



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Einsparpotenziale aus der Optimierung von Heizungsanlagen in Wohngebäuden

Severin Beucker

Simon Hinterholzer

Impressum**Kurztitel**

Einsparpotenziale aus der Optimierung von Heizungsanlagen in Wohngebäuden

Herausgeber

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
Öffentlichkeitsarbeit
11019 Berlin
www.bmwk.de

Stand

November 2022
Die Publikation soll als Download angeboten werden.

Konsortialführung

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH
Dr. Severin Beucker
Clayallee 323 | 14169 Berlin | +49 (0)30 306 45 100-2 | www.borderstep.de

**Autorinnen und Autoren**

Dr. Severin Beucker (Borderstep Institut)
Email: beucker@borderstep.de
Simon Hinterholzer (Borderstep Institut)
Email: hinterholzer@borderstep.de

Verlag

Eigenverlag: © Borderstep Institut, Januar 2022
Ansprechpartner: Dr. Severin Beucker

Design

Heimrich & Hannot GmbH

Auftraggebende

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)



Inhaltsverzeichnis

Impressum	II
Inhaltsverzeichnis	III
1. Einleitung	1
2. Hintergrund zur Optimierung von Heizungsanlagen	2
2.1 Begriffsbestimmung Heizungsanlagen	2
2.2 Beispielhafte Ansätze zur Optimierung von Heizungsanlagen	2
2.3 Strukturierung der Optimierungsansätze mit Hilfe der Norm DIN EN 15232 zur Gebäudeautomation	3
2.4 Weitere Ansätze und Begriffe mit Bezug zur Optimierung von Heizungsanlagen	4
3. Erkenntnisse zu Energieeinsparungen und Treibhausgasminderungspotenzialen	6
3.1 Beispielhafte Ansätze zur Optimierung von Heizungsanlagen	6
3.2 Charakterisierung der Studien und ihrer Ergebnisse	11
3.3 Bewertung der Einsparpotenziale aus den Studien	14
4. Rückschlüsse für das Vorhaben ReDaWi	16
Quellen	17



1. Einleitung

Der Gebäudesektor ist einer der wesentlichen Energieverbraucher in Deutschland. Im Jahr 2019 wurden in Gebäuden etwa 2.956 Petajoule (PJ) und damit rund ein Drittel des gesamten Endenergiebedarfs verbraucht (BMW (Hrsg.), 2021). Ein Drittel dieses Endenergiebedarfs entfällt auf Nicht-Wohngebäude und zwei Drittel auf Wohngebäude. Der größte Anteil (über 90 Prozent) des gebäudebezogenen Energieverbrauchs wird zudem für Raumwärme- und Warmwassererzeugung benötigt (BMW, 2020).

Gebäudetechnik hat neben baulichen Maßnahmen (Dämmung, Tausch von Fenstern und Türen) sowie der Dekarbonisierung von Energieträgern (Gas, Öl, etc.) einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch von Gebäuden. In Deutschland stellen aufgrund des gemäßigten und kühlen Klimas Heizungsanlagen den zentralen Bestandteil der Gebäudetechnik dar. Ihre Optimierung kann einen entscheidenden Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz und damit zur Verringerung von Treibhausgasen leisten (Beucker & Hinterholzer, 2021b).

Für die Optimierung der Heizungsanlagen können, neben klassischen mechanischen und regelungstechnischen Maßnahmen (z. B. Verbesserung der Strömungsverhältnisse, Einstellung der Heizungsregelung), v. a. auch digitale Ansätze und Techniken genutzt werden (siehe dazu auch Kap. 2). Insbesondere das Energiemanagement und eine optimierte Betriebsführung der Technik (Raumheizung, Warmwasserbereitung, etc.) kann Energie einsparen. Der Emissionsminderungsbeitrag der Technik bis zum Jahr 2030 wird bei ambitioniertem Ausbau auf 14,7 Mio. t CO₂ geschätzt. Dies entspricht rund 30 Prozent des im Klimaschutzgesetz formulierten Reduktionsziels für den Gebäudesektor in Deutschland (Beucker & Hinterholzer, 2021b).

Ziel des Vorhabens ReDaWi¹ ist es, das Energieeffizienzpotenzial aus der Optimierung von Heizungsanlagen systematisch zu untersuchen. Dabei sollen sowohl Art und Umfang der Einsparpotenziale als auch die Wirksamkeit digitaler, vernetzter Optimierungsansätze bewertet werden. Dies soll durch die Aufbereitung aussagekräftiger Referenzprojekte (Best-Practice) aus dem mehrgeschossigen Wohnungsbau geschehen. Die Beispiele sollen aufzeigen, welche Einsparungen und Energieeffizienzpotenziale im mehrgeschossigen Wohnungsbau realisierbar sind und sie sollen zur Nachahmung anregen.

Der vorliegende Bericht nimmt eine Einordnung des Themenfeldes der (digitalen) Optimierung von Heizungsanlagen vor. Gleichzeitig gibt er einen Überblick zum Umfang des Gesamteinsparpotenzials aus der Heizungsanlagenoptimierung im Wohngebäudebestand, indem er Erkenntnisse aus Literatur, Studien und Forschungsberichten zu unterschiedlichen Optimierungsansätzen zusammenfasst.

1 Das Forschungsvorhaben „ReDaWi – Referenzen zeigen – Daten analysieren – Wissen verbreitern“ befasst sich mit der Heizungsanlagenoptimierung im Mehrgeschosswohnungsbau. Es wird von der Deutschen Energie-Agentur (dena) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz durchgeführt.

2. Hintergrund zur Optimierung von Heizungsanlagen

2.1 Begriffsbestimmung Heizungsanlagen

Unter der Optimierung einer Heizungsanlage wird im Projekt ReDaWi die verbesserte Einstellung von Regelungs- bzw. Steuerparametern (Leistung, Durchfluss, Temperaturen, Betriebszeiten etc.) verstanden. Die Optimierung sollte zudem kontinuierlich (automatisiert) und nicht nur einmalig erfolgen, um auf Änderungen in Gebäudephysik, Verhalten von Nutzerinnen und Nutzern oder Wetter bzw. Klimaänderungen reagieren zu können.

Eine Heizungsanlage² in einem Gebäude umfasst gemäß DIN EN 12828:2013-04 die Wärmeerzeugung (Kessel, Wärmepumpe, Wärmeübergabestation, etc.) inklusive einer Regelung (I), ein System zur Wärmeverteilung (Pumpen sowie Rohrleitungen für den Vor- und Rücklauf) (II) sowie die Übergabe der Heizwärme in den Räumen (z. B. Heizkörpern oder Flächenheizung) (III). Zu dem System der

Wärmeverteilung gehören oft auch Speicher (-systeme), die für eine ausgeglichene Wärmebereitstellung sorgen. Heizungsanlagen dienen, je nach Auslegung, neben der Wärmeversorgung auch der Erzeugung von Brauchwarmwasser für ein Gebäude.

2.2 Beispielhafte Ansätze zur Optimierung von Heizungsanlagen

Die in Kap. 2.1 genannten Bestandteile einer Heizungsanlage (Wärmeerzeugung, -verteilung sowie -übergabe) können gleichermaßen für eine Optimierung genutzt werden. Optimierungsmaßnahmen können sowohl über manuelle, einmalige Einstellung der Regelungstechnik als auch digital und kontinuierlich über vernetzte Regelungstechnik erfolgen. Das Forschungsprojekt BaltBest³ listet gemäß der drei Ebenen der Heizungsanlage folgende beispielhafte Optimierungsmöglichkeiten auf:

I Maßnahmen in der Wärmeerzeugung

- *Optimierung der Regelung des Wärmeerzeugers: z. B. durch Anpassung von Heizkennlinie oder Vorlauftemperatur*
- *Überwachung von Betriebsparametern des Wärmeerzeugers: z. B. Temperatur der Verbrennungsluft und des Abgases, Anzahl der Brennerstarts*
- *Anpassung der Kesselbetriebsführung an den Bedarf für Trinkwarmwasser in Sommermonaten*

II Maßnahmen in der Wärmeverteilung

- *Anpassung der elektrischen Leistungsaufnahme der Umwälzpumpen*
- *Kontinuierlicher hydraulischer Abgleich zur Absenkung von Rücklauftemperatur und Rohrleitungsverlusten*

² Für eine verständliche kurze Beschreibung der Bestandteile einer Heizungsanlage siehe auch: <https://www.baunetzwissen.de/heizung/fachwissen/heizungssysteme-bestandteile-einer-heizungsanlage-161168> (Abruf März 2022)

³ Eine einheitliche Definition des Begriffs der Anlagenoptimierung existiert nicht. Im Forschungsprojekt BaltBest (siehe <https://www.energieeffizient-wohnen.de/baltbest>) (Abruf Februar 2022) werden Maßnahmen der Anlagenoptimierung genannt. Darauf aufbauend wird die nachfolgende Struktur vorgeschlagen.

III Maßnahmen in der Wärmeübergabe und Wärmenutzung

- *Nutzung von adaptiver oder bedarfsgesteuerter Einzelraumregelung (steuerbare Thermostatventile, Raum- bzw. Wohnungsregler)*
- *Überwachung von Heizkörper- und Raumtemperaturen und/oder Verbrauchseinheiten der Heizkostenverteiler*

Die Ansätze können sowohl als Einzelmaßnahmen als auch in Kombination eingesetzt werden. Wie bereits erwähnt, kann dies sowohl einmalig, manuell als auch digital und kontinuierlich über vernetzte Regelungstechnik erfolgen. Im Fall des Projektes ReDaWi sollen Maßnahmen analysiert werden, die eine kontinuierliche Optimierung mit digitaler und vernetzter Regelungstechnik vornehmen. Reine Monitoring- und Überwachungslösungen, die keine Steuerung von Anlagen umfassen, sollen demnach nicht betrachtet werden. Sie können zwar Ineffizienzen im Anlagenbetrieb aufzeigen, reduzieren aber für sich genommen noch nicht den Energieverbrauch.

2.3 Strukturierung der Optimierungsansätze mit Hilfe der Norm DIN EN 15232 zur Gebäudeautomation

Für die Strukturierung von Optimierungsansätzen für Heizungsanlagen spielt die Gebäudeautomation (GA) eine zentrale Rolle. Der Begriff wird laut DIN EN 15232 definiert als: „Einrichtungen, Software und Dienstleistungen für automatische Steuerung und Regelung, Überwachung und Optimierung sowie für Bedienung und Verwaltung für energieeffizienten, wirtschaftlichen und sicheren Betrieb der Gebäudeausrüstung.“ (siehe (DIN EN 15232:2017-12, 2017, S. 15)). In der Norm wird außerdem der Begriff des Energiemanagements eingeführt. Darunter ist demnach eine Funktion der Gebäudeautomation zu verstehen, die auf die Optimierung der Energieverwendung und Verringerung der

Betriebskosten abzielt (siehe ebd.). Für das Verständnis der Norm ist es wichtig zu verstehen, dass diese Technik neben der Steuerung und Regelung von Heizungsanlagen daher auch Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwassererzeugung und Beleuchtung umfasst. Im vorliegenden Fall sind allerdings ausschließlich die Steuerung von Heizungsanlagen sowie die Erzeugung von Warmwasser relevant.

In der Norm wird auch erläutert, wie Einspar-effekte durch Gebäudeautomation ermittelt werden können und welche Automationsgrade erfüllt sein müssen, um die in der Norm definierten Effizienzklassen (A, B, C und D) zu erreichen. Prinzip der Effizienzklassen ist, dass mit steigendem Umfang der Regelung und des Automationsgrads eine höhere Energieeffizienz erreicht wird (siehe Tabelle 1). Die höchste in der Norm beschriebene Effizienzklasse ist demnach die Klasse A während die Klasse D bedeutet, dass keinerlei automatische Regelung vorhanden ist.

Tabelle 1: GA-Effizienz-Gesamtfaktoren $f_{BAC, th}$ für den Bedarf an thermischer Energie je nach Automationsklasse für gemäß DIN EN 15232

GA-Energieeffizienzklassen und Faktor für den Bedarf an Wärmeenergie

Wohngebäude	A	B	C	D
	Hohe Effizienz	Erhöhte Effizienz	Standard	Nicht effizient
Faktor $f_{BAC, th}^4$	0,81	0,88	1	1,10

Quelle: DIN EN 15232, Eigene Darstellung Borderstep Institut (2022)

Die Norm ist für die Bewertung von Optimierungsansätzen deshalb wichtig, weil sie ermöglicht, die in Kap. 2.2 genannten Einzelmaßnahmen (z. B. hydraulischer Abgleich, Pumpenregelung, bedarfsgesteuerte Einzelraumregelung) den Effizienzklassen der Gebäudeautomation zuzuordnen und Einspar-effekte zu vergleichen.

Die DIN EN 15232 ist damit eines der wenigen Rahmenwerke, das Regelungsfunktionen zur Optimierung von Heizungsanlagen umfassend definiert. Der Norm kommt auch deshalb eine große Bedeutung zu, weil die Effizienzklassen in der energetischen Gebäudeplanung und -sanierung genutzt werden können. §25 des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) verweist auf die DIN 18599-11: 2018-095 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 11: Gebäudeautomation“, die wiederum das Faktorverfahren der DIN EN 15232 zugrunde gelegt. Die Einsparwirkung einer Gebäudeautomation darf damit laut GEG bei der Ermittlung des Energiebedarfs von Gebäuden berücksichtigt und auf den Energieausweis angerechnet werden (Bundesregierung, 2020). Damit stellt GA neben baulichen Maßnahmen (Dämmung, Tausch von Fenstern, etc.) sowie der Dekarbonisierung der Energieträger eine zusätzliche Option zur Erreichung von Klimaneutralität in Gebäuden dar.

2.4 Weitere Ansätze und Begriffe mit Bezug zur Optimierung von Heizungsanlagen

Neben der Gebäudeautomation, sind in den letzten zwei Jahrzehnten weitere Begriffe und Ansätze der digitalen Vernetzung geprägt worden, die Einfluss auf die Optimierung von Heizungsanlagen haben. Dazu zählen Smart Building, Smart Home und Smart Living sowie der Überbegriff der digitalen Gebäudetechnik.

Mit der verstärkten Verbreitung von mobilen Endgeräten (Smartphones, Tablets) und Internet-technik seit dem Beginn des Jahrtausends hat sich die Vernetzung von zahlreichen Lebensbereichen in Haushalten und Gebäuden in kurzer Zeit entwickelt. Etwa seit dem Jahr 2002 wird der Begriff Smart Living verwendet, unter dem die Verknüpfung zahlreicher intelligenter Funktionen, Komponenten und Geräte in der Wohnumgebung und darüber hinaus verstanden werden (Heimer, Köhler, Schidlack, & Strese, 2020). Ungefähr zeitgleich haben sich auch die Begriffe Smart Home und Smart Building etabliert, wobei diese heute weniger für unterschiedliche technische Ansätze, sondern eher für verschiedene Marktsegmente genutzt werden. Während Smart Home Produkte sich vor allem an Endkundschaft (Business-to-Consumer) richtet, zielen Smart Building Angebote schwerpunkt-

⁴ Der Faktor $f_{BAC, th}$ beschreibt den Energieverbrauch der Bereiche Heizen, Trinkwarmwasser und Kühlung eines Gebäudes mit Gebäudeautomation einer Klasse gegenüber einem Gebäude mit Standardfunktionalität (Klasse C). Ein Faktor von 0,81 entspricht einer Einsparung von 19 Prozent.

⁵ 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.

mäßig auf gewerbliche Kundinnen und Kunden (Business-to-Consumer) ab. Unter dem Begriff der intelligenten oder digitalen Gebäudetechnik wird eine Vielzahl von technischen Konzepten zusammengefasst. Diese reichen von der automatisierten Steuerung von Beleuchtung, Verschattung sowie Heizung über Sicherheits- und Unterhaltungstechnik in Gebäuden. Intelligente oder digitale Gebäudetechnik kann damit als Oberbegriff von Smart Home, Smart Building sowie weiteren Ansätzen angesehen werden.

Den Begriffen und Ansätzen der intelligenten/digitalen Gebäudetechnik Smart Home und Smart Building ist gemeinsam, dass es keine eindeutigen Definitionen für sie gibt. Viele der Ansätze können jedoch für Optimierung von Heizungsanlagen genutzt werden, da zahlreiche Smart Home und Smart Building Systems entsprechende Schnittstellen besitzen.

3. Erkenntnisse zu Energieeinsparungen und Treibhausgasminderungspotenzialen

Die vorangegangenen Kapitel haben verdeutlicht, dass es zahlreiche steuerungstechnische Konzepte für das Energiemanagement in Gebäuden gibt. Die Optimierung von Heizungsanlagen ist dabei einer von mehreren Ansätzen einer zunehmenden Digitalisierung von Gebäudetechnik. Sollen das Energieeinspar- bzw. Treibhausgasminderungspotenziale solcher Ansätze bestimmt werden, ist es daher sinnvoll, bei der Recherche den Oberbegriff der digitalen Gebäudetechnik zu wählen. Er fasst die in den verfügbaren Studien verwendeten Begriffe (Smart Home, Smart Building, Gebäudeautomation, etc.) am treffendsten zusammen.

In den folgenden Kapiteln werden dementsprechend die wichtigsten Studien und Publikationen aus dem Themenfeld der digitalen Gebäudetechnik vorgestellt sowie wichtige Erkenntnisse zusammengefasst und ausgewertet. Einbezogen werden Studien, die seit dem Jahr 2015 erschienen sind. Dieser Zeitraum wird gewählt, um den Auswertungsaufwand zu begrenzen. Der Schwerpunkt der Analyse liegt zudem auf Quellen aus Deutschland. Grund hierfür ist, dass sich Ergebnisse und Aussagen zu Energieeinspar- bzw. Treibhausgasminderungspotenzialen aus anderen Gebäudesektoren anderer Länder oft nicht auf Deutschland übertragen lassen. Die Unterschiede in den Strukturen der Gebäudesektoren (Größe, Bauart, etc.) und der Art der Energieversorgung (Erdgas, Strom, etc.) sind zu groß.

Alle in die Auswertung einbezogenen Studien sind im Quellenverzeichnis enthalten. Nicht einbezogen wurden Studien, die von Anbietenden der Systeme selber in Auftrag gegeben wurden, da die Objektivität und Neutralität der ermittelten Ergebnisse schwer überprüft werden kann.

3.1 Beispielhafte Ansätze zur Optimierung von Heizungsanlagen

Unter dem Oberbegriff der digitalen Gebäudetechnik sind seit dem Jahr 2015 zahlreiche Studien und Untersuchungen erschienen. Diese unterscheiden sich in zahlreichen Aspekten, ihre Ergebnisse und Aussagen sind daher nur bedingt miteinander vergleichbar.

Zum einen werden sehr unterschiedliche, teilweise auch nicht deckungsgleiche Definitionen von digitalen Gebäudetechniken (z. B. Smart Home, Smart Building, Gebäudeautomation⁶) verwendet. Zum anderen beziehen sich die Studien auf verschiedene Teilbereiche des Gebäudesektors (z. B. Wohn- und Nicht-Wohngebäude) oder unterschiedliche Regionen (Bundesländer, Deutschland, Europa, etc.). Der wichtigste Grund ist aber, dass die Studien von verschiedenen Grundannahmen und Szenarien ausgehen. Während ein Teil der Studien z. B. den gesamten Energieverbrauch im Gebäudesektor (Wärme, Kälte/Klimatisierung, Strom) analysiert, fokussieren andere auf einzelne Techniken, Verbraucher oder Energieträger.

In der Mehrzahl der Studien werden zudem Szenarien analysiert, die unterschiedliche Verbreitungsgrade oder Marktdurchdringungen einer Technik oder Anwendung untersuchen. In den Szenarien werden Abschätzungen zum Einsparpotenzial, Zeitraum und dem zukünftigen Energiesystem (z. B. Strommix, CO₂-Emissionen) getroffen. Schließlich werden in den Studien unterschiedliche Indikatoren (CO₂-Minderungspotenzial, Energieeinsparung, etc.) verwendet bzw. die Einsparungen, Minderungspotenziale oder anderweitigen Effekte in verschiedenen Einheiten angegeben.

⁶ Für eine verständliche kurze Beschreibung der Bestandteile einer Heizungsanlage siehe auch: <https://www.baunetzwissen.de/heizung/fachwissen/heizungssysteme-bestandteile-einer-heizungsanlage-161168> (Abruf März 2022)

Die genannten Punkte machen einen direkten Vergleich der Studienergebnisse weniger sinnvoll. Hierfür müssten, falls möglich, mit großem Aufwand in einer Metanalyse Annahmen der Szenarien verglichen und die Ergebnisse normiert werden.

Trotz der genannten Unterschiede werden die Studien mit ihren unterschiedlichen Herangehensweisen und Aussagen in Tabelle 2 dokumentiert. Dabei verdeutlicht allein die Anzahl der durchgeführten Untersuchungen sowie die verschiedenen Schwerpunktsetzungen, dass das Themenfeld der digitalen Gebäudetechnik für die Diskussion zur Energieeffizienz und Treibhausgasreduzierung von großer Bedeutung ist.

Tabelle 2: Studien zu Energieeinsparungen und Treibhausgasemissionen durch digitale Gebäudetechnik

Titel der Studie	Auftraggebende/ Autorenschaft	Jahr	Schwerpunkt und ggf. Betrachtungszeitraum	Fokus und Ergebnisse
Potenziale der Digitalisierung für die Minderung von Treibhausgasemissionen im Energiebereich (Gähns, Bluhm, et al., 2021)	UBA/IÖW	2021	Fallstudien zu ausgewählten digitalen Anwendungsfällen im Energiebereich mit Schwerpunkt auf den Endkundenmarkt und der Vernetzung von Erzeugung und Verbrauch, Zeitraum: bis 2030	Fokus: Untersuchung von fünf Anwendungen (Heizsysteme mit Wetterprognosen, Effizienzmonitoring, Smarte Stromverbrauchserfassung, Stromspeicher im Haushalt und virtuellen Verbund, netzdienlicher Betrieb von Wärmepumpen und Elektroladestationen, individuelle Berechnung von Einsparpotenzialen je Anwendung Ergebnis: Geringer Beitrag zum Erreichen sektorspezifischer Klimaschutzziele bis 2030. Für wärmebezogene Fallstudien liegt Beitrag zum Schließen der Lücke bei Klimaschutzziele (Gebäude) zwischen 0,12 % und 0,5 %
Potenziale digitaler Technologien für CO₂-Einsparungen in Bestands-Wohngebäuden des Landes Berlin (Lorenz, 2021)	TSB/green with IT	2021	Ermittlung des CO ₂ -Minderungspotenzials aus Digitalisierung im Berliner Wohnungsbestand	Fokus: Ermittlung von Energie- und CO ₂ -Minderungspotenzialen aus fünf Einzelmaßnahmen (Einzelraumregelung, Autarke Gateways, Monitoring, Energie-Managementsysteme (EMS), Smart Meter Gateway, Sammel-App) in einer Modellrechnung Ergebnis: Bis zu 30 % Energie- und CO ₂ -Einsparungen im Wohngebäudebestand möglich
Klimaschutz und Energieeffizienz durch digitale Gebäudetechnologien (Beucker & Hinterholzer, 2021b)	Bitkom/Borderstep	2021	Klimaschutzpotenziale aus digitalen Technologien (Gebäudeautomation) erfassen. Schwerpunkt auf drei Energiemanagement-Szenarien, Zeitraum: bis 2030/2045	Fokus: Berechnung von CO ₂ -Minderungspotenzialen für drei Anwendungsszenarien von Gebäudeautomation auf Grundlage eines Modells für Wohn- sowie Nicht-Wohngebäude Ergebnis: Durch den ambitionierten Ausbau von Gebäudeautomation können bis 2030 bis zu 14,7 Mio. t CO ₂ -Emissionen im Gebäudesektor eingespart werden (entspricht rund 30 % des im Klimaschutzgesetz formulierten Reduktionsziels für den Gebäudesektor)
Studie zu Nachhaltigkeitspotenzialen in und durch Digitalisierung in Hessen (Hintemann, Clausen, Beucker, & Hinterholzer, 2021)	Hessen Trade & Invest/Borderstep	2021	Ermittlung von Nachhaltigkeitspotenzialen durch Digitalisierung in verschiedenen Sektoren in Hessen, Zeitraum: bis 2030	Fokus: U. a. zwei Szenarien zu CO ₂ -Minderungspotenzialen aus dem Einsatz von Gebäudeautomation und intelligenter Sektorenkopplung in Wohngebäuden in Hessen Ergebnis: CO ₂ -Minderungspotenziale für Hessen betragen je nach Szenario zwischen 0,63 und 1,49 Mio. t CO ₂ -Äquivalente bis zum Jahr 2030
Einfluss der Betriebsführung auf die Effizienz von Heizungsanlagen im Bestand (BaltBest)⁷	BMWi	2021	Forschungsprojekt zur Entwicklung von Methoden zur Verbesserung von Wärmeverorgungssystemen sowie zur Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand	Fokus: Analyse von ca. 100 Mehrfamilienhäusern über Monitoringprogramm und Erprobung von witterungsgeführter Vorlauftemperatur, geregelter Zugang zur Anlage/digitale Überwachung und Betriebsführung der Anlagenparameter sowie Reduktion der Raumtemperaturen bei Abwesenheit der Bewohnerinnen und Bewohner Ergebnis: Unter optimalen Bedingungen Reduzierung des Wärmeverbrauchs um bis 26 % möglich

7 Siehe <https://www.energieeffizient-wohnen.de/baltbest> (Abruf Februar 2022)

Titel der Studie	Auftraggebende/ Autorenschaft	Jahr	Schwerpunkt und ggf. Betrachtungszeitraum	Fokus und Ergebnisse
Energieeinsparung durch Gebäudeautomation – Ausgewählte Fallbeispiele (Beucker & Hinterholzer, 2021a)	Wirtschaftsinitiative Smart Living/Borderstep	2021	Best-Practice-Beispiele zur Anwendung von Gebäudeautomation in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden	Fokus: Ermittlung von Energie- und CO ₂ -Minderungspotenzialen aus fünf Einzelmaßnahmen (Einzelraumregelung, Autarke Gateways, Monitoring, Energie-Managementsysteme (EMS), Smart Meter Gateway, Sammel-App) in einer Modellrechnung Ergebnis: Bis zu 30 % Energie- und CO ₂ -Einsparungen im Wohngebäudebestand möglich
Klimaeffekte der Digitalisierung, Studie zur Abschätzung des Beitrags digitaler Technologien zum Klimaschutz (Bitkom & Accenture, 2021)	Bitkom/Accenture	2021	Ermittlung von Potenzialen digitaler Technologien zur Erreichung der Klimaschutzziele Zeitraum: bis 2030	Fokus: Ermittlung von Klimaschutzpotenzialen in sieben Sektoren für jeweils zwei Szenarien, U. a. Abschätzung von reduzierten Primärenergieemissionen im Gebäudesektor durch Smart Home und Vernetzung Ergebnis: Bis zu 37 % Energieeinsparungen im Gebäudesektor durch Smart Home und intelligente Gebäudevernetzung möglich
Schwerpunktstudie Digitalisierung und Energieeffizienz – Erkenntnisse aus Forschung und Praxis (Bertscheck et al., 2020)	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie/ZEW, IW Consult, FIR an der RWTH Aachen	2020	Beitrag der Digitalisierung zur Steigerung der Energieeffizienz in mehreren Wirtschaftssektoren	Fokus: Studie analysiert Einfluss von digitalen Technologien auf Energieeffizienz, Fallbeispiel zu einer digitalen Plattform für Effizienzoptimierung in Gebäuden sowie dem Einsatz von Building Information Modeling Ergebnis: Fallbeispiel analysieren Treiber und Herausforderungen für die Verbreitung von Technologien, keine Ermittlung von CO ₂ -Minderungs- oder Energieeinsparpotenzialen
CO₂-Minderungspotenziale im Wohngebäude-sektor durch Gebäudeautomation (Beucker & Hinterholzer, 2019)	Wirtschaftsinitiative Smart Living/Borderstep	2019	Kurzanalyse zu CO ₂ -Minderungspotenzialen durch Gebäudeautomation im Wohngebäude-sektor in Deutschland, Zeitraum: bis 2030	Fokus: Berechnung von zwei Szenarien zur Verbreitung von Gebäudeautomation im Wohngebäude-sektor bis 2030 Ergebnis: Ermittlung eines Minderungspotenzials von bis zu 7 Mio. t CO ₂ -Äquivalenten bzw. 40 % der Differenz zur Erreichung des Emissionsminderungsziels im Wohngebäude-sektor bis zum Jahr 2030
Smart Home – Energieverbrauch und Einsparpotenzial der intelligenten Geräte (Quack, Liu, & Gröger, 2019)	Verbraucherzentrale NRW/Öko Institut	2019	Ermittlung von Szenarien zu möglichen Energieeinsparungen aus Smart-Home-Systemen	Fokus: Ermittlung von Energieeinsparpotenzialen aus dem Einsatz von Smart Home Systemen anhand von Modellhaushalten in Wohngebäuden und verschiedenen Einsatzszenarien von Smart Home Technik, Schwerpunkt auf Energieeinsparungen und -kosten Ergebnis: Modellhaushalte können bei 3 % höherem Stromverbrauch zwischen 9 % und 14 % thermische Energie einsparen, keine Skalierung der Ergebnisse auf Gebäudebestand
Dena-Leitstudie Integrierte Energiewende – Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050 (Dena, 2018)	dena/dena	2018	Identifikation von Transformationspfaden zur Erreichung der Klimaziele mit Handlungsempfehlungen	Fokus: Digitalisierung im Gebäudesektor wird genannt, jedoch nicht weiter differenziert Ergebnis: Keine Ermittlung von CO ₂ -Minderungs- oder Energieeinsparpotenzialen

Titel der Studie	Auftraggebende/ Autorenschaft	Jahr	Schwerpunkt und ggf. Betrachtungszeitraum	Fokus und Ergebnisse
Analyse der Einsparpotenziale durch Smart Home und intelligente Heizungsregelungen (Kersken, Sinnesbichler, & Erhorn, 2018)	Fraunhofer IBP/ Fraunhofer IBP	2018	Simulation des Energiemanagements verschiedener Smart-Home-Systeme für Wohngebäude	Fokus: Modellhafte Simulation von Energiemanagement mit Fokus auf Wohngebäuden und Smart-Home-Systemen Ergebnis: Keine Ermittlung von CO ₂ -Minderungs- oder Energieeinsparpotenzialen
Smarte Rahmenbedingungen für Energie- und Ressourceneinsparungen bei vernetzten Haushaltsprodukten (Hintemann & Hinterholzer, 2018)	BUND/Borderstep	2018	Analyse des Energie- und Ressourcenbedarfs vernetzter Geräte in privaten Haushalten, Zeitraum: bis 2025/2030	Fokus: Zusammenfassung bestehender Erkenntnisse und Trends zum Energie- und Ressourcenverbrauch von vernetzten Technologien, Schwerpunkt auf Wohngebäuden, Smart-Home-Systeme und deren Energiebedarf werden als ein Teilgebiet der Vernetzung analysiert Ergebnis: Abhängig vom Gebäudetyp sind 20 – 30 % Energieeinsparung durch Optimierung und intelligente Heizungssteuerung erzielbar
Rolle der Digitalisierung im Gebäudebereich. Eine Analyse von Potenzialen, Hemmnissen, Akteuren und Handlungsoptionen (Müller et al., 2018)	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-Wohngebäude durch Digitalisierung, Zeitraum: bis 2017	Fokus: Beschreibung von Energieeffizienzpotenzialen, Hemmnissen, Akteuren und Handlungsoptionen für digitale Ansätze Ergebnis: Keine Ermittlung von CO ₂ -Minderungs- oder Energieeinsparpotenzialen bis zum Jahr 2030
Digitalisierung als Enabler für die Steigerung der Energieeffizienz (Richard & Vogel, 2017)	dena/dena	2017	Klassifizierung und Bewertung möglicher Effekte von digitalen Energiedienstleistungen für Haushalte und Industrie, Zeitraum: bis 2017	Fokus: Expertenbefragung Ergebnis: Keine Ermittlung von CO ₂ -Minderungs- oder Energieeinsparpotenzialen
Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland – Abschlussbericht (Stobbe et al., 2015)	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie/Fraunhofer IZM, Borderstep	2015	Analyse des Strombedarfs aus dem Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) in Deutschland in verschiedenen Anwendungsfeldern, Zeitraum: 2025	Fokus: Ermittlung des Energiebedarfs zahlreicher Einzelsektoren, Grundlage bildet eine Basisprognose für die Entwicklung von IKT-Technologien bis zum Jahr 2025 Ergebnis: Zusätzlicher Stromverbrauch für Einführung von Gebäudeautomation in Wohngebäuden könnte im Jahr 2025 18 GWh betragen, dem stehen hohe Einsparungen an thermischer Energie (ca. Faktor 40) gegenüber

3.2 Charakterisierung der Studien und ihrer Ergebnisse

Die Mehrzahl der Untersuchungen bescheinigen dem Einsatz digitaler Technologien in Gebäuden positive Nettowirkungen, insbesondere wenn sie für eine Senkung des Heizbedarfs und damit für einen effizienten Einsatz fossiler Energien genutzt werden. Dies gilt auch unter der Berücksichtigung eines möglichen Eigenenergieverbrauchs. Weniger eindeutig sind die Aussagen dagegen für das ausschließliche Management von Stromverbrauch in Gebäuden. Grundsätzlich können die analysierten Studien in folgende Kategorien unterteilt werden:

1. Beispielhafte Ansätze zur Optimierung von Heizungsanlagen

Bei den umfassenden Potenzialanalysen werden Energie- oder CO₂-Einsparungen von digitaler Gebäudetechnik über verschiedene Ansätze (z. B. Gebäudeautomation, Smart Building) betrachtet. Diese Einsparpotenziale aus den Technologien werden mit Daten zum Gebäudebestand auf eine große Fläche (z. B. Bundesland, Land) skaliert. Beucker & Hinterholzer (2019), Hintemann et al. (2021) sowie (2021b) betrachten z. B. mit einem solchen Ansatz die Potenziale für den Einsatz von Gebäudeautomation in Deutschland bzw. Hessen. Eine ähnliche, wenn auch stark vereinfachte, Abschätzung findet in Hintemann & Hinterholzer (2018) statt. Lorenz (2021) stellt basierend auf mehreren Einzeltechnologien die Potenziale für Wohngebäude im Land Berlin dar.

Eine weitere umfassende Analyse für den Einsatz von Gebäudeautomation in europäischen Staaten stammt von (Waide, 2019). Sie wurde in der Tabelle nicht aufgeführt, da ihr Fokus auf Europa bzw. einzelnen Regionen der EU liegt und keine spezifischen Aussagen zu Deutschland enthält. In der Studie wurden die Auswirkungen der Technik auf mögliche Energieeinsparung in einzelnen

Regionen der EU berechnet. Demnach können in der gesamten EU, gemittelt über Wohn- und Nicht-Wohngebäude mit der Technik bis zu 15 % Primärenergie eingespart werden. Ausgenommen von dieser Betrachtung sind allerdings Gebäude-Heizungsanlagen unter 290 kW Leistung und damit große Teile kleinerer und mittlerer Gebäude.

2. Auswertung von Fallbeispielen und Bottom-Up Hochrechnungen

Neben den umfassenden Potenzialanalysen existieren mehrere Studien, die anhand von Fallbeispielen oder einzelnen Anwendungen Energie- oder Emissionsminderungspotenziale im Gebäudebereich untersuchen. Müller et al. (2018) untersuchen beispielsweise sechs Anwendungsfälle von Digitalisierung im Gebäudebereich und werten diese anhand von fünf Wirkungsindikatoren in den Stufen Gering, Mittel und Hoch aus. Konkrete Energieeinsparungen in kWh oder Emissionsreduktion werden dabei nicht ermittelt. Bertscheck et al. (2020) beschreiben anhand von Fallbeispielen (auch aus dem Gebäudebereich) mögliche Energieeffizienzpotenziale von digitalen Technologien, analysieren jedoch vor allem Herausforderung und Hemmnisse bei der Umsetzung. Von (Beucker & Hinterholzer, 2021a) werden anhand gemessener Einsparungen ausgewählte Best-Practice-Beispiele des Einsatzes von Gebäudeautomation in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden ausgewertet. Gähns et al. (2021) beschreiben anhand von fünf Fallstudien die Umwelteffekte erster, zweiter und dritter Ordnung ausgewählter digitaler Technologien.

Die Betrachtung beschränkt sich jedoch auf die fünf Technologien, wobei zwei Fallstudien nur Technologien in Gebäuden >12 Wohneinheiten betrachten (Wetterprognose, Effizienzmonitoring) und die anderen drei Fallstudien dagegen nur Technologien in Einfamilienhäusern (Smart Meter Feedback, Stromspeicher, Stromnetzdienliche Wärmepumpe). Die Studie von Quack et al. (2019)

untersucht dagegen die Umweltwirkungen von Anwendungsszenarien von Smart-Home (Energie, Sicherheit, Komfort) für verschiedene Referenzhaushalte.

Kersken et al. (2018) untersuchen mittels einer Simulation die möglichen Energieeinsparpotenziale verschiedener Smart-Home-Systeme in Wohngebäuden, u. a. in Abhängigkeit der Nutzung von Rollladensteuerung sowie von Wetterprognosen. Schließlich wurden im Rahmen des Projektes Balt-Best⁸ über ein Monitoringsystem ca. 100 Heizsysteme in Deutschland untersucht. Der Schwerpunkt des Vorhabens lag ursprünglich auf der Analyse und Optimierung von Heizungseinstellungen und Heizkurve und den daraus erzielbaren Effizienzpotenzialen.

Im Laufe des Vorhabens scheinen jedoch weitere Anwendungen z. B. auch Smart-Home-Techniken (Einzelraumregelungen) in die Analyse einbezogen worden zu sein. Aus den auf der Webseite verfügbaren Informationen sowie den öffentlich zugänglichen Publikationen lassen sich keine eindeutigen und übertragbaren Effizienzpotenziale ableiten. Laut Aussage der Webseite ist unter optimalen Bedingungen eine Reduktion des Wärmeverbrauchs in Wohngebäuden um bis zu 26 % möglich.

3. Grundlegende Studien zur Transformation des Energiesystems bzw. zur Energiewende im Gebäudebereich und weiteren Effekten der Digitalisierung

Hierunter fallen unter anderem die Publikationen (Bitkom & Accenture, 2021), die die grundlegenden Klimaeffekte der Digitalisierung beschreibt, sowie Dena (2018), die die Leitplanken für die Entwicklung im Energiebereich definiert und dabei auch digitale Technologien berücksichtigt. Auch eine nicht in der Tabelle aufgeführte Studie der Agora Energiewende (2018) kann hierzu gezählt werden. Sie beschreibt Beiträge der Digitalisierung als einen Teil zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudesektor.

Verschiedene Energiedienstleistungen werden auch in Richard & Vogel (2017) beschrieben und deren Bedeutung wird anhand einer Expertenbefragung evaluiert. Stobbe et al. (2015) untersuchen dagegen die zusätzlichen Energiebedarfe aus dem Einsatz der Informations- und Kommunikationstechnik und gehen dabei auch auf die Digitalisierung im Gebäudebereich ein. Hierbei kommen sie zu der Aussage, dass der zusätzliche prognostizierte Stromverbrauch für Einführung von Gebäudeautomation in Wohngebäuden im Jahr 2025 bei 18 GWh liegen könnte. Diesem Mehrverbrauch stehen aber nach Einschätzung der Autoren sehr hohe Einsparungen an thermischer Energie (ca. Faktor 40) gegenüber.

Ein Vergleich der Studien zeigt, dass es, wie in Kapitel 2 bereits dargelegt, für den Einsatz digitaler Technologien im Gebäudesektor keine einheitlichen Begriffe und Konzepte gibt. Die Abweichungen bei den ermittelten Energieeffizienz- bzw. CO₂-Minderungspotenzialen erklären sich u. a. auch aus den unterschiedlichen zugrunde gelegten Definitionen von digitalen Gebäudetechnologien (Smart-Home, Smart-Building, Gebäudeautomation, digitale Betriebsführung, etc.) sowie den jeweils zugrunde liegenden Funktionen und dadurch ermöglichten Einsparungen.

Damit wird gleichzeitig deutlich, dass eine wissenschaftlich-methodische Diskussion über die Strukturierung digitaler Technologien sowie des Gebäudesektors notwendig ist. Sollen mögliche Einspareffekte und CO₂-Minderungspotenziale digitaler Technologien zuverlässig bestimmt werden, so sind dafür eine nachvollziehbare Struktur der Angebote und reproduzierbare Effizienzfaktoren notwendig, wie diese beispielsweise in der DIN EN 15232 beschrieben werden.

Neben den aufgeführten Studien gibt es weiterführende Arbeiten, die für das Projekt ReDaWi von Interesse sind. Dazu zählen beispielsweise Untersuchungen, die das Einsatzpotenzial von digitalen Techniken im Gebäudesektor in der EU oder weltweit analysieren (siehe zum Beispiel Beucker, Bergesen, & Gibon, 2016; Waide, 2019). Diese sind zwar nur bedingt auf die Situation in Deutschland und die Zielsetzungen des Vorhabens ReDaWi übertragbar, da von unterschiedlichen Gebäudebeständen, Heizungstechnik und Energieträgern ausgegangen wird, sie kommen aber grundsätzlich zu vergleichbaren Aussagen, wie die in Tabelle 2 aufgeführten Publikationen.

Zudem gibt es Studien, die die globalen Potenziale für die Digitalisierung in mehreren Sektoren gleichzeitig abschätzen bzw. diese auch vor dem Hintergrund des eigenen Energieverbrauchs und damit verbundenen Emissionen der IKT kritisch einordnen (siehe zum Beispiel (Belkhir & Elmeligi, 2018; Bieser, Hintemann, Beucker, Schramm, & Hilty, 2020; GeSI & Deloitte, 2019; Hintemann et al., 2021; Lange, Pohl, & Santarius, 2020)). Diese kommen teilweise zu stark abweichenden Einschätzungen über Energieeffizienz- oder CO₂-Minderungspotenziale. Die Ursache hier kann in den genutzten Szenarien und Rahmenbedingungen liegen, die teilweise die Verbreitungsraten und Einsatzmöglichkeiten der Technologien sowie die Einsparpotenziale deutlich optimistischer bewerten (siehe hierzu auch (Bieser et al., 2020)).

3.3 Bewertung der Einsparpotenziale aus den Studien

Die Auswertung der Studien zeigt deutlich, dass die ermittelten Energie- und Treibhausgasminde- rungspotenziale stark schwanken und von der Definition des untersuchten Technologiefeldes sowie des analysierten Systems (Energieträger, Bilanzgrenzen, etc.) abhängen. Großen Einfluss hat auch die die genutzte Methodik (Szenarien, Modellierung, verwendete Indikatoren, etc.). Ein detaillierter Vergleich der Einsparpotenziale aus den Studien ist daher weder möglich noch sinnvoll. Folgende grundlegende Einschätzungen und Bewertungen können aber getroffen werden:

1. Betrachtung einzelner Technologien bzw. Fallbeispiele vs. umfassende Potenzialanalysen

Ein Vergleich der Studien zeigt deutlich, dass Studien, die einzelne Fallbeispiele betrachten geringere Potenziale ermitteln als umfassende Potenzialanalysen, die ganzheitliche digitale Lösungen flächendeckend auf den Gebäudebestand skalieren (siehe z. B. Beitrag zum Schließen der Lücke bei Klimaschutzzielen zwischen 0,12 % und 0,5 % bei (Gährs, Weiß, Bluhm, Dunkelberg, & Katner, 2021) vs. 30 % bei Beucker & Hinterholzer, 2019). Diese Abweichung lässt sich zu großen Teilen darauf zurückführen, dass ein umfassendes Energiemanagement in Gebäuden weitaus höhere Energie-Effizienzpotenziale ermöglicht, als einzelne Funktionalitäten, die isoliert betrachtet werden. Dieser Zusammenhang ist bereits in der DIN EN 15232 angelegt, da dort höhere Automations- und Vernetzungsgrade mit größeren Energieeinsparpotenzialen assoziiert werden.

2. Skalierung und Unterschiede in der Modellbildung

Häufig werden ermittelte Effizienzpotenziale nur auf einen kleinen Teil des Gebäudebestands skaliert (z. B. Einfamilienhäuser), obwohl diese potenziell auch auf Mehrfamilienhäuser und Nichtwohngebäude übertragbar wären. Dadurch kommen die Studien zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen und es entstehen Unsicherheiten bei der Einschätzung der Energieeffizienzpotenziale (siehe z. B. bis zu 37 % Energieeinsparungen im Gebäudesektor durch Smart Home und intelligente Gebäudevernetzung in Bitkom & Accenture, 2021) vs. thermische Energieeinsparungen von 9 bis 14 % durch Smart Home in Modellhaushalten in Quack et al., 2019). Der Gebäudebestand ist jedoch nicht einheitlich und besteht aus Häusern unterschiedlicher Größe, Bauart, Sanierungszustand, etc. Dementsprechend müssen mögliche Einsparungen gleichermaßen differenziert bewertet werden. Diese Unterschiede können jedoch in komplexeren Modellrechnungen berücksichtigt werden. Unsicherheiten sollte entgegengewirkt werden, indem fundierte (gemessene) Beispiele aus der Praxis erhoben und in Modellen mit dem realen Gebäudebestand korreliert werden.

3. Indikatoren und Größenordnungen von Einsparpotenzialen

Auch für die in den Studien verwendeten Indikatoren zu Einsparpotenzialen gilt, dass sich keine einheitliche Linie ergibt. Von CO₂-Minderungspotenzialen (gemessen in Mt CO₂ oder CO₂-Äquivalenten) über eine Verringerung des Energieverbrauchs (gemessen in TWh) bis hin zu dem Anteil an den Emissionsminderungszielen im deutschen Gebäudesektor (gemessen in Prozent oder Anteil an den Zielen für die Jahre 2030, 2045 oder 2050) werden verschiedene Vergleichsgrößen genutzt.

Stark vereinfacht lässt sich festhalten, dass alle Studien ein Potenzial für den Einsatz digitaler Technologien zur Reduktion des thermischen Energieverbrauchs in Gebäuden sehen. Dabei spielt die angepasste und optimierte Steuerung von Heizungsanlagen eine zentrale Rolle. Die Höhe dieses Potenzials schwankt (abhängig vom Gebäudetyp) zwischen einigen wenigen Prozent bis zu 30 – 40 %. Die meisten Studien kommen dementsprechend auch zu dem Schluss, dass sich durch die Reduktion des thermischen Energieverbrauchs bis zum Jahr 2030 bzw. 2045 signifikante Mengen Emissionen im Gebäudesektor einsparen lassen. Dies gilt auch unter Berücksichtigung des Eigenenergieverbrauchs der Systeme sowie dem stetig wachsenden Anteil erneuerbarer Energien an der Versorgung in Deutschland. Auch hier schwankt das Emissionsminderungspotenzial zwischen einigen wenigen Prozent bis zu rund 30 % des Emissionsminderungsziels im Jahr 2030.

4. Rückschlüsse für das Vorhaben ReDaWi

Ziel des Vorhabens ReDaWi ist es, das Energieeffizienzpotenzial aus der Optimierung von Heizungsanlagen systematisch zu untersuchen. Dabei sollen sowohl Art und Umfang der Einsparpotenziale als auch die Wirksamkeit digitaler, vernetzter Optimierungsansätze bewertet werden. Dies soll durch die Aufbereitung aussagekräftiger Referenzprojekte (Best-Practice) aus dem mehrgeschossigen Wohnungsbau geschehen. Die Beispiele sollen aufzeigen, welche Einsparungen und Energieeffizienzpotenziale im mehrgeschossigen Wohnungsbau realisierbar sind und sie sollen zur Nachahmung anregen.

Angesichts der Vielzahl der bestehenden Begriffe und Ansätze zu digitalen Gebäudetechnologien sowie den zu erreichenden Zielen von ReDaWi, empfehlen die Autoren folgende Schritte:

1. *Eindeutige Definition des Begriffs der Heizungsanlagenoptimierung und dessen Einordnung bzw. Abgrenzung zu bereits bestehenden Begriffen und Ansätzen wie z. B. der Gebäudeautomation. Insbesondere wird ein deutlicher Bezug zu Heizungsanlagen in Gebäuden empfohlen.*
2. *Eindeutige Definition der technischen Funktionen einer (Heizungs-) Anlagenoptimierung und deren Zuordnung zu den drei logischen Ebenen der Wärmeversorgung in Gebäuden (Wärmeerzeugung, -verteilung und -übergabe).*
3. *Fokussierung der Referenzprojekte auf solche, in denen eindeutig definierte Funktionen einer (Heizungs-) Anlagenoptimierung umgesetzt wurden. Dazu sollen keine ausschließlichen Monitoringmaßnahmen oder einmalige Analysen zählen, da diese per se keine kontinuierlichen Einsparungen garantieren.*
4. *Um nachvollziehbare und reproduzierbare Einsparungen aus Referenzprojekten dokumentieren zu können, sollten diese auf gemessenen Energieeinsparungen oder Abrechnungsdaten beruhen. Alle Energieeinsparungen sollten zudem klimabereinigt werden. Eine Umrechnung in Emissionsminderungspotenziale (CO₂-Emissionen oder CO₂-Emissionsäquivalente) sollte nach einheitlichen und anerkannten Standards und Rechenmethoden erfolgen.*
5. *Für eine Einordnung der in den Referenzprojekten erzielten Einsparungen sollten grundsätzlich neben den umgesetzten Maßnahmen einer (Heizungs-) Anlagenoptimierung auch die Rahmenbedingungen der jeweiligen Gebäude (Bauart, -alter, Sanierungszustand, etc.) sowie die Zusammensetzung ihrer Bewohnerinnen und Bewohner angegeben werden, eine Vergleichbarkeit und Einordnung zu ermöglichen.*

Quellen

1. Agora. (2018). Wert der Effizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung. Endbericht einer Studie vom Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu), dem Fraunhofer IEE und Consentec. Agora Energiewende (Hrsg). Abgerufen von Agora Energiewende (Hrsg) website: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/wert-der-effizienz-im-gebaeudesektor-in-zeiten-der-sektorenkopplung/>
2. Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 177, 448–463.
3. Bertscheck, I., Erdsiek, D., Niebel, T., Schuck, B., Seifried, M., Ewald, J., ... Walter, T. (2020). Schwerpunktstudie Digitalisierung und Energieeffizienz—Erkenntnisse aus Forschung und Praxis. Berlin: BMWi. Abgerufen von BMWi website: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/schwerpunktstudie-digitalisierung-energieeffizienz.pdf?__blob=publicationFile&v=12
4. Beucker, S., Bergesen, J. D., & Gibon, T. (2016). Building Energy Management Systems: Global Potentials and Environmental Implications of Deployment. *Journal of Industrial Ecology*, 20(2), 223–233. <https://doi.org/10.1111/jiec.12378>
5. Beucker, S., & Hinterholzer, S. (2019). CO₂-Minderungspotentiale im Wohngebäudesektor durch Gebäudeautomation. Berlin: Borderstep Institut. Abgerufen von Website der Wirtschaftsinitiative Smart Living: https://www.smartliving-germany.de/wp-content/uploads/2022/03/2020-03_Borderstep-Studie_CO2-Reduktion_Smart-Living.pdf
6. Beucker, S., & Hinterholzer, S. (2021a). Energiesparen dank Gebäudeautomation: Ausgewählte Fallbeispiele. Berlin: Borderstep Institut. Abgerufen von Website der Wirtschaftsinitiative Smart Living: <https://www.smartliving-germany.de/aktuelles/energiesparen-dank-gebaeudeautomation-praxisbeispiele-beweisen-wirksamkeit/>
7. Beucker, S., & Hinterholzer, S. (2021b). Klimaschutz und Energieeffizienz durch digitale Gebäudetechnologien. Berlin: Borderstep Institut. Abgerufen von Borderstep Institut website: https://www.bitkom.org/sites/default/files/2021-11/211111_st_klimaschutz-und-energieeffizienz.pdf
8. Bieser, J., Hintemann, R., Beucker, S., Schramm, S., & Hilty, L. (2020). Klimaschutz durch digitale Technologien. Berlin, Zürich: Borderstep Institut, Universität Zürich.
9. Bitkom, & Accenture. (2021). Klimaeffekte der Digitalisierung. Abgerufen 9. Mai 2021, von <https://www.bitkom.org/Klimaschutz>
10. 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
11. 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>
12. Bundesregierung. (2020). Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze (Gebäudeenergiegesetz—GEG). Abgerufen von [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&bk=Bundesanzeiger_BGBI&start=//*\[@attr_id=%27bgbl107s1519.pdf%27\]#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D__1603811241858](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&bk=Bundesanzeiger_BGBI&start=//*[@attr_id=%27bgbl107s1519.pdf%27]#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D__1603811241858)

13. Dena. (2018). Dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH. Abgerufen von Deutsche Energie-Agentur GmbH website: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf
14. DIN EN 15232:2017-12. (2017). Energieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement [Technische Norm]. Berlin: Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag.
15. Gähns, S., Bluhm, H., Dunkelberg, E., Katner, J., Weiß, J., Hennig, P., & Herrmann, L. (2021). Potenziale der Digitalisierung für die Minderung von Treibhausgasemissionen im Energiebereich (Abschlussbericht Nr. 74/2021). Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Abgerufen von Umweltbundesamt website: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/potenziale-der-digitalisierung-fuer-die-minderung>
16. Gähns, 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
17. GeSI, & Deloitte. (2019). Digital with purpose—Delivering a smarter 2030. Brussels.
18. Heimer, T., Köhler, T., Schidlack, M., & Strese, H. (2020). SmartLiving2Market 2020, Eine Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Frankfurt am Main: tech-nopolis Deutschland GmbH. Abgerufen von technopolis Deutschland GmbH website: https://www.smart-living-germany.de/SL/Redaktion/DE/Publikationen/2020_10_19_SmartLiving2Market2020_Studie.html
19. 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.
20. Hintemann, R., & Hinterholzer, S. (2018). Smarte Rahmenbedingungen für Energie- und Ressourceneinsparungen bei vernetzten Haushaltsprodukten Kurzstudie im Auftrag des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND). Berlin. Abgerufen von https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2018/07/energiewende_studie_vernetzte_produkte.pdf
21. Kersken, M., Sinnesbichler, H., & Erhorn, H. (2018). Analyse der Einsparpotenziale durch Smart Home und intelligente Heizungsregelungen. Bauphysik(5, 40. Jahrgang, Sonderdruck). Abgerufen von <https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/ibp-neu/de/dokumente/sonderdrucke/bauphysik-gertis/6-einsparpotenziale-intelligente-heizungsregelung.pdf>
22. 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>
23. Lorenz, J. (2021). Potenziale digitaler Technologien für CO₂-Einsparungen in Bestands-Wohngebäuden des Landes Berlin. Berlin: green with IT e.V. im Auftrag der Technologiestiftung Berlin. Abgerufen von green with IT e.V. im Auftrag der Technologiestiftung Berlin website: <https://green-with-it.de/smart-cities-potenzialstudie-digitaler-technologien-zur-co2-einsparung-in-bestandsgebaeuden/>

24. Müller, Barckhausen, A., Eder, J., Hercegf, A., Maas, H., Nabe, C., ... Zurhold, R. (2018). Rolle der Digitalisierung im Gebäudebereich—Eine Analyse von Potenzialen, Hemmnissen, Akteuren und Handlungsoptionen [Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie]. Berlin: BMWi. Abgerufen von BMWi website: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/rolle-der-digitalisierung-im-gebaeudebereich.pdf?__blob=publicationFile&v=8
25. Quack, D., Liu, R., & Gröger. (2019). Smart Home – Energieverbrauch und Einsparpotenzial der intelligenten Geräte [Studie im Rahmen des Projekts Energie 2020 der Verbraucherzentrale NRW]. Freiburg/Berlin. Abgerufen von <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Smarthome-Stromverbrauch.pdf>
26. Richard, P., & Vogel, L. (2017). Digitalisierung als Enabler für die Steigerung der Energieeffizienz. Berlin: Dena. Abgerufen von Dena website: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9228_dena-Analyse_Digitalisierung_Enabler_Steigerung_Energieeffizienz.pdf
27. 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>
28. 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

