,86	0,73 – 0,91	1	1,2 – 1,56

Tabelle 1: GA-Effizienz-Gesamtfaktoren fBAC,th für den Bedarf an thermischer Energie je nach Automationsklasse für Wohn- und Nicht-Wohngebäude gemäß DIN EN 15232[15]

Die höchste in der Norm beschriebene GA-Effizienzklasse wird mit einer Gebäudeautomation der Klasse A erreicht. Systeme der Klasse A verfügen u. a. über eine in das technische Gebäudemanagement integrierte, bedarfsgeführte Einzelraumregelung sowie eine Präsenzerkennung von Personen in einem Raum, die mit einer zentralen Heizungssteuerung sowie ggf. der Lüftungs- und Klimatisierungssteuerung kommunizieren. Ein System der Klasse B verfügt über eine adaptive Einzelraumregelung, die mit einem Gebäudeautomationssystem kommuniziert. Ein Standardsystem (Klasse C) verfügt über eine Regelung auf Raum- und Gebäudeebene ohne Vernetzung, und Klasse D bedeutet keine automatische Regelung.

14 Der Faktor fBAC,th beschreibt den Energieverbrauch der Bereiche Heizen, Trinkwarmwasser und Kühlung eines Gebäudes mit Gebäudeautomation einer Klasse gegenüber einem Gebäude gegenüber Standardfunktionalität (Klasse C). Ein Faktor von 0,81 entspricht einer Einsparung von 19 Prozent.%.

15 Quelle: DIN EN 15232, Eigene Darstellung Borderstep Institut

In der Norm DIN EN 15232 werden weitere Funktionen der einzelnen Klassen definiert (zum Beispiel Regelung der Warmwassererzeugung und der Umwälzpumpen). Diese Funktionen nehmen ebenfalls Einfluss auf die Energieeffizienz im Gebäude. Weiterhin sind die GA-Effizienzklassen für die energetische Gebäudeplanung und -sanierung wichtig, denn §25 des Gebäudeenergiegesetzes verweist auf die DIN 18599-11: 2018-09[16]. Dadurch können die Auswirkungen einer Gebäudeautomation bei der Ermittlung des Energiebedarfs von Gebäuden berücksichtigt und damit auf den Energieausweis angerechnet werden (Die Bundesregierung, 2020).

In der DIN EN 15232 werden ebenso Einsparungen für die Bereiche Kühlung (zum Beispiel außenliegende Jalousien) und Beleuchtung in Gebäuden anhand der GA-Effizienzklassen definiert. In Wohngebäuden spielt der elektrische Energiebedarf für diese Anwendungen jedoch wie zuvor beschrieben aktuell eine untergeordnete Rolle. Mittel- bis langfristig kann sich dies durch den sinkenden Wärmebedarf sowie den zunehmenden Bedarf an Klimakälte aufgrund höherer Temperaturen im Sommer jedoch ändern (siehe Kap. 2.1). Dies gilt gleichermaßen für Nicht-Wohngebäude.

Exkurs: Fallbeispiel für einen Einsatz von Gebäudeautomation in einem Wohnquartier

Mithilfe von Gebäudeautomation können Gebäude und Wohnungen intelligent untereinander sowie mit dem Energiesystem vernetzt werden. Die Vernetzung ist sowohl Voraussetzung, um den Energieverbrauch zu senken, als auch, um Aggregate der Wärmeerzeugung (zum Beispiel Wärmepumpen, Blockheizkraftwerke, Heizstäbe in Warmwasserspeichern) sowie elektrische Erzeuger und Speicher (zum Beispiel PV-Anlagen, Batterien in Gebäuden oder Elektrofahrzeugen) für eine flexible Erzeugung oder Abnahme von Energie (Sektorenkopplug) nutzen zu können. Bisher werden Anlagen oft isoliert, d.h. voneinander getrennt, betrieben und geregelt.

Im Rahmen der Forschungsprojekte ProSHAPE[17] und WindNODE[18] wurde ein Modellquartier in Berlin-Prenzlauer Berg (sechs teilsanierte Bestandsgebäude aus den 1960er Jahren mit 224 Wohnungen) mit einer Gebäudeautomation der GA-Energieeffizienzklasse A ausgerüstet. Dieses System umfasst vernetzte Steuerungskomponenten (Temperatursensoren, Aktoren für Heizungsventile, Steuerungselektronik) und Software (Betriebssystem, Optimierungsalgorithmen, Softwaredienste), die den Energieverbrauch in einem Gebäude optimieren. Es besitzt eine hierarchische Steuerungslogik, nach der Regelgrößen zunächst auf der Raum- beziehungsweise Wohnungsebene in einem sogenannten Wohnungsmanager erfasst (z. B. gemessene Temperatur) beziehungsweise von den Bewohnenden definiert werden (z. B. Nutzungszeiten eines Raums). Diese Daten werden an eine zentrale Steuerungseinheit (Gebäude- beziehungsweise Quartiersmanager) weitergeleitet, die die Optimierung und Steuerung der Heizzentrale (bestehend aus Blockheizkraftwerk (78 kWth./ 34 kWel.) sowie Spitzenlastkesseln) übernimmt.

Abbildung 3: Gebäude des Modellquartiers

16 Das Bewertungsverfahren der DIN EN 18599-11:2018-09 orientiert sich an dem Faktorverfahren nach DIN EN 15232. Es ist allerdings an das Bewertungsverfahren der Normenreihe DIN V 18599 ausgerichtet und angepasst.

17 Siehe ↗ **https://www.borderstep.de/projekte/proshapeconnected-energy/** (Abruf September 2021)

18 Siehe ↗ **https://www.windnode.de**/ (Abruf September 2021)

Exkurs: Fallbeispiel für einen Einsatz von Gebäudeautomation in einem Wohnquartier

Durch das System konnte im Vergleich zu ähnlichen Gebäuden eine Einsparung von rund 24 Prozent Heizenergie erreicht werden. Der Heizenergiebedarf der Wohnungen liegt nun durchschnittlich bei 60 kWh/m2a und damit auf dem Niveau eines Niedrigenergiehauses. Dies wurde ausschließlich durch die Aggregation individueller Heizbedarfe der Bewohnenden und die bedarfsgerechte Steuerung der zentralen Heizanlagen erreicht. Ein Teil der Bewohnenden wird zudem mit Mieterstrom aus dem Blockheizkraftwerk versorgt.

In einer zweiten Phase wurden im Quartier Speicher- und Umwandlungsmöglichkeiten für erneuerbaren Strom in Wärme (Heizstäbe in Warmwasserspeichern mit einer Leistung von 48 kWel.) installiert und über die Gebäudeautomation die neuen und bestehenden Anlagen (Blockheizkraftwerk, Heizkessel, etc.) vernetzt. Die vernetzten Anlagen können nun über das Energiemanagement der Gebäudeautomation gesteuert werden. Dies kann sowohl nach Kriterien der Eigenoptimierung als auch nach Zielen des Energiemarktes (zum Beispiel Regelenergie oder Preise der Strombörse) erfolgen. Das Quartier kann sich damit flexibel beziehungsweise netzdienlich verhalten und zum Beispiel Überschussstrom aus Windenergie aufnehmen und in Wärme umwandeln. Es kann auch selbst erzeugten Strom in das Netz einspeisen, wenn weniger erneuerbare Energien verfügbar sind. Alle Steuerungsoptionen berücksichtigen den Wohnkomfort der Mietenden und sind darauf ausgelegt, durch die flexible Steuerung die Betriebskosten zu senken.

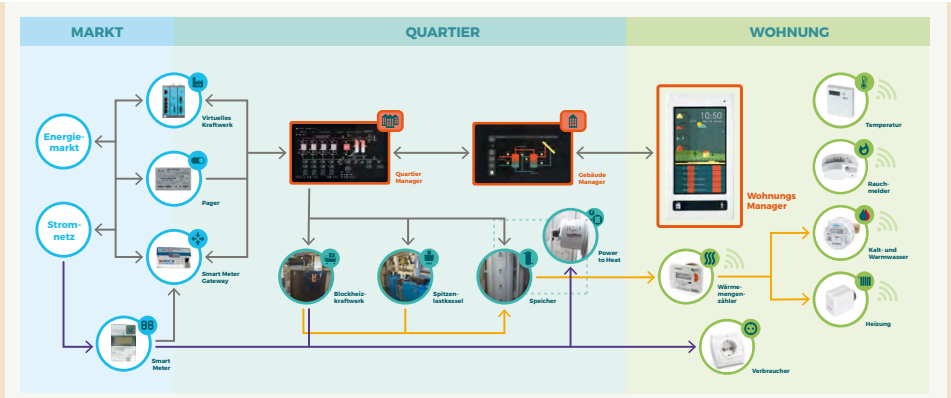


Abbildung 4: Schema der Gebäudeautomation im Versuchsquartier Berlin, Prenzlauer Berg[19]

Das Quartier ist damit für einen zukünftigen Energiemarkt, in dem Anreize für ein netzdienliches Verhalten und den Wandel von (regenerativ erzeugter) Energie gesetzt werden, ausgerüstet. Das Beispiel verdeutlicht zudem, dass der Energiebedarf von Bestandsgebäuden rasch mit einer Kombination von Maßnahmen auf das Niveau eines Niedrigenergiehauses gesenkt werden kann.

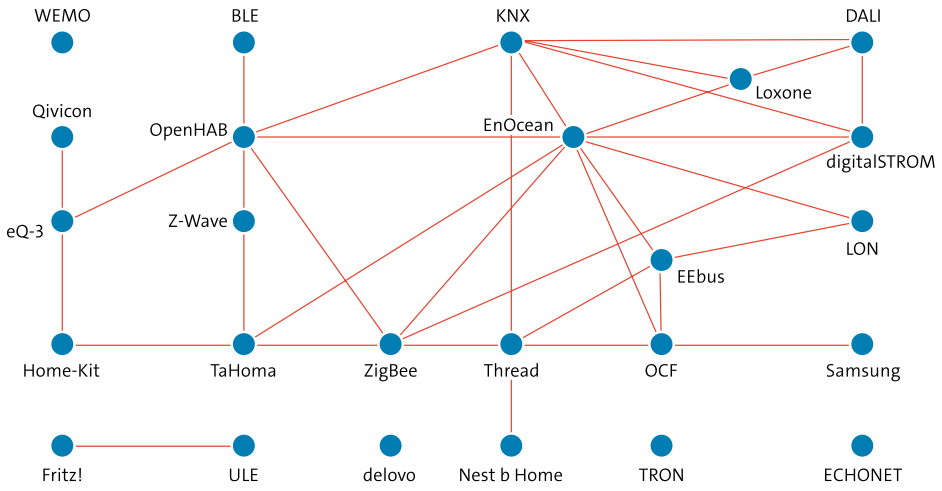
Eine ausführliche Dokumentation des Quartiers, der eingesetzten Gebäudeautomation und der erzielten Ergebnisse ist unter ↗ **https://www.windnode.de/ergebnisse/windnode-konkret/smart-building/** verfügbar.

Parallel zur Entwicklung der Gebäudeautomation haben sich weitere Begriffe in Forschung und Praxis etabliert. So wird beispielsweise der Smart-Home-Begriff für Systeme genutzt, die auf die Vernetzung und Steuerung von technischen Komponenten und Geräten auf der Wohnungs- beziehungsweise Haushaltsebene abzielen. Mithilfe von Aktorik, Sensorik sowie IKT-Komponenten werden zum Beispiel Hausgeräte (Herd, Kühlschrank, Waschmaschine etc.) kontrolliert, der Wohnkomfort und das Energiemanagement (Jalousien, Heizung, Lichtquellen etc.) verbes-

19 Quelle: DAI-Labor, TU-Berlin

sert sowie Sicherheit (Alarm- und Überwachungstechnik) oder auch Entertainment und Mediennutzung (Musik und Videostreaming über smarte Endgeräte) gesteuert. Die unter diesem Begriff angebotenen Systeme richten sich meist an Endkunden und werden mit verschiedenen Nutzenversprechen und Schwerpunkten (zum Beispiel Komfort, Energiemanagement, Sicherheit) angeboten.

Der Begriff Smart Building knüpft wiederum an die Gebäudeautomation an. Die Technik umfasst Aktorik, Sensorik sowie IKT-Komponenten zur Steuerung zahlreicher Funktionen in Gebäuden (zum Beispiel effiziente Beheizung, Beleuchtung oder Klimatisierung eines Gebäudes). Viele der angebotenen Systeme verfolgen einen Plattformansatz mit definierten, zum Teil auch offenen Schnittstellen (Heimer, Köhler, Schidlack, & Strese, 2020). Sie sind für den Einsatz in größeren Mehrfamilienhäusern und Quartieren konzipiert und können für vielfältige Anwendungen (zum Beispiel Gebäudemanagement, Sicherheitstechnik, digitale Erfassung und Abrechnung von Wärme, Wasser, Strom etc.) sowie die Kommunikation zwischen Vermietern und Mietern genutzt werden. Die Vielfalt von Standards und Protokollen ist hoch (siehe Abbildung 5), und die Angebote richten sich vor allem an die private, kommunale und genossenschaftliche Wohnungswirtschaft. Speziell im Bereich der Smart-Home-Systeme haben sich Anbieter der ehemaligen Zigbee Alliance zu einem neuen, internationalen Verbund unter dem Namen Matter[20] zusammengeschlossen. Ziel der Allianz ist, die Interoperabilität von Smart-Home-Geräten über IP-Protokolle zu fördern.



Quelle: Borderstep Institut 2021 nach Heimer et al., 2020

Abbildung 5: Smart-Home- und Smart-Building-Plattformen und deren Verbindungen

20 Siehe ↗ **https://buildwithmatter.com** (Abruf August 2021)

Abschließend kann angemerkt werden, dass die in der Theorie vorgenommene Abgrenzung zwischen Smart-Home- und Smart-Building-Systemen in der Praxis nicht trennscharf ist und sich nicht immer eine klare Zuordnung einzelner Produkte zu den Systemebenen treffen lässt.

Für die zukünftige, intelligente Vernetzung von Gebäuden ist zudem relevant, dass mit der im Jahr 2018 novellierten EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie erstmals der Begriff des »Smart Readiness Indicator« (SRI) erwähnt wurde[21]. Dieser soll bewerten, inwieweit ein Gebäude mit seinen Nutzenden und dem Umfeld interagieren und seinen Betrieb energieeffizient regeln kann. Der SRI und seine Übernahme in nationale Gesetzgebungen sind zwar noch nicht abschließend geklärt, es zeichnet sich jedoch ab, dass die Intelligenz von Gebäuden als ein wichtiger Baustein zur Umsetzung der Energiewende im Gebäudesektor gesehen wird.

Digitalisierung des Gebäudesektors

Schließlich kann die Digitalisierung des Gebäudesektors auch als die Vernetzung verschiedener technischer Systeme auf der Wohnungs- und Gebäudeebene sowie mit deren Umwelt verstanden werden. Da sich digitale Technologien und PropTechs zudem in allen Lebensbereichen verbreiten, nehmen auch die Möglichkeiten der Vernetzung zwischen den Sektoren zu. Dies lässt sich an folgenden Beispielen erläutern:

- Vernetzung von Energiesystem (Smart Grid) und Gebäudesektor (Smart Building): Die Digitalisierung des Energiesystems wird sowohl von privatwirtschaftlichen als auch von staatlichen Akteuren vorangetrieben. Dies betrifft zum Beispiel die Steuerung und Regelung von Strom- und Wärmenetzen, das Mess- und Zählwesen sowie die mit dem Energiesystem verbundenen Marktprozesse. Grund hierfür ist der kontinuierliche Ausbau der erneuerbaren Energieversorgung, der eine Planung von Erzeugung und Verbrauch erfordert. Daraus ergeben sich zahlreiche Schnittstellen mit dem Gebäudesektor als einem der wesentlichen Energieverbraucher. So werden Gebäude und die in ihnen vorhandenen (regenerativen) Energieerzeuger und -verbraucher zum Beispiel schrittweise mit intelligenten Stromzählern ausgerüstet. Dadurch sollen Abrechnungsprozesse und das Lastmanagement von Strom und Wärme digital unterstützt sowie Speichermöglichkeiten genutzt werden. Vernetzte Gebäude, Quartiere und Energiesysteme können jedoch zukünftig auch zahlreiche Schnittstellen für Anwendungen einer intelligenten Stadt (Smart City) liefern, in der die Informationen für Planungs- und Steuerungsaufgaben (zum Beispiel digitale Gebäudekataster für Planung, Monitoring von Energieflüssen etc.) genutzt werden.

- Vernetzung von Mobilitätssektor (Smart Mobility) und Gebäudesektor (Smart Building): Der Ausbau der Elektromobilität ist ein wesentliches Element der Bundesregierung für eine klimafreundlichere Mobilität[22]. Damit steigt der Stromverbrauch in diesem Sektor an und

21 Siehe ↗ **https://smartreadinessindicator.eu** (Abruf Juni 2021)

22 Siehe ↗ **https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/elektromobilitaet.html** (Abruf Juni 2021)

muss zunehmend aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden. Neben dem Verbrauch ist aus Sicht der Stromnetze auch entscheidend, an welchen Orten und mit welcher Leistung die Ladevorgänge zukünftiger Elektromobile erfolgen. Ein Teil der Ladevorgänge wird im Gebäudesektor erfolgen, da dort entweder im privaten oder beruflichen Umfeld Stellplätze mit Ladeinfrastruktur zur Verfügung stehen. Dies ermöglicht zahlreiche Modelle der Sektorenkopplung[23] und Flexibilität[24] zwischen den Feldern Wohnen und Mobilität und stellt neue Anforderungen und Optimierungsaufgaben an das Energiemanagement (siehe oben). Durch die Nutzung oder Einspeisung lokal erzeugter Energie (zum Beispiel aus Photovoltaik) können damit Netze stabilisiert und Strom lokal gespeichert werden. Ebenso kann Energie (Strom) aus dem Netz in Gebäuden genutzt werden (zum Beispiel in Form von Power-to-Heat oder Batterien), wodurch Netze entlastet werden können. Um die Sektoren kurzfristig und bedarfsgerecht aufeinander abzustimmen, ist eine intelligente Messung und Steuerung aufgrund der Komplexität der Aufgabe unabdingbar.

- Digitalisierung entlang des Lebenszyklus von Gebäuden: Gebäude gelten nicht nur aufgrund ihres Energieverbrauchs im Betrieb als ein wichtiges Handlungsfeld für die Klimapolitik. Sie verbrauchen auch während der Bau- und Entsorgungsphase große Mengen an Energie (Mahler, Idler, Nusser, & Ganter, 2019). Darauf aufbauend werden digitale Werkzeuge und Methoden entwickelt, die eingesetzt werden können, um in der Planungs-, Betriebs- und Entsorgungsphase von Gebäuden den Energie- und Ressourcenbedarf zu senken. Hierzu zählen beispielsweise Building-Information-Modeling-(BIM)-Systeme, die in der vernetzten Planung, dem Bau und der Bewirtschaftung von Gebäuden (Facility Management) eingesetzt werden (siehe auch Exkurs unten). Für die ökologische Bilanzierung und Bewertung sind zum Beispiel die über den Lebenszyklus eingesetzten Bau- und Betriebsstoffe eines Gebäudes relevant. Solche Informationen sind in Datenbanken für die Ökobilanzierung enthalten, die mit BIM-Systemen verbunden werden können, um damit szenariobasiert die Umweltwirkungen zukünftiger Gebäude abzuschätzen und einen Rückbau im Voraus zu planen. In der Forschung wird die Kombination zahlreicher digitaler Planungs- und Produktpassansätze bereits erprobt, um zu evaluieren, wie mit Hilfe von innovativen Bau- und Energietechnologien eine nachhaltigere und kreislaufgerechtere Bauwirtschaft unterstützt werden kann[25].

23 Unter Sektorenkopplung wird der Einsatz Strom aus erneuerbaren Quellen zur Erzeugung von Wärme, Kälte und Antriebsenergie verstanden. Ziel ist dabei, fossile Energien zu ersetzen. (siehe: ↗ **https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2016/14/Meldung/direkt-erklaert.html**, Abruf August 2021)

24 Unter Flexibilität wird die Fähigkeit von (elektr.) Verbrauchern verstanden, auf ein externes Signal mit einer Leistungsänderung zu reagieren. Ein solches Signal spiegelt zum Beispiel die Veränderungen oder Schwankungen in der Stromerzeugung und im Stromverbrauch wider (Kondziella, H. et al., 2019).

25 Siehe hierzu das das modulare Forschungs- und Innovationsgebäude NEST der Schweizerischen Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (EMPA), in dem viele der Ansätze erprobt werden unter ↗ **https://www.empa.ch/de/web/nest/overview** (Abruf August 2021).

Exkurs zu Building Information Modeling (BIM)

Die digitale Verarbeitung von bauwerksbezogenen Daten und Dokumenten in Systemen des Building Information Modeling (BIM) wird in der Architektur sowie der Gebäudeplanung seit vielen Jahren genutzt. Ursprünglich wurden die Softwaresysteme zur Visualisierung und Entwurfsplanung von Gebäuden eingesetzt. Mittlerweile werden in ihnen jedoch viele bauwerksrelevante Daten (zu Architektur, Baumaterialien, Gebäudetechnik sowie zur Versorgungstechnik (Gas, Elektrizität, Wasser etc.)) gesammelt und modelliert. Die in den Systemen zu einem Gebäude verfügbaren Informationen können damit mit einem digitalen Zwilling verglichen werden.

BIM ist für die Bauwirtschaft zu einem wichtigen Werkzeug der lebenszyklusweiten Erfassung und Bearbeitung von gebäuderelevanten Daten geworden. Die Systeme erfassen die Phasen der Bauplanung, -ausführung und -bewirtschaftung und werden auch für große, komplexe Bauvorhaben (Verkehrswege-, Infrastrukturprojekte, etc.) genutzt. Ein großer Vorteil ist dabei, dass bei der Nutzung von cloudbasierten Systemen verschiedene Nutzende (Architekten, Ingenieure, Fachplaner, Behörden, ausführende Unternehmen) standortunabhängig eingebunden werden können und Zugriff auf aktuelle Daten und Dokumente erhalten.

Viele der am Markt angebotenen BIM-Systeme sind proprietäre Lösungen. Parallel hat sich deshalb mit der Organisation buildingSMART[26] eine internationale, herstellerunabhängige Initiative gebildet, die mit dem Open-Source-Format Industry Foundation Classes (IFC) einen interoperablen Austausch von Daten fördert. Dadurch sollen Schnittstellen geschaffen werden, die den Informationsaustausch über verschiedene Fachdisziplinen und Formate hinweg ermöglichen.

Da BIM-Systeme ein integriertes Gebäudemodell und lebenszyklusweite Gebäudeinformationen zur Verfügung stellen, können sie auch eine wichtige Grundlage für die Erfassung und Bewertung von Klimaschutz- und Energieeffizienzpotenzialen sowie die Erstellung von Ökobilanzen von Gebäuden liefern. Bisher sind in den Systemen hauptsächlich Daten zu Materialeigenschaften sowie Kosten enthalten. Diese können jedoch auf Grundlage des IFC-Formats um ökologisch relevante Informationen (zum Beispiel genaue Materialzusammensetzung und -herkunft) erweitert werden. Diese Informationen sind Voraussetzung für eine Ökobilanzierung.

Um die Verfügbarkeit von gebäudebezogenen Daten für die Ökobilanzierung (Sachbilanzdaten) zu verbessern, hat das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) die Plattform ÖKOBAUDAT ins Leben gerufen. Mit ihr soll eine einheitliche Grundlage für die Bewertung von

Bauwerken zur Verfügung gestellt werden, die dann zum Beispiel in Kombination mit BIM für die Ökobilanzierung genutzt werden kann. Neben ÖKOBAUDAT[27] gibt es zudem mehrere privatwirtschaftliche Anbieter, die Sachbilanzdaten für den Gebäudesektor anbieten.

Eine weitere staatlich geförderte Initiative stellt das vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) entwickelte Ökobilanzierungstool eLCA[28] für den Gebäudesektor zur Verfügung, mit dem mit Hilfe von Datensätzen aus ÖKOBAUDAT eine vereinfachte Ökobilanzierung durchgeführt werden kann.

Schließlich kann auch die Gebäudeautomation zentrale Daten für die Bewertung von Klimaschutz und Ressourceneffizienz von Gebäuden liefern. Da die Systeme Verbrauchsdaten von Energieträgern (zum Beispiel Gas- und Wärmemengen, Strom) erfassen, können sie mit Sachbilanzdaten in einer Ökobilanz zur Analyse und Bewertung der Nutzungsphase eines Gebäudes verwendet werden.

Abbildung 6: Planung des seriellen Sanierens

26 Für die deutsche Seite von buildingSMART siehe ↗ **https://www.buildingsmart.de** (Abruf August 2021)

27 Siehe ↗ **https://www.oekobaudat.de** (Abruf August 2021)

28 Siehe ↗**https://www.bauteileditor.de** (Abruf August 2021)

Exkurs zu Building Information Modeling (BIM)

Insgesamt wird deutlich, dass eine flächendeckende Erfassung, Analyse sowie ein kontinuierliches Monitoring von Baudaten eine zentrale Voraussetzung für die Verbesserung des Energie- und Ressourcenverbrauchs im Gebäudesektor sind. Da das Bauwesen in Deutschland für 90 Prozent der inländischen Entnahme mineralischer Rohstoffe verantwortlich und damit der ressourcenintensivste Wirtschaftszweig des Landes ist[29], kommt der Materialnutzung und -auswahl eine große klimapolitische Bedeutung zu.

Trotz vielfältiger Aktivitäten gibt es bisher keine brancheneinheitlichen Modelle oder Standards für digitale Gebäudedaten und deren Nutzung bei der Bewertung von Klimaschutzpotenzialen. Dabei ist augenscheinlich, dass BIM in Verbindung mit Ökobilanzierungssystemen und Gebäudeautomation zu leistungsfähigen Architekturen verbunden werden kann und damit Entscheidungshilfen für alle Lebensphasen von Gebäuden (Bau, Betrieb und Rückbau) liefert. Für eine routinemäßige Anwendung in der Bauwirtschaft sind jedoch neben weiteren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für einheitliche Architekturen auch weitere branchenweite Standardisierungsmaßnahmen notwendig.

Ein ambitioniertes Vorhaben auf diesem Gebiet ist das von der Schweizer Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) betriebene Forschungs- und Innovationsgebäude NEST[30]. In ihm werden neue Bautechnologien, -materialien und -systeme unter realen Bedingungen getestet und erforscht. Dabei werden in einem Digital Hub[31] Ansätze im Überschneidungsfeld Gebäude, Energie und Mobilität erforscht. Hierbei spielen BIM und dessen Verknüpfung mit weiteren digitalen Planungs- und Entscheidungssystemen wie Liegenschaftsinformationsmodellen (AIM) eine wichtige Rolle. Vor allem die Umnutzung, Rückbaubarkeit sowie Weiter- beziehungsweise Wiederverwendung von Gebäuden und Materialien spielt dabei eine Rolle.

Ein weiteres Anwendungsfeld von BIM zeichnet sich beim seriellen Sanieren im Gebäudebestand ab. Dabei werden mit Hilfe von 3D-Laserscans Bauwerksdaten erfasst, die dann in einem digitalen Prozess für die Planung, Optimierung und industrielle Fertigung von Haustechnik (zum Beispiel Solarmodule) sowie Dämmelementen für Fassaden und Dächer von Gebäuden genutzt werden können. Dadurch sollen die Fertigungs- und Ausführungskosten für die Gebäudedämmung reduziert werden[32].

BIM und die Verknüpfung von digitalen Systemen in der Bau- und Sanierungswirtschaft besitzen ein sehr großes Potenzial für die Minderung von Treibhausgasen und Ressourcen über den kompletten Lebenszyklus von Gebäuden (Bau, Nutzung, Sanierung und Rückbau). Der Schwerpunkt der Ressourceneinsparung liegt dabei vor allem auch auf der Lebenszyklusphase des Baus, da diese einen sehr hohen Energie- und Ressourcenverbrauch hat (siehe oben). In der Planungsphase eines Gebäudes wird durch Auslegung des Gebäudes und Materialwahl zudem maßgeblich der Energieverbrauch in der Nutzungsphase bestimmt. Die Ressourcen- und CO_2-Einsparungen solcher Anwendungen übersteigen um ein Vielfaches jene der Gebäudeautomation, die hauptsächlich in der Nutzungsphase von Gebäuden ansetzen. Sie sind jedoch schwer zu quantifizieren, da sie stark abhängig von Gebäudetypen, deren Standorten und Nutzungen sind und nur in der Bau- oder Sanierungsphase Einfluss auf die Parameter genommen werden kann.

29 Siehe ↗ **https://www.ressource-deutschland.de/themen/bauwesen/** (Abruf August 2021)

30 Siehe ↗ **https://www.empa.ch/web/nest/** (Abruf August 2021)

31 Siehe ↗ **https://www.empa.ch/web/digital-hub/** (Abruf August 2021)

32 Zum Verfahren des seriellen Sanierens siehe zum Beispiel ↗ **https://www.energiesprong.de/startseite/** (Abruf August 2021)

2.3 Schwerpunktsetzung der Studie und Abgrenzung zu bestehenden Untersuchungen

Wie in den vorangegangenen Kapiteln deutlich wurde, sind sowohl der Gebäudesektor selbst als auch die nutzbaren digitalen Technologien zur Reduktion von CO_2-Emissionen komplex. Im Rahmen der vorliegenden Kurzstudie können daher weder der gesamte Sektor der Wohn- und der Nicht-Wohngebäude noch alle digitalen Technologien analysiert werden. Hinzu kommt, dass (noch) nicht für alle digitalen Technologien zuverlässige Abschätzungen zu möglichen Klimaschutzeffekten und Energieeinsparungen vorliegen. In den nachfolgenden Abschnitten wird daher beschrieben, wie durch eine Fokussierung im Gebäudesektor sowie bei den digitalen Technologien belastbare Aussagen zu Energieeinsparungen und CO_2-Minderungspotenzialen getroffen werden können. Zudem wird erläutert, wie sich die vorliegende Studie von bestehenden Untersuchungen zum Gebäudesektor abgrenzt.

2.3.1 Eingrenzung des Gebäudesektors

Der Gebäudesektor ist nicht homogen (siehe Kap. 2.1). So umfasst der Wohngebäudesektor verschiedene Gebäudetypen, vom Ein- und Zweifamilienhaus bis zu mehrgeschossigen Gebäuden, unterschiedlicher Baualtersklassen und Sanierungszustände. Für die Ermittlung von Klimaschutz- und Energieeinsparpotenzialen digitaler Technologien in diesem Teilsektor ist es daher notwendig, die Wirkungsweise der Technologien auf die verschiedenen Gebäudetypen und Baualtersklassen zu beziehen. Hierfür wird ein am Borderstep Institut entwickeltes Modell des deutschen Gebäudebestands genutzt (siehe Kap. 3.1.1), das die verschiedenen Gebäudetypen berücksichtigt. Über dieses Modell werden durchschnittliche Energieverbräuche (Wärme) im Gebäudebestand ermittelt, die näherungsweise den reellen Verbrauch widerspiegeln. Mit verschiedenen Eingangsparametern für das in Kap. 3.1.1 beschriebene Berechnungsmodell können Szenarien zur Verbreitung von digitalen Technologien in Gebäuden und die daraus resultierende Einsparung von Energie und Treibhausgasemissionen berechnet werden.

Der Sektor der Nicht-Wohngebäude ist diverser als der der Wohngebäude. Eine aktuelle Erhebung zur Struktur und zum Bestand von Nicht-Wohngebäuden (siehe »EnOB DataNWG«, 2021) erlaubt jedoch auch hierzu Aussagen. Die verschiedenen Segmente des Nicht-Wohngebäudebestands sind sehr unterschiedlich in Bezug auf ihre Energiebedarfe sowie auf die durch GA zu erreichende Einsparungen. Deshalb werden nur Einsparungen für die in der DIN EN 15232 beschriebenen Segmente ermittelt. Nur hier sind einigermaßen sichere Aussagen zu Energieeinsparungen von Energie und Emissionen in der Breite der Gebäude möglich.

Betrachtet wird daher ein Teilsegment des Nicht-Wohngebäudesektors (Büros, Hörsäle, Bildungseinrichtungen, Krankenhäuser, Hotels, Restaurants sowie Groß- und Einzelhandel, siehe Kap. 3.1.1). Nicht betrachtet werden Gebäude für Kultur und Freizeit, Sportgebäude, Produktionsgebäude

sowie Technik- und Verkehrsgebäude. Diese Gebäude können zwar im Einzelfall sehr hohe Einsparpotenziale aufweisen, sind jedoch aufgrund unterschiedlicher Gebäude sowie Fertigungs- und Nutzungsstrukturen nur bedingt vergleich- und übertragbar.

2.3.2 Auswahl von digitalen Technologien und Szenarien

Aufgrund der großen Vielfalt digitaler Lösungen ist es notwendig, für die zu analysierenden Technologien eine Auswahl zu treffen. Hierfür spricht auch, dass die Erkenntnisse zu möglichen Einsparungen der Technologien zum Teil mit Unsicherheiten und starken Schwankungsbreiten verbunden sind. Bei der Ermittlung von Klimaschutz- und Energieeffizienzpotenzialen wird daher folgendermaßen vorgegangen (siehe auch Kap. 1.2):

- Zentral für die Berechnung von Szenarien in dieser Studie ist, dass für die ausgewählten Technologien gesicherte Erkenntnisse zu Einsparungen vorliegen. Dies ist für Gebäudeautomation der Fall, da die hiermit erzielbaren Einsparungen bereits in zahlreichen Studien dokumentiert wurden (Beucker, Bergesen, & Gibon, 2016; Beucker & Hinterholzer, 2019, 2021; Waide, 2019) und sich entsprechende GA-Effizienzklassen (siehe Kap. 2.2) in der Normung niedergeschlagen haben. Bezogen auf den Lebenszyklus finden die Einsparungen zudem in der Nutzungsphase des Gebäudes statt, die in Deutschland für ca. 187 Millionen t CO_2-Emissionen im Jahr 2018[33] verantwortlich waren (BMWi, 2020). In der Nutzungsphase liegen sehr hohe Reduktionspotenziale für Treibhausgase in Gebäuden, die sich unter anderem durch den Einsatz von Gebäudeautomation erschließen lassen.

- Basierend auf den Effizienzklassen der Gebäudeautomation (siehe DIN EN 15232) können verlässliche CO_2-Einsparungen ermittelt werden, die bei unterschiedlichen Ausrüstungsgraden des Gebäudebestands erreicht werden. Eine fachgerechte Ausführung und Umsetzung der Technik werden dabei vorausgesetzt. Insgesamt werden drei Einsatzfelder von Gebäudeautomation im Wohn- und Nicht-Wohngebäudesektor vorgeschlagen und darauf aufbauend in Kap. 2.3.3 Szenarien mit den Zeiträumen 2030 und 2045 berechnet.

33 Die Zahlen von (BMWi, 2020) beziehen sich auf das sogenannte Verursacherprinzip. Gegenüber dem Quellprinzip, bei dem nur die direkt am Gebäude emittierten Emissionen, werden hier auch indirekte Emissionen zum Beispiel von Elektrizität und Fernwärme berücksichtigt die entfernt emittiert werden. Nach dem Quellprinzip werden Gebäuden im Jahr 2018 ca. 117 Millionen t CO_2-Emissionen zugwiesen (BMU, 2020).

Die drei Einsatzfelder von Gebäudeautomation und die darauf aufbauenden Szenarien sind die Folgenden (siehe Tabelle 2):

Einsatzfelder	Effekt	Szenarien und Referenzzeiträume
I **Effizienzsteigerung im Bereich Wärme (Raumheizung und Trinkwarmwasser)**	Reduktion des Wärmebedarfs von Gebäuden durch energieeffiziente Steuerung der Heizung und der Trinkwarmwasserzubereitung	Szenarien mit Zeithorizont 2030 und 2045 für Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude, Business-as-Usual- und Ambitioniertes-Digitalisierungs-Szenario
II **Effizienzsteigerung Kühlung und Beleuchtung**	Reduktion des externen Strombezugs von Gebäuden durch energieeffiziente Steuerung von Beleuchtung und Kühlung	Szenarien mit Zeithorizont 2030 und 2045 für Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude, Business-as-Usual- und Ambitioniertes-Digitalisierungs-Szenario
III **Intelligente Sektorenkopplung**	An Überschüssen orientierte Nutzung von regenerativ erzeugtem Überschussstrom inkl. Wandlung oder Speicherung	Szenarien mit Zeithorizont 2030[34] für Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude, Business-as-Usual- und Ambitioniertes-Digitalisierungs-Szenario

Tabelle 2: Einsatzfelder und Szenarien für den Einsatz von Gebäudeautomation[35]

Die methodischen Grundlagen für die Ermittlung der Treibhausgasminderungspotenziale aus den beschriebenen Anwendungen und den daraus resultierenden Szenarien werden in Kap. 3.1.1 beschrieben.

2.3.3 Abgrenzung zu bestehenden Untersuchungen im Gebäudesektor

Zur Digitalisierung im Gebäudesektor sind bereits zahlreiche Studien erschienen. Darunter sind sowohl solche, die sich explizit auf den Gebäudesektor fokussieren, als auch grundlegende Analysen zu den (Umwelt-)Effekten der Digitalisierung und deren Auswirkungen auf den Energiesektor. Dementsprechend kommen die Studien auch zu abweichenden Ergebnissen und Aussagen zu möglichen Umwelt- beziehungsweise Klimaschutzpotenzialen.

Um die Vorgehensweise und Ergebnisse der vorliegenden Analyse besser einordnen zu können, wurden von den Autoren die wichtigsten Studien ausgewertet. Eine kurze Charakterisierung ihrer Schwerpunkte sowie Vorgehensweisen sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Die Untersuchungen werden nach dem Erscheinungsjahr aufgelistet, wobei aufgrund des schnellen Wandels im Themenfeld nur Studien seit dem Jahr 2015 einbezogen wurden.

34 Die Verfügbarkeit von überschüssiger elektrischer Energie aus regenerativen Energien ist mit hohen Unsicherheiten behaftet, denn sie hängt von diversen Faktoren ab, deren langfristige Entwicklung nur schwer prognostiziert werden kann. Auf ein Szenario für das Jahr 2045 wird daher verzichtet.

35 Quelle: Borderstep Institut 2021

Name der Studie	Auftraggeber/ Herausgeber	Auftragnehmer/ Bearbeiter	Erscheinungsjahr	Schwerpunkt	Vorgehensweise/ Bezug Gebäudesektor
Studie zu Nachhaltigkeitspotenzialen in und durch Digitalisierung in Hessen	Hessen Trade & Invest	Borderstep Institut	2021	Ermittlung von Nachhaltigkeitspotenzialen durch Digitalisierung in verschiedenen Sektoren in Hessen	Szenarien zu CO_2-Minderungspotenzialen aus dem Einsatz von Gebäudeautomation in Wohngebäuden in Hessen
Energieeinsparung durch Gebäudeautomation – Ausgewählte Fallbeispiele	Wirtschaftsinitiative Smart Living	Borderstep Institut	2021	Ausgewählte Best-Practice-Beispiele zur Anwendung von Gebäudeautomation in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden	Fallbeispiele aus Wohn- und Nicht-Wohngebäuden, keine Ermittlung von CO_2-Minderungspotenzialen
Klimaeffekte der Digitalisierung, Studie zur Abschätzung des Beitrags digitaler Technologien zum Klimaschutz	Bitkom	accenture	2021	Ermittlung von Potenzialen digitaler Technologien zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030	Abschätzung von reduzierten Primärenergieemissionen im Gebäudesektor durch Smart Home und Vernetzung
Schwerpunktstudie Digitalisierung und Energieeffizienz – Erkenntnisse aus Forschung und Praxis	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	ZEW, IW Consult, FIR an der RWTH Aachen	2020	Beitrag der Digitalisierung zur Steigerung der Energieeffizienz in mehreren Wirtschaftssektoren	Fallbeispiele zu Energieeffizienz durch digitale Technologien in verschiedenen Sektoren, Beispiel zu Building Information Modeling, keine Ermittlung von CO_2-Minderungspotenzialen
CO_2-Minderungspotenziale im Wohngebäudesektor durch Gebäudeautomation	Wirtschaftsinitiative Smart Living	Borderstep Institut	2020	Kurzanalyse zur den CO_2-Minderungspotenzialen durch Gebäudeautomation in Wohngebäuden in Deutsch-land	Szenarien zur Verbreitung von Gebäudeautomation und CO_2-Minderungspotenzialen bis 2030 und 2050
Rolle der Digitalisierung im Gebäudebereich. Eine Analyse von Potenzialen, Hemmnissen, Akteuren und Handlungsoptionen	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	Adelphi, BBH, dena, Ecofys, Fraunhofer ISI, PwC	2017	Analyse von Potenzialen zur Steigerung der Energieeffizienz und der Nutzung erneuerbarer Energien in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden durch Digitalisierung	Beschreibung von Energieeffizienzpotenzialen, Hemmnissen, Akteuren und Handlungsoptionen für digitale Ansätze, keine Ermittlung von CO_2-Minderungspotenzialen
Digitalisierung als Enabler für die Steigerung der Energieeffizienz	dena	dena	2017	Klassifizierung und Bewertung möglicher Effekte von digitalen Energiedienstleistungen für Haushalte und Industrie	Expertenbefragung, keine Ermittlung von CO_2-Minderungspotenzialen
dena-Leitstudie Integrierte Energiewende – Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050	dena	dena	2018	Identifikation von Transformationspfaden zur Erreichung der Klimaziele mit Handlungsempfehlungen	Digitalisierung im Gebäudesektor wird genannt, jedoch nicht differenziert, keine Ermittlung von CO_2-Minderungspotenzialen
Analyse der Einsparpotenziale durch Smart Home und intelligente Heizungsregelungen	Fraunhofer IBP	Fraunhofer IBP	2018	Simulation des Energiemanagements verschiedener Smart-Home-Systeme für Wohngebäude	Fokus auf Wohngebäuden und Smart-Home-Systemen, keine Ermittlung von CO_2-Minderungspotenzialen

Name der Studie	Auftraggeber/ Herausgeber	Auftragnehmer/ Bearbeiter	Erscheinungsjahr	Schwerpunkt	Vorgehensweise/ Bezug Gebäudesektor
Smart Home – Energieverbrauch und Einsparpotenzial der intelligenten Geräte	Verbraucherzentrale NRW	Öko Institut	2019	Ermittlung von Szenarien zu möglichen Energieeinsparungen aus Smart-Home-Systemen	Fokus auf Wohngebäuden und Smart-Home-Systemen
Smarte Rahmenbedingungen für Energie- und Ressourceneinsparungen bei vernetzten Haushaltsprodukten	BUND	Borderstep Institut	2018	Analyse des Energie- und Ressourcenbedarfs vernetzter Geräte in privaten Haushalten	Fokus auf Wohngebäuden, Smart-Home-Systeme werden als ein Teilgebiet der Vernetzung in Haushalten analysiert
Wert der Effizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung. Studie im Auftrag von Agora Energiewende	Agora Energiewende	ifeu, Fraunhofer IEE, Consentec	2018	Analyse des Beitrags von Energieeffizienz und Sektorenkopplung zur Erreichung der Klimaschutzziel im Gebäudesektor	Studie zur Effizienz im Gebäudebereich, Digitalisierung und Gebäudeautomation werden nicht explizit analysiert
Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland – Abschlussbericht	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	Fraunhofer IZM, Borderstep Institut	2015	Analyse des Strombedarfs in Deutschland in Abhängigkeit der Entwicklung des IKT-Sektors	Abschätzung von Stromverbrauch durch Gebäudeautomation in Wohngebäuden

Tabelle 3: Studien mit Schwerpunkt auf Nachhaltigkeitspotenzialen im Gebäudesektor durch Digitalisierung[36]

Aus der Gegenüberstellung wird deutlich, dass es viele Untersuchungen zu Umwelt- und Klimaschutzpotenzialen durch digitale Technologien im Gebäudesektor in Deutschland gibt. Dies zeigt, dass dem Themenfeld bereits eine große Aufmerksamkeit zukommt. In den meisten Studien werden Anwendungen in Wohngebäuden untersucht und dabei verschiedene Technologieschwerpunkte (zum Beispiel Smart Home oder Energieeffizienz) gelegt. Das Potenzial von Nicht-Wohngebäuden wird allerdings nur in wenigen Publikationen untersucht und lediglich in einzelnen Fallbeispielen thematisiert.

Zudem werden digitale Technologien und deren Funktionen sehr unterschiedlich definiert (siehe auch Abgrenzung von Smart Home und Smart Building in Kap. 2.2). Auch bei der Ermittlung von Umwelt- und Klimaschutzpotenzialen werden verschiedene methodische Wege gewählt (zum Beispiel Simulation von Energieeinsparungen, szenariobasierte Berechnung von CO_2-Minderungspotenzialen, Einzelfallbetrachtungen). Aufgrund dieser Unterschiede sind die Ergebnisse der Studien nur bedingt vergleichbar. Gleichzeitig verdeutlicht dies, dass eine verstärkte wissenschaftlichmethodische Diskussion über die Strukturierung digitaler Technologien sowie des Gebäudesektors erforderlich ist, um verlässliche Beiträge zu den Klimaschutzzielen abschätzen zu können.

36 Quelle: Borderstep Institut 2021

Hierzu möchte die vorliegende Untersuchung einen Beitrag leisten. Es werden daher bewusst digitale Technologien und PropTechs in den Mittelpunkt gestellt, für die aufgrund von bestehenden Normen und Praxiserfahrungen verlässliche Einsparungen angenommen werden können. Diese werden in Form von CO_2-Minderungspotenzialen und nach dem Verursacherprinzip bewertet (siehe Kap. 3.1.1), um sie so auch mit anderen Potenzialen zur Einsparung von Treibhausgasen in anderen Sektoren vergleichbar zu machen. Wo möglich, wird jedoch versucht, die lebenszyklusweiten Umwelteffekte der Technologien abzuschätzen (siehe ↗ **Kap. 3.3**). Schließlich werden die Potenziale – auch dies ist im Vergleich zu den vorliegenden Studien neu – auf ausgewählte Teilsegmente des Wohn- und des Nicht-Wohngebäudesektors bezogen. Dies soll es ermöglichen, differenzierte Potenziale und Handlungsempfehlungen für verschiedene Gebäudetypen zu entwickeln.

Neben den genannten Studien gibt es zahlreiche weitere Arbeiten, die für die vorliegende Untersuchung von Relevanz sind. Dazu zählt das laufende Forschungsvorhaben BaltBest , das den Einfluss von Gebäudetechnik, einer optimierten Betriebsführung und dem Heizverhalten von Mietenden analysiert (siehe auch Kap. 3.1.2), sowie Untersuchungen zu digitalen Techniken im Gebäudesektor der EU oder weltweit (siehe zum Beispiel (Beucker et al., 2016; Waide, 2019)). Zudem sind mehrere Studien erschienen, die globale Potenziale für Sektoren abschätzen beziehungsweise diese auch vor dem Hintergrund der eigenen Emissionen der ITK kritisch einordnen (siehe zum Beispiel (Belkhir & Elmeligi, 2018; GeSI & Deloitte, 2019), (Bieser, Hintemann, Beucker, Schramm, & Hilty, 2020; Hintemann, Clausen, Beucker, & Hinterholzer, 2021); (Lange, Pohl, & Santarius, 2020)). Sie werden, soweit erforderlich, in dieser Arbeit aufgegriffen.

3 Klimaschutzpotenziale ausgewählter digitaler Gebäudetechnologien

3 Klimaschutzpotenziale ausgewählter digitaler Gebäudetechnologien

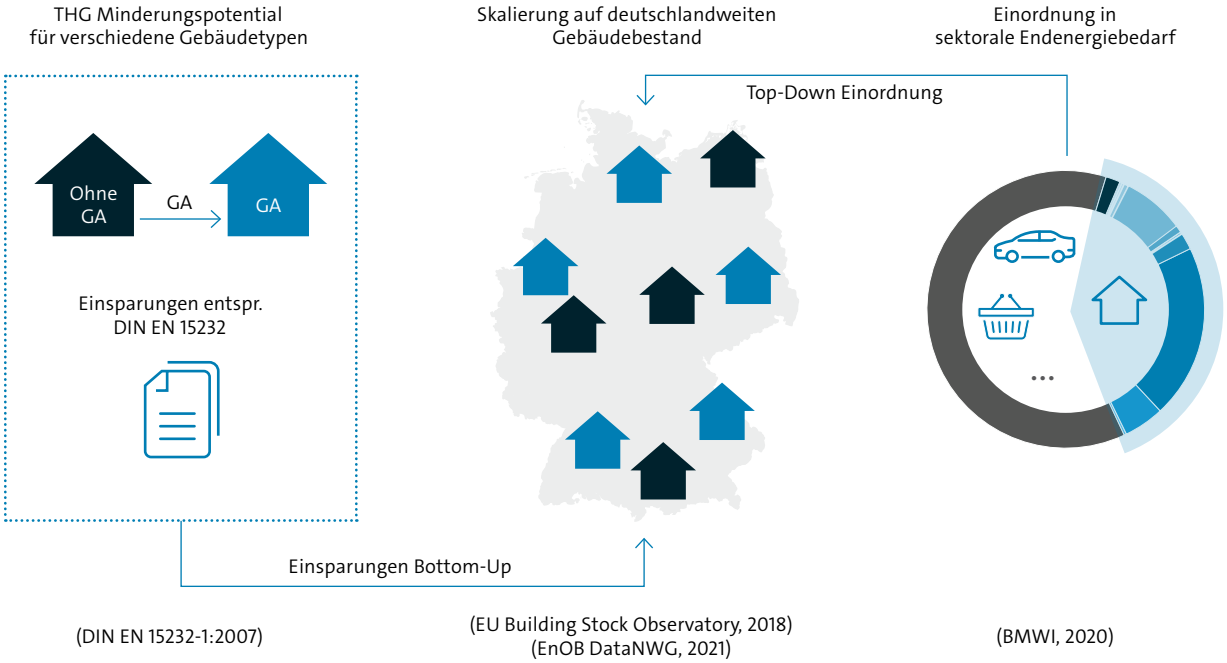
In den nachfolgenden Abschnitten werden die Klimaschutz- und Energieeffizienzpotenziale der im Kap. 2.3.2 beschriebenen digitalen Technologien ermittelt. Dabei wird zunächst in Kap. 3.1 ausführlicher auf die Potenziale verschiedener Anwendungen der Gebäudeautomation eingegangen. Das für die Berechnung der Szenarien entwickelte Modell wird beschrieben und schließlich das Treibhausgasminderungspotenzial in Millionen t CO_2 für die Anwendungen der Gebäudeautomation in jeweils einem Business-as-Usual(BAU)- und einem Ambitioniertes-Digitalisierungs(AD)-Szenario berechnet.

3.1 Klimaschutzpotenziale aus Anwendungen der Gebäudeautomation

3.1.1 Methodische Grundlagen der Szenarientwicklung und -berechnung

Berechnungsgrundlage der Szenarien

Für die Ermittlung der Einsparpotenziale aus Gebäudeautomation werden etablierte Planungswerte der DIN EN 15232 (siehe auch Kap. 2.2 sowie Beucker, 2019; Waide, 2019) genutzt. Die Einsparungen werden dabei anhand einer definierten Verbreitung der Technologie (siehe Szenarien) über Jahresscheiben auf einen Teil des Gebäudebestands in Deutschland skaliert, um die Höhe der deutschlandweiten CO_2-Minderungspotenziale zu bestimmen (Bottom-Up) (siehe Abbildung 7).



Quelle: Darstellung Borderstep Institut, angelehnt an (Karl Walther, Robert Meyer & Mathias Schmid, 2019)

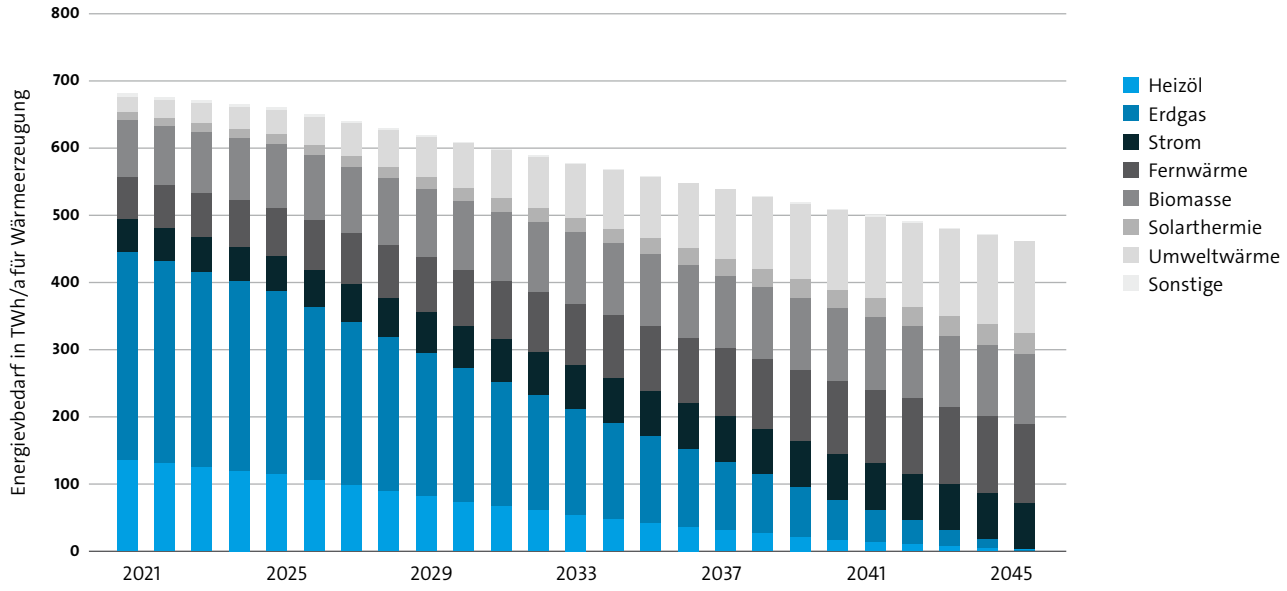
Abbildung 7: Berechnung der Energieeinsparung durch Gebäudeautomation (GA)

Da sowohl der Energiebedarf als auch die CO_2-Emissionen der Gebäude in den nächsten Jahren aufgrund verschiedener Maßnahmen sinken werden, wird ein Rahmenszenario verwendet, das sich an den Zielen des Klimaschutzgesetzes 2021 orientiert (Klimaneutralität 2045 und maximal 67 Millionen t CO_2-Emissionen im Gebäudesektor im Jahr 2030).

Berücksichtigt werden dabei die Struktur und die jeweiligen Energiebedarfe des Wohngebäudebestands in Ein- und Zweifamilienhäusern (EZFH), Mehrfamilienhäusern (MFH) und großen Mehrfamilienhäusern (GMFH)[37] entsprechend (Beucker, 2019; Destatis, 2019). Struktur und Energieverbräuche des Nicht-Wohngebäudebereichs werden auf Basis des Gebäudebestands aus (»EnOB DataNWG«, 2021) sowie (»EU Building Stock Observatory«, 2018) jeweils für charakteristische Segmente der DIN EN 15232 (Büro, Hörsaal, Bildungseinrichtung, Krankenhaus, Hotel, Restaurant, Groß- und Einzelhandel) betrachtet. Diese segmentbezogenen Verbräuche werden anhand aktueller Daten zu den gebäudebezogenen Energieverbräuchen beziehungsweise – bedarfen des BMWi (BMWi (Hrsg.), 2021) für das Jahr 2020 aktualisiert.

37 Große Mehrfamilienhäuser sind in Anlehnung an (Bürger et al., 2016) als Wohngebäude mit mindestens 13 Wohneinheiten definiert.

Um die zukünftige Entwicklung der Energiebedarfe im Gebäudebestand bis zum Jahr 2045 sowie die Zusammensetzung der Energieträger und der damit verbundenen Emissionen gemäß dem Klimaschutzgesetz zu prognostizieren, werden Daten zum Gebäudesektor aus Dambeck et al. (2021) genutzt. Diese bilden die aktuellen Ziele des neuen Klimaschutzgesetzes 2021 sowie des EU-Green-Deal für den Gebäudebereich ab. Zur Vereinfachung wird dabei unterstellt, dass sich die Reduktion des Energiebedarfs in den verschiedenen Segmenten des Gebäudebestands gleichmäßig entwickelt. Damit können Emissionen sowohl für den Wärmebereich (Heizung, Trinkwarmwasser) als auch für die Bereiche Beleuchtung und Klimatisierung berechnet werden. Als Beispiel ist die Zusammensetzung der Energieträger im Wärmebereich in Abbildung 8 dargestellt.



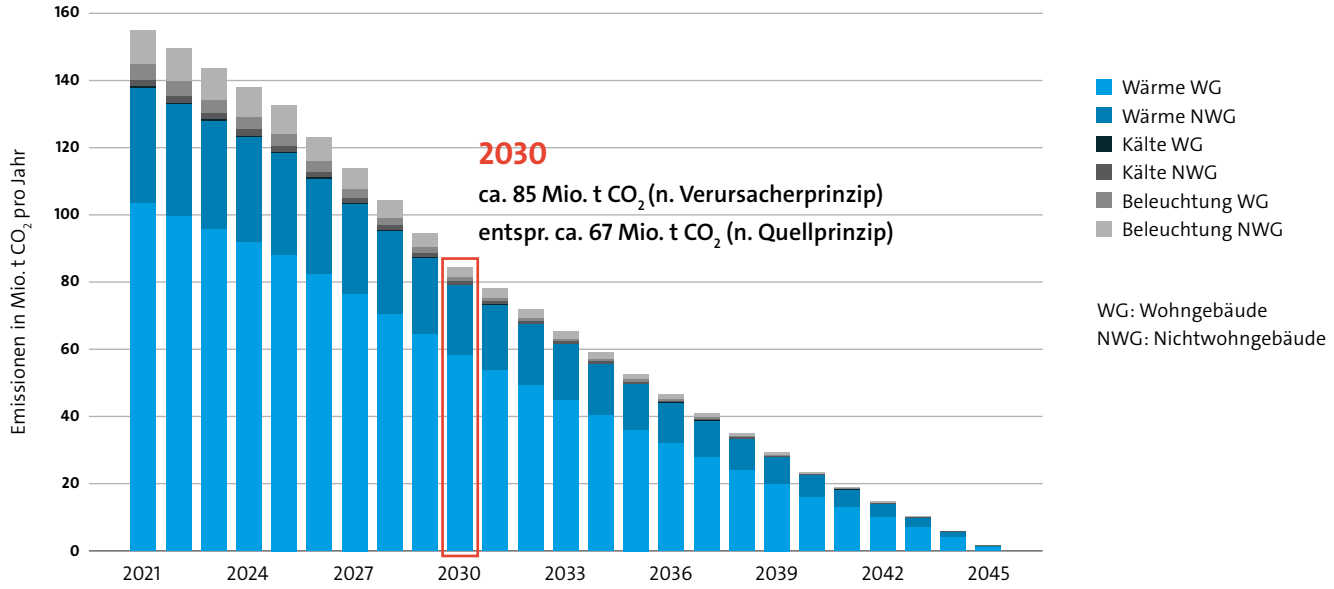
Quelle: Borderstep Institut (2021), basierend auf Dambeck et al. 2021

Abbildung 8: Gebäudebezogener Energiebedarf für Wärmeerzeugung nach Energieträger

Unter der Verwendung der CO_2-Faktoren für fossile Brennstoffe (Juhrich, 2016) sowie zeitlich variabler Faktoren für die Bereiche Strom und Fernwärme (Dambeck et al., 2021) können, auf Basis der prognostizierten Energiebedarfe, die jährlichen CO_2-Emissionen des gebäudebezogenen Energieverbrauchs errechnet werden (siehe Abbildung 9). Dabei werden CO_2-Emissionen nach dem sogenannten Verursacherprinzip bilanziert, das heißt dem Gebäudesektor werden nicht nur lokale Emissionen (Verbrennung vor Ort) zugerechnet, sondern auch diejenigen, die durch den Verbrauch von Elektrizität oder Fernwärme (zum Beispiel in Kraftwerken) freigesetzt werden. Deshalb sind die hier dargestellten Emissionen höher als die aus (Dambeck et al., 2021) beziehungsweise dem Klimaschutzgesetz, da diese nach dem Quellenprinzip ermittelt

werden. Nach dem Quellenprinzip wären die Emissionen aufgrund des Verbrauchs von Fernwärme und Elektrizität nicht dem Gebäudesektor zurechenbar. Die Gesamtemissionen, die sich im Gebäudesektor in einem BAU-Szenario dadurch ergeben, sind in Abbildung 9 dargestellt.

Aus der Abbildung wird auch die Bedeutung der verschiedenen Energieträger für die Wärmeerzeugung deutlich, die aktuell für den größten Teil der gebäudebezogenen Treibhausgasemissionen verantwortlich ist (siehe auch Kap. 2.1).



Quelle: Borderstep Institut (2021), Daten angelehnt an Dambeck et. al 2021

Abbildung 9: Prognose der CO_2-Emissionen im Gebäudebereich unter Einhaltung der Klimaziele (KSG 2021) im Jahr 2030

Die bilanzierten Einsparungen werden für jedes Jahr separat berechnet. Da die Emissionen des Gebäudesektors stark fallen (siehe Abbildung 9), werden die Einsparungen in absoluten Zahlen langfristig auch abnehmen.

Annahmen zur Verbreitung von Gebäudeautomation

Gebäudeautomation wird bereits erfolgreich für Energieeinsparungen im Gebäudebereich eingesetzt. Insbesondere im Teilsektor der Nicht-Wohngebäude kann von einer Verbreitung von ca. 28 Prozent im Bestand ausgegangen werden, da gewerbliche Bürogebäude häufiger mit zentralen und geregelten Heizungs- und Lüftungsanlagen ausgestattet sind. In diesem Teilsektor wird mehr in Lüftungs- und Klimatisierungstechnik investiert als in Wohngebäuden (Waide, 2019).

Im Teilsektor der Wohngebäude wird dagegen von einer weitaus geringeren Verbreitung (aktuell ca. 3 Prozent) ausgegangen. Dabei unterscheiden sich die Systeme fundamental in ihrem Funktionsumfang und den erzielbaren Effizienzsteigerungen. In den letzten Jahren hat die Verbreitung von Smart Home Systemen in Privathaushalten zwar zugenommen[38], diese unterstützten jedoch in vielen Fällen nicht die in der DIN EN 15232 definierten Funktionen (zum Beispiel zentrale Kesselsteuerung). Es kann daher nicht immer automatisch davon ausgegangen werden, dass durch ihren Einsatz Energieeinsparungen und Emissionsminderungen gemäß der GA-Effizienzklassen der DIN EN 15232 erzielt werden.

Nach der Untersuchung von (Waide, 2019) ist davon auszugehen, dass die Klasse C den überwiegenden Teil der Gebäude ausmacht. Allerdings sind auch Gebäude mit Automationssystemen der Klasse D (noch geringere Einsparpotenziale gegenüber Klasse C) sowie Gebäude mit Systemen der Klasse B im Bestand vorhanden. Die Klasse A ist aktuell sehr wenig verbreitet, jedoch wird im Nicht-Wohngebäudebestand auch heute schon eine etwas höhere Durchdringung durch diese Klasse angenommen. In der Praxis existieren jedoch Gebäude mit sehr hohen Einsparpotenzialen (Klasse D wird mit Klasse A ausgestattet) oder niedrigeren Potenzialen (Klasse B). Im Durchschnitt werden daher die Einsparpotenziale angesetzt, die der Steigerung der Gebäudeautomation von Klasse C nach Klasse A entsprechen.

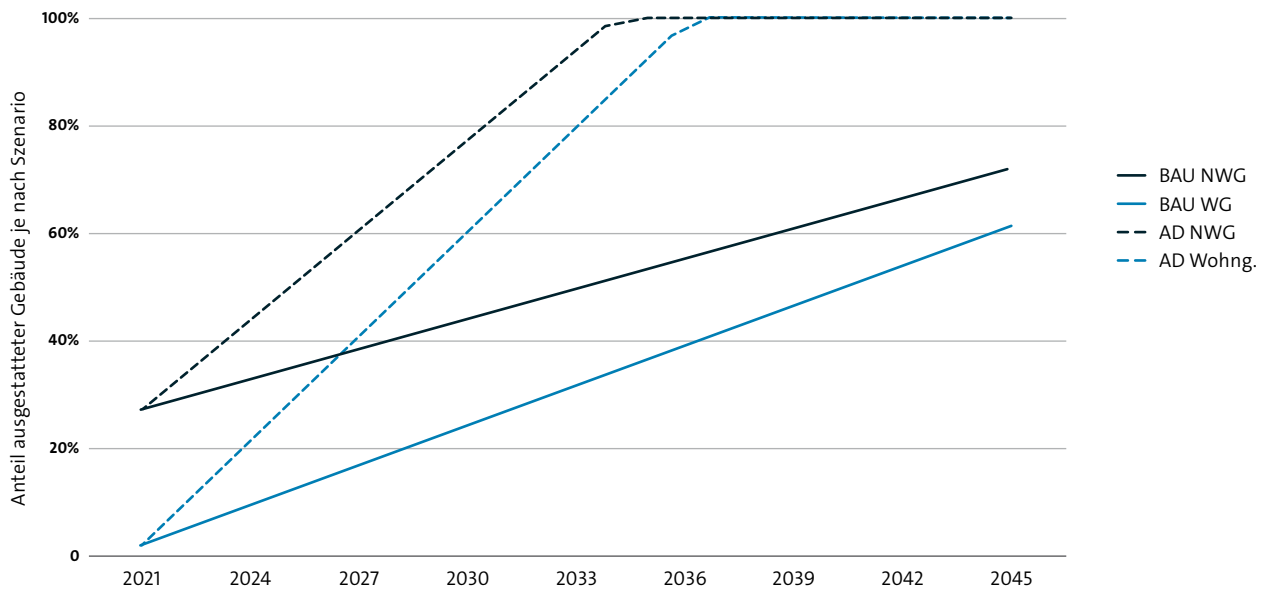
Die zukünftige Verbreitung von Gebäudeautomation hängt von einer Vielzahl politischer, rechtlicher und wirtschaftlicher Faktoren ab (siehe Kap. 3.1). Für die Berechnung der nachfolgenden Szenarien werden daher vereinfacht unterschiedlich hohe Verbreitungsgrade für Gebäudeautomation im Wohn- sowie im Nicht-Wohngebäudesektor angenommen (siehe Abbildung 10). Die Szenariotypen (BAU und AD) unterscheiden sich daher nur in der Geschwindigkeit, mit der eine Ausrüstung des Gebäudesektors durch Gebäudeautomation erfolgt.

Im Business-as-Usual(BAU)-Szenario wird davon ausgegangen, dass im Jahr 2030 ca. 44 Prozent der Nicht-Wohngebäude mit einer Gebäudeautomation der Klasse A oder gleichwertig ausgestattet sind (entspricht ca. 1,8 Prozent der Nichtwohngebäude pro Jahr). Im Wohngebäudebereich wird davon ausgegangen, dass der Anteil zum gleichen Zeitpunkt bei ca. 25 Prozent liegen wird (entspricht ca. 2,4 Prozent pro Jahr). Für die Folgezeit bis zum Jahr 2045 wird davon

38 Siehe oder etwa ↗ **https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Home-Smart-Home-Jeder-Vierte-ist-auf-dem-Weg-zum-intelligenten-Zuhause.html** oder ↗ **https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Smart-Home-Studie-2020** (Abruf August 2021)

ausgegangen, dass sich der Anteil der mit Gebäudeautomation ausgestatteten Nicht-Wohngebäude auf 80 Prozent erhöht, während der Anteil der Wohngebäude dann bei rund 74 Prozent liegt.

Im Ambitionierten-Digitalisierungs(AD)-Szenario wird davon ausgegangen, dass bereits 2030 ca. 85 Prozent der Nicht-Wohngebäude mit einer Gebäudeautomation der Klasse A oder gleichwertig ausgestattet sind (entspricht ca. 6,4 Prozent der Nichtwohngebäude pro Jahr). Für den Wohngebäudesektor wird in diesem Szenario im Jahr 2030 eine Verbreitung von 40 Prozent angenommen (entspricht ca. 6 Prozent der Wohngebäude pro Jahr). In den Folgejahren bis 2045 erhöht sich die Ausstattungsquote in beiden Teilsektoren auf 100 Prozent, wobei dieser im Nicht-Wohngebäudebereich bereits im Jahr 2033 und im Wohngebäudebereich im Jahr 2045 erreicht wird.



BAU: Business-as-Usual-Szenario **AD:** Ambitionierte Digitalisierung **WG**: Wohngebäude **NWG:** Nichtwohngebäude

Quelle: Borderstep Institut (2021)

Abbildung 10: Mögliche Verbreitung von Gebäudeautomation

In beiden Szenarien wird davon ausgegangen, dass die Gebäudeautomation ergänzend zu weiteren Maßnahmen der Effizienz und der Energiewende (zum Beispiel Modernisierung von Heizungen, Dekarbonisierung von Energieträgern und baulicher Sanierung) eingesetzt wird und somit in Summe das Ziel der Emissionsfreiheit des Gebäudesektors bis zum Jahr 2045 erreicht werden kann.

3.1.2 Reduktion des Wärmebedarfs (Raumheizung und Trinkwarmwasser)

Beschreibung des Einsatzfeldes

Die Gebäudeautomation wird in diesem Einsatzfeld zur Reduktion des Wärmebedarfs und des Energieverbrauchs von Gebäuden durch eine intelligente Heizungssteuerung eingesetzt (siehe auch Exkurs). Dies wird durch den Einsatz von Systemen gewährleistet, die die Funktionen der GA-Effizienzklasse A gemäß DIN EN 15232 erfüllen. Neben den Funktionalitäten der GA-Effizienzklasse B müssen die Systeme u. a. einen bedarfsgeführten Betrieb von Heizungs-,Lüftungs- und Kima(HLK)-Anlagen (zum Beispiel sollwertgesteuerte Regelung je nach Belegungsgrad, Luftqualität usw.) und zusätzlich integrierter Funktionen für eine gewerkeübergreifende Zusammenwirkung von HLK und sonstiger Gebäudetechnik (z. B. Elektrik, Beleuchtung, Verschattung) ermöglichen (DIN EN 15232, 2017). Gemäß der DIN EN 15232 dürfen für den Einsatz von GA-Systemen der Klasse A in Wohngebäuden 19 Prozent und in Nicht-Wohngebänden je nach Typ zwischen 14 Prozent und 50 Prozent Energieeinsparungen bei der Wärmeenergie gegenüber der Klasse C (Standard) angesetzt werden (siehe auch Kap. 2.2).

Diese Faktoren aus der DIN EN 15232 werden genutzt, um Energieeinsparungen von Wärme bei der Raumheizung sowie beim Trinkwarmwasser im Gebäudebestand zu berechnen. Auf Basis der Einsparungen an Endenergie wiederum werden mit dem durchschnittlichen Emissionsfaktor des Brennstoff-Mix in den jeweiligen Jahren Treibhausgas-Reduktionspotenziale ermittelt.

Exkurs: Reduktion des Wärmebedarfs durch Optimierung und Monitoring von Heizungsanlagen

Eine Herausforderung für die Senkung des Energieverbrauchs in Wohngebäuden ist, dass die Betriebsführung von Heizungsanlagen nur selten überwacht wird. Zwar müssen nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) eine regelmäßige Wartung und nach Immissionsschutzgesetz (BimSchG) regelmäßige Messungen und Kontrollen zum Schadstoffausstoß stattfinden. Es besteht jedoch keine Pflicht, die Auslegung der Heizung für ein Gebäude in Bezug auf Größe und Leistung zu überprüfen beziehungsweise die Effizienz einer Heizungsanlage im Betrieb regelmäßig zu kontrollieren. In den meisten Bestandsanlagen werden auch kaum oder wenige Messdaten zum Beispiel zu Vor- und Rücklauftemperatur, Wärmemengen oder Durchflussmengen erfasst. Eine kontinuierliche Überwachung von Anlagen und ihrer Effizienz ist daher nicht möglich, und Fehlfunktionen oder Fehleinstellungen von Heizungen fallen oft lange nicht auf. Sie führen so über die Laufzeit von mehreren Jahren zu Ineffizienzen, die sich in Form höherer Betriebs- und Servicekosten auswirken können.

Eine Optimierung der Betriebsführung von Heizungsanlagen für mehr Energieeffizienz (zum Beispiel Anpassung der Kennlinie oder der Vorlauftemperatur) wird zudem oft nicht vorgenommen (Hermann & et al., 2019). Hierfür können verschiedene Gründe verantwortlich sein. So erfordert das Justieren von Anlagen (Heizkessel, Pumpen, Verteilung, Ventile etc.) technische Detailkenntnis und Erfahrung. Neueinstellungen können zur Folge haben, dass die Nutzenden oder Bewohnenden des Gebäudes nach der Veränderung weniger zufrieden sind als vorher, da Heiz- und Lüftungsgewohnheiten an die neuen Einstellungen angepasst werden müssen.

Exkurs: Reduktion des Wärmebedarfs durch Optimierung und Monitoring von Heizungsanlagen

Abhilfe können in solchen Fällen grundlegende Funktionen einer Gebäudeautomation schaffen, mit denen eine Analyse und ein regelmäßiges Monitoring zentraler Betriebs- und Verbrauchsparameter von Heizungsanlagen erfolgen. Mit der Technik können Fehler und Ineffizienzen im Betrieb der Anlagen entdeckt und behoben werden. Sie trägt somit auch zur Transparenz des Heizenergieverbrauchs in Gebäuden bei. Schließlich lassen sich damit auch Ausfälle und Fehlfunktionen der Anlagen rascher identifizieren.

Die Optimierung und das Monitoring von Heizungsanlagen sind ein Grundbestanteil zahlreicher GA-Angebote und bestehen meist aus Sensorik (zum Beispiel zur Temperatur-, Durchfluss- oder Drehzahlmessung), Aktorik (zum Beispiel steuerbare Ventile oder Durchflussbegrenzer) und Software, die über Schnittstellen mit der Heizungssteuerung sowie externen Plattformen verbunden sind. Die Systeme können sowohl zur Analyse (zum Beispiel Abweichungs- und Mustererkennung) als auch zur kontinuierlichen Beobachtung und Anlagensteuerung verwendet werden. Sie werden entweder in Eigenregie (zum Beispiel durch Wohnungsunternehmen) oder durch Dienstleister betrieben.

Quelle: Techem

Abbildung 11: Über einen digitalen Leitstand können Energieeffizienzpotentiale ermittelt werden.

Lösungen für die Optimierung und das Monitoring von Heizungsanlagen werden sowohl von Anbietern von Gebäudeautomation als auch von Energie- und Messdienstleistern angeboten. Ebenso gibt es Überschneidungen zu proprietären Lösungen der Heizkesselanbieter, die ebenfalls digitale Dienste und Schnittstellen zur Steuerung ihrer Geräte zur Verfügung stellen.

Die auf dem Markt angebotenen Lösungen werden bisher schwerpunktmäßig in Nicht-Wohngebäuden und in größeren Mehrfamilienhäusern eingesetzt. Dies liegt daran, dass größere Heizungs- und Klimatisierungsanlagen in diesen Gebäuden oft über entsprechende Mess- und Steuerungstechnik zur Überwachung verfügen und von Dienstleistern betreut werden. In Ein- und Zweifamilienhäusern stellen die Lösungen die Ausnahme dar, obwohl hier in Summe ein erhebliches Energieeinsparpotenzial und damit auch eine große Klimaschutzwirkung gesehen wird.

Das Gesamtpotenzial einer Optimierung und des Monitorings von Heizungsanlagen ist schwer abzuschätzen. Im Gebäudebestand ist eine große Anzahl von Heizungsanlagen unterschiedlichen Baualters und unterschiedlicher Bauart installiert. Diese Anlagen müssen auf den Gebäudetyp, die Gebäudetechnik und die Nutzung hin optimiert werden. In dem Forschungsvorhaben BaltBest[39], das sich mit dem Einfluss von Gebäudetechnik, einer optimierten Betriebsführung und dem Heizverhalten von Mietenden befasst, wird nach ersten Zwischenergebnissen davon ausgegangen, dass der Gesamtverbrauch einer Immobilie (mehrgeschossiger Wohnungsbau) durch wenige Vielverbraucher um durchschnittlich 10 Prozent erhöht wird[40]. Im Umkehrschluss ließe sich damit durch ein gezieltes Monitoring und Anreize für die Vielverbraucher der Gesamtverbrauch um 10 Prozent senken. Durch eine Optimierung der Anlageneinstellung (zum Beispiel Vorlauftemperatur, Heizkurve und Zeitprogramme) können im Schnitt dagegen 5 Prozent des Energieverbrauchs und der Heizkosten eingespart werden[41].

39 Siehe ↗ **https://www.energieeffizient-wohnen.de/baltbest** (Abruf August 2021)

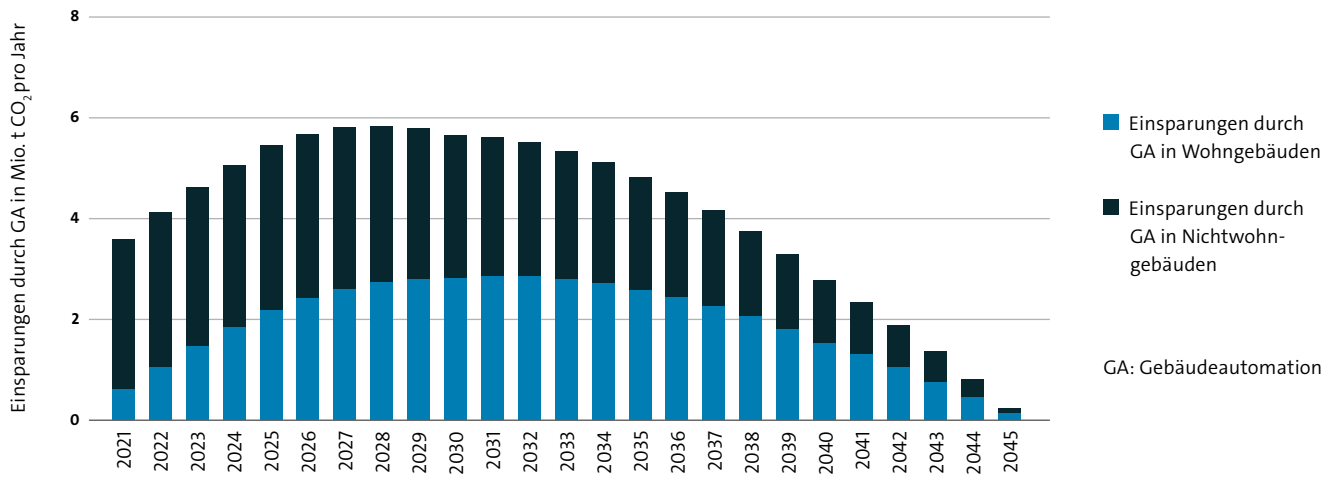
40 Siehe ↗ **https://www.gdw.de/media/2021/02/pm-08-21_forschungsprojekt-baltbest.pdf** (Abruf August 2021)

41 Siehe ↗ **https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/heizen-und-warmwasser/heizung-optimieren-und-heizkosten-sparen-30096** (Abruf August 2021)

Berechnung

Aufgrund des Wärmebedarfs in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden werden in diesem Sektor aktuell noch immer sehr hohe Treibhausgasemissionen verursacht. Diese werden jedoch aufgrund der zunehmenden Versorgung mit regenerativen Energien sowie des Einsatzes von Wärmepumpen und Effizienzsteigerungen, wie beispielsweise auch durch die Digitalisierung, in den nächsten Jahren stark zurückgehen. Auch insgesamt soll der Bedarf an Wärme zurückgehen, wodurch der Umstieg auf regenerative Energien erleichtert wird.

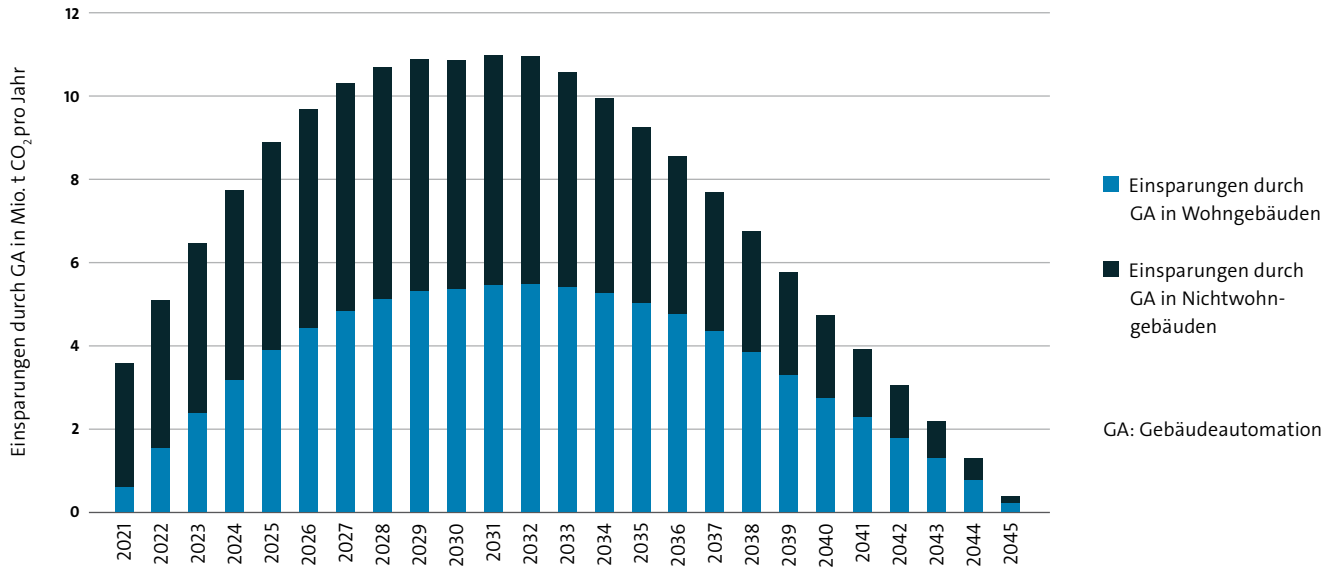
Durch den Einsatz von Gebäudeautomation ergeben sich im Wärmebereich (siehe Abbildung 8) sehr hohe Energieeinspar- und CO_2-Minderungspotenziale. Im BAU-Szenario werden im Jahr 2030 Einsparungen in Höhe von 2,8 Millionen t CO_2-Emissionen in Wohngebäuden und 2,9 Millionen t CO_2-Emissionen im Bereich der Nicht-Wohngebäude erreicht, in Summe ca. 5,7 Millionen t CO_2 (siehe Abbildung 12).



Quelle: Borderstep Institut 2021

Abbildung 12: CO_2-Minderungspotenziale im Gebäudesektor (Wärme) im BAU-Szenario

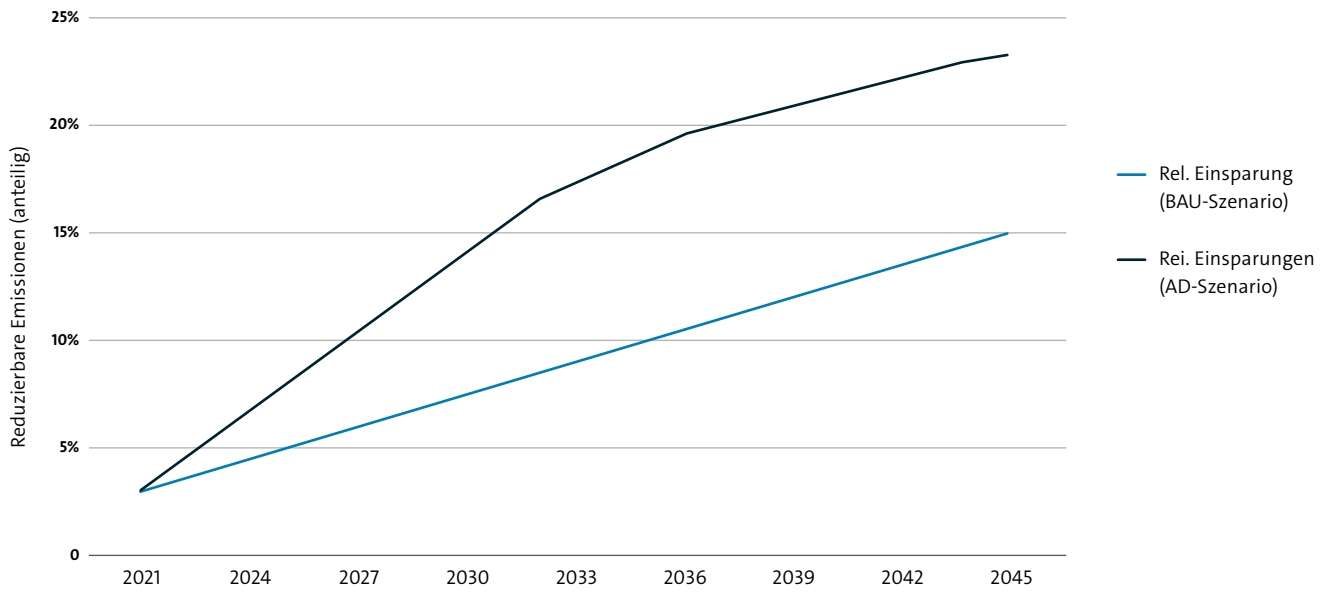
Wird eine stärkere Verbreitung der Gebäudeautomation angenommen (AD-Szenario), so kann das CO_2-Minderungspotenzial in Wohngebäuden auf ca. 5,3 Millionen t CO_2 und im Nicht-Wohngebäudebereich sogar auf 5,5 Millionen t CO_2 erhöht werden (siehe Abbildung 13).



Quelle: Borderstep Institut 2021

Abbildung 13: CO_2-Minderungspotenzial im Gebäudesektor (Wärme) im AD-Szenario

Im längerfristigen Verlauf nehmen die jährlichen Reduktionspotenziale aus dem Einsatz der Gebäudeautomation zur Reduktion des Wärmebedarfs wieder ab. Dies liegt daran, dass die Gesamtemissionen im Gebäudesektor aufgrund weiterer Maßnahmen (zum Beispiel Zunahme der Gebäudedämmung und verstärkter Einsatz erneuerbarer Energien) stark zurückgehen (siehe Abbildung 9). Die anteiligen (relativen) Minderungspotenziale durch die Gebäudeautomation nehmen mit der Verbreitung der Technik dagegen noch weiter zu (siehe Abbildung 14).



Quelle: Borderstep Institut 2021

Abbildung 14: Anteilige CO_2-Minderungspotenziale im Verhältnis zu den Gesamtemissionen

3.1.3 Reduktion des Energiebedarfs für Kühlung und Beleuchtung

Beschreibung des Einsatzfelds

In diesem Einsatzfeld wird die Gebäudeautomation genutzt, um den Stromverbrauch in Gebäuden in den Bereichen Kühlung und Beleuchtung zu reduzieren. Funktionen der intelligenten Steuerung von Stromverbrauchern werden ebenfalls in der DIN EN 15232 beschrieben (siehe auch Exkurs).

Grundsätzlich sind die CO_2-Minderungspotenziale aus der intelligenten Steuerung elektrischer Verbraucher derzeit niedriger als die aus der Reduktion des Wärmebedarfs. Dies liegt vor allem daran, dass Wärmeenergie einen wesentlich größeren Anteil des Gebäudeenergiebedarfs ausmacht sowie daran, dass mittlerweile ein großer Anteil (>50 Prozent) des Stroms aus regenerativen Quellen wie Wind, Sonne etc. erzeugt wird (siehe auch Kap. 1.1). Dieser Anteil wird sich in den nächsten Jahren durch die Energiewende vergrößern. Für eine vollständige Dekarbonisierung des Wohngebäudesektors und einen effizienten Umgang mit Energie ist jedoch auch die Höhe des Strombedarfs von großer Relevanz. Für den Gebäudebetrieb sind hier vor allem die

Bereiche Beleuchtung und Kühlung von Bedeutung. Im folgenden Abschnitt werden die Potenziale in diesen Segmenten für Deutschland untersucht, die sich auf Basis der Einsparungen in der DIN EN 15232 ergeben.

Exkurs: Intelligente Verschattungs- und Sonnenschutzvorrichtungen zur Reduktion thermischer Verluste sowie des Kühlbedarfs

Die Hülle eines Gebäudes hat großen Einfluss auf seinen Bedarf an Wärme beziehungsweise Kälte. Dies wird zum einen durch den Gebäudekörper (Bauweise (Mauerwerk, Holzbau etc.)) und seine Fenster- und Dachflächen bestimmt. Zum anderen wird der Bedarf auch über die passiven Wärmeeinträge und -gewinne durch die Hülle bestimmt. Auch hier können durch digitale Techniken große Klimaschutzpotenziale mobilisiert werden. Ein Beispiel hierfür sind intelligente Verschattungs- und Sonnenschutzvorrichtungen. Hierzu zählen Jalousien, Raffstores, Rollläden oder Markisen, die abhängig von der Sonneneinstrahlung und Innentemperatur des Gebäudes die solaren Einträge in ein Gebäude beeinflussen. So kann zum Beispiel durch außenliegende Jalousien und Raffstores im Sommer (hohe solare Einstrahlung, steiler Einfallswinkel) der Kühlbedarf eines Gebäudes durch Verschattung reduziert werden. Dies spielt insbesondere bei Bürogebäuden mit hohen Glasanteilen in der Fassade eine große Rolle.

Im Winter (geringere Einstrahlung, flacher Einfallswinkel) können Jalousien und Raffstores dagegen so eingestellt werden, dass sie eine höhere Einstrahlung durch die tieferstehende Sonne zulassen. Dadurch können die solaren Wärmegewinne im Gebäude erhöht und der Heizbedarf verringert werden. Rollläden und Jalousien können in Winternächten dagegen nachts geschlossen und so hohe thermische Verluste über die Glasflächen verringert werden.

Besonders effektiv sind die Systeme, wenn sie mit einer zentralen Gebäudesteuerung beziehungsweise Gebäudeautomation verbunden sind. Sie können dann in Abstimmung mit Wärme- und Kältequellen, Belüftung und Beleuchtung gesteuert werden und als eine von mehreren Optimierungsgrößen in das Energiemanagement einbezogen werden. Dies ist auch in der Norm DIN EN 15232 zur Gebäudeautomation vorgesehen (siehe Kap. 2.2). Demnach kann zum Beispiel eine automatische Jalousiesteuerung in Wohn- beziehungsweise Nicht-Wohngebäuden bei der Ermittlung der Effizienzklasse der Gebäudeautomation berücksichtigt werden. Bisher kommen Verschattungs- und Sonnenschutzvorrichtungen vor allem in Nicht-Wohngebäuden zum Einsatz, in denen zentral gesteuerte Heizungs- und Lüftungsanlagen beziehungsweise eine Gebäudeautomation installiert sind. Wenig verbreitet ist die Technik dagegen in Wohngebäuden, obwohl sie auch dort großes Potenzial besitzt. Vereinzelt kommt die Technik (auch in Kombination mit Smart-Home-Technik) in hochwertigen Wohnimmobilien zum Einsatz. Sinnvoll ist, sie bei der energetischen Planung im Rahmen einer Sanierung oder eines Neubaus zu berücksichtigen, denn insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass Verschattungs- und Sonnenschutz-vorrichtungen in den nächsten Jahren an Bedeutung zunehmen werden.

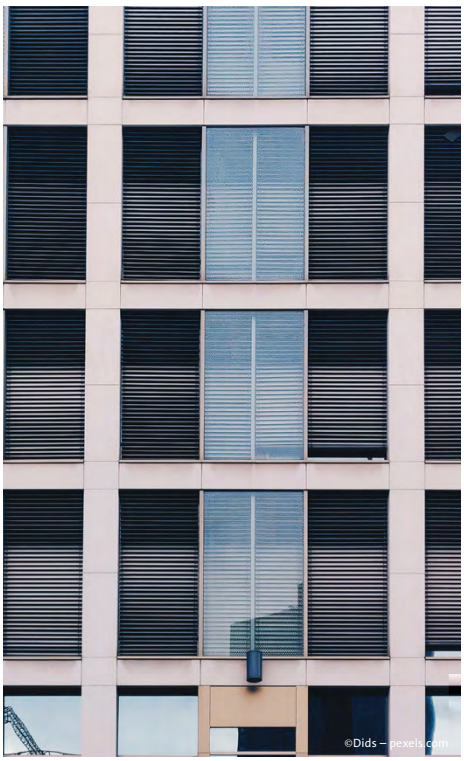


Abbildung 15: Sonnenschutzvorrichtung vor einem Bürogebäude

Exkurs: Intelligente Verschattungs- und Sonnenschutzvorrichtungen zur Reduktion thermischer Verluste sowie des Kühlbedarfs

Aufgrund des Klimawandels und höherer solarer Einstrahlung in den Sommermonaten wächst der Bedarf an Kühlung sowohl in Nicht-Wohngebäuden als auch Wohngebäuden. Durch eine verstärkte Nutzung der Technik kann daher der Kühlungs- und Klimatisierungsbedarf von Gebäuden verringert und dadurch Energie eingespart werden.

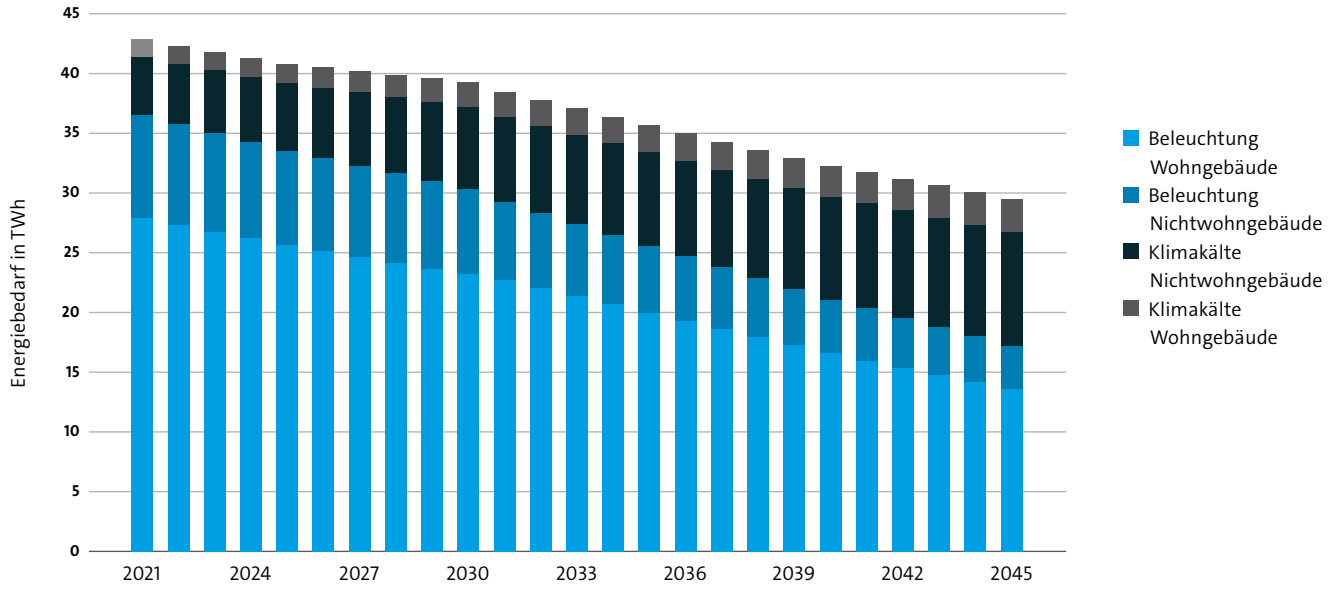
Eine Abschätzung des Klimaschutzpotenzials bedarfsgesteuerter Verschattungs- und Sonnenschutzvorrichtungen ist komplex, da die Einsatzmöglichkeiten der Technik stark von den Vorgaben und dem Zustand eines Gebäudes abhängen (zum Beispiel Anzahl und Größe der Fenster oder der verglasten Flächen, Standort und Ausrichtung zur Sonne, Zweck und Nutzung). Zudem ist die Abschätzung von Einsparungen schwierig, weil sich diese hauptsächlich auf geschätzte Energieverbräuche für zukünftige Kühlungs- und Klimatisierungsbedarfe bezieht.

Beispielrechnungen für Einfamilienhäuser zeigen, dass in idealen Fällen an Hochsommertagen die Raumtemperatur durch außenliegende Sonnenschutzvorrichtungen vor Fenstern um bis zu 10°C und durch innenliegende Systeme um bis zu 6°C gegenüber dem Fall ohne Sonnenschutzeinrichtung abgesenkt werden kann. Daraus wird ermittelt, dass 50 bis 80 Prozent der aufzubringenden Kühlenergie eingespart werden kann beziehungsweise in vielen Fällen auf eine mechanische Kühlung verzichtet werden kann.

Werden die außenliegenden Jalousien dagegen im Winter als temporärer Wärmeschutz (Aktivierung zwischen 22 und 6 Uhr) eingesetzt, so kann dadurch bis zu 10 Prozent an Wärmeverlust durch das Bauteil Fenster verhindert werden[42].

Neben dem sich verbessernden Strommix wird in (Dambeck et al., 2021) auch erwartet, dass durch Effizienzsteigerungen u. a. im Bereich der Beleuchtung die steigenden Bedarfe für Klimakälte im Zusammenhang mit der Klimaveränderung kompensiert werden können, sodass der Strombedarf für Beleuchtung und Kühlung in Gebäuden in Summe bis zum Jahr 2030 leicht sinken wird (Abbildung 16).

42 Alle Beispielrechnungen und Angaben beziehen sich auf Angaben des Industrievereinigung Sonnenschutz-Rollladen-Automation (IVRSA).

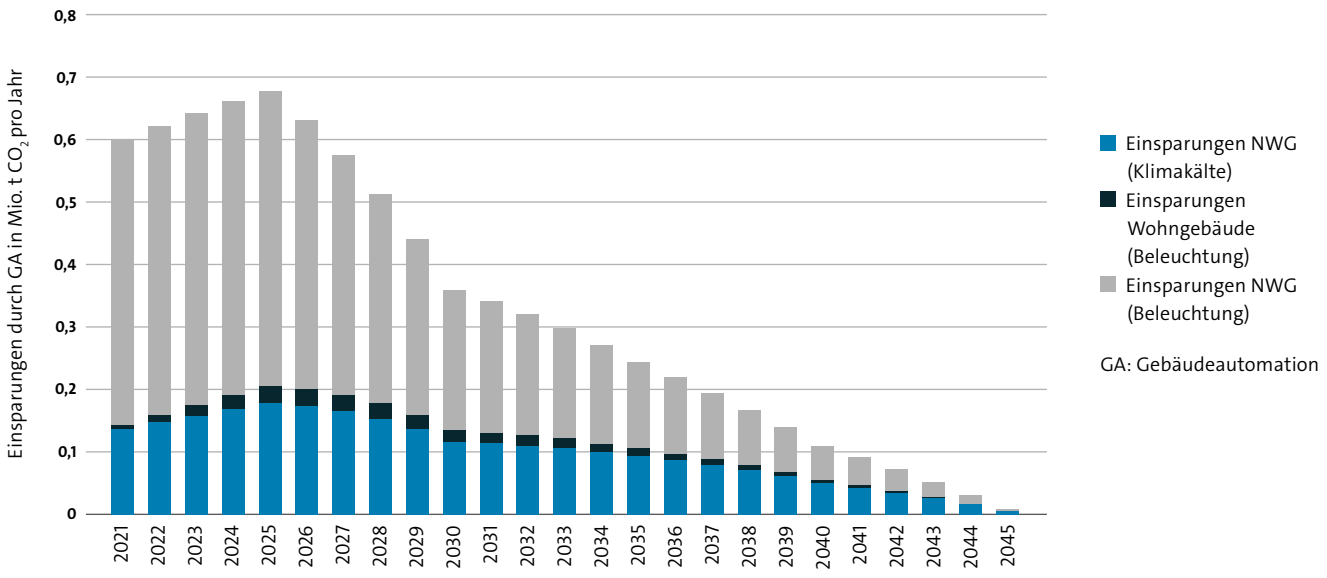


Quelle: Borderstep Institut 2021

Abbildung 16: Endenergiebedarf in den Bereichen Klimatisierung und Beleuchtung von Gebäuden

Ergebnisse der Berechnung

Für die effiziente Steuerung von Beleuchtung und Kühlung mit Gebäudeautomation ergeben sich im BAU-Szenario mittelfristig bis 2025 Einsparpotenziale von ca. 0,68 Millionen t CO_2 pro Jahr (siehe Abbildung 17).

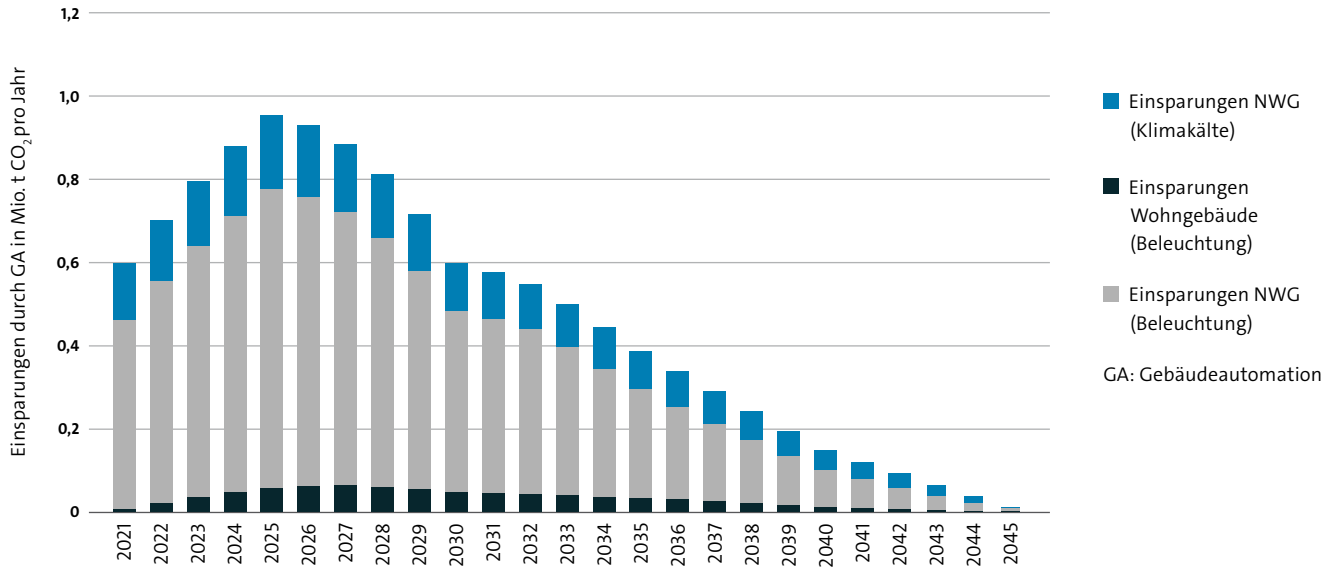


Quelle: Borderstep Institut 2021

Abbildung 17: CO_2-Minderungspotenzial im Bereich der Beleuchtung und Klimatisierung im BAU-Szenario

Das größte Einzelpotenzial liegt dabei in der effizienten Steuerung der Beleuchtung in Nicht-Wohngebäuden gefolgt von der Klimatisierungssteuerung in Nicht-Wohngebäuden und der Beleuchtung in Wohngebäuden.

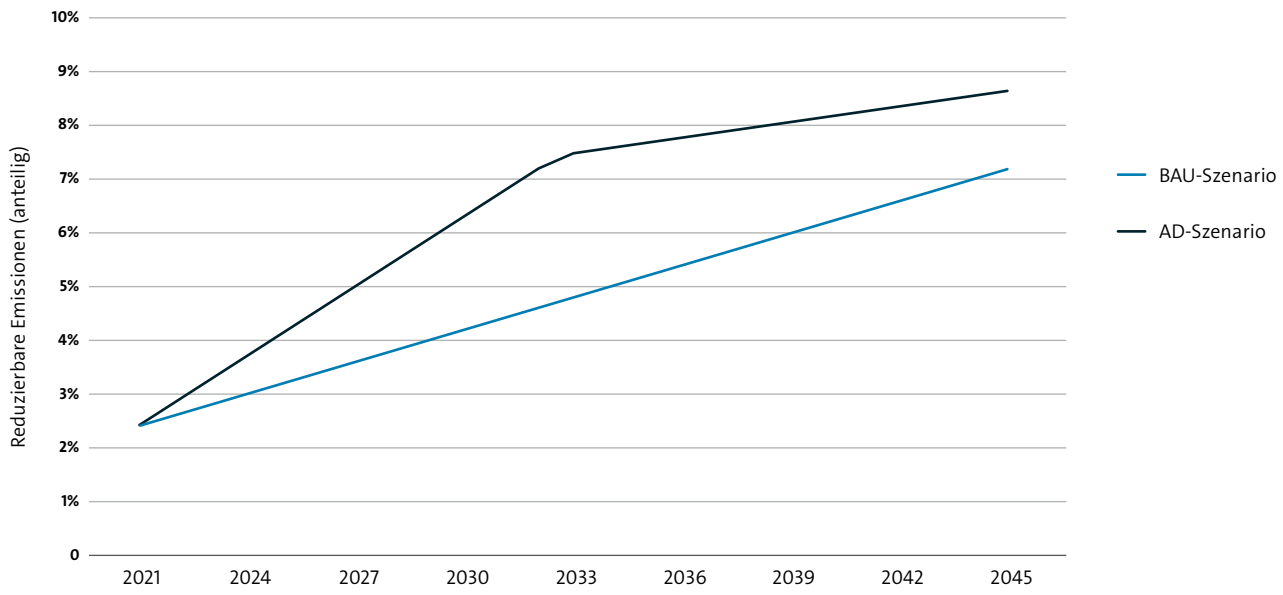
Im AD-Szenario sind diese Potenziale mit ca. 0,7 Millionen t CO_2 pro Jahr etwas höher (siehe Abbildung 18). In beiden Szenarien nehmen die vermiedenen jährlichem Emissionen über den Zeitverlauf etwas ab, da der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung kontinuierlich zunimmt.



Quelle: Borderstep Institut 2021

Abbildung 18: CO_2-Minderungspotenzial im Bereich von Beleuchtung und Klimatisierung im AD-Szenario

Der relative Anteil der durch die Gebäudeautomation vermiedenen CO_2-Emissionen an den Gesamtemissionen dieses Bereichs steigt dagegen mit zunehmender Verbreitung der Technik stetig an, dies wird in Abbildung 19 ersichtlich. Auf längere Sicht nähern sich das BAU- und AD-Szenario an, was daran liegt, dass im AD-Szenario in den Nicht-Wohngebäuden bereits in den 2030er Jahren eine vollständige Verbreitung erreicht ist.



Quelle: Borderstep Institut 2021

Abbildung 19: Relative Reduktion der CO_2-Emissionen im Bereich Beleuchtung und Klimatisierung

3.1.4 Intelligente Sektorenkopplung und Flexibilität

Beschreibung des Einsatzfeldes

Neben den CO_2-Minderungspotenzialen in den Bereichen Wärme, Kühlung und Beleuchtung bestehen im Gebäudesektor weitere Möglichkeiten der Dekarbonisierung, die durch intelligente Sektorenkopplung und Flexibilität (siehe Kap. 2.2) erreicht werden können. Im Folgenden wird Sektorenkopplung, angelehnt an Wietschel et al., 2018, verstanden als:

[...] Prozess der Substitution fossiler Energieträger durch [...] erneuerbar erzeugten Strom oder durch andere erneuerbare Energieträger und nachhaltige Energienutzungsformen, wie die Nutzung von Abwärme, in neuen sektorenübergreifenden Anwendungen oder durch verstärkte Nutzung bekannter sektorenübergreifender Anwendungen [...].

Entscheidend für die intelligente Sektorenkopplung ist, dass der erneuerbar erzeugte Strom je nach Dargebot genutzt wird. Mit dem Voranschreiten der Energiewende und dem stetig wachsenden Anteil variabler, erneuerbarer Stromerzeugung gewinnt somit der zeitlich flexible Stromverbrauch oder die zeitlich flexible Stromerzeugung eine wachsende Bedeutung für die

Dekarbonisierung. Insbesondere durch den flexiblen Betrieb von elektrischen Anlagen wie Wärmepumpen und elektrischen Direktheizungen, die in Zeiten von starker Erzeugung aus Windkraft und Photovoltaik gezielt Überschüsse nutzen und Wärme speichern oder andere Energieträger (zum Beispiel Heizöl, Gas) substituieren, können Emissionen stark reduziert werden.

Im Vergleich zur Elektrizität kann Wärme kurzfristig (Stunden/Tage) sehr kostengünstig, zum Beispiel in Form von Warmwasser, gespeichert werden (Sterner & Stadler, 2019). Eine andere Form der Flexibilität oder Sektorenkopplung liegt beispielsweise vor, wenn Überschussstrom aus erneuerbarer Erzeugung in den Batterien von Elektrofahrzeugen genutzt wird, um die Energie zu einem späteren Zeitpunkt für Mobilität zu nutzen. In beiden Fällen können Emissionen aus fossiler Energieerzeugung reduziert beziehungsweise regenerative Energiequellen besser ausgenutzt werden.

Um die Möglichkeiten von Sektorenkopplung und Flexibilität nutzen zu können, muss der Energiebedarf in Gebäuden mit Eigenerzeugung (zum Beispiel aus Photovoltaik), Speichermöglichkeiten (zum Beispiel Warmwasser oder Batterien/Elektromobilen) mit dem Energieangebot abgeglichen werden. Es handelt sich folglich um dynamische Optimierungsprobleme im Gebäude und im Energienetz, die eine Vernetzung von Energiequellen und -senken in Gebäuden sowie im Energiesystem erfordern. Diese Aufgabe kann durch das Energiemanagement einer Gebäudeautomation erfolgen. Netzseitig sind dafür Signale und Optimierungsmechanismen (zum Beispiel Preissignale und Aggregatoren für Flexibilitäten) notwendig, die Potenziale aus einzelnen Gebäuden mit den Anforderungen des Netzes abgleichen.

Eine solche intelligente Kopplung zwischen dem Energiesystem und dem Gebäudesektor wird bisher erst in Ansätzen erprobt[43]. Dabei zeigt sich jedoch, dass eine zeitlich variable beziehungsweise flexible Nutzung von erneuerbaren Energien große CO_2-Minderungspotenziale in Gebäuden mobilisieren kann (Beucker & Hinterholzer, 2020; Kalz et al., 2018). Die Abschätzung dieser Potenziale ist komplex, und die bestehenden Normen (zum Beispiel DIN EN 15232) machen dazu keine Angaben. Zudem ist dafür der Ausbau einer flächendeckenden Messinfrastruktur notwendig, mit der der in Gebäuden und dem Netz regenerativ erzeugte Überschussstrom erfasst werden kann (siehe Exkurs).

43 Siehe beispielsweise die Forschungsprojekte des vom BMWi initiierten SINTEG-Programms unter:
↗ **https://www.sinteg.de** (Abruf August 2021)

Exkurs: Reduktion des Wärmebedarfs durch Optimierung und Monitoring von Heizungsanlagen

Eine Grundvoraussetzung für Energieeffizienz und Sektorenkopplung ist eine aktuelle Messung aller Energieerzeuger und -Verbraucher. Die Ergebnisse können sowohl für ein Monitoring des Betriebs als auch als Entscheidungsgrundlage für die Steuerung von Anlagen genutzt werden. Aufgrund der Weiterentwicklungen in der Messtechnik sind heute wesentlich präzisere Messungen möglich. Mit neuen, digitalen Zählern können Verbräuche in sehr kurzen Zeitabständen (zum Beispiel Minutentakt) an verteilten Punkten gemessen werden. Diverse Veröffentlichungen haben gezeigt, dass mit Hilfe einer zeitlich aufgelösten Messung des Stromverbrauchs von Haushalten sogar der Energieverbrauch einzelner Geräte relativ genau erfasst werden kann (G. Elafoudi, L. Stankovic, & V. Stankovic, 2014).

Neue, digitale Zähler für Strom werden nach dem Messstellenbetriebsgesetz (MsbG) als moderne Messeinrichtungen (mME) bezeichnet. Umgangssprachlich werden sie auch Smart Meter genannt. Sie werden schrittweise die bestehenden Ferraris-Zähler ersetzen und werden schon seit Jahren beim Einbau von Photovoltaikanlagen oder Ladesäulen für Elektrofahrzeuge installiert, um die Einspeisung von Strom in das Netz oder den Verbrauch messen zu können.

Moderne Messeinrichtungen sollen zudem zukünftig über Smart Meter Gateways (SMGW) in ein Kommunikationssystem der Energiewirtschaft eingebunden werden. Beide Geräte (moderne Messeinrichtung und Smart Meter Gateway) zusammen werden als intelligentes Messsystem (iMSys) bezeichnet.

Die Einführung moderner Messeinrichtungen folgt einem staatlich vorgegebenen Fahrplan. Bis 2032 sollen alle Haushalte mit modernen Messeinrichtungen ausgestattet sein. Weniger strikt ist der Rollout für die Smart Meter Gateways geregelt. Diese werden zunächst nur bei Haushaltskunden mit einem Stromverbrauch von mehr als 6.000 kWh pro Jahr installiert[44].

Oftmals wird das intelligente Messen allein mit Stromzählern verbunden. Für das Energiemanagement in Gebäuden ist aber das Erfassen der Verbräuche von Wärme, Warmwasser sowie Energieträgern (Brennstoffen) noch wichtiger, um den hohen Anteil des Sektors am Endenergiebedarf senken zu können (siehe Kap. 1.1). Im August 2021 hat das Bundeskabinett daher eine Änderung der Verordnung über Heizkostenabrechnung (HeizkostenV) beschlossen. Demnach werden zukünftig nur noch Zähler und Heizkostenverteiler (Heizung und Warmwasser) installiert, die eine Fernauslesbarkeit von Verbrauchsdaten ermöglichen. Bestehende Geräte müssen bis Ende 2026 nachgerüstet oder ersetzt werden. Zusätzlich sollen den Mietenden über die neuen, fernauslesbaren Zähler ab dem Jahr 2022 mindestens einmal monatlich ihre Verbrauchsdaten bereitgestellt werden. Die jährliche Abrechnung muss zudem Informationen über den Brennstoffmix sowie einen Vergleich des aktuellen Heizenergieverbrauchs mit dem des letzten Abrechnungszeitraums enthalten. Nach der Verordnung müssen die neuen Zähler und Heizkostenverteiler interoperabel mit Geräten oder Systemen anderer Anbieter und an ein Smart-Meter-Gateway anbindbar sein[45].

Werden mehrere Medien (Strom, Gas, Wasser etc.) parallel über digitale Infrastrukturen erfasst, so spricht man auch von Multimetering oder Mehrspartenmessung. Für die Erfassungs- und Abrechnungsansätze für Wärme, Warmwasser und Kaltwasser innerhalb von Gebäuden wird zudem der Begriff des Submeterings[46] genutzt, da sich diese Messpunkte innerhalb der Wohnung oder des Hauses und damit hinter dem eigentlichen Hauszähler befinden.

Ihren vollen Nutzen entfalten intelligente Zähler mit der Einbindung in digitale Infrastrukturen (zum Beispiel über ein Smart Meter Gateway und/oder die Gebäudeautomation), denn die Messwerte können im Energiemanagement von Gebäuden vielfältig genutzt werden. So können zum Beispiel zeitaktuelle Messwerte für eine verursachergerechte Abrechnung von Energieverbräuchen (zum Beispiel Strom und Wärme) verwendet

44 Für die Vorgaben und Fristen des Roll-out siehe: ↗ **https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Vportal/Energie/Metering/start.html** (Abruf August 2021)

45 Für die anpasste HeizkostenV siehe ↗ **https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/heizkostenabrechnung-1948020** (Abruf August 2021)

46 Siehe hierzu ↗ **https://www.bundeskartellamt.de/SharedDocs/Publikation/DE/Sektoruntersuchungen/Sektoruntersuchung%20Submetering.pdf?__blob=publicationFile&v=3** (Abruf August 2021)

Exkurs: Reduktion des Wärmebedarfs durch Optimierung und Monitoring von Heizungsanlagen

werden und die Transparenz über den Energieverbrauch und Kosten erhöhen. Ebenfalls genutzt werden können die Messwerte für die bedarfsgerechte Steuerung der Energieversorgung (Wärme und Strom) von Gebäuden. Dies ist insbesondere dann notwendig, wenn mit Hilfe von Gebäudeautomation (siehe Kap. 2.2) verschiedene Energieerzeuger (Heizungsanlagen, PV-Anlagen etc.) und Energieverbraucher beziehungsweise -speicher (Warmwasserspeicher, Batterien etc.) in Gebäuden nach wirtschaftlichen oder energetischen Kriterien haushalts- oder gebäudeweit optimiert werden sollen.

Intelligente Zähler in Gebäuden sind daher eine Schlüsseltechnologie für die nächste Phase der Energiewende, in der Gebäude zunehmend zu einem Ort der Sektorenkopplung (siehe auch Kap. 2.1) und dezentraler Energieversorgungskonzepte werden. In solchen Szenarien können zum Beispiel Elektromobile oder elektrische Heizelemente in Warmwasserspeichern mit einem großen Anteil selbst erzeugten Stroms (zum Beispiel Photovoltaikanlage) betrieben werden, wenn eine Einspeisung in das Netz nur geringe Erlöse erbringt. Ebenso kann Überschussstrom aus der Eigenerzeugung in das öffentliche Netz eingespeist werden, wenn variable Tarife dafür einen Anreiz liefern.

Letztendlich handelt es sich hierbei um Optimierungsaufgaben, die nach unterschiedlichen Zielen (Preis, CO_2-Minimierung etc.) vorgenommen werden können. Während das Energiemanagement für eine Optimierung innerhalb von Gebäuden bereits verwendet wird, hängt die Rolle von Gebäuden als flexible, netzdienliche Einheit langfristig jedoch wesentlich von preislichen oder umweltpolitischen Anreizen ab (zum Beispiel variablen Strompreisen oder CO_2-Vergütungssystemen) (Beucker & Hinterholzer, 2020; Kalz et al., 2018).

Mit der Einführung intelligenter Zähler war auch die Hoffnung verbunden, dass die Transparenz über Stromverbräuche in Haushalten zu einer Verbrauchsreduktion führt. Bisherige Untersuchungen mit Haushalten haben jedoch gezeigt, dass es sich dabei oft um einmalige Effekte handelt und bei einfachen Feedbacksystemen (zum Beispiel zeitaktuelle Anzeige des Verbrauchs) die Reduktion gemittelt über europäische Pilotvorhaben lediglich 2,2 Prozent beträgt. In Deutschland wurden im Schnitt 1,2 Prozent Verbrauchsreduktion ermittelt (Gährs, Weiß, Bluhm, Dunkelberg, & Katner, 2021).

Als sehr viel größer werden dagegen die CO_2-Minderungspotenziale gesehen, die durch eine Flexibilisierung der Energieversorgung von Gebäuden erreicht werden können, da sie den nutzbaren Anteil erneuerbarer Energien durch Umwandlung und Verbrauchsverlagerung deutlich erhöht (Beucker & Hinterholzer, 2020). Diese Potenziale ließen sich durch eine Kombination moderner Messeinrichtungen beziehungsweise intelligenter Messsysteme mit dem Energiemanagement in Gebäuden durch Gebäudeautomation realisieren.

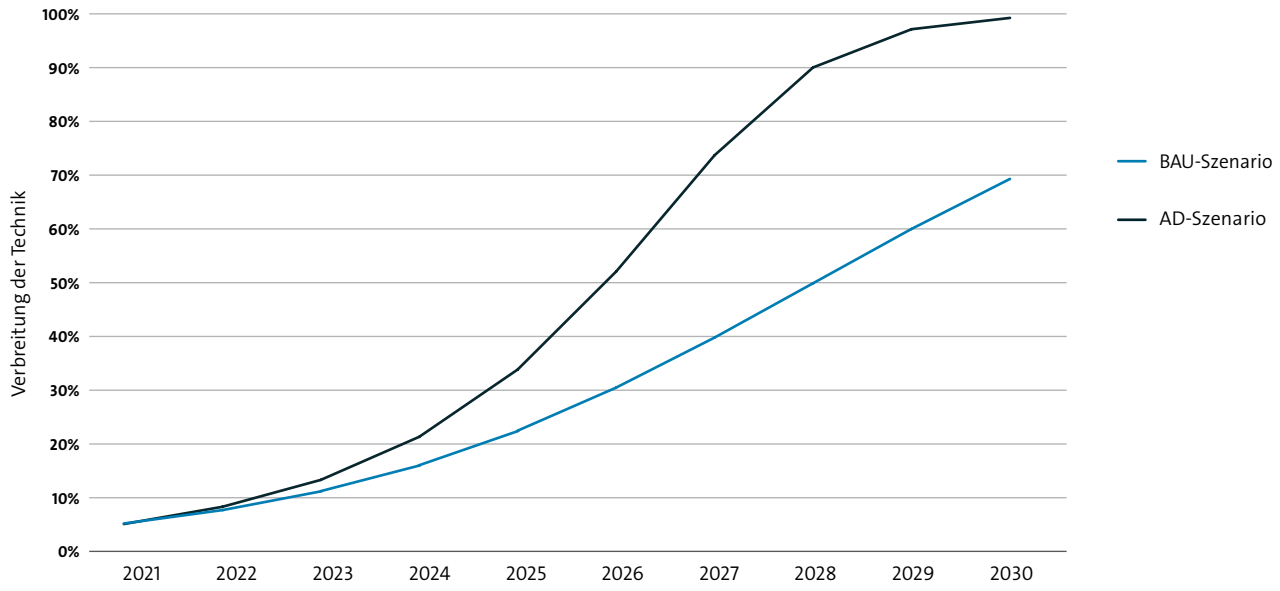
Abbildung 20: Beispiel einer modernen Messeinrichtung

Für die Ermittlung von Szenarien für eine intelligente Sektorenkopplung im Gebäude wird daher zunächst von einer variablen Steuerung von Wärmepumpen und elektrischer Direktheizungen ausgegangen. Mit Hilfe einer frei verfügbaren, zeitlich aufgelösten Prognose der Stromerzeugung im Jahr 2030 (vom Scheidt, Müller, Staudt, & Weinhardt, 2020) werden die Häufigkeit und die energetische Bilanz dieser beiden Power-to-Heat-Anwendungen abgeschätzt. Um eine Konsistenz

der Emissionen im Strombereich mit den beiden anderen Einsatzfeldern herzustellen, werden die Erzeugungszeitreihen (vom Scheidt et al., 2020) jeweils im Verhältnis der installierten Leistung von Photovoltaik und Windenergie im Jahr 2030 skaliert.

Aus diesen Erzeugungszeitreihen, möglichen Überschüssen sowie einer dynamischen Betrachtung (angelehnt an das in der (DIN SPEC 91410-2, 2021) beschriebene Verfahren) werden CO_2-Minderungspotenziale für den Gebäudebestand bestimmt. Anders als bei den Berechnungen in den Abschnitten 3.1.2 und 3.1.3 werden die Potenziale hierfür nicht anhand der Gebäudestruktur (Gebäudealter, Nutzungsarten) berechnet. Stattdessen wird anhand des Anlageninventars an Wärmepumpen und elektrischen Direktheizungen eine Berechnung für den gesamten Gebäudebestand erstellt. Hierzu wird für Deutschland (auf Basis von Bundesverband Wärmepumpe, 2016, 2018) geschätzt, dass im Jahr 2020 ca. 877.000 Wärmepumpen installiert waren. Es wird zudem geschätzt, dass diese Wärmepumpen in Summe einer elektrischen Leistung von ca. 2.500 MW entsprechen und dass diese bis zum Jahr 2030 auf 11.700 MW ansteigt. Außerdem wird angenommen, dass bis zum Jahr 2030 in Deutschland eine Kapazität von elektrischen Speicher- oder Direktheizungen von ca. 15.000 MW zur Nutzung von regenerativen Überschüssen zur Verfügung steht. Diese werden bivalent neben herkömmlichen Erzeugern wie Gas- und Ölkesseln oder fossilen Blockheizkraftwerken (innovative KWK) installiert und können Teile deren Wärmeerzeugung ersetzen. Bei der Ermittlung des möglichen Betriebs wird für jeden Zeitschritt betrachtet, welche Erzeugung aufgrund der Außentemperatur notwendig wäre. Bei der elektrischen Direktheizung wird angenommen, dass diese ausschließlich für Überschüsse genutzt wird. Die maximale elektrische Energie, die in einem Zeitschritt für Power-to-Heat zur Verfügung steht, entspricht dabei den Überschüssen aus Wind- und Sonnenenergie, wobei die Wärmepumpe Priorität vor der elektrischen Direktheizung hat.

Wärmepumpen und elektrische Direktheizungen werden bisher kaum nach dynamischen Signalen aus der Stromversorgung beziehungsweise dem Stromnetz angesteuert. Wie schnell sich diese Art Steuerung etabliert, hängt stark vom Förderregime, dem Rollout moderner Messeinrichtungen sowie der Attraktivität variabler Tarife ab. Deshalb werden für die Verbreitung solcher Steuerungen und variabler Tarife ähnlich wie in den Abschnitten 3.1.2 und 3.1.3 zwei Szenarien hinterlegt (siehe Abbildung 21).

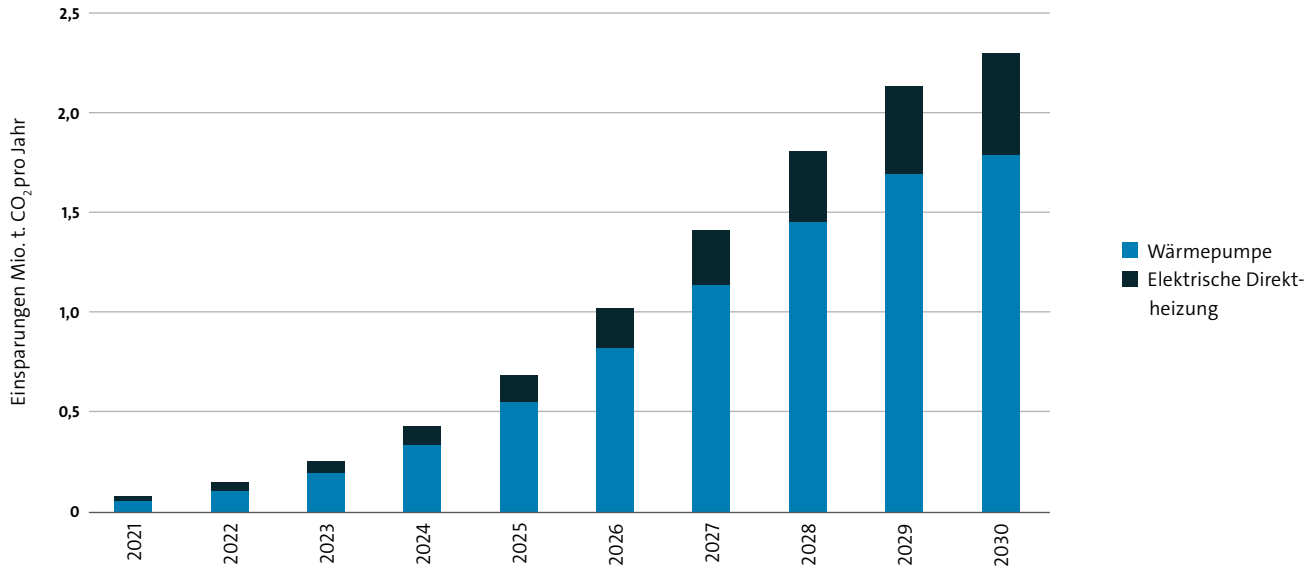


Quelle: Borderstep Institut 2021

Abbildung 21: Dynamische Ansteuerung von Wärmepumpen und elektrischen Direktheizungen

Ergebnisse der Berechnung

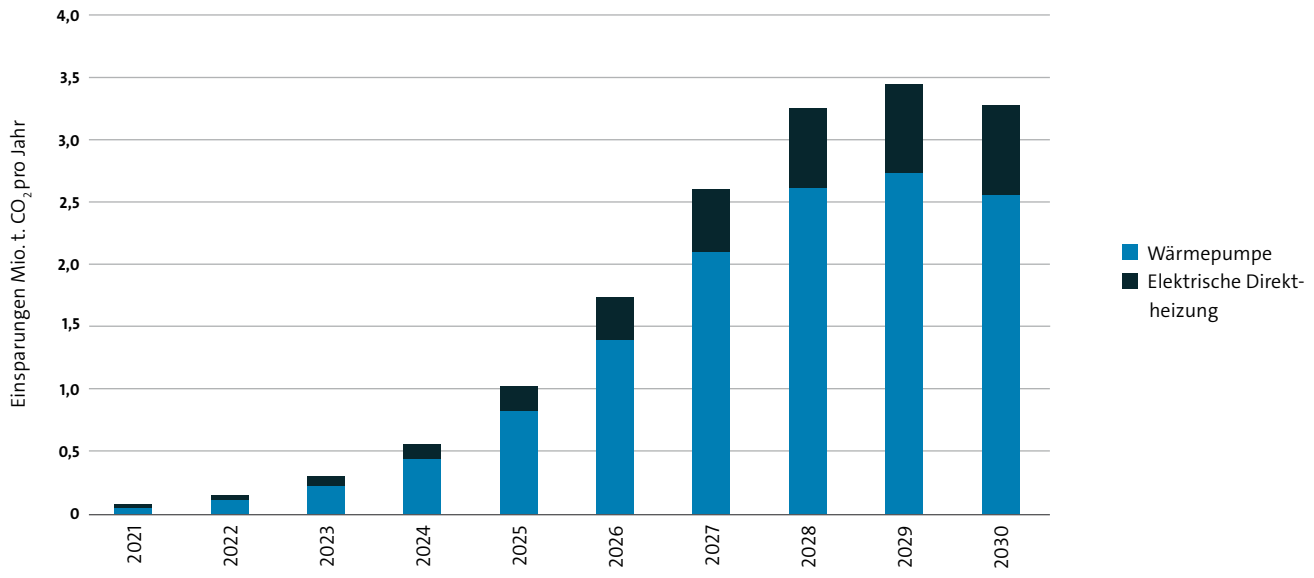
In Abbildung 22 und Abbildung 23 sind die möglichen Reduktionspotenziale durch intelligente Sektorenkopplung in Gebäuden mit Power-to-Heat-Anwendungen dargestellt. Die Einsparpotenziale nehmen mit den Jahren in beiden Fällen stark zu, was an mehreren Effekten liegt. Zum einen steigt mit dem Ausbau regenerativer Energien auch die Anzahl der Stunden pro Jahr, in denen Überschüsse aus Windenergie und Photovoltaik für Wärmepumpen oder elektrische Direktheizungen zur Verfügung stehen. Zum anderen nimmt aufgrund der hohen Neuinstallationen der Wärmepumpen deren Kapazität zu. Vergleichbar zu den vorherigen Szenarien wird auch die Durchdringung mit entsprechenden Regelungsvorrichtungen, welche Signale aus dem Stromnetz empfangen, ansteigen.



Quelle: Borderstep Institut 2021

Abbildung 22: CO_2-Minderungspotenziale durch intelligente Sektorenkopplung mit Power-to-Heat in Gebäuden (BAU-Szenario)

Im BAU-Szenario steigen die Einsparpotenziale auf 2,3 Millionen t CO_2 pro Jahr. Der Großteil davon, ca. 1,79 Millionen t CO_2, resultiert aus der zeitlichen Flexibilität von Wärmepumpen, die auch vor der elektrischen Direktheizung prioritär zur Nutzung von Überschüssen aus regenerativen Energien angesteuert werden.



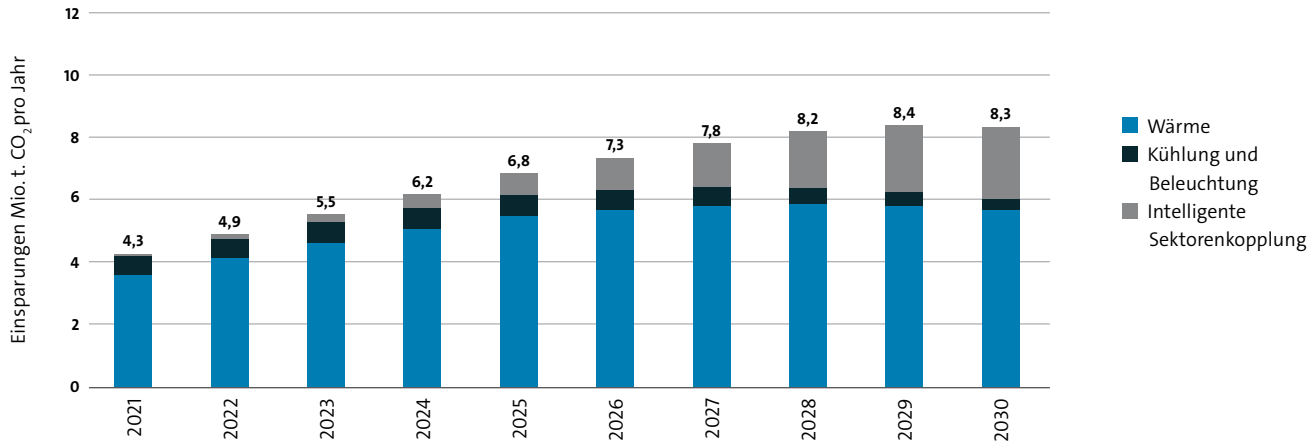
Quelle: Borderstep Institut 2021

Abbildung 23: CO_2-Minderungspotenziale durch intelligente Sektorenkopplung mit Power-to-Heat in Gebäuden (AD-Szenario)

Im AD-Szenario nimmt die Verbreitung schneller zu, was zur Folge hat, dass wesentlich mehr Gebäude mittels einer intelligenten Ansteuerung ihrer Anlagen Überschüsse nutzen und Flexibilität bereitstellen können. Aufgrund der stark rückläufigen Gesamtemissionen sind die Einsparungen jedoch auch im Jahr 2030 mit insgesamt 3,28 Millionen t CO_2 gegenüber dem Jahr 2029 (3,44 Millionen t CO_2) geringer.

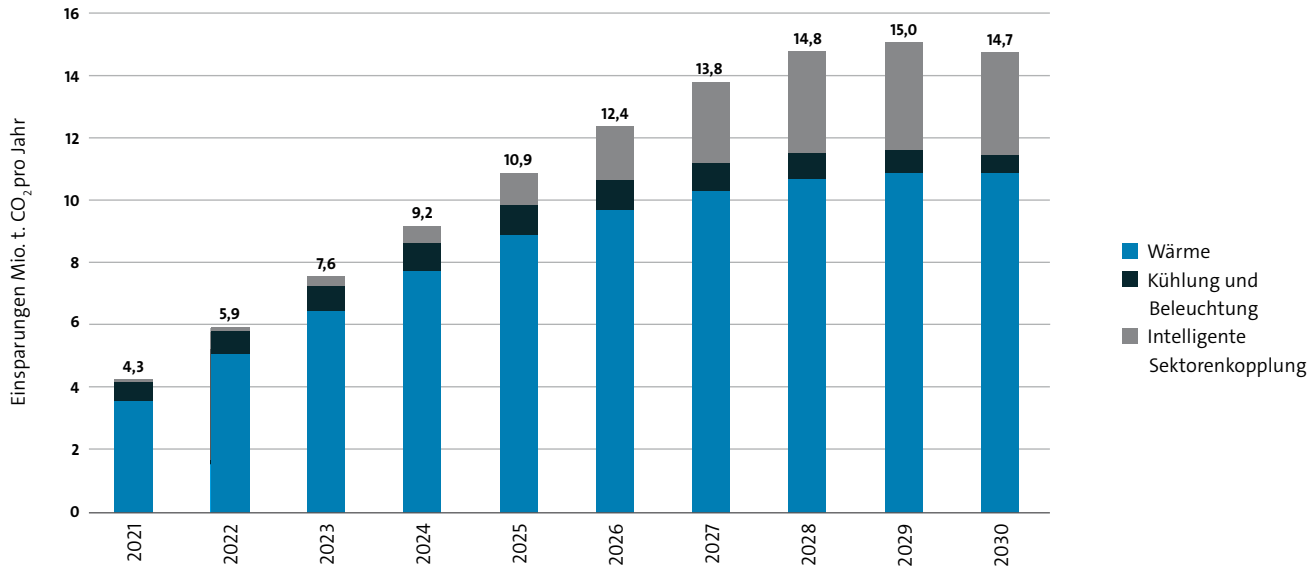
3.2 Bewertung der CO_2-Minderungspotenziale aus dem Einsatz von Gebäudeautomation

Die vorangegangenen Kapitel haben verdeutlicht, dass durch digitale Technologien im Gebäudesektor große CO_2-Minderungspotenziale mobilisiert werden können. Im Folgenden werden die Potenziale aus den Kapiteln 3.1.2, 3.1.3 und 3.1.4 bewertet.



Quelle: Borderstep Institut 2021

Abbildung 24: Gesamte CO_2-Minderungspotenziale BAU-Szenario



Quelle: Borderstep Institut 2021

Abbildung 25: Gesamtes CO_2-Minderungspotenzial AD-Szenario

Summiert man die CO_2-Minderungspotenziale der drei analysierten Einsatzfelder von Gebäudeautomation, so ergeben sich je nach Szenario Minderungspotenziale zwischen 8,3 Millionen t CO_2 (BAU-Szenario, siehe Abbildung 24) und 14,7 Millionen t CO_2[47] (AD-Szenario, siehe Abbildung 25) im Jahre 2030. Akkumuliert man die Potenziale der Jahre 2021 bis 2030, so ergeben sich insgesamt zwischen 67,6 Millionen t CO_2 und 108,5 Millionen t CO_2-Minderung.

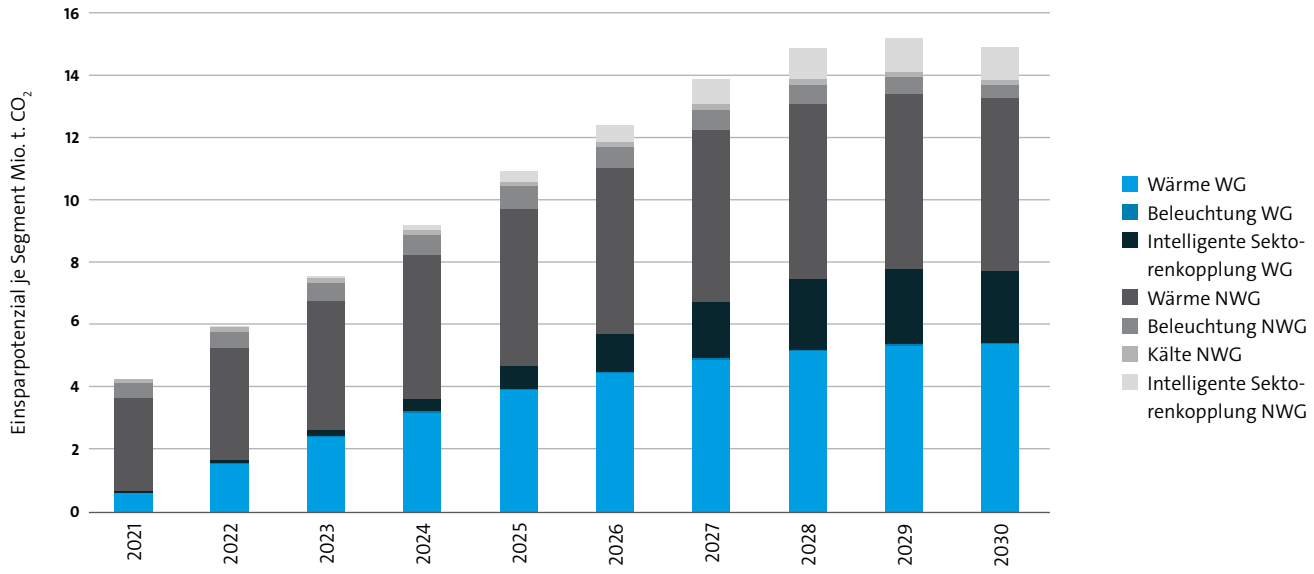
Ein genauerer Blick auf die CO_2-Minderungspotenziale zeigt zudem, dass kurz- bis mittelfristig (bis zum Jahr 2030) der größte Anteil der Energieeinsparung aus der Reduktion des Wärmebedarfs im Gebäudebestand resultiert. An zweiter Stelle stehen die Potenziale, die im Bereich einer flexiblen Energienutzung sowie der Sektorenkopplung gewonnen werden können. Die Einsparungen aus Beleuchtung und Kühlung machen dagegen einen relativ kleinen, aber konstanten Anteil aus.

Längerfristig (bis zum Jahr 2045) nehmen die CO_2-Minderungspotenziale ab (siehe Kap. 3.1.2, 3.1.3 und 3.1.4), da insgesamt eine Dekarbonisierung des Energiesektors erfolgt und dadurch weniger Emissionen ausgestoßen werden. Aber auch diese kleineren Potenziale sind wichtig, um bis zum Jahr 2045 einen CO_2-armen Gebäudebestand zu erreichen.

Es zeigt sich, dass die Einsparungen durch digitale Technologien im Nicht-Wohngebäudesektor (Abbildung 26, blau dargestellt) für die ersten Jahre tendenziell höher sind, da die digitalen Technologien hier bereits stärker verbreitet sind und die Einsparungen in Einzelfällen und in speziellen Typen der Nichtwohngebäude wesentlich höher liegen können. Hier überwiegt stark das Potenzial zur Vermeidung von CO_2 im Wärmebereich. Einsparungen bei der Kühlung und Beleuchtung haben eine verhältnismäßig geringe Bedeutung.

Im flächenmäßig wesentlich größeren Wohngebäudesektor werden die Potenziale dagegen erst später erreicht, wobei mögliche Einsparungen in diesem Sektor in der zweiten Hälfte der 2020er Jahre den Nicht-Wohngebäudebereich sogar übersteigen könnten. Auch hier liegt das mit Abstand größte Potenzial im Wärmebereich, die Beleuchtung spielt mittelfristig keine größere Rolle. Aufgrund des hohen Wärmebedarfs im Wohngebäudebereich können zudem große Potenziale durch intelligente Sektorenkopplung erschlossen werden. Dies hängt wiederum stark von der Verbreitung von Wärmepumpen und Power-to-Heat-Elementen sowie intelligenten Messsystemen und dem Vorhandensein von Anreizsystemen (zum Beispiel variablen Strompreisen) ab.

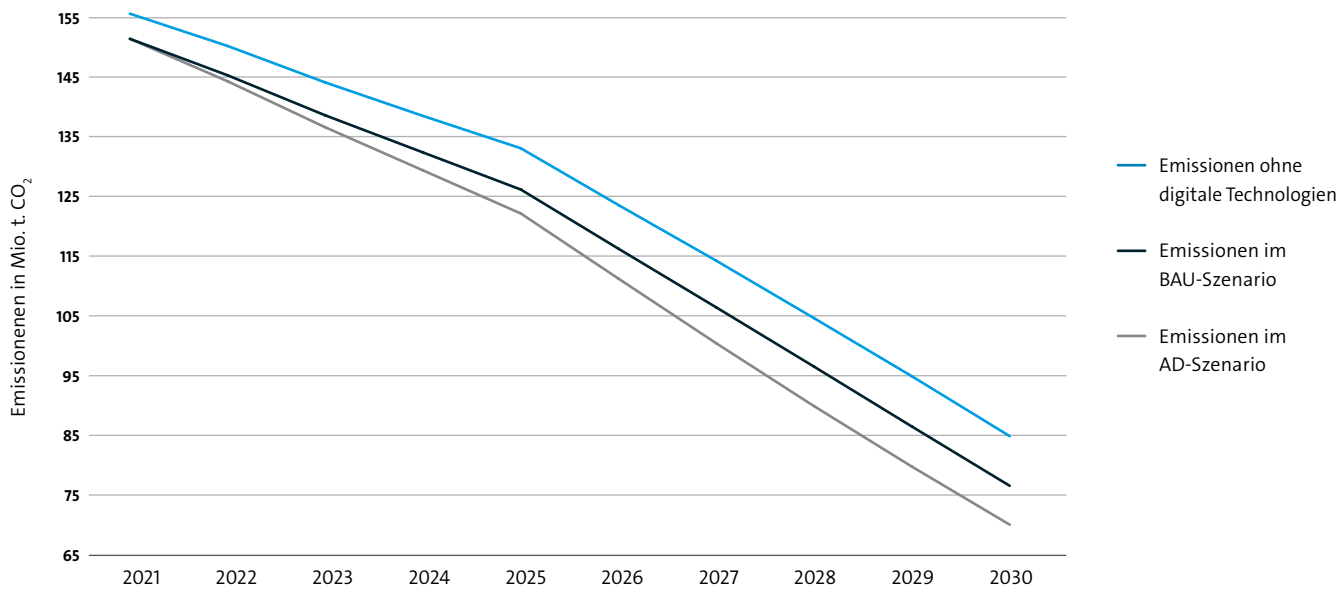
47 Die Summe der Gesamtpotenziale (8,3 bzw. 14,7 Millionen t CO_2) weicht minimal von der Summe der Einzelpotenziale in den Kapiteln 3.1.2, 3.1.3 und 3.1.4 ab. Dies resultiert aus der Rundung der Einzelpotenziale. Bei der Berechnung der Einzelpotenziale wurden drei Nachkommastellen ermittelt. Die CO_2-Minderungspotenziale werden zur Vereinfachung mit einer Kommastelle angegeben.



Quelle: Borderstep Institut 2021

Abbildung 26: CO_2-Minderungspotenziale je nach Segment (AD-Szenario)

Für den Gebäudesektor sind die CO_2-Minderungspotenziale aus den Einsatzfeldern der Gebäudeautomation erheblich. Nach dem BAU-Szenario können bis zum Jahr 2030 9,8 Prozent der Emissionen im Gebäudesektor vermieden werden. Wird das AD-Szenario und damit eine noch stärkere Nutzung der Technik zugrunde gelegt, so kann die Reduktion im Gebäudebestand sogar bis zu 17,4 Prozent der Emissionen im Gebäudesektor betragen (siehe Abbildung 27).



Quelle: Borderstep Institut 2021

Abbildung 27: Emissionen des Gebäudesektors je nach Szenario

3.3 Weitere mögliche Umwelteffekte digitaler Gebäudetechnologien

Eine grundlegende Frage bei der Bewertung von Umwelteffekten digitaler Technologien ist, wie sich diese über den gesamten Lebenszyklus (Herstellung, Nutzung, Entsorgung) einer Technologie auswirken. Dies ist von großer Bedeutung, denn es ist möglich, dass positive Effekte (zum Beispiel Energieeinsparung oder die Reduktion von Treibhausgasen) in einer Lebenszyklusphase (zum Beispiel Nutzung) durch gegenteilige Effekte in anderen Lebenszyklusphasen (zum Beispiel Herstellung) aufgehoben oder überkompensiert werden.

Um dies zu bewerten, werden Ökobilanzen[48] (engl. Life Cycle Assessment) von Produkten, Dienstleistungen, Verfahren oder ähnlichen Bezugseinheiten erstellt. Sie erfassen nach standardisierten Verfahren (siehe DIN 14040, 2009) umweltrelevante Vorgänge und Prozesse entlang

48 Für Informationen zu Ökobilanzen und deren Bewertungsmethoden siehe: ↗ **https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/oekobilanz** (Abruf August 2021) beziehungsweise (DIN 14040, 2009).

des gesamten Lebenszyklus. Die Verfahren beschreiben zwar die grundsätzliche Vorgehensweise für die Erstellung einer Ökobilanz, lassen aber Spielraum bei der Bewertung der Umweltwirkungen.

Die gängigen Bewertungsmethoden schreiben nicht bestimmte Indikatoren zur Wirkungsbewertung vor. Vielmehr hängt die Auswahl vom Untersuchungsgegenstand und -ziel sowie der Verfügbarkeit von Daten und Informationen ab. Umfangreichere Wirkungsbewertungen, die viele Indikatoren (zum Beispiel Emissionen, Ressourcenverbrauch, Toxizität) einbeziehen, sind dabei aufwändiger als solche, die nur einzelne Faktoren (zum Beispiel Kumulierter Energieaufwand (KEA) oder CO_2-Minderungspotenziale) analysieren. Mit der Auswahl der Indikatoren geht daher einerseits eine Vereinfachung der Analyse und eine Reduktion der Aussagekraft der Ergebnisse einher, andererseits werden die Bilanzen dadurch erst durchführbar.

Die Erstellung von Ökobilanzen ist insgesamt mit großem Aufwand für die Erfassung der lebenszyklusweiten Prozesse, der Recherche von Daten und die Bewertung der Umweltwirkungen verbunden. In dieser Studie kann daher für eine Bewertung von Umwelteffekten digitaler Technologien nur auf bestehende Untersuchungen zurückgegriffen werden. Dabei ist die Herausforderung, dass es zwar zahlreiche Studien zu grundlegenden Wirkungen der Digitalisierung auf den Klimaschutz gibt (siehe Kap. 2.3.3 und (Bieser et al., 2020)), detaillierte Analysen zu einzelnen Technologien dagegen weitaus seltener sind.

Eine weitere Herausforderung bei der Bewertung sind sogenannte Rebound-Effekte. Darunter wird allgemein verstanden, dass eine effizienzsteigernde Maßnahme durch eine erhöhte Nachfrage in der Wirtschaft aufgehoben wird (Madlener & Alcott, 2011). Rebound-Effekte werden oft auf Energieverbräuche bezogen. Es werden zudem verschiedene Wirkungsebenen des Rebound-Effekts unterschieden (Bieser et al., 2020):

- Von einem direkten Rebound-Effekt spricht man, wenn in Folge einer Effizienzsteigung und sinkender Preise für ein Gut die Nachfrage nach diesem zunimmt. Dies wäre zum Beispiel dann der Fall, wenn sich die Energieeffizienz von erdgasbetriebenen Heizungen verbessert, durch sinkende Preise beziehungsweise eine erhöhte Nachfrage nach zusätzlichen Erdgasheizungen die absolute Menge nach verbrauchtem Erdgas aber ansteigt.

- Von einem indirekten Rebound-Effekt wird wiederum gesprochen, wenn die aus der Effizienzsteigerung erzielten Gewinne in Form höherer Kaufkraft für den Konsum anderer Güter (zum Beispiel Mobilität oder Konsumgüter) eingesetzt wird.

- Ein gesamtwirtschaftlicher Rebound-Effekt liegt schließlich vor, wenn direkte und/oder indirekte Rebound-Effekte auf der Makroebene einer Volkswirtschaft zu einer Erhöhung des Energie- oder Ressourcenverbrauchs führen.

Für die Erfassung von Rebound-Effekten gilt, wie auch für Ökobilanzen, dass ihre systematische Analyse komplex ist und die Effekte von zahlreichen Parametern abhängen. Auch sie können

im Rahmen dieser Analyse daher nur qualitativ analysiert werden und es kann nur auf mögliche Risiken hingewiesen werden.

In Summe lässt sich damit festhalten, dass die Analyse von Effekten digitaler Technologien auf Umwelt- und Klimaschutz sehr komplex ist und eigenständige Untersuchungen erfordert. Eine vollständige Analyse aller verfügbarer Quellen ist im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht vorgesehen. Es kann daher nur auf mögliche Umwelteffekte und Risiken der in dieser Studie untersuchten Technologien hingewiesen werden. Die in der nachfolgenden Tabelle beschriebenen Effekte enthalten daher nur Hinweise, die auf Basis weniger Quellen und eigener Einschätzungen zusammengefasst wurden. Sie ersetzen in keinem Fall vollständige Ökobilanzen oder vergleichbare Analysen.

	Reduktion des Wärmebedarfs	Reduktion des Energiebedarfs für Kühlung und Beleuchtung	Intelligente Sektorenkopplung und Flexibilität
Mögliche positive Umweltwirkungen	Mittlere bis hohe Einsparpotenziale für Primärenergie (Gas, Öl) und CO_2-Emissionen durch Reduktion des Heiz- und Warmwasserbedarfs in Bestandsgebäuden.	Kleine unmittelbare Einsparpotenziale für Strom aus Verbrauchstransparenz möglich. Mittlere Einsparpotenziale für Strom durch Vermeidung von Kühlung möglich.	Mittlere bis hohe Einsparpotenziale für Primärenergie (Gas, Öl) und CO_2-Emissionen durch Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien für die Wärme- und Warmwasserversorgung in Gebäuden.
Mögliche negative Umweltwirkungen	Ressourcenverbrauch von Technik über gesamten Lebenszyklus. In seltenen Fällen höherer Heizbedarf in Gebäuden möglich, falls diese vorher kaum beheizt wurden oder Konflikte zwischen Gebäudeautomation und Verhalten der Bewohnenden vorliegen.	Ressourcenverbrauch von Technik über gesamten Lebenszyklus. In seltenen Fällen höherer Strombedarf in Gebäuden möglich, wenn Konflikte zwischen Gebäudeautomation und Verhalten der Bewohnenden vorliegen.	Ressourcenverbrauch von Technik über gesamten Lebenszyklus.
Erkenntnisse aus Ökobilanzierung	Kurzbis mittelfristig stark positive Ökobilanz, wenn Technik energieeffizient und langlebig gestaltet und Einsatz von Primärenergieträgern für Heizung deutlich reduziert wird (Beucker et al., 2016; Stobbe et al., 2015).	Kurz- bis mittelfristig stark positive Ökobilanz, wenn Technik energieeffizient und langlebig gestaltet und Einsatz von Primärenergieträgern für Heizung deutlich reduziert wird (Beucker et al., 2016; Stobbe et al., 2015).	Ökobilanz in Verbindung mit Gebäudeautomation/Energiemanagement sowie Anwendungen zur Flexibilität und Sektorenkopplung deutlich positiv. Erste Erkenntnisse aus CO_2-Einsparungen verfügbar (Beucker & Hinterholzer, 2020).
Potenzielle Rebound-Effekte	Rebound-Effekte unwahrscheinlich, da Energieeinsparung durch steigende Betriebskosten aufgezehrt werden.	Direkte und indirekte Rebound-Effekte möglich, wenn Strompreise sinken.	Direkte und indirekte Rebound-Effekte möglich, wenn Strompreise sinken.
Zusammenfassung	Kurz bis mittelfristig stark positive Wirkung vor allem in Bestandsgebäuden, da große CO_2-Minderungspotenziale aus reduziertem Wärmebedarf.	Kurz bis mittelfristig stark positive Wirkung, da Strombedarf zum Beispiel für Kühlung entfällt.	Mittel- bis langfristig stark positive Wirkung, da fossile Energieträger durch Erneuerbare ersetzt werden.

Tabelle 4: Zusammenfassung möglicher Umwelteffekte der analysierten Einsatzfelder von Gebäudeautomation[49]

49 Quelle: Borderstep Institut 2021

Die Zusammenfassung zeigt, dass für die betrachteten Einsatzfelder der Gebäudeautomation von positiven Gesamtwirkungen auf den Gebäudesektor ausgegangen werden kann und dass die kurz- bis mittelfristigen Energieeinsparungen aus dem Einsatz der Technik mögliche negative Effekte (aus anderen Lebenszyklusphasen oder Rebound-Effekten) nach aller Voraussicht übersteigen. Dies gilt ganz besonders für Anwendungen, die zur Reduktion des Primärenergieverbrauchs (Heizung und Warmwasser) und damit zu einer deutlichen Senkung von CO_2-Emissionen im Gebäudebestand beitragen. Anwendungen, die zusätzlich auch für das Energiemanagement von Stromverbrauch, Flexibilität, Sektorenkopplung und der Senkung des Kühlbedarfs genutzt werden, profitieren von dieser positiven Bilanz, da ein großer Teil der technischen Infrastruktur der Gebäudeautomation (Gateway, Vernetzung etc.) dem Wärmemanagement zugeordnet werden kann.

Voraussetzung für alle Technologien ist dabei, dass sie nach Grundsätzen der Langlebigkeit und des geringen eigenen Energieverbrauchs in der Nutzungsphase gestaltet werden. Langlebigkeit, Updatefähigkeit, Interoperabilität von Gebäudeautomation sind daher Voraussetzungen für eine positive Ökobilanz. Erste Analysen zeigen, dass sich die grundsätzlich positive Bewertung von Gebäudeautomation und intelligenter Vernetzung sonst ins Gegenteil wenden kann. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die effiziente Energienutzung, wie im Falle eher komfortgetriebener Anwendungen, nicht das eigentliche Ziel der Technik ist (Beucker et al., 2016; Lange et al., 2020; Stobbe et al., 2015).

Eine Sonderstellung nimmt die intelligente Messtechnik ein. Sie ist eine Grundvoraussetzung für alle Aufgaben des Energiemanagements. Dem Einsatz der Technik können nur bedingt eigene Einsparpotenziale zugeordnet werden, sie schafft jedoch durch die bereitgestellten Messwerte die Grundlage für ein Energiemanagement. Erste Studien deuten zudem darauf hin, dass die Messtechnik durch entsprechendes Design und Langlebigkeit eine positive Ökobilanz aufweisen kann (Gährs et al., 2021).

Eine weitere Herausforderung für die Bewertung von Umweltwirkungen der Technologien stellt der Wandel des Energiesystems selber dar. Da sich der gesamte Energiesektor, zum Beispiel durch den steigenden Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung, die Dekarbonisierung von Energieträgern oder auch die Umwandlung und Sektorenkopplung stark verändert, sinken zum einen die CO_2-Minderungspotenziale der betrachteten Technologien (siehe auch Kap. 2.1)., andererseits verbessert sich die individuelle Bilanz einzelner Anwendungen.

Mit dem Wandel des Energiesystems verändern sich zukünftig zudem auch die Anforderungen an das Energiemanagement in Gebäuden. Je höher der Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien an der Gesamterzeugung in Deutschland ist und je mehr verteilte Erzeugung (zum Beispiel aus dezentralen PV-Anlagen) und verteilter Verbrauch (zum Beispiel Ladung von Elektromobilen) in das System integriert werden müssen, desto höher wird auch der Bedarf an Flexibilität und Sektorenkopplung sowie für das Optimieren dieser Vorgänge. Daraus entstehen neue Aufgaben für das Energiemanagement und die Gebäudeautomation.

Nicht vollständig können mögliche Rebound-Effekte aus der Nutzung der Technik bewertet werden. Während direkte Rebound-Effekte durch bekannte Grundsätze des Ökodesigns vermieden werden können, so sind indirekte Rebound-Effekte schwerer zu bewerten. Sie sind jedoch angesichts der stark steigenden Energiepreise (in Folge der CO_2-Besteuerung) sowie der wachsenden Miet- und Nebenkosten derzeit nicht sehr wahrscheinlich. Ein Großteil der aus der effizienten Energienutzung erzielten Gewinne dürfte durch hohe Energiekosten aufgezehrt werden. Weitere Forschung hierzu ist dennoch notwendig.

Sehr hohe Potenziale können aus dem Einsatz von BIM-Systemen resultieren (siehe auch Kap. 2.2). Da nicht nur der Betrieb von Gebäuden, sondern auch ihre Sanierung und der Rückbau große Mengen an Energie und Ressourcen benötigen (siehe Mahler et al., 2019), müssen für das Ziel eines klimaneutralen Gebäudebestands extrem große Anstrengungen unternommen werden. Diese erfordern differenzierte Strategien über den Umgang mit Neubau und Bestandssanierung. Bau- und Sanierungsmaßnahmen müssen dabei auf den Lebenszyklus von Gebäuden bezogen werden. Gebäude werden oftmals für eine längere Lebensdauer ausgelegt. Damit werden zum einen Rohstoffe für Jahrzehnte fixiert und zum anderen durch Bauart, Auslegung und Betrieb der Gebäude Einfluss auf den Energieverbrauch genommen. Es müssen somit differenzierte Bewertungen vorgenommen werden, die je nach Gebäudeart und -typ zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen kommen können. Hierzu kann BIM in hohem Maße beitragen, wenn es in Verbindung mit Datenbanken für Baustoffe und Tools für die Ökobilanzierung genutzt wird. Um das Potenzial für Energie- und Ressourceneffizienz solcher Anwendungen zuverlässig abschätzen zu können, sind jedoch noch zahlreiche Forschungsarbeiten notwendig.

4 Fazit

4 Fazit

Der Gebäudesektor besitzt für die Klimapolitik in Deutschland eine herausgehobene Bedeutung. In ihm wird ein Drittel des gesamten Endenergiebedarfs in der Bundesrepublik Deutschland verursacht, wovon wiederum über 90 Prozent für die Erzeugung von Heizwärme und Warmwasserbereitung benötigt wird. Gebäude sind damit neben dem Verkehr und der industriellen Produktion einer der größten Energieverbraucher und Verursacher von CO_2-Emissionen in Deutschland.

Gleichzeitig zeigt sich in den aktuellen Stellungnahmen der klimapolitischen Beratungsgremien der Bundesregierung, dass die für den Gebäudesektor formulierten Emissionsminderungsziele nur schwer zu erreichen sind. So verweisen das Umweltbundesamt und das Bundesumweltministerium in ihrer aktuellen Bilanz darauf, dass in Deutschland zwar ein deutlicher Emissionsrückgang zu verzeichnen ist, dieser in den einzelnen Sektoren jedoch sehr unterschiedlich ausfällt. Der Gebäudesektor überschreitet demnach die im Klimaschutzgesetz formulierten Ziele[50]. Der Expertenrat für Klimafragen warnt zudem, dass die aktuellen Maßnahmen, insbesondere das Sofortprogramm 2020[51], nicht ausreichen, um die Ziele im Gebäudesektor zu erreichen. Vor allem die Wirkung des Programms auf die zusätzliche Reduktion der Treibhausgasemissionen im Jahr 2025 und 2030 wird nach Meinung des Gremiums überschätzt[52].

Damit wird deutlich: Deutschland hat zwar sehr ambitionierte Klimaschutzziele für den Gebäudesektor formuliert, über deren Erreichbarkeit und den Beitrag einzelner Maßnahmen bestehen jedoch Unsicherheiten. Gründe dafür liegen auch darin, dass für die Emissionsminderung große und langfristige Investitionen des privaten Sektors notwendig sind, die sich nicht unmittelbar, sondern erst mit steigenden Energiepreisen und CO_2-Abgaben amortisieren. Die vorliegende Studie möchte einen Beitrag zu dieser Diskussion leisten, indem sie das CO_2-Minderungspotenzial ausgewählter digitaler Technologien bewertet und mögliche Beiträge zu den Klimaschutzzielen im Gebäudesektor Deutschlands quantifiziert.

Hierfür wird in der Studie zunächst die Bedeutung digitaler Technologien für die Reduktion des Energiebedarfs in Gebäuden sowie die Umsetzung der Energiewende und der Sektorenkopplung herausgearbeitet. In einem weiteren Schritt werden CO_2-Minderungspotenziale ausgewählter Technologien ermittelt. Dies erfolgt sowohl für den Wohn- als auch für den Nicht-Wohngebäudesektor, wobei jeweils ein Business-as-Usual(BAU) sowie ein Ambitioniertes-Digitalisierungs-(AD)-Szenario berechnet wird, die sich durch unterschiedliche Verbreitungsraten der Technologie unterscheiden. Dadurch wird verdeutlicht, dass das CO_2-Minderungspotenzial der Technologien durch einen gezielten Ausbau deutlich erhöht werden kann.

50 Siehe ↗ **https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-sinken-2020-um-87-prozent** (Abruf August 2021)

51 Siehe ↗ **https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Schlaglichter/Klimaschutz/klimaschutz-sofortprogramm.html** (Abruf August 2021)

52 Siehe ↗ **https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2021/08/210825_Bericht_Expertenrat-Klimafragen_2021-02.pdf** (Abruf August 2021)

Vielfältiges Einsatzspektrum digitaler Gebäudetechnologien

Die Studie zeigt, dass es zahlreiche digitale Technologien und PropTechs gibt, mit denen der Energiebedarf in Gebäuden reduziert und beeinflusst werden kann. Neben digitalen Basistechnologien, wie modernen Messeinrichtungen und intelligenten Messsystemen, kommt vor allem dem Management von Wärme und Strom in Gebäuden eine Schlüsselrolle zu. Abhängig vom Schwerpunkt und Marktzugang werden für Systeme, die dies unterstützen, unterschiedliche Begriffe (Smart Home, Smart Building etc.) genutzt, die meist vergleichbare Ziele in Bezug auf Energieeffizienz verfolgen. Um die Vielfalt der Systeme einordnen zu können, wird der Ansatz der Gebäudeautomation genutzt. Sowohl der Begriff des Energiemanagements als auch Effizienzklassen für verschiedene Funktionen und Anwendungen der Gebäudeautomation sind in der Norm DIN EN 15232 definiert und ermöglichen so die Abschätzung verlässlicher CO_2-Minderungspotenziale.

Ebenfalls deutlich wird, dass sich die Ziele des Energiemanagements in Gebäuden mit dem Fortschreiten der Energiewende wandeln. Während derzeit die effiziente Nutzung und Minderung von Emissionen aus fossilen Brennstoffen im Gebäudebestand im Mittelpunkt stehen, werden mittel- bis langfristig die flexible Nutzung erneuerbarer Energien und die intelligente Sektorenkopplung zur Bereitstellung flexibler Energie eine wichtige Rolle einnehmen. Hier besitzt Deutschland noch ein großes Entwicklungspotenzial. Nach einer aktuellen Studie, muss Deutschland für die Erfüllung seiner Klimaschutzziele im europäischen Vergleich noch deutlich mehr tun. Defizite werden insbesondere in der mangelnden Flexibilität des Strommarkts gesehen, wodurch eine stärkere Nutzung erneuerbarer Energien sowie von Energiespeichersystemen attraktiver wird[53].

Beide Ziele, die Minderung von Emissionen und Energieverbrauch sowie die Flexibilisierung, können durch digitale Gebäudetechnologien vorangetrieben werden. Dabei stellen die Gebäudeautomation und die in der Norm DIN EN 15232 beschriebenen Funktionen des Energiemanagements eine sehr gut erweiterbare Grundlage für die digitale Vernetzung von Gebäuden dar. Während der Schwerpunkt in der Norm auf effizienter Erzeugung, Verteilung und Nutzung von Energie in Gebäuden liegt, gibt es in der Gebäudeautomation zahlreiche Anknüpfungspunkte für eine flexible Steuerung von Verbrauch und Erzeugung von Strom (zum Beispiel anhand variabler Stromtarife). Dies gilt vor allem in Verbindung mit Anlagen zur Sektorenkopplung (zum Beispiel Einbindung von Speichern, Elektromobilen, Batterien).

Schließlich wird beschrieben, dass neben dem Energiemanagement in Gebäuden der Reduktion von Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus eine entscheidende Bedeutung zukommt. Hier bieten BIM-Systeme in Verbindung mit Ökobilanzierungsdatenbanken und -tools ein sehr großes Potenzial. Gelingt es, diese Werkzeuge durch gemeinsame Architekturen sowie Datenformate und Schnittstellen flächendeckend für Aufgaben der Planung und Bewirtschaf-

53 Siehe ↗ **https://www.r-e-a.net/events/energy-transition-readiness-index-2021-report-launch/** (Abruf September 2021)

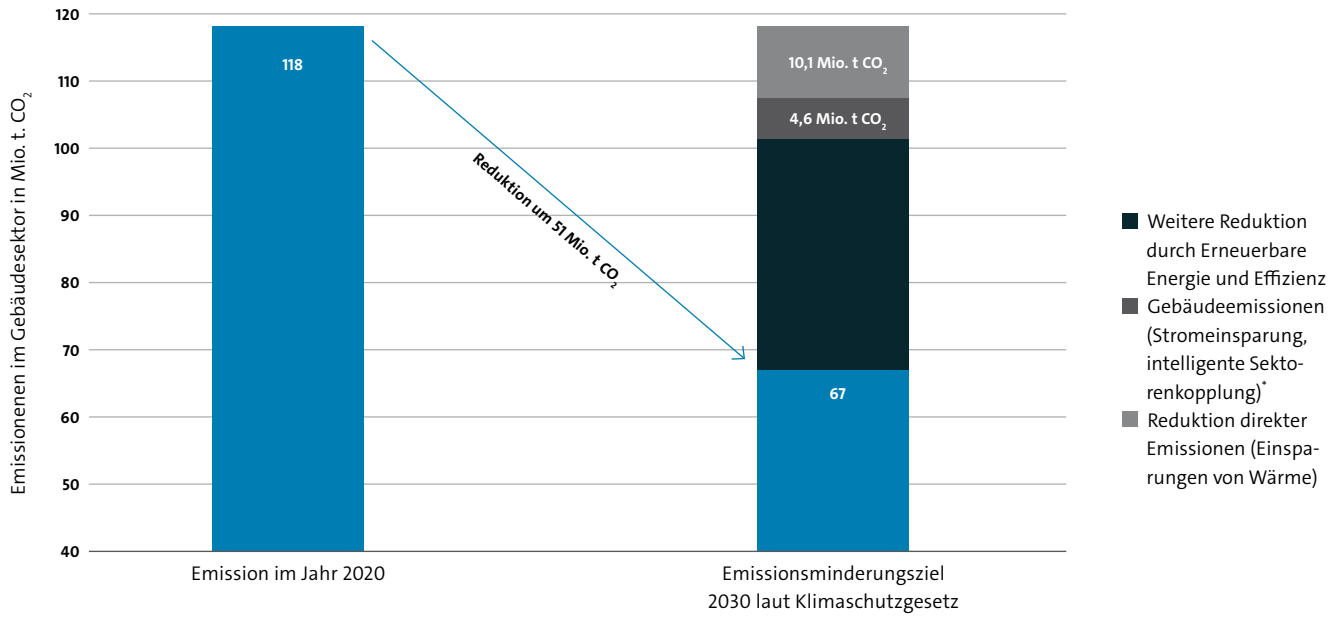
tung von Gebäudebeständen nutzbar zu machen, können damit wirksame Strategien zur CO_2-Minderung und Ressourcenschonung entwickelt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, sind jedoch noch zahlreiche Forschungsarbeiten, wirtschaftliche Initiativen sowie die Zusammenarbeit von Akteuren aus Politik, Verwaltung und Wohnungswirtschaft notwendig.

Großer Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele im Gebäudesektor

Der gebäudebezogene Endenergiebedarf (siehe Kap. 1.1) verdeutlicht, dass das größte Potenzial für die Reduktion von CO_2-Emissionen kurz- bis mittelfristig in der Senkung des Heiz- und Warmwasserbedarfs im Gebäudebestand liegt. Mittel- bis langfristig verschiebt sich dieser Schwerpunkt durch Effizienzsteigerungen sowie den wachsenden Anteil erneuerbarer Energien an der Versorgung (Wärme und Strom) in Richtung einer flexibleren Nutzung und der Speicherung von Energie in Gebäuden. Zu beiden Zielen können digitale Gebäudetechnologien in Form intelligenter Sektorenkopplung beitragen.

Aktuelle Analysen zeigen zudem, dass die Senkung der CO_2-Emissionen im Gebäudesektor derzeit langsamer erfolgt, als dies die Klimaschutzziele der Bundesregierung vorsehen[54]. Dadurch verstärkt sich der klimapolitische Handlungsbedarf erheblich und die bisher von der Bundesregierung beschlossenen Maßnahmen gelten als nicht ausreichend, um die Ziele zu erreichen. Als besonders kritisch gelten aus klimapolitischer Sicht die Jahre bis 2030, in denen deutliche Minderungen erreicht werden müssen, um bis zum Jahr 2045 das Ziel eines nahezu emissionsfreien Gebäudesektors zu gewährleisten. Gerade im Zeitraum bis 2030 können digitale Gebäudetechnologien einen großen Beitrag zur Minderung von Emissionen leisten (siehe Abbildung 28).

54 Siehe ↗ **https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-sinken-2020-um-87-prozent** (Abruf August 2021)



Quelle: Borderstep Institut 2021
* Indirekte Emmissionen entstehen nicht in Gebäuden sondern z. B. durch Strombezug aus Kraftwerken

Abbildung 28: Beitrag digitaler Gebäudetechnologien zur Erreichung der Emissionsminderungsziele im Gebäudesektor (Summe der betrachteten AD-Szenarien)

Summiert man die CO_2-Minderungspotenziale der in den Kapiteln 3.1.2 bis 3.1.4 analysierten Einsatzfelder der Gebäudeautomation und legt dabei einen verstärkten Einsatz der Technologie zugrunde (Ambitioniertes Digitalisierungs(AD)-Szenario), so können allein durch die Reduktion des Wärme- und Strombedarfs im Gebäudesektor im Jahr 2030 bis zu 10,1 Millionen t CO_2-Emissionen in Gebäuden eingespart werden.

Addiert man hierzu weitere 4,6 Millionen t an indirekten[55] CO_2-Emissionen, die durch Einsparung von Elektrizität, Fernwärme und durch intelligente Sektorenkopplung (siehe Kap. 3.1.4) erzielt werden, so können in Summe im Jahr 2030 14,7 Millionen t CO_2-Emissionen durch den Einsatz von digitaler Gebäudetechnologie beziehungsweise Gebäudeautomation eingespart werden. Dies entspricht fast 30 Prozent des nach dem KSG für den Gebäudesektor ausgegebenen Reduktionsziels von 51 Millionen t CO_2-Emissionen. Obwohl für die Berechnung und das AD-Szenario eine ambitionierte Ausstattung des Gebäudesektors (über 80 Prozent Ausstattung von NWG und über 40 Prozent von WG bis zum Jahr 2030) vorausgesetzt wird, ist das Ziel erreichbar.

55 Hierbei handelt es sich um indirekte CO_2-Emissionen, da dies nicht direkt im Gebäudes anfallen, sondern aus vermiedenem Strombezug (durch Energiemanagement) aus Kraftwerken stammen.

Auch in der Zeit von 2030 bis 2045 können mit Gebäudeautomation signifikante Mengen an CO_2-Emissionen eingespart werden. Diese nehmen zwar ab, da in diesem Zeitraum Effizienzmaßnahmen und erneuerbare Energien die Gesamtemissionen reduzieren. Gemessen an den absoluten Zielen sind die Beiträge jedoch entscheidend, um die Minderungsziele im Gebäudesektor zu erreichen.

Selbst wenn man anstelle des AD-Szenarios das weniger ambitionierte BAU-Szenario für die Ausstattung mit Gebäudeautomation zugrunde legt, können damit im Jahr 2030 immer noch 8,3 Millionen t CO_2-Emissionen eingespart werden. Dies entspricht immerhin noch über 16 Prozent des nach dem KSG für den Gebäudesektor ausgegeben Reduktionsziels von 51 Millionen t CO_2-Emissionen.

Zudem können aus dem Einsatz von BIM sehr große Potenziale erwartet werden. Die Anwendung dieser Systeme ist vielversprechend, denn mit ihnen kann der Energieeinsatz in der Nutzungsphase (zum Beispiel durch transparente Darstellung von Anlagen und Verbräuchen sowie prädiktive Instandhaltung (Predictive Maintenance)) verbessert und ein Echtzeit-Facility-Management ermöglicht werden. Darüber hinaus könnte durch die Verbindung von BIM mit Ökobilanzierungsdatenbanken und -tools eine Analyse und Bewertung der Energie- und Ressourcenverbräuche entlang aller Lebensphasen (Bau, Nutzung, Rückbau) von Gebäuden erfolgen. Hierdurch ließen sich noch weitaus größere CO_2-Emissionen sowie Ressourcenverbräuche vermeiden als bisher beschrieben. Eine Abschätzung der Potenziale würde jedoch eine eigene Studie erfordern.

Differenzierte Betrachtung des Gebäudesektors und der Maßnahmen erforderlich

Der Gebäudesektor, auch dies wurde in dieser Studie deutlich, ist nicht einheitlich. Vielmehr besteht der Bestand aus Gebäuden verschiedener Größen, Bauweisen sowie Baualtersklassen, und die Gebäude werden für sehr unterschiedliche Zwecke (Wohnen, Arbeiten etc.) genutzt. Dementsprechend müssen auch die Energieeffizienz- und CO_2-Minderungspotenziale differenziert betrachtet werden.

Das größte Einzelpotenzial zur Reduktion von CO_2-Emissionen liegt nach Auswertung der Szenarien aus Kapitel 3.1 bei der Reduktion des Wärmebedarfs durch Gebäudeautomation (siehe auch Abbildung 28). Die Potenziale verteilen sich über die Zeit relativ gleich auf den Wohn- und den Nicht-Wohngebäudesektor.

Unterschiede zeigen sich dagegen bei der CO_2-Minderung im Bereich Beleuchtung und Klimatisierung. Hier liegt ein etwas größeres relatives Potenzial im Teilsektor der Nicht-Wohngebäude, da hier mit mehr steuerbaren elektrischen Verbrauchern (Beleuchtung, Kühlung, Belüftung etc.) gerechnet wird.

Für den Fall der intelligenten Sektorenkopplung und Flexibilität in Gebäuden ist nicht die Unterscheidung in Wohn- und Nicht-Wohngebäude, sondern vor allem der Bestand weiterer Infrastrukturen (vor allem Wärmepumpen sowie der Ausbau einer intelligenten Messinfrastruktur) von Bedeutung. Die CO_2-Minderungspotenziale dieses Einsatzfeldes nehmen daher erst mittel- bis langfristig zu.

Insgesamt folgt daraus, dass kurz- bis mittelfristig das größte CO_2-Minderungspotenzial im Gebäudesektor durch die Minderung des Wärmebedarfs erzielt werden kann. Mittel- bis langfristig wird dieses von den CO_2-Einsparungen aus der intelligenten Sektorenkopplung abgelöst, und mittelfristig lassen sich zudem signifikante Einsparpotenziale durch das Management von Beleuchtung und Kühlung im Nicht-Wohngebäudesektor erzielen (siehe Kap. 3.1.3).

Neben der Frage, in welchem Teilbereich des Gebäudesektors die betrachteten Technologien den größten klimapolitischen Effekt erzeugen, ist auch von Relevanz, wie sich der Einsatz digitaler Gebäudetechnologien mit anderen bekannten Strategien zur Reduktion des Energiebedarfs ergänzen kann. Die in dieser Studie identifizierten CO_2-Minderungspotenziale aus dem Einsatz digitaler Gebäudetechnologien werden als einer von mehreren Bausteinen für die Erreichung eines emissionsarmen Gebäudebestands gesehen. In Abbildung 28 wird deutlich, dass auch im Fall eines ambitionierten Digitalisierungsszenarios noch über 60 Prozent der Emissionen zum Beispiel durch energetische Sanierung (Dämmung, Tausch von Fenstern, Erneuerung von Heizkesseln etc.) sowie durch Dekarbonisierung der Energieträger (Einsatz von Wärmepumpen, Nutzung erneuerbarer Energien etc.) vermieden werden muss.

Da jedoch eine Erreichung der Emissionsminderungsziele für den Gebäudesektor in der verbleibenden Zeit bis zum Jahr 2030 beziehungsweise 2045 immer schwieriger wird, wird ein Dreiklang der Maßnahmen (Einsatz digitaler Gebäudetechnologien, energetische Sanierung und Dekarbonisierung von Energieträgern) als notwendig angesehen. Ein großer Vorteil der Kombination mehrerer Maßnahmen ist auch, dass diese in Sanierungsstrategien in unterschiedlicher, angepasster Reihenfolge genutzt werden können. Abhängig davon, in welchem Zustand sich ein Gebäude und seine technischen Anlagen befinden.

Den digitalen Gebäudetechnologien und der Gebäudeautomation kommt dabei zugute, dass mit ihr kurz- bis mittelfristig (bis 2030) signifikante Emissionen zu verhältnismäßig geringen CO_2-Vermeidungkosten eingespart werden können (Gambardella, Bergset, & Beucker, 2012). Digitale Technologien unterstützen daher auch bei der Überweindung des Investor-Nutzer-Dilemmas (siehe Kap. 2.1) und nach heutigem Wissensstand überwiegen die Einspareffekte des Technikeinsatzes seine möglichen Umweltwirkungen weitaus (Beucker et al., 2016; Stobbe et al., 2015).

Einordnung von Maßnahmen in eine übergreifende Digitalisierungsstrategie notwendig

Schließlich wird in der Studie aufgezeigt, dass der erfolgreiche Einsatz von digitalen Gebäudetechnologien zur Reduktion von CO_2-Emissionen von einer Gesamtstrategie der Digitalisierung abhängig ist. Dies wird besonders deutlich, wenn der Digitalisierungs- und Vernetzungsbedarf verschiedener Sektoren (Gebäude, Energiesystem, Mobilität/Verkehr etc.) gemeinsam betrachtet wird. Die vorgestellten digitalen Technologien können zwar auch unabhängig von anderen Sektoren deutlich CO_2-Emissionen im Gebäudesektor mindern, ihr volles Potenzial kann jedoch erst mit einer Vernetzung anderer Sektoren und der Anpassung energiewirtschaftlicher Rahmenbedingungen erschlossen werden. Der Einsatz von Gebäudeautomation zur Senkung des Energieverbrauchs stellt so gesehen nur den ersten Schritt einer Digitalisierung von Gebäuden und der Umsetzung der Energiewende in diesem Sektor dar.

So ist zum Beispiel der Ausbau einer intelligenten Zählerinfrastruktur (moderne Messeinrichtungen und intelligente Messsysteme, siehe Kap. 3.1.4) Voraussetzung, um in Verbindung mit variablen Stromtarifen oder Netzentgelten Anreize für eine flexible Speicherung und Nutzung erneuerbarer Energien zu setzen. Auch der Ausbau der grundlegenden Vernetzung und Interoperabilität des Energiesystems (Smart Grid) sowie des Mobilitätssektors (Smart Mobility) ist notwendig, um eine variablere, dezentralere und erneuerbare Energieversorgung umsetzen zu können. Schließlich sind die emissions- und energierelevanten Informationen aus Gebäuden von großem Wert für eine intelligente Bestands- und Stadtplanung (Smart City), in der diese für digitale Gebäudekataster oder Sanierungspläne genutzt werden können. Die Erschließung dieser Möglichkeiten erfordert harmonisierte sektorbezogene Digitalisierungsstrategien und übergreifende Roadmaps.

Einen ersten Schritt in diese Richtung kann zum Beispiel der in der 2018 novellierten EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie genannte Smart Readiness Indicator (SRI) sein[56]. Dieser soll die Fähigkeit eines Gebäudes bewerten, mit Nutzenden und dem Netz zu interagieren und somit dessen Betrieb energieeffizient gestalten. Derzeit wird der SRI in nationalen Gremien der EU-Mitgliedsstaaten beraten. Eine EU-weite einheitliche Position zu dem Indikator gibt es noch nicht.
Er wäre jedoch geeignet, die Diskussion um den Ausstattungsgrad und die Umsetzbarkeit von Digitalisierung in Gebäuden zu fördern und der Digital- sowie der Wohnungswirtschaft eine Orientierung über umzusetzende Maßnahmen zu geben.

56 Siehe ↗ **https://smartreadinessindicator.eu** (Abruf August 2021)

5 Factsheet

5 Factsheet

Der Gebäudesektor ist einer der Hauptverursacher von CO_2-Emissionen in Deutschland und neben der Industrie und dem Verkehr einer der größten Konsumenten von Energie. Rund ein Drittel des deutschen Endenergieverbrauchs (2.956 Petajoule) wird im Gebäudesektor benötigt. Der weitaus größte Anteil (> 90 Prozent) des Energieverbrauchs wird für Heizung und die Warmwassererzeugung genutzt.

Digitale Gebäudetechnologien, insbesondere Gebäudeautomation, können einen deutlichen Beitrag zur Senkung der CO_2-Emissionen im Gebäudesektor leisten:

- Bis zu **14,7 Millionen t CO_2-Emissionen** können kurz- bis mittelfristig (bis 2030) durch den Einsatz von Gebäudeautomation eingespart werden. Dies erfolgt vor allem durch die effizientere Bereitstellung von Heizung und Warmwassererzeugung. Die CO_2-Minderungspotenziale verteilen sich in etwa gleichmäßig auf den Wohn- und den Nicht-Wohngebäudebereich.

- Dies entspricht **fast 30 Prozent des im Klimaschutzgesetz formulierten Reduktionsziels** für den Gebäudesektor. Gebäudeautomation bildet, neben baulichen Maßnahmen (Dämmung, etc.) und der Dekarbonisierung von Energieträgern, die dritte Säule der Energiewende im Gebäudesektor.

- Mittel- bis langfristig (2030 bis 2045) kann durch Digitalisierung und Gebäudeautomation der Nutzungsanteil erneuerbarer Energien im Gebäudesektor erhöht werden (**Sektorenkopplung**), indem zum Beispiel Strom aus PV oder Wind in Gebäuden (Warmwasser, Batterien, etc.) gespeichert wird und sich Gebäude durch **flexiblen Verbrauch** an die Energieverfügbarkeit anpassen.

- Weitere große CO_2-Minderungspotenziale lassen sich aus dem Einsatz digitaler Technologien entlang des Lebenszyklus von Gebäuden (zum Beispiel Building Information Modelling) erschließen. Eine Bewertung dieses Potenzials erfordert eine eigene Untersuchung.

Quellen

Aschendorf, B. (2014). Energiemanagement durch Gebäudeautomation: Grundlagen, Technologien, Anwendungen. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. Journal of Cleaner Production, 177, 448–463.

Beucker, S. (2019). Reduktion von CO_2-Emissionen im Gebäudebestand durch digitales Energiemanagement. Berlin: Borderstep Institut.

Beucker, S., Bergesen, J. D., & Gibon, T. (2016). Building Energy Management Systems: Global Potentials and Envi-ronmental Implications of Deployment. Journal of Industrial Ecology, 20(2), 223–233. ↗ https://doi.org/10.1111/jiec.12378

Beucker, S., & Hinterholzer, S. (2019). CO_2-Minderungspotentiale im Wohngebäudesektor durch Gebäudeautomation. Berlin: Borderstep Institut.

Beucker, S., & Hinterholzer, S. (2020). Effects of ICT-Enabled Flexible Energy Consumption on the Reduction of CO_2 Emissions in Buildings: Findings and outlook from an explorative case study in Germany. Proceedings of the 7th International Conference on ICT for Sustainability, 1–10. ONLINE. ↗ https://doi.org/10.1145/3401335.3401336

Beucker, S., & Hinterholzer, S. (2021). Energiesparen dank Gebäudeautomation: Ausgewählte Fallbeispiele. Berlin: Borderstep Institut. Abgerufen von Borderstep Institut website: ↗ https://www.smart-living-germany.de/SL/Redaktion/DE/Meldungen/2021/2021_06_03_Studie-Gebaeudeautomation-mit-Fallbeispielen.html

Bieser, J., Hintemann, R., Beucker, S., Schramm, S., & Hilty, L. (2020). Klimaschutz durch digitale Technologien. Berlin, Zürich: Borderstep Institut, Universität Zürich.

BMU. (2019a). Eckpunkte für das Klimaschutzprogramm 2030. Abgerufen von ↗ https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/eckpunkte_klimaschutzprogramm_2030.pdf

BMU. (2019b). Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Abgerufen von ↗ https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzprogramm-2030-1673578

BMU. (2020). Treibhausgasemissionen gingen 2019 um 6,3 Prozent zurück — BMU-Pressemitteilung. Abgerufen 16. Juni 2021, von Bmu.de website: ↗ https://www.bmu.de/PM8993

BMWi. (2020). Energieeffizienz in Zahlen 2020. Abgerufen von ↗ **https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=20**

BMWi. (2015). Energieeffizienzstrategie Gebäude – Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.).

BMWi (Hrsg.). (2021). Energiedaten: Gesamtausgabe [Tabellenfassung] vom 05.03.2021. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Abgerufen von Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) website: ↗ **https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html**

Bundesregierung. Entwurf eines Ersten Gesetzes zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes., (2021).

Bundesverband Wärmepumpe. (2016). BWP-Branchenstudie 2015—Szenarien und politische Handlungsempfehlungen. Berlin: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V. Abgerufen von Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V website: ↗ **https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/07_Publikationen/2016-04-08_Branchenprognose_2015_web.pdf**

Bundesverband Wärmepumpe. (2018). Wärmepumpen in Deutschland Stand 2018. Abgerufen 9. Dezember 2020, von ↗ https://www.waermepumpe.de/typo3temp/yag/11/51/Waermepumpen_in_Deutschland_Stand_2018_115144_5ecbdd839.png

Bürger, V., Hesse, T., Quack, D., Palzer, A., Köhler, B., Herkel, S., & Engelmann, P. (2016). Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. Dessau-Rosslau: Öko-Institut Freiburg, Fraunhofer ISE, Umweltbundesamt. Abgerufen von Öko-Institut Freiburg, Fraunhofer ISE, Umweltbundesamt website: ↗ **https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_06_2016_klimaneutraler_gebaeudebestand_2050.pdf**

Dambeck, H., Ess, F., Falkenberg, H., Kemmler, A., Kirchner, A., Kreidelmeyer, S., ... Lechtenböhmer, S. (2021). Klimaneutrales Deutschland 2045- In drei Schritten zu null Treibhausgasen bis 2050 über ein Zwischenziel von -65% im Jahr 2030 als Teil des EU-Green-Deals. Berlin: Prognos AG, Öko-Instiut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt Energie. Abgerufen von Prognos AG, Öko-Instiut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt Energie website: ↗ **https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_KNDE/A-EW_195_KNDE_WEB.pdf**

Dena. (2019). dena-Gebäudereport Kompakt 2019: Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. Berlin: Deutsche Energie-Agentur (dena). Abgerufen von Deutsche Energie-Agentur (dena) website: ↗ **https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/broschuere-dena-gebaeudereport-kompakt-2019/**

dena. (2021). DENA Gebäudereport 2021. Berlin: Deutsche Energie-Agentur (dena). Abgerufen von Deutsche Energie-Agentur (dena) website: ↗ https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/dena-GEBAEUDEREPORT_2021_Fokusthemen_zum_Klimaschutz_im_Gebaeudebereich.pdf

Destatis. (2019). Wohnen in Deutschland—Zusatzprogramm Mikrozensus. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Abgerufen von Statistisches Bundesamt website: ↗ https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publikationen/Downloads-Wohnen/wohnen-in-deutschland-5122125189005.html

Die Bundesregierung. Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze., (2020).

DIN 14040. (2009). DIN EN ISO 14040:2009-11 Umweltmanagement—Ökobilanz—Grundsätze und Rahmenbedingungen. Beuth Verlag. Abgerufen von Beuth Verlag website: ↗ https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-14040/122442325

DIN EN 15232. (2017). DIN EN 15232-1:2017-12 Energieeffizienz von Gebäuden—Teil 1: Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement. Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag.

DIN SPEC 91410-2 Energieflexibilität- Teil 2: Identifizierung und Bewertung von Flexibilität in Gebäuden und Quartie-ren. (2021). Berlin. ↗ https://doi.org/10.31030/3249462

ENOB DataNWG. (2021). Abgerufen 14. Juni 2021, von ↗ https://www.datanwg.de/forschungsdatenbank/tabellenkonfigurator/

EU Building Stock Observatory. (2018). Abgerufen 3. Juni 2021, von ↗ https://data.europa.eu/data/datasets/building-stock-observatory?locale=de

G. Elafoudi, L. Stankovic, & V. Stankovic. (2014). Power disaggregation of domestic smart meter readings using dynamic time warping. 2014 6th International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP), 36–39. ↗ https://doi.org/10.1109/ISCCSP.2014.6877810

Gährs, S., Weiß, J., Bluhm, H., Dunkelberg, E., & Katner, J. (2021). Erkenntnisse zu Umweltwirkungen von Smart Metern, Erfahrungen aus dem Einsatz von Smart Metern in Europa (CLIMATE CHANGE Nr. 34/2021). Dessau-Rosslau: UBA (Hrsg.). Abgerufen von UBA (Hrsg.) website: ↗ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-06_cc_34-2021_umweltwirkungen_smart_meter.pdf

Gambardella, C., Bergset, L., & Beucker, S. (2012). Vergleich der CO_2-Vermeidungskosten zwischen konventionellem Wärmeschutz und einem Hausautomationssystems. Berlin.

GeSI, & Deloitte. (2019). Digital with purpose—Delivering a smarter 2030. Brussels.

Heimer, T., Köhler, T., Schidlack, M., & Strese, H. (2020). SmartLiving2Market 2020, Eine Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Franfurt am Main: technopolis Deutschland GmbH. Abgerufen von technopolis Deutschland GmbH website: ↗ https://www.smart-living-germany.de/SL/Redaktion/DE/Publikationen/2020_10_19_SmartLiving2Market2020_Studie.html

Hermann, L., & et al. (2019). Energiemonitoring und Informationsaustausch bei Geräten und Anlagen (Zählerstudie) (Endbericht Nr. BfEE 06-2017). Berlin: BAFA, BMWi, UBA. Abgerufen von BAFA, BMWi, UBA website: ↗ https://www.bfee-online.de/SharedDocs/Downloads/BfEE/DE/Effizienzpolitik/zaehlerstudie.pdf

Hintemann, R., Clausen, J., Beucker, S., & Hinterholzer, S. (2021). Studie zu Nachhaltigkeitspotenzialen in und durch Digitalisierung in Hessen [Studie für Hessen Trade & Invest GmbH im Auftrag der Hessischen Staatskanzlei, Hessische Ministerin für Digitale Strategie und Entwicklung]. Wiesbaden.

Juhrich, K. (2016). CO_2 Emission Factors for Fossil Fuels. Berlin: Umweltbundesamt. Abgerufen von Umweltbundesamt website: ↗ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2_emission_factors_for_fossil_fuels_correction.pdf

Kalz, D., Klein, K., Palzer, A., Schlösser, T., Schumacher, P., Sterchele, P., ... Kallert, A. M. (2018). Netzdienliche Gebäude und Quartiere—Gebäude entlasten Stromnetze (Nr. I/2018). Bonn: Fraunhofer ISE, Fraunhofer IEE, RWTH Aachen E.ON ERC. Abgerufen von Fraunhofer ISE, Fraunhofer IEE, RWTH Aachen E.ON ERC website: ↗ http://www.bine.info/fileadmin/content/Presse/Themeninfos/Themen_0118/themen_0118_internetx_neu.pdf

Karl Walther, Robert Meyer, & Mathias Schmid. (2019). Ermittlung des Treibhausgasminderungs potentials—Rahmenwerk in der Förderlinie EnEff.Gebäude.2050 [Energiewende Bauen].

Kathleen M. Eisenhardt. (1989). Agency Theory: An Assessment and Review. The Academy of Management Review, (Vol.14, No. 1), 57–74.

Kondziella, H., Graupner, S., Bruckner, T., Doderer, H., Schäfer-Stradowsky, S., Koch, C., ... Holst, J.-C. (2019). Marktdesign, Regulierung und Gesamteffizienz von Flexibilität im Stromsystem – Bestandsaufnahme und Herausforderungen [WindNODE-Arbeitspaket 5 »Marktdesign und Regulierung – neue Spielregeln und Rollen im Energiesystem«]. Berlin. Abgerufen von ↗ https://www.windnode.de/fileadmin/Daten/Downloads/Publikationen/PRP_Marktdesign__Regulierung_und_Gesamteffizienz_von_Flexibilität_im_Stromsystem.pdf

Lange, S., Pohl, J., & Santarius, T. (2020). Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand? Ecological Economics, 176, 106760. ↗ https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106760

Madlener, R., & Alcott, B. (2011). Herausforderungen für eine technisch-ökonomische Entkopplung von Naturverbrauch und Wirtschaftswachstum. Enquete-Kommission »Wachstum, Wohl stand, Lebensqualität« des Deutschen Bundestages.

Mahler, B., Idler, S., Nusser, T., & Ganter, J. (2019). Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus (Nr. 132/2019). Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Abgerufen von Umweltbundesamt website: ↗ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-10-29_texte_132-2019_energieaufwand-gebaeudekonzepte.pdf

Sterner, M., & Stadler, I. (2019). Handbook of Energy Storage—Demand, Technologies, Integration. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Stobbe, L., Hintemann, R., Proske, M., Clausen, J., Zedel, H., & Beucker, S. (2015). Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland—Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Berlin: Fraunhofer IZM und Borderstep Institut. Abgerufen von Fraunhofer IZM und Borderstep Institut website: ↗ http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/entwicklung-des-ikt-bedingten-strombedarfs-in-deutschland-abschlussbericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf

UBA. (2021). Treibhausgas-Emissionen in Deutschland [Text]. Abgerufen 17. September 2021, von Umweltbundes-amt website: ↗ https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland

vom Scheidt, F., Müller, C., Staudt, P., & Weinhardt, C. (2020). The German Electricity System in 2030: Data on Con-sumption, Generation, and the Grid. ↗ https://doi.org/10.5445/IR/1000125576

Waide, P. (2019). The impact of the revision of the EPBD on energy savings from the use of building automation and controls. Manchester: Waide strategic efficiency limited. Abgerufen von Waide strategic efficiency limited website: ↗ https://www.buildup.eu/sites/default/files/content/epbd_impacts_from_building_automation_controls.pdf

Wietschel, M., Plötz, P., Pfluger, B., Klobasa, M., Eßer, A., Haendel, M., … Albert, D. (2018). Sektorkopplung – Definition, Chancen und Herausforderungen. Karlsruhe: Fraunhofer ISI. Abgerufen von Fraunhofer ISI website: ↗ https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2018/WP01-2018_Sektorkopplung_Wietschel.pdf

6 Anwendungsbeispiele

6 Anwendungsbeispiele

6.1 Techem: Digitaler Leitstand ermöglicht Effizienzsteigerungen

Der Klimawandel ist eine der größten langfristigen Herausforderungen unserer Zeit. Die politischen Ziele, den CO_2-Ausstoß zu verringern, sind entsprechend klar definiert und ambitioniert. Der Gebäudesektor hat als einziger Sektor im Jahr 2020 seine Klimaziele verfehlt – dabei soll auch er im Jahr 2045 nahezu klimaneutral sein. Neben dem Ausbau der regenerativen Wärme- und Stromversorgung kommt der effizienteren Energieerzeugung und -nutzung im gesamten Immobilienbestand daher eine große Bedeutung zu. Digitalisierung ist dafür eine der Grundvoraussetzungen.

Ansprechpartnerin:
Silke Rehlaender
Senior Corporate Communications Manager
silke.rehlaender@techem.de

Ohne Digitalisierung ist das Ziel des klimaneutralen Gebäudebestandes nicht realisierbar. Geringinvestive technische Maßnahmen und intelligente Lösungen – wie etwa das Monitoring und die Steuerung von Heizungssystemen – sollten daher verstärkt genutzt werden.

Durch die Digitalisierung können zunehmend erhobene Verbrauchsdaten für Treibhausgaseinsparungen, wie beispielsweise die Heizungsoptimierung, genutzt werden. Techem ist schon heute in der Lage, Wärmeerzeugungsanlagen sukzessive auf einen digitalen Leitstand am Hauptsitz Eschborn aufzuschalten und zu beobachten. Dieser sammelt per Funk detaillierte Echtzeitinformationen, die von vielen Datenpunkten, zum Beispiel am Heizkessel, stammen, und wertet diese mittels Künstlicher Intelligenz (KI) aus. Das auch mobil aufrufbare System deckt Effizienzverluste auf und hilft dabei, den Wirkungsgrad der Heizungsanlagen zu erhöhen. Weicht die jeweilige Anlage von Sollwerten ab, schlägt der Leitstand Alarm und kann so zum Beispiel frühzeitig einen Reparatur- oder Wartungsbedarf aufzeigen oder anhaltende Ineffizienzen verdeutlichen, die sonst zu unnötigem Energieverbrauch und unnötigen Energiekosten führen würden. Durch die Erfassung und Darstellung aller relevanten Verbrauchsinformationen der installierten Anlagen im Rahmen der Lösung in einem zentralen Leitstand können deren Verbrauchssituation analysiert und so Effizienzpotenziale ermittelt und realisiert werden. Durch eine komplett vernetzte Wärmeerzeugung und -abgabe lassen sich nach Erfahrung von Techem bis zu 20 Prozent des Wärmeverbrauchs einsparen. Im Sinne des Prinzips »Efficiency First« ermöglicht Digitalisierung so – neben Transparenz und schnellem Feedback –, auch nutzerabhängig den Verbrauch von Wärme und Strom so weit wie möglich zu reduzieren. Darüber hinaus erlaubt Digitalisierung, das vielschichtige Miteinander dezentraler, erneuerbarer Energiequellen auszubalancieren, Erzeugung und Verbrauch im Gleichgewicht zu halten und so eine weitgehend CO_2-neutrale Versorgung zu sichern.

Nur ein ganzheitlicher, integrierter Ansatz entlang der Wärmewertschöpfungskette einer Immobilie führt Energieeffizienzmaßnahmen zuverlässig zum Erfolg. Dafür ist es richtig und wichtig, dass das Messwesen für verschiedene Energien, wie Strom, Gas oder Wärme in den Immobilien, immer weiter gebündelt wird. Nur so erhält man einen Gesamtüberblick über die Energieflüsse im Gebäude, kann diese optimieren und den Verbrauch senken. Denn Gebäude und Quartiere der Zukunft müssen ein klimaschonender, vernetzter und gesunder Lebens- und Arbeitsraum sein.

6.2 Somfy: Dynamische Gebäudehülle gewinnt Wärme und verringert Energieverluste

Bis 2030 sollen die Kohlendioxidemissionen in der EU um mindestens 55 % gegenüber 1990 reduziert werden. Spätestens bis 2050 soll der gesamte Kontinent klimaneutral sein. Das ist ambitioniert, aber der einzig richtige Weg. Der Gebäudesektor, der rund ein Drittel des deutschen Endenergieverbrauchs ausmacht und Treibhausgasemissionen von rund 120 Millionen Tonnen verursacht, steht vor besonderen Herausforderungen. Gleichzeitig bieten sich auch Chancen: Alle notwendigen Komponenten und Technologien, die zu einer deutlichen Reduzierung der Kohlendioxidemissionen beitragen können, sind verfügbar und bereits seit Jahren im Markt etabliert. Sie müssen jedoch konsequenter genutzt werden.

Ansprechpartner:
Oliver Rilling
Strategisches Produktmarketing &
Neue Geschäftsfelder
oliver.rilling@somfy.com

Wenn die Energiewende im Gebäudesektor gelingt, wird nicht nur ein Großteil der Klimaschutzziele erreicht, auch die Konjunktur und die Wirtschaft werden deutlich profitieren.

Somfy ist sich als Unternehmen, das seine Wurzeln in den französischen Alpen hat, den Auswirkungen des Klimawandels besonders bewusst. Als Akteur, der seit über 50 Jahren in der Wohnungswirtschaft aktiv ist, weiß Somfy, dass innovative Gebäudesteuerungen für den Wohn- und Nichtwohnbau und die dadurch erzielbare Verbesserung der Energieeffizienz das Fundament für nachhaltige Gebäude sind. So können durch die von Somfy entwickelten intelligenten Steuerungen signifikante Einsparungen für Heizung und Klimatisierung erzielt werden.

Der dynamischen Gebäudehülle – also dem Zusammenwirken von modernen Fenstern mit Sonnenschutzelementen und einer digitalen Steuerung – kommt dabei, neben der Heizungsregelung, eine besondere Rolle zu.

Die Gebäudehülle gewinnt im Winter, Frühjahr und Herbst Wärme aus solarer Einstrahlung durch die Fenster. Der außenliegende Sonnenschutz kann zusätzlich helfen, Energieverluste in der Nacht zu verringern. Im Sommer hingegen sorgt die dynamische Gebäudehülle für eine bedarfsgerechte Verschattung und Nachtauskühlung und kann so den etwaigen Energiebedarf für Kühlung um 50 bis 80 Prozent deutlich senken oder teilweise komplett vermeiden.

Bei Neubauten und auch schon kleineren Renovierungen können durch intelligente Automatisierung Energieverluste durch unsachgemäße Nutzung des Gebäudes, wie zum Beispiel ein Öffnen von Fenstern zum Lüften bei gleichzeitig aufgedrehter Heizung, vermieden werden.

Als globales Unternehmen setzt Somfy auf offene Lösungen und Partnerschaften mit anderen Anbietern. Unser Motto »WE ACT FOR A BETTER WAY« bedeutet, dass wir unseren Teil dazu beitragen wollen, die Auswirkungen unseres Handelns auf unseren Planeten so gering wie möglich zu halten.

6.3 ISS: Transparenz und Lösungen für nachhaltiges Facility Management

Als einer der Hauptverursacher von CO_2-Emissionen bergen Gewerbe-Immobilien und Produktionsstätten ein erhebliches Potenzial für die Minimierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs. Nachhaltiges Bewirtschaften ist damit zentraler Bestandteil für das Erreichen der Klima- und Nachhaltigkeitsziele. ISS Deutschland ist als führendes Unternehmen im Bereich Integrated Facility Services tätig. Unsere Services umfassen technisches und digitales Gebäudemanagement, Bauen im Bestand, nachhaltige Reinigung, u. a. ohne Chemie, integrierte Betriebs-Gastronomie mit Bio- und Green-Line-Services, Sicherheitsdienste, Support Services sowie integriertes Property- und Facility Management. Damit tragen wir bei ISS nicht nur Verantwortung für unseren eigenen Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz, sondern insbesondere für den Beitrag unserer Kunden – und zählen deshalb zu den Treibern im Hinblick auf integrierte Nachhaltigkeit und CO_2-Reduktion. Ein wesentlicher Baustein unserer Service-Strategie liegt in der vollständigen Ausschöpfung des Potenzials von neuen, ressourcenschonenden und digitalen Gebäudetechnologien. Digitales Facility Management (DFM) ist der »zentrale Hebel« zur CO_2-Reduktion. Es gilt, die DNA der Gebäude zu verstehen.

Ansprechpartnerin:
Ada Streb
Head of Strategy – Mitglied der Geschäftsleitung
ada.streb@de.issworld.com

Ansprechpartner:
Ingo Hüttemeyer
Head of Digital Excellence
ingo.huettemeyer@de.issworld.com

- Grundlage hierfür ist die strukturierte, DSGVO-konforme Erfassung von Gebäude- und Bewegungsdaten aus bereits vorhandenen Systemen der Technischen-Gebäude-Ausrüstung (TGA), wie z. B. Gebäudeleittechnik, Aufzugsnutzung, Zutrittssystemen, Nutzendenbewegung durch Sensorik etc.

- Mithilfe dieser Informationen können die richtigen Impulse und Schwerpunkte für ein kundenzentriertes nachhaltiges Betriebskonzept gesetzt werden.

- Durch die intelligente Verknüpfung von Sensorik, KI-basierten Insight Reportings und nachhaltigen Services managen wir Gebäude emissionsarm und optimieren die CO_2-Reduktion.

Die Arbeitswelt von morgen: Das Verhalten der Gebäudenutzenden hat sich durch Corona geändert. Der Büroarbeitsplatz hat einen neuen Wettbewerber erhalten – das Homeoffice. Dies führt zu neuen Anforderungsprofilen von Gebäudeflächen. Mitarbeitende benötigen ein neues Workplace Design mit mehr kommunikativen Austauschzonen für crossfunktionale Projektarbeit. Auch hier sind die Daten der Schlüssel für eine nachhaltige Bewirtschaftung und Gestaltung der Flächen und der benötigten Energien und Ressourcen. Denn agile Arbeitsweisen erfordern nutzendengesteuerte und frequenzbasierte Facility Services (Service on Demand) und eine angepasste Verfügbarkeit der TGA, um den neuen Ansprüchen an Arbeitsplätze und Gebäude zu entsprechen. Unser strategisches Workplace Management und Design – von der Beratung bis zur Ausführung – schafft hier die passenden Raumlösungen, die zu einer besseren und nachhaltigeren Unternehmensleistung beitragen.

Bitkom vertritt mehr als 2.700 Unternehmen der digitalen Wirtschaft, davon gut 2.000 Direktmitglieder. Sie erzielen allein mit IT- und Telekommunikationsleistungen jährlich Umsätze von 190 Milliarden Euro, darunter Exporte in Höhe von 50 Milliarden Euro. Die Bitkom-Mitglieder beschäftigen in Deutschland mehr als 2 Millionen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Zu den Mitgliedern zählen mehr als 1.000 Mittelständler, über 500 Startups und nahezu alle Global Player. Sie bieten Software, IT-Services, Telekommunikations- oder Internetdienste an, stellen Geräte und Bauteile her, sind im Bereich der digitalen Medien tätig oder in anderer Weise Teil der digitalen Wirtschaft. 80 Prozent der Unternehmen haben ihren Hauptsitz in Deutschland, jeweils 8 Prozent kommen aus Europa und den USA, 4 Prozent aus anderen Regionen. Bitkom fördert und treibt die digitale Transformation der deutschen Wirtschaft und setzt sich für eine breite gesellschaftliche Teilhabe an den digitalen Entwicklungen ein. Ziel ist es, Deutschland zu einem weltweit führenden Digitalstandort zu machen.

Bitkom e.V.

Albrechtstraße 10
10117 Berlin
T 030 27576-0
F 030 27576-400
bitkom@bitkom.org
www.bitkom.org

bitkom