

Astrid Aretz, Clara Lenk, Nesrine Ouanes, Torsten Grothmann, Franziska Mohaupt (IÖW)  
Lars-Arvid Brischke, Helena Stange (ifeu)

# Erfassung und Bewertung des Energiesparpotenzials von digitalen Anwendungen im Strom- und Wärmebereich

Abschlussbericht zum Projekt  
DETECTIVE - Energieeinsparung durch Digitalisierung  
Berlin, Mai 2023





# Impressum

Herausgeber:  
Institut für ökologische  
Wirtschaftsforschung (IÖW)  
Potsdamer Straße 105  
D-10785 Berlin  
Tel. +49 – 30 – 884 594-0  
Fax +49 – 30 – 882 54 39  
E-mail: mailbox@ioew.de  
www.ioew.de

In Kooperation mit:

ifeu – Institut für Energie- und Umwelt-  
forschung Heidelberg gGmbH  
Büro Berlin, Reinhardtstr. 50  
D-10117 Berlin  
Tel. + 49 - 30 – 2844 578-18  
E-Mail: ifeu@ifeu.de  
www.ifeu.de

Dieser Bericht entstand im Rahmen des Forschungsprojekts „DETECTIVE - Energieeinsparung durch Digitalisierung - Systematische Erfassung und Bewertung des Energiesparpotenzials von digitalen Anwendungen im Strom- und Wärmebereich“. Dieses Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 03EI5204A&B gefördert. Die Verantwortung für die Inhalte liegt bei den Autor\*innen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Bildnachweis (Titelblatt):  
Discovery GmbH

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>Erfassung und Systematisierung digitaler Anwendungen im Strombereich</b> .....	<b>15</b>
3.1	Marktübersicht.....	15
3.2	Ergebnisse der Experteninterviews.....	16
3.3	Auswahl der Anwendungen für die weitere Analyse .....	20
3.4	Smart-Meter-Rollout .....	20
3.4.1	Gesetzliche Vorschriften .....	21
3.4.2	Historie .....	24
3.4.3	Stand.....	26
<b>4</b>	<b>Ökologische Bewertung des technischen Aufwands im Strombereich</b> ...	<b>28</b>
4.1	Entwicklung eines Berechnungstools.....	28
4.1.1	Untersuchungsrahmen.....	30
4.1.2	Sachbilanz.....	31
4.1.3	Wirkungsabschätzung.....	32
4.2	Ergebnisse der ökologischen Bewertung.....	33
4.2.1	Sekündliche Erfassung mit Geräteerkennung .....	33
4.2.2	Viertelstündliche Erfassung .....	33
4.2.3	Sensitivitätsanalyse .....	34
<b>5</b>	<b>Bewertung des Einsparpotenzials</b> .....	<b>35</b>
5.1	Datenauswertung Discovergy .....	36
5.1.1	Datengrundlage .....	36
5.1.2	Ergebnisse .....	37
5.2	Datenauswertung Fresh Energy .....	39
5.2.1	Datengrundlage .....	39
5.2.2	Ergebnisse .....	41
<b>6</b>	<b>Fokusgruppen im Strombereich</b> .....	<b>44</b>
6.1	Konzeption und Durchführung der Fokusgruppen .....	44
6.2	Ergebnisse der Fokusgruppen .....	45
6.2.1	Entscheidungsgrundlage .....	45
6.2.2	Auseinandersetzung mit dem Stromverbrauch und Nutzung des Informationsangebots .....	46
6.2.3	Verhaltensänderungen.....	47
6.2.4	Datensuffizienz .....	47

<b>7</b>	<b>Handlungsempfehlungen für den Strombereich.....</b>	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>Erfassung und Systematisierung digitaler Anwendungen im Wärmebereich .....</b>	<b>50</b>
8.1	Ansatzpunkte für Einsparanwendungen .....	50
8.2	Produktkategorien und Einsparpotenziale .....	52
8.2.1	Verbrauchstransparenz .....	52
8.2.2	Betriebs- und Effizienzüberwachung .....	55
8.2.3	Regelung der Wärmeerzeugung .....	57
8.2.4	Optimierte Wärmeverteilung .....	61
8.2.5	Regelung der Wärmeübergabe („Smartes Thermostat“).....	62
8.2.6	Vermeidung von Nutzwärmeverlusten.....	65
8.3	Auswahl der Anwendungen für die ökologische Bewertung.....	67
8.3.1	Übersichtsmatrix zu Einsparpotenzialen und Datenlage .....	67
8.3.2	Auswahl und Vorgehen für die Analyse.....	68
<b>9</b>	<b>Ökologische Bewertung des technischen Aufwands im Wärmebereich .</b>	<b>69</b>
9.1	Methodik des Berechnungstools .....	69
9.1.1	Untersuchungsrahmen .....	70
9.1.2	Sachbilanzen .....	70
9.2	Ergebnisse der ökologischen Bewertung des Technikaufwands .....	73
9.2.1	Hochfrequente Betriebsüberwachung (EZN) .....	73
9.2.2	Verbrauchsanalyse mit Handlungsempfehlungen (EWUS).....	74
9.2.3	Smarte Thermostate .....	74
<b>10</b>	<b>Bewertung des Einsparpotenzials im Wärmebereich.....</b>	<b>76</b>
10.1	Online-Betriebsüberwachung der Heizungsanlage .....	76
10.1.1	Methodik .....	76
10.1.2	Einsparung Verbrauchsanalyse mit Handlungsempfehlungen .....	78
10.1.3	Einsparung hochfrequente Betriebsüberwachung .....	80
10.1.4	Gegenüberstellung Einsparung und Emissionen durch Technikaufwand .....	83
10.1.5	Hochrechnung des Einsparpotenzials auf den Gebäudebestand .....	84
10.2	Smarte Thermostate .....	90
10.2.1	Methodik .....	90
10.2.2	Gegenüberstellung Einsparung und Emissionen durch Technik .....	91
10.2.3	Hochrechnung des Einsparpotenzials auf den Gebäudebestand .....	93
<b>11</b>	<b>Fokusgruppen zum Wärmebereich .....</b>	<b>98</b>
11.1	Fokusgruppe Online-Betriebsüberwachung.....	99
11.1.1	Methodik .....	99
11.1.2	Ergebnisse .....	100
11.2	Fokusgruppen Smarte Thermostate .....	103
11.2.1	Methodik .....	103
11.2.2	Ergebnisse .....	105
<b>12</b>	<b>Politische Handlungsempfehlungen für den Wärmebereich .....</b>	<b>109</b>

12.1	Betriebsüberwachung von Heizungsanlagen .....	109
	12.1.1 Mehrfamilienhäuser .....	109
	12.1.2 Einfamilienhäuser und kleine Mehrfamilienhäuser .....	111
12.2	Smarte Thermostate.....	112
	12.2.1 Einfamilienhäuser .....	112
	12.2.2 Mehrfamilienhäuser .....	112
	12.2.3 Regulierung smarter Thermostate - Ökodesign.....	113
<b>13</b>	<b>Fazit und Ausblick.....</b>	<b>114</b>
<b>14</b>	<b>Glossar.....</b>	<b>117</b>
<b>15</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>118</b>
<b>16</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>123</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1:	Anwendungsmöglichkeiten und Effizienzpotenzial.....	17
Abb. 4.1:	Systemgrenzen des Anwendungsfalls der sekundlichen Datenerfassung mit Geräteerkennung.....	30
Abb. 4.2:	Anteile der Komponenten an ökologischen Effekten der sekundlichen Erfassung mit Geräteerkennung.....	33
Abb. 4.3:	Anteile der Komponenten an ökologischen Effekten der viertelstündlichen Erfassung.....	34
Abb. 5.1:	a) Mehrverbrauch der 215 Haushalte mit erhöhtem Stromverbrauch b) Einsparungen der 273 Haushalte mit reduziertem Stromverbrauch c) Durchschnittliche Einsparung und Mehrverbrauch der Haushalte mit unterschiedlichen Nutzungszeiten des Smart Meter .....	38
Abb. 5.2:	Verteilung der Haushalte zwischen Mehrverbrauch (rot) und Einsparung (grün) für jede Kategorie der Stromverbrauchseffizienz .....	41
Abb. 5.3:	Monatliche Entwicklung der Anzahl der teilnehmenden Haushalte und die jeweilige Verteilung der Tendenzen (oben); Monatliche durchschnittliche Veränderung des Stromverbrauchs (unten) .....	43
Abb. 8.1:	Bedarf an digitaler Datenerfassung, Feedback und Steuerung in Heizungssystemen .....	51
Abb. 8.2:	Prinzip der digitalen Effizienz bzw. Betriebsüberwachung .....	55
Abb. 9.1:	Systemgrenzen der ökologischen Bewertung für die Online-Betriebsüberwachung .....	70
Abb. 9.2:	Anteile der Komponenten an ökologischen Effekten der viertelstündlichen Erfassung im Wärmebereich .....	73
Abb. 9.3:	Anteile der Komponenten an ökologischen Effekten der Verbrauchsanalyse mit viertelstündlicher Erfassung im Wärmebereich .....	74
Abb. 9.4:	Anteile der Komponenten an ökologischen Effekten der smarten Thermostate ohne Batterie .....	75
Abb. 9.5:	Anteile der Komponenten an ökologischen Effekten der smarten Thermostate mit Batterie .....	76
Abb. 10.1:	EWUS-Daten - Verteilung des Gas-Verbrauches und der Wohnfläche .....	79
Abb. 10.2:	EWUS Daten - Verteilung der Gas-Einsparung .....	79
Abb. 10.3:	EWUS-Daten - Einsparung in Abhängigkeit der Wohnfläche und des Gas- Verbrauches .....	80
Abb. 10.4:	EZN-Daten - Verteilung des Gas-Verbrauches .....	81
Abb. 10.5:	EZN-Daten - Verteilung der Gas-Einsparung.....	81
Abb. 10.6:	EZN-Daten - Einsparung in Abhängigkeit des Gas-Verbrauches .....	82
Abb. 10.7:	Angenommener Ausstattungsgrad großer Mehrfamilienhäuser mit Online- Betriebsüberwachung.....	86
Abb. 10.8:	Abschätzung jährliche Endenergie-Einsparung durch Online- Betriebsüberwachung in großen Mehrfamilienhäusern.....	87
Abb. 10.9:	Kumuliertes Endenergie-Einsparpotenzial von 2023 bis 2050 für Online- Betriebsüberwachung in großen Mehrfamilienhäusern.....	88
Abb. 10.10:	Abschätzung jährliche Netto-Treibhausgas-Einsparungen durch Online- Betriebsüberwachung in großen Mehrfamilienhäusern.....	89
Abb. 10.11:	Abschätzung kumuliertes Treibhausgas-Einsparpotenzial durch Online- Betriebsüberwachung von 2023-2050 in großen Mehrfamilienhäusern .....	90

Abb. 10.12: Angenommener Ausstattungsgrad mit Smarten Thermostaten .....	95
Abb. 10.13: Abschätzung jährliche Endenergie-Einsparung durch Smarte Thermostate in Einfamilien- und Reihenhäusern mit den berücksichtigten Energieträgern.....	96
Abb. 10.14: Abschätzung kumuliertes Energie-Einsparpotenzial 2023-2050 durch Smarte Thermostate in Einfamilien- und Reihenhäuser mit den betrachteten Energieträgern .....	96
Abb. 10.15: Abschätzung jährliche Netto-Treibhausgas-Einsparungen durch Smarte Thermostate in Einfamilien- und Reihenhäusern mit den berücksichtigten Energieträgern .....	97
Abb. 10.16: Abschätzung kumuliertes Netto-Einsparpotenzial von Treibhausgasen durch Smarte Thermostate in Einfamilien- und Reihenhäusern mit den berücksichtigten Energieträgern .....	98

## Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Prognose für die Entwicklung der Mengengerüste von MSGT in 2030.....	27
Tab. 4.1: Systematisierung der ökologischen Effekte von IKT .....	29
Tab. 4.2: Übersicht über die betrachteten Effekte der sekundlichen Stromerfassung mit Geräteerkennung .....	30
Tab. 5.1: Unterteilung der Grundgesamtheit nach den Kriterien Gesamtverbrauch, Änderungen des Verbrauchs und Dauer des Messzeitraums .....	36
Tab. 5.2: Durchschnittlicher Mehrverbrauch und Einsparungen in verschiedenen Kundengruppen .....	39
Tab. 8.1: Überblick Anwendungsbereiche digitaler Einsparmöglichkeiten im Wärmebereich .....	51
Tab. 8.2: Übersicht über die abgeschätzten Einsparpotenziale und Datenverfügbarkeit der betrachteten digitalen Anwendungen .....	67
Tab. 10.1: Abschätzung Einsparung für Gebäudetyp großes Mehrfamilienhaus mit verschiedenen Energieträgern für die Wärmeerzeugung.....	84
Tab. 10.2: Übersicht über Hardware-Emissionen der zwei betrachteten Varianten Smarter Thermostate.....	92
Tab. 10.3: Mindesteinsparung für positive Ökobilanz smarter Thermostate .....	93
Tab. 16.1: Kumulierte Endenergie-Einsparungen durch Smarte Thermostate in Einfamilien- und Reihenhäusern mit den berücksichtigten Energieträgern .....	123
Tab. 16.2: Kumulierte Netto-Einsparungen von Treibhausgasen durch Smarte Thermostate in Einfamilien- und Reihenhäusern mit den berücksichtigten Energieträgern....	123



# 1 Zusammenfassung

Die Digitalisierung schafft die technische Basis für eine systematische Ausschöpfung von Potenzialen zur Reduktion von Energieverbräuchen dar. Mit einer gezielten Datenerfassung und -aufbereitung können einerseits Energieanwender/innen sensibilisiert und motiviert werden, Geräte und Anlagen adäquat zu ihren Nutzungsarten, -mustern und Komfortansprüchen zu dimensionieren und zu betreiben, andererseits kann der Betrieb durch intelligente Steuerungen (teil)automatisiert optimiert werden. Für die erfolgreiche Ausschöpfung der Potenziale ist das Smart Metering jedoch nur der erste notwendige Schritt, der durch Produkte, Software und Dienstleistungen zu flankieren ist, durch die Nutzer\*innen, Betreiber oder die Geräte und Anlagen selbst befähigt werden, Energieeffizienz- und -einsparpotenziale auszuschöpfen. Zusammenfassend bietet die Digitalisierung eine Reihe von Ansatzpunkten und Chancen, Energie passgenau zum tatsächlichen Bedarf und damit wesentlich effizienter als bisher bereitzustellen und zu nutzen.

Das Projekt zielt darauf ab, die Chancen wie auch die Risiken der zunehmenden Digitalisierung des Energiesystems auf der Seite der Energieanwendung systematisch zu quantifizieren. Dazu wurden mögliche Effizienzpotenziale identifiziert und erfasst sowie die die Potenziale der Digitalisierung zur energetischen Optimierung des Geräte- und Anlagenbetriebs und zur Unterstützung energiesparenden und umweltfreundlichen Nutzerverhaltens systematisiert. Besonderer Fokus lag dabei auf der Analyse des Bedarfs an Daten, die für die Nutzung der Effizienzpotenziale auf Verbraucherseite erhoben werden müssen. Daneben wurden die Aufwendungen analysiert, die für die Herstellung und den Betrieb der Anlagen und die Datenverarbeitung notwendig sind. Dies wurde mit dem Ansatz der Ökobilanz erreicht, eine etablierte und verbreitete Methode zur ganzheitlichen, ökologischen Bewertung von Produkten, Gütern und Dienstleistungen. Grundsätzlich wurden zwischen digitalen Anwendungen unterschieden, die der Erfassung des Stromverbrauchs dienen sowie denen für die effiziente Wärmeversorgung.

## **Strombereich**

Für die Bearbeitung des Projekts wurden digitale Anwendungen ausgewählt, die bezüglich des Energieverbrauchs für die Bereitstellung der Dienstleistung analysiert und auf der anderen Seite die möglichen Energieeinsparungen untersucht werden sollten. Die Anwendungen sollten bereits am Markt verfügbar sind und entsprechend schon gemessene Daten zu den Energieeinsparungen vorliegen.

Es wurde eine sehr datenintensive Anwendung untersucht mit einer sekundlichen Datenerfassung, bei der auch eine so genannte Geräteerkennung eingeschaltet werden kann. Daneben wurde noch eine zweite Anwendung untersucht werden, die weniger datenintensive viertelstündliche Messung. Allerdings konnte kein Datensatz zu den Effekten auf den Energieverbrauch nach Einbau des Smart Meter gefunden werden, so dass diese Anwendung nicht in der Tiefe wie die erste Anwendung behandelt werden konnte.

Die Grundlage zur ökologischen Bewertung von digitalen Anwendungen bildet die Methode der Ökobilanzierung. Dieser lebenszyklusbasierte Ansatz betrachtet Umweltwirkungen in jeder Phase des Lebenszyklus von Produkten. Da es sich bei den Anwendungsfällen in dieser Studie nicht um klassische Produkte handelt, sondern um Systeme mit verschiedenen Teilkomponenten, wurde die Methode der Ökobilanz entsprechend angepasst.

Im Ergebnis weist die sekundliche Erfassung mit Geräteerkennung Emissionen von circa 16,8 kg CO<sub>2eq</sub> pro Jahr auf. Den mit Abstand größten Anteil hat die Erfassung der Daten im Haushalt (Datensammlung 66,9 %), welche den Stromverbrauch des Smart Meter und des Smart Meter Gateways widerspiegelt. Den zweitgrößten Anteil hat der Lebenszyklus die moderne Messeinrichtung (19,9 %). Der Gateway macht mit seinem Lebenszyklus nur 3,2 % der Emissionen aus. Insgesamt sorgt die technische Ausstattung des Haushalts mit Smart Meter, Gateway und dem Stromverbrauch der Geräte für 90 % der anfallenden Emissionen. Umgerechnet müssten mindestens 38,4 kWh Strom eingespart werden, damit sich das System aus ökologischer Sicht lohnt.

Für eine viertelstündliche Erfassung lagen keine Primärdaten von Herstellern vor, weshalb die Ergebnisse nur eine Orientierung bieten können. Errechnet wurden Emissionen in Höhe von 15,6 kgCO<sub>2eq</sub> pro Jahr. Trotzdem die Menge an erfassten Daten deutlich geringer ist, bleiben sowohl die technische Ausstattung der Komponenten sowie die Erfassung der Daten im Haushalt im Anwendungsfall der viertelstündlichen Erfassung gleich zur sekundlichen Erfassung. Das hat zur Folge, dass die Emissionen nur um 1,2 kg CO<sub>2eq</sub> unter den Emissionen bei der sekundlichen Erfassung liegen.

Mit dem Einbau von Smart Metern war lange die Erwartung verbunden, als Nebeneffekt Energieeinsparungen beim Stromverbrauch zu erreichen. Um dies zu überprüfen, wurden im Projekt reale Daten von über 1.600 Haushalten aus zwei Datensätzen analysiert, ob sich der Stromverbrauch insgesamt verändert hat. Die Datenaufzeichnung startete unmittelbar nach Einbau des Smart Meter, sodass in den darauffolgenden Wochen Veränderungen ausgewertet werden konnten. Für einen Großteil der Haushalte liegen als Vergleichswerte die Stromverbräuche des Vorjahres vor. Bei allen installierten Zählern wurden die Werte im sekundlichen Takt aufgenommen. Die Daten wurden über ein Gateway an den Messstellenbetreiber gesendet und für den persönlichen Zugriff über ein Onlineportal aufbereitet. Für die Haushalte war es möglich, den Verbrauch einzelner Geräte zu erkennen.

Die Auswertung zeigt, dass sich bei circa einem Drittel der Haushalte der Verbrauch fast nicht ändert. Für die anderen Haushalte ergibt sich eine nahezu gleichmäßige Verteilung zwischen den Mustern einer Stromeinsparung und eines Mehrverbrauchs. Ungefähr 550 Haushalte konnten durchschnittliche Einsparungen erzielen – minus 22 % im ersten und minus 11 % im zweiten Datensatz. Etwa genauso viele Haushalte verzeichneten einen durchschnittlichen Mehrverbrauch von 20 % bzw. 12 % in den beiden Datensätzen.

Gemittelt über alle Haushalte bedeutet dies: Es konnte keine nennenswerte Verbrauchsänderung festgestellt werden. Die Einsparungen durch die ausgewerteten Datensätze liegen nicht innerhalb der erwarteten Bandbreite der vorhandenen Literaturwerte.

Ferner wurde analysiert, wie sich der Zeitraum der Teilnahme am Programm auf jegliche Änderungen auswirkt. Hierfür wurden die Haushalte des ersten Datensatzes in zwei Gruppen unterteilt: In einer Gruppe lag der Messzeitraum zwischen einem halben Jahr und zwei Jahren nach Einbau des Smart Meter, in der anderen Gruppe wurde zwischen zwei und vier Jahren später gemessen. Die Analyse zeigt eine Verstärkung der Trends zur Einsparung bzw. zum Mehrverbrauch im Laufe der Zeit: Während die Mehrheit der ersten Gruppe fast keine Veränderung des Verbrauchs aufwies, war dieser Anteil in der zweiten Gruppe deutlich geringer. In dieser Gruppe, die den Smart Meter mindestens zwei Jahre lang nutzt, war der Stromverbrauch entweder deutlich gesunken oder deutlich gestiegen, wobei die Haushalte, die sparen, leicht überwiegen.

Die Analysen zeigen, dass es insgesamt zu keinen nennenswerten Einsparungen kommt. Die relevanten negativen ökologischen Wirkungen des Rollouts können nicht kompensiert werden. Um die Bilanz zwischen ökologischem Aufwand und Nutzen auszugleichen, braucht es daher zweierlei: Einen durchdachten Rollout, bei dem durch effizienten Einbau maximale Einsparungen erzielt werden, und eine datensparsame Strategie, bei der die negativen Wirkungen der Geräte minimal gehalten werden. Aus diesen Ergebnissen wurden Empfehlungen abgeleitet, wie der Rollout zügig umgesetzt werden, dabei aber die Datenerhebung sparsam erfolgen und damit möglichst geringe ökologischen Wirkungen.

### **Empfehlungen für den Smart-Meter-Rollout aus Umweltsicht**

#### **1. Rollout für das Gelingen der Energiewende vorantreiben**

Die Integration der erneuerbaren Energien in das Energiesystem kann nur gelingen, indem Stromerzeuger und Verbraucher\*innen digital verknüpft werden. Dafür müssen Haushalte mit Smart Metern ausgestattet werden, die eine sichere, zuverlässige und datenschutzkonforme Übertragung ermöglichen. Der Rollout muss durch ambitionierte Maßnahmen beschleunigt und der Verzug bei den Ausbauzielen aufgeholt werden. Die Verbreitung der Smart Meter sollte effizient erfolgen, insbesondere durch einen flächendeckenden Ausbau. Zudem sollte die digitale Infrastruktur so konzipiert sein, dass alle Energie- und Wasserverbräuche der Haushalte erfasst und über eine gemeinsame Schnittstelle versendet werden können.

#### **2. Verbrauchsdaten mit Bedacht erheben**

Die Frequenz der Datenerhebung sollte so festgelegt werden, dass so wenige Daten wie nötig erhoben werden. So könnten die Daten im Normalfall etwa wöchentlich und nur bei Bedarf, wie bei einem flexiblen Tarif, viertelstündlich ausgelesen und versendet werden. Eine höhere Frequenz sollte keinesfalls als „Default“ gewählt werden, sondern nur dann, wenn dies aus technischer Sicht erforderlich ist. Rechenintensive Dienstleistungen, die auf einer hoch aufgelösten Datenerhebung basieren, sollten nur auf expliziten Wunsch der Verbraucher\*innen und zeitlich befristet angeboten werden können.

#### **3. Kosten des Rollouts sollten nicht ausschließlich Verbraucher\*innen tragen**

Die Kosten für einen Smart Meter werden in der Regel nicht durch die damit einhergehende Stromeinsparung kompensiert. Da ihre Verbreitung eine notwendige Infrastruktur für die Energiewende ist, sollte diese Belastung nicht vollumfänglich den Verbraucher\*innen übertragen werden. Zumindest ein Teil der Kosten sollte von der öffentlichen Hand z.B. aus Steuermitteln bezuschusst werden.

### **Wärmebereich**

Aus dem Zusammenspiel von Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung, Wärmeübergabe und Wärmenutzung ergeben sich mehrere Ansatzpunkte für digitale Anwendungen zur Wärme-Energieeinsparung. Mithilfe digitaler Technologien können sowohl Effizienzpotenziale bei der Erzeugung, Verteilung und Übergabe der Wärme erschlossen, als auch Einsparungen beim Verbrauch erleichtert werden. Als mögliche Ansatzpunkte wurden identifiziert: (1) Verbrauchstransparenz, (2) Betriebs- und Effizienzüberwachung, (3) Regelung der Wärmeerzeugung, (4) optimierte Wärmeverteilung, (5) Regelung der Wärmeübergabe („Smarte Thermostate“) und (6) Vermeidung von Nutzwärmeverlusten.

Für jeden dieser Ansatzpunkte werden Produktbeispiele und deren Funktionsprinzip, sowie die notwendigen technischen Komponenten, Datenübertragung und -verarbeitung dargestellt. Außerdem wird das Einsparpotenzial – hauptsächlich anhand von Literaturrecherchen zu Mess- und Simulationsdaten – eingeschätzt. Auf Grundlagen dieser Zusammenstellung wurden zwei Anwendungsarten als besonders interessant für eine weitergehende Analyse ausgewählt: (i) die digitale Betriebs- und Effizienzüberwachung von Heizungsanlagen in Mehrfamilienhäusern und (ii) smarte Thermostate in Einfamilienhäusern.

Für die digitale Betriebs- und Effizienzüberwachung von Heizungsanlagen in Mehrfamilienhäusern standen über die Zusammenarbeit mit den Unternehmen Energiezentrale Nord (EZN) und Effiziente Wärme- und Stromlieferung (EWUS) zwei umfangreiche Datensätze zu erzielten Energieeinsparungen bereit, die im Rahmen des Einsparzähler-Programms des BMWK ermittelt wurden.

EZN bietet eine hochfrequente (minütliche Datenübertragung) Betriebsüberwachung und Analyse inklusive Optimierung der Einstellungen und Hydraulik – ggf. mit Eingriffen vor Ort – der Heizungsanlage an. EWUS leitet aus der Analyse der viertelstündlich digital erfassten Verbrauchsdaten Handlungsempfehlungen zur Betriebsoptimierung ab, deren Umsetzung den Kunden obliegt.

Für beide Anwendungen wurde die der Herstellung der technischen Komponenten, sowie der Datenübertragung und Datenverarbeitung, zuzuordnenden Treibhausgasemissionen ermittelt. Dabei zeigt, sich, dass die ökologischen Auswirkungen vor allem von den technischen Komponenten (> 95 %) und weniger von den Datenflüssen abhängen.

Die Analyse der gemessenen Energieeinsparungen ergibt eine durchschnittliche Einsparung von 10 % für die hochfrequente Betriebsüberwachung von EZN und 5 % für die Verbrauchsanalyse mit Handlungsempfehlungen von EWUS, wobei keine Abhängigkeit vom absoluten oder spezifischen Verbrauch oder der Größe der untersuchten Gebäude beobachtet werden konnte. Die durch eine digitale Betriebsüberwachung durchschnittlich vermeidbaren Treibhausgas-Einsparungen sind demnach – je nach verwendetem Energieträger – etwa 75- bis 300-mal höher als die durch die Technik verursachten Emissionen.

Die für den gesamten Bestand an Mehrfamilienhäusern in Deutschland mit einer hochfrequenten Betriebsüberwachung möglichen Energie- und Treibhausgaseinsparungen bis zum Jahr 2050 wurden mit dem Gebäudemodell GEMOD des ifeu abgeschätzt. Dabei wurden zwei verschiedenen schnelle Hochlaufpfade der Technik (optimistischer Referenzpfad und ambitioniertes Wachstum) und zwei Szenarien (Klimaschutz- und „Business-as-usual“-Szenario) für die Entwicklung des Energieverbrauches des Gebäudebestandes, eingesetzter Heizungstechnologie und Stromerzeugung verwendet. Es ergibt sich ein kumuliertes Einsparpotenzial zwischen ca. 27 TWh und 65 TWh Endenergie bzw. 2,4 Mt bis 13,1 Mt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten von 2023 bis 2050.

Eine Nachrüstung von großen Mehrfamilienhäusern mit einer digitalen Betriebs- bzw. Effizienzüberwachung ist somit sinnvoll und meist auch wirtschaftlich. Eine digitale Effizienzüberwachung sollte daher – analog zur Vorgabe für Nichtwohngebäude in der europäischen Gebäudeeffizienzrichtlinie – für Wohngebäude mit einer Heizungsanlage über 290 kW durch das Gebäudeenergiegesetz verpflichtend werden.

Grundsätzlich sollten alle neuen Heizungsanlagen über eine gut sichtbare digitale Effizienz-Anzeige verfügen. Die Energieverbräuche und erzeugten Wärmemengen sollten erfasst und gespeichert werden, so dass Vergleiche mit vergangenen Jahren möglich sind. So wird die Effizienz auch

für Betreiber\*innen kleinerer Heizungsanlagen – etwa in Einfamilienhäusern – transparent und befähigt sie einen suboptimalen Betrieb oder Fehlfunktionen zu erkennen und eine Wartung zu veranlassen.

Auch bei den smarten Thermostaten werden zwei Produktbeispiele betrachtet: zum einen die weit verbreiteten smarte batteriebetriebene Stellantriebe mit Thermostatfunktion, die über ein Internet-Gateway mit dem Smartphone kommunizieren. Zum anderen eine Variante ohne auszuwechselnde Batterien, welche die notwendige Energie zum Betrieb der smarten Stellantriebe aus der Wärme der Heizkörper zieht, und in Verbindung mit solarbetriebenen Raumthermostaten ohne Internetanschluss funktioniert.

Für beide Varianten werden die Treibhausgasemissionen für die technischen Komponenten der Ausstattung eines Einfamilien- bzw. Reihenhauses mit solchen smarten Thermostaten abgeschätzt. Daraus ergibt sich, dass in einem typischen Einfamilienhaus je nach Energieträger mindestens etwa 0,2 % bis 0,8 % der zur Wärmerzeugung eingesetzten Energie eingespart werden müssen, um eine positive Umweltwirkung zu erreichen. Im typischen Reihenhaus sind dafür aufgrund des niedrigeren Energieverbrauches 0,3 % bis 1,1 % Einsparung notwendig. Dabei wird von einer Nutzungsdauer der smarten Thermostate von zwölf Jahren ausgegangen.

Durchschnittlich werden in Einfamilienhäusern mit smarten Thermostaten laut einer Feldstudie Einsparungen von 4 % erzielt. Dabei zeigt sich aber, dass es bei dieser Technologie sehr auf die individuellen Umstände und Nutzung ankommt: nicht in jedem Fall wird Energie eingespart – die Streuung der beobachteten Einsparungen und Mehrverbräuche ist hoch. Dennoch kann in Einfamilien- und Reihenhäusern zumindest im Durchschnitt von einer Netto-Treibhausgas-Einsparung ausgegangen werden.

Für Mehrfamilienhäuser ist die Datenlage weniger eindeutig. Werden smarte Thermostate nur in einzelnen Wohnungen genutzt, bewirkt der „Wärmeklau“ zwischen unterschiedlich stark beheizten Wohnungen in Mehrfamilienhäuser ein deutlich reduziertes Einsparpotenzial auf Gebäudeebene.

Für die Hochrechnung des Einsparpotenzial smarterer Thermostate auf den Wohngebäudebestand in Deutschland werden daher nur Einfamilien- und Reihenhäuser berücksichtigt. Dieses wird wie bei der Betriebsüberwachung mit zwei verschiedenen schnellen Hochlaufpfaden der Technik (optimistischer Referenzpfad und ambitioniertes Wachstum) und zwei Szenarien (Klimaschutz- und „Business-as-usual“-Szenario) berechnet. Kumuliert ergeben sich für die Jahre 2023 bis 2050 Energieeinsparungen zwischen ca. 29 TWh und 87 TWh bzw. Treibhausgaseinsparungen zwischen 4,6 Mt und 16,5 Mt CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Da eine Energieeinsparung durch smarte Thermostate aber nicht in jedem Fall gegeben ist, und stark von den individuellen Umständen abhängt, ist hier eine Pflicht zur Nachrüstung weniger sinnvoll. Um eine Kommunikation mit dem Nutzenden, die zu einer energiesparenden Verwendung ermutigt, und eine ressourcenschonendes Produktdesign mit weniger Batterieabfall, anzureizen, werden Ideen für eine Regulierung von smarten Thermostaten im Rahmen von Ökodesign auf EU-Ebene vorgeschlagen.

## 2 Einführung

Die Energiewende steht vor der nächsten Phase. Einerseits brauchen wir einen massiven Zubau an erneuerbaren Energien, um die wegfallenden Kohle- und Kernkraftwerke zu kompensieren, andererseits wird durch die Sektorkopplung der Strombedarf größer, was wiederum eine noch größere Kapazität an erneuerbaren Energien benötigt. Doch dieser Ausbau ist mit der vorhandenen Infrastruktur nicht mehr zu handhaben. Der Netzausbau kann nicht folgen und auch das Marktdesign stößt an seine Grenzen. Sicher ist, dass der ambitionierte Ausbau nicht ohne eine digitale Infrastruktur möglich ist, denn die Erzeugung erneuerbarer Energien und die Nachfrage müssen intelligent aufeinander abgestimmt werden. Dazu wurden mit dem Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende (Deutscher Bundestag 2016) für die Haushaltsseite der Weg aufgezeigt, mit dem der Smart-Meter-Rollout realisiert werden sollte. Doch die Ziele wurden aus verschiedenen Gründen nie erreicht. Mit dem Regierungswechsel kam neuen Schwung in den Smart-Meter-Rollout mit dem im April 2023 vom Bundestag beschlossenen Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende (Bundestag 2023) soll der Einbau von Smart Metern unbürokratischer und schneller möglich sein.

Mit den Smart-Metern werden auch Erwartungen an die Ausschöpfung von Energieeinsparpotenzialen geknüpft, denn die Digitalisierung schafft die Basis für eine systematische Ausschöpfung dieser Potenziale. Das gilt auch für den Wärmebereich. Laut Cohen (2018) sind 70 % der Heizungsanlagen im Bestand sanierungsbedürftig. Daraus ergibt sich ein erhebliches Potenzial für die Einsparung von Energie, das mit digitalen Anwendungen deutlich einfacher erschlossen werden könnte.

Mit einer gezielten Datenerfassung und -aufbereitung können einerseits Energieanwender/innen sensibilisiert und motiviert werden, Geräte und Anlagen adäquat zu ihren Nutzungsarten, -mustern und Komfortansprüchen zu dimensionieren und zu betreiben, andererseits kann der Betrieb durch intelligente Steuerungen (teil-)automatisiert optimiert werden. Für die erfolgreiche Ausschöpfung der Potenziale ist das Smart Metering jedoch nur der erste notwendige Schritt, der durch Produkte, Software und Dienstleistungen zu flankieren ist, durch die Nutzer\*innen, Betreiber oder die Geräte und Anlagen selbst befähigt werden, Energieeffizienz- und -einsparpotenziale auszuschöpfen. Zusammenfassend bietet die Digitalisierung eine Reihe von Ansatzpunkten und Chancen, Energie passgenau zum tatsächlichen Bedarf und damit wesentlich effizienter als bisher bereitzustellen und zu nutzen. Die Ausschöpfung von Energieeffizienz- und -einsparpotenzialen, insbesondere auch im Geräte-, Anlagen- und Gebäudebestand, wird bisher nicht systematisch adressiert, ebenso wenig wie Fragen zur Nutzerakzeptanz, etwa zu möglichen Vorbehalten und Hemmnissen. Auch werden die potenziellen Energiesparmöglichkeiten smarter Anwendungen im Haushalt durch steigende Energie- und Ressourcenverbräuche inner- und außerhalb des Haushaltes konterkariert, sei es durch Reboundeffekte vernetzter Geräte beim lokalen Energieverbrauch, den Energie- und Ressourcenverbrauch der digitalisierten Geräte und der Netz-Infrastruktur oder durch sogenannte indirekte Reboundeffekte, die auf zusätzliche Konsumoptionen zurückzuführen sind.

Daher werden in diesem Bericht die Energieeinsparpotenziale, die mit der Nutzung digitalen Anwendungen im Strom- und Wärmebereich erschlossen werden können, quantifiziert, diesen aber auch die zusätzlichen Aufwendungen, die für die Herstellung der Komponenten und die Datenerhebung verbunden sind, gegenübergestellt und bilanziert.

## 3 Erfassung und Systematisierung digitaler Anwendungen im Strombereich

### 3.1 Marktübersicht

Grundprinzip aller Anwendungen im Strombereich ist eine differenzierte Erfassung des Stromverbrauchs in Haushalten. Dies wird meistens mit Hilfe eines Smart Meter realisiert, es werden aber auch Dienstleistungen angeboten, die auf dem selbständigen Ablesen des Zählers beruhen und dann bei der Erfassung und Auswertung der abgelesenen Daten unterstützen. Insgesamt stellte sich heraus, dass die meisten angebotenen Dienstleistungen keine Kontinuität aufwiesen. Auch die Anbieter sind zum Teil nur temporär auf dem Markt, verändern die Angebote oder auch die Zielgruppen oder verschwinden wieder. Die Marktübersicht, die zu Beginn des Projektes erstellt wurde, hat daher zum Ende keine Aussagekraft mehr.

Festgestellt wurde, dass es eine Bandbreite an digitalen Angeboten gab und auch noch gibt, die verschiedene Zielgruppen ansprechen und sich auch bezüglich des Digitalisierungsgrads deutlich unterscheiden, also insgesamt für verschiedene Bedarfe Angebote zur Verfügung stehen.

Bei den Zielgruppen erstreckte sich das Angebot von normalen Haushalten über spezielle Angebote für Haushalte mit hohem Stromverbrauch über 6.000 kWh/a, Angebote für Haushalte in ausgewählten geographischen Gebieten, Angebote speziell für Prosumer und eine große Bandbreite für Gewerbekunden. Neben Strom deckt ihr Anwendungsbereich teilweise auch die Wasser- und Wärmeversorgung ab.

Unterschiede bei den Anwendungen gibt es in den Messintervallen und damit der Auflösung der erfassten Stromverbrauchswerte. Die Intervalle reichen von einer sekundlichen (oder sogar untersekundlichen) Messung über viertelstündlichen Messungen bis zu unregelmäßig selbständig abgelesenen Werten.

Die Anwendungen, bei denen die Nutzenden die Energieverbräuche selbst eintragen müssen, sind Apps, in denen die Werte verwaltet und visualisiert werden. Die Nutzenden erhalten so einen Überblick über die Entwicklung ihrer Verbräuche im Vergleich zu anderen Zeiträumen und erhalten Rückmeldung, wie sich ihre Verbräuche im Vergleich zu anderen Haushalten darstellen.

Anwendung mit einer größeren Digitalisierungstiefe sind diejenigen, die mit modernen Messeinrichtungen und Gateways, den so genannten Smart Metern, die Verbräuche an Dienstleister übertragen. Die Dienstleister können ihre Energieversorger, Messstellenbetreiber oder externe Dienstleister sein. Auch hier werden die Verbrauchsdaten in einer App dargestellt, aber automatisiert übertragen.

Mit Blick auf die Frequenz der Datenerfassung lassen sich zwei Gruppen identifizieren. Der Großteil der identifizierten Anwendungen misst den Stromverbrauch „in Echtzeit“, d.h. sie übertragen Messdaten sekundlich oder alle zwei Sekunden. Daneben werden Anwendungen mit einem viertelstündlichen Messintervall angeboten, die typisch sind für die Pflichteinbaufälle nach dem Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende. Vereinzelt sind auch Angebote mit einer stündlichen Datenerhebung auf dem Markt vertreten.

Darüber hinaus wird als zusätzliche Dienstleistung für die Anwendungen, die sekundliche Messungen durchführen, die so genannte Geräteerkennung angeboten. Hierbei analysiert der Dienstleister anhand der Verbrauchswerte den Lastgang. Dafür wird ermittelt, ob sich für weit verbreitete elektrische Geräte (wie Waschmaschine, Geschirrspüler oder Kühlschrank) die typische Verbrauchslinie in dem Lastgang wiederfindet und wird diesem zugeordnet. Damit lässt sich nach Aussage eines Anbieters etwa 60 % des Stromverbrauchs aufschlüsseln. Diese Aufschlüsselung kann dann für eine Übersicht über die Verbräuche einzelner Geräte dienen und wird in der App entsprechend aufgeschlüsselt dargestellt.

Alle Anwendungen, die im Rahmen der Recherche identifiziert wurden, versprechen Energieeinsparungen oder Effizienzgewinne. Dies setzt die Annahme voraus, dass die Nutzenden von solchen digitalen Anwendungen aufgrund zusätzlicher Informationen, die sie über die Anwendungen erhalten, ihr Verhalten ändern, z. B. Geräte weniger einschalten, oder alte Geräte durch neue ersetzen, mit denen sie ihren Stromverbrauch senken können.

Im Projekt soll der Fokus auf den digitalen Anwendungen liegen, die automatisch die Verbrauchswerte erfassen und mit digitalen Endgeräten das Feedback an die Nutzenden unterstützen. Als Basisanwendung werden die Verbrauchsmessungen aufbereitet, visualisiert und den Nutzenden auf ihren digitalen Endgeräten zur Verfügung gestellt. Über die Darstellung des eigenen Energieverbrauchs hinaus bieten sich weitere Möglichkeiten der Datenauswertung – teilweise in Verknüpfung mit anderen Daten wie etwa Wetterprognosen.

## 3.2 Ergebnisse der Experteninterviews

Über die Marktrecherche hinaus wurden Interviews mit zwei Experten geführt, einer ist Beschäftigter eines am Markt aktiven Unternehmens, der andere ein Verbandsvertreter der Branche. Beide verfügen über einen guten Überblick über die Dienstleistungen selbst, die Anbieter und auch über Trends, die sich für den zukünftigen Markt abzeichnen. Im Folgenden sind die Kernaussagen beider Interviews zu verschiedenen thematischen Bereichen dargestellt. Sie sind zusammengefasst, damit keine Rückschlüsse auf die Interviewpartner gezogen werden können.

### Anwendungen

Die Expert/innen bestätigen die Erkenntnisse aus der Marktrecherche: Im Prinzip lassen sich momentan zwei Anwendungstypen unterscheiden:

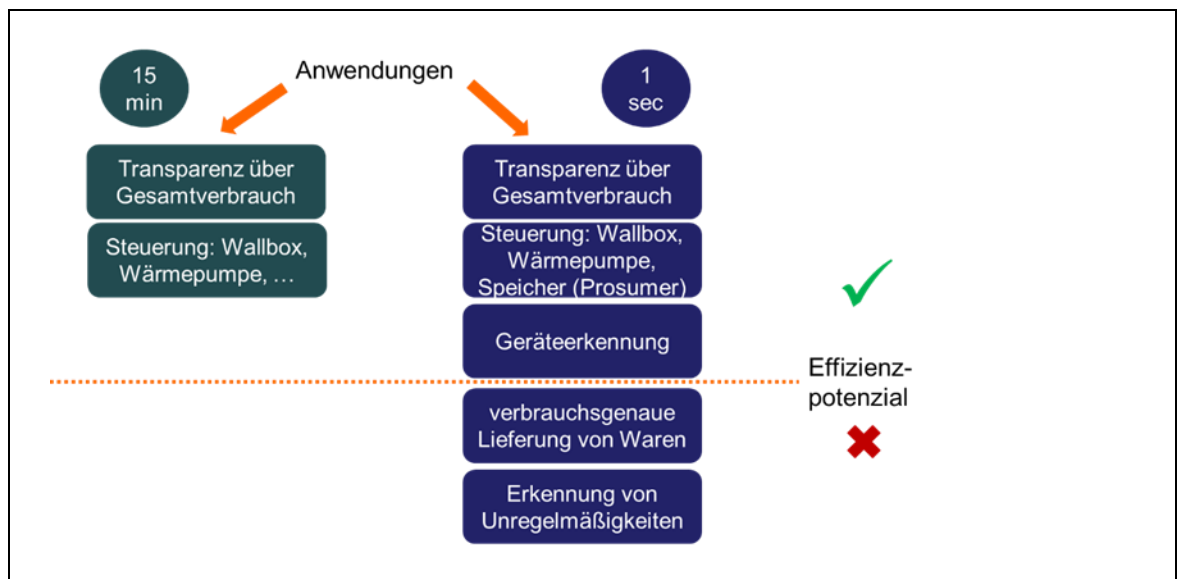
- a) Standardanwendung: Erfassung des Stromverbrauchs alle 15 Minuten, die zur Herstellung von Transparenz über Stromverbrauch und zur Steuerung von Wärmepumpen und Wallboxen als ausreichend gesehen wird
- b) Differenzierte Erfassung: sekundliche bis untersekundliche Erfassung des Stromverbrauchs, derzeit Geräteerkennung als zentrales Anwendungsfeld

Die Experten sind sich einig, dass für die Herstellung von Transparenz über den eigenen Energieverbrauch eine 15minütige Messung ausreichend ist. Auch lassen sich bei diesem Messintervall Wärmepumpen und Wallboxen für das Aufladen von Elektrofahrzeugen im Haus steuern, da sie längere Laufzeiten haben und keine sekundengenaue Steuerung benötigen, den solche „Steuerungssignale brauchen keine hohe Auflösung“. Es wird die Einschätzung gegeben, dass das Potenzial für Energieeinsparungen bereits mit dem Erhalt monatlicher Aufstellungen gegeben sei. Denn



mit Blick auf die Entwicklung des Stromverbrauchs insgesamt könne man aus monatlichen Übersichten schon viel ablesen.

Die Experten sind sich einig, dass eine Gerätekennung wiederum nur mit hoch aufgelösten Verbrauchsdaten, „mindestens sekundliche Messung“ möglich sei. Denn nur mit Hilfe einer sekundlichen Auflösung des Stromverbrauchs lassen sich verbrauchsähnliche Geräte unterscheiden. Zwischen diesen beiden Polen – 15 Minuten und sekundlich – gebe es laut den Experten bislang keine Anwendung, die getestet wird. Die Interviews verdeutlichen jedoch auch, dass das Thema digitale Erfassung sehr dynamisch ist und sich derzeit insbesondere im Start-up-Bereich viel entwickelt. Hier werden weitere Anwendungen getestet, die die Auswertung der gemessenen Daten für weitergehende Dienstleistungen verwerten möchten, wie etwa die Erkennung von Unregelmäßigkeiten – also untypischen Verbrauchsprofile im Tagesablauf. Diese könnten als Auslöser für Notrufe eingesetzt werden, wenn Bewohner\*innen beispielsweise keine typische Gerätenutzung zeigen oder für das Versenden von push-Nachrichten mit Warnhinweisen bei ungewöhnlichem Stromverbrauch. Als weiteres Beispiel wurde die verbrauchsgenaue Lieferung von Waren genannt. So könnten Spülmaschinen- oder Kaffeetabs, deren Verbrauch an die Anzahl der Spülmaschinengänge oder gebrühten Kaffeeinheiten gekoppelt ist, die sich wiederum mit Hilfe der Gerätekennung erfassen lassen, automatisch geliefert werden.



**Abb. 3.1: Anwendungsmöglichkeiten und Effizienzpotenzial**

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Ergebnisse der Experteninterviews

In Abb. 3.1 werden die Erkenntnisse über die Anwendungen zusammengefasst. Auch wenn sich das Projekt Detective auf die Anwendungen konzentriert, bei denen ein Effizienzpotenzial vermutet wird, sind andere Anwendungen mindestens unter der Perspektive der Kundenansprache zu betrachten. Denn Anwendungen, die den Komfort verbessern sollen, können auch der Einstieg sein für das Thema Energieeffizienz.

## Effizienzpotenzial / Geschäftsmodell / Zielgruppe Haushalte

Ob eine Anwendung, die auf Energieeinsparung abzielt, für einen Haushalt interessant ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Die Experten differenzieren zwischen Energieverbrauch des Haushaltes, Besitz einer PV-Anlage, Wärmepumpe, Speicher oder Elektroauto. Daran knüpfen sich Möglichkeiten einer Kopplung verschiedener Anwendungen, die sich auf Basis der Energieverbrauchserfassung realisieren lassen. Dabei wird deutlich, dass die Experten die Zukunft eher in der Kopplung von Anwendungen im Strom- und Wärmebereich sowie bei Prosumern sehen. In beiden Feldern bestehen Potenziale durch die flexible Ansteuerung von Elementen wie Wärmepumpen oder Batteriespeicher.

Bei Privatkunden werden drei Haushaltstypen für die Nutzung von Smart Metern gesehen:

- die, die Einsparungen erhoffen (monetär),
- die Technologieaffinen (häufig skeptisch wegen Datenschutz) und
- die mit ökologischem Fokus (Minderheit).

Ein Experte schätzt vor allem, dass die Verknüpfung mehrerer Anwendungen wie Transparenz, Geräteeerkennung, Sicherheit und Sektorkopplung die Anwendung für Kund\*innen attraktiv mache. Diese Meinung teilt der andere Experte, sieht aber vor allen mehr Potenzial in der Kopplung mehrerer Funktionen, insbesondere mit dem Wärmebereich, und weniger in der Geräteeerkennung. „Normale“ Haushalte seien eher nicht die Zielgruppe der hier diskutierten digitalen Anwendungen, auch nicht von der Geräteeerkennung. Als Kunden kämen eher Prosumer und Verbraucher\*innen mit Wärmepumpe und Elektroauto sowie Gewerbekunden wie Hausverwaltungen, Wohnungswirtschaft in Frage. Einzelhaushalte ständen da eher nicht im Fokus. Als zusätzliches zukünftiges Anwendungsfeld wurde auch Mieterstrom gesehen.

Zusammenfassend sehen die Experten Effizienzpotenziale insbesondere in Haushalten, die entweder (noch) einen hohen Stromverbrauch haben oder Prosumer sind.

## Künftige Entwicklung

Auf die Frage, wie sich digitale Anwendungen weiterentwickeln, nennen die Expertinnen viele Beispiele, die über eine Auswertung von Daten (insb. mit hoch aufgelösten Daten) möglich sind. Diese lägen jedoch nicht im Bereich der Energieeffizienz. Kommt der Rollout für alle Haushalte; dann seien auch Effizienzkampagnen über Messstellenbetreiber denkbar mit entsprechendem Potenzial, mehr Haushalte als bisher zu erreichen.

## Datenerfassung und Datensuffizienz

Um den Energieaufwand abschätzen zu können, der notwendig ist, um Einsparpotenziale in Haushalten zu identifizieren, sucht das Forschungsteam nach möglichst konkreten Messabläufen einerseits und fragt andererseits, welche Daten notwendig sind, um die Effizienzpotenziale zu heben. Dazu wurde gefragt, wie lange Daten mit welcher Frequenz erhoben werden müssen.

Ein Experte ist der Ansicht, dass eine intensive Erfassung über einen zeitlich begrenzten Zeitraum technisch ausreiche, um Geräte zu erkennen. Aussagen über ihre Performance fallen jedoch aus Sicht des anderen Experten leichter, wenn man die Verbrauchswerte über einen längeren Zeitraum

erfasst. Mit Blick auf die Geräteerkennung stellt sich die Frage, inwiefern eine dauerhafte sekundliche Messung des Stromverbrauchs notwendig ist, wenn die Performance der Geräte, die in einem Haushalt vorhanden sind, einmal erhoben wurden. Ausgehend von der Überlegung, dass für die Identifikation ein begrenzter Zeitraum ausreicht, wurden die Experten gefragt, ob eine Anpassung der Granularität von Messwerten denkbar sei. Dies sei zwar technisch möglich und für die Unternehmen, die Daten ablesen und auswerten, auch kein großer Aufwand. Jedoch müsse die Umstellung der Messfrequenz selbst der Messstellenbetreiber vornehmen, was als aufwendig angesehen wurde.

Mit Blick auf Einspareffekte, die sich aufgrund der Transparenz über den eigenen Stromverbrauch einstellen, wurden die Experten gefragt, inwiefern hier eine dauerhaft feine Granularität, also eine hohe Messfrequenz, notwendig ist. Auch stellt sich die Frage, wie lange die Nutzer\*innen die über die Messungen erzeugten Informationen tatsächlich abrufen und verarbeiten. Wenn die Nutzer\*innen ihren Stromverbrauch nach vier oder sechs Wochen nur noch monatlich abrufen, könnte eine weniger feinteilige Erfassung des Verbrauchs ausreichend sein. Es wurde jedoch in den Interviews deutlich, dass sich die Akteure aktuell nicht mit der Fragen nach einem datensparsamen Einsatz auseinandersetzen. Vielmehr verfolgen die Unternehmen den Ansatz, Daten in möglichst hoher Auflösung zu sammeln und zu prüfen, was man mit diesen Daten erreichen kann.

Zukünftig könnte die Speicherkapazität ein relevanter Kostenfaktor werden, um die Kundendaten zu sichern. Allerdings stellt das zur Zeit noch kein Problem dar, um jetzt schon Strategien dafür zu entwickeln.

### **Energieverbrauch der Datenerfassung**

Um den Energieverbrauch der Datenerfassung und Auswertung abschätzen zu können, wurden die Experten zu den einzelnen Verarbeitungsschritten und deren Relevanz für den Energieverbrauch befragt:

- Datenerfassung über Smart Meter: hier ist der Energieverbrauch des Gerätes im Betrieb entscheidend.
- Datenübertragung: Das Datenvolumen kann über Funkstrecke oder über Kabel übertragen werden. Den Energieverbrauch pro Datenvolumen kann man erfassen und hochrechnen. Die Übertragung über Funkstrecke wird aus Sicht der Experten favorisiert („immer, wenn es geht“).
- Speicherung: Um den Energieaufwand für die Speicherung abzuschätzen, muss man die Bereitstellung der Speicherkapazität über einen Server erfassen. Deutlich wird, dass es Sprünge im Energieverbrauch gibt, immer dann, wenn ein neuer Server in Betrieb genommen werden muss, um weitere Daten zu speichern. Je gefüllter ein Server, desto geringer der Energieverbrauch pro Speichereinheit.
- Datenaufbereitung, Betrieb des Portals: Anwendung der App sind aus Sicht eines Experten die Haupttreiber beim Energieverbrauch. Je nachdem, mit welchem Endgerät die Nutzer die Informationen abrufen, kann der Energieverbrauch variieren. Indirekt wird auch Energie verbraucht, wenn die Daten zwar bereitgestellt, aber nicht abgerufen werden. Die Daten sind aufbereitet und liegen in Datenbank.

Offen bleibt, welche Bezugsgröße für die Abschätzung des Energieverbrauchs herangezogen werden kann. Im Idealfall sollte dies für alle Schritte gleich sein, damit man den Energieverbrauch für eine digitale Anwendung pro Haushalt abschätzen kann.

#### **Datenschutz / Sicherheit**

Die Empfänger und Auswerter der Energieverbrauchsdaten sind zertifiziert, u.a. über eine verschlüsselte Speicherung; außerdem haben nur bestimmte Personen Zugriff auf die Daten. Das Datenschutzgesetz stellt die Unternehmen vor Herausforderungen: Da Daten nur für den Zweck genutzt dürfen, für die sie erhoben wurden, haben Unternehmen einen sehr begrenzten Spielraum. Liegt der Gewinn der Erfassung der Energieverbrauchsdaten in der kombinierten Nutzung, bedarf es einer Zustimmung für jede Anwendung. Dies mache den Sprung von einem Start-up zu einem größeren Unternehmen mit vielen Kund\*innen schwieriger.

### **3.3 Auswahl der Anwendungen für die weitere Analyse**

Für die weitere Bearbeitung des Projekts wurden digitale Anwendungen ausgewählt, die bezüglich des Energieverbrauchs für die Bereitstellung der Dienstleistung analysiert und auf der anderen Seite die möglichen Energieeinsparungen untersucht werden sollten. Daher war eine Bedingung für die Auswahl, dass die Anwendungen bereits am Markt verfügbar sind und entsprechend schon gemessene Daten zu den Energieeinsparungen vorliegen.

Um eine sehr datenintensive Anwendung zu untersuchen, wurde eine mit einer sekundlichen Datenerfassung ausgewählt. Da Discovery in dem Projekt Praxispartner ist, konnten für die Projektbearbeitung Daten der Kund\*innen dieses Anbieters zur Verfügung gestellt und ausgewertet werden. Des Weiteren stehen von Fresh Energy, die ebenfalls über das vom Bund geförderte Einsparzählerprogramm (BAFA 2021) Smart Meter bei Kund\*innen eingebaut haben, die gemessenen Daten zur Verfügung (Milojkovic 2021).

Daneben sollte noch eine zweite Anwendung untersucht werden, hier sollte die weniger datenintensive viertelstündliche Messung analysiert werden. Allerdings konnte kein Datensatz zu den Effekten auf den Energieverbrauch nach Einbau des Smart Meter gefunden werden, so dass diese Anwendung nicht in der Tiefe wie die erste Anwendung behandelt werden konnte. Für die Abschätzung des Energieeinsatzes für die Erfassung, Verarbeitung und Bereitstellung der Daten konnten aber Berechnungen durchgeführt werden.

### **3.4 Smart-Meter-Rollout**

Die fortlaufende Transformation des Energiesystems in Deutschland prägt verschiedene Aspekte der Energiewertschöpfungskette: von der Erzeugung, Übertragung und Verteilung bis zum Verbrauch. Dieser Wandel erfordert ein intelligentes, hochflexibles und stark vernetztes Zusammenspiel mehrerer Akteure. Verschiedene Studien zur technischen und regulatorischen Machbarkeit und zur sozialen Akzeptanz und Partizipation beweisen, dass die Digitalisierung hierbei eine enorme Rolle spielt. Intelligente digitale Anwendungen sind notwendig zur Erfassung, Übertragung und Visualisierung von wichtigen Kennzahlen und Messwerten und zur (Fern-)steuerung und Automatisierung der energiewendespezifischen Anwendungen und Geräte.

### 3.4.1 Gesetzliche Vorschriften

Ende 2016 wurde das Messstellenbetriebergesetz (MsbG) verabschiedet (Deutscher Bundestag 2016), das den Messstellenbetrieb in der Energiewirtschaft neu strukturiert und den Rollout von Smart Metern und moderne Messsysteme (MM) im Strom- und Wärmebereich regelt.

Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) definiert in der Anfang 2019 veröffentlichten technischen Richtlinie BSI TR TR-0310903109-1 „Anforderungen an die Interoperabilität der Kommunikationseinheit eines intelligenten Messsystems“ 14 Anwendungsfälle für die Tarifierung, Bilanzierung und Netzzustandsdatenerheben, die die Smart Meter Gateways erfüllen müssen (BSI 2019).

Im Folgenden werden die 14 Tarifierungsanwendungsfälle (TAF) kurz beschrieben und jeweils die Mindestanforderungen, die dem/der Letztverbraucher/in zur Verfügung gestellt werden müssen, gelistet:

#### **Anwendungsfälle für die Tarifierung und Bilanzierung**

##### **- TAF 1: Datensparsame Tarife**

Dieser Anwendungsfall beschreibt Tarife, wo Datensparsamkeit bei der Verbrauchsabrechnung im Vordergrund rückt. Der Smart Meter versendet einen Zählerstand pro Abrechnungszeitraum an den autorisierten externen Marktteilnehmer/innen. Der Abrechnungszeitraum ist als Parameter für den Smart Meter im Voraus einzutragen und darf dabei nicht kürzer als ein Monat betragen.

##### **- TAF 2: Zeitvariable Tarife**

Bei diesem Anwendungsfall gelten für die zu verschiedenen Zeiten verbrauchten Energiemengen unterschiedliche Tarife. Es könne zwischen einem Haupttarif (HT) und einem Nachttarif (NT) unterschieden werden, die im Voraus im Smart Meter voreingestellt werden. Konkret gibt es daher Tarifumschaltzeitpunkte, zwischen denen die abfallende Energiemenge kumuliert und innerhalb des vorbestimmten Zeitraums abgerechnet wird.

Dieser Anwendungsfall kann auch zeitlich variable Einspeisungen erfassen und diese dementsprechend abhängig von der Zeit abrechnen/vergüten.

##### **- TAF 3: Lastvariable Tarife**

Bei lastvariablen Tarifen geht es darum, Lastschwellen vorzubestimmen, die dann verschiedene Laststufen mit unterschiedlicher Tarifierung ermöglichen. Es handelt sich also um lastabhängige Umschaltzeitpunkte, die vor allem für Industrieverbräuche relevant sein können. Konkret kann die Last entweder mithilfe des Leistungsmittelwertes oder auf Basis der Momentanleistung bestimmt werden und im Smart Meter vorprogrammiert werden. Ähnlich wie bei TAF 2 wird die unter einer bestimmten Laststufe anfallende Energiemenge kumuliert. Der gesamte Energieverbrauch wird daher auf den verschiedenen Laststufen verteilt und entsprechend abgerechnet.

Dieser Anwendungsfall kann auch lastvariable Einspeisungen erfassen und diese dementsprechend abhängig von der Leistungsschwelle abrechnen/vergüten.

- **TAF 4: Verbrauchsvariable Tarife**

Analog zu TAF 3, wo die Tarifierung sich von der anfallenden Last (Leistung) bestimmen lässt, handelt es sich bei TAF 4 um eine Tarifierung je nach Energiemenge. Es werden also Energiemengenkontingente definiert, die die Tarifumschaltzeitpunkte definieren.

Dieser Anwendungsfall kann auch verbrauchvariable Einspeisungen erfassen und diese dementsprechend abhängig vom Energiemengenkontingent abrechnen/vergüten.

- **TAF 5: Ereignisvariable Tarife**

Dieser Fall tritt als generalisierter Anwendungstarif für ereignisbasierte Tarifierung auf. Das erlaubt ein Wechsel zwischen Tarifstufen, der durch SMGW-interne Ereignisse oder durch externe Marktteilnehmer hervorgerufen ist.

Analog zu den TAFs 2-4 erlaubt dieses TAF auch die ereignisvariable Abrechnung von Einspeisungen.

- **TAF 6: Abruf von Messwerten im Bedarfsfall**

Mit diesem Anwendungstarif wird es möglich, gespeicherte und aktuelle Messwerte in nicht geplanten Situationen abzurufen. Als Beispiele können der Aus- und Einzug von Letztverbraucher/innen, der Wechsel des/der Lieferant/in und des Grundversorgungstarifs genannt werden. Dementsprechend ist dieser Fall nicht im Normalbetrieb/Regelbetrieb anzuwenden, sondern nur mit bestimmten gut begründeten Ausnahmefällen.

- **TAF 7: Zählerstandsgangmessung**

Dieser Anwendungsfall ist dafür gedacht, dass die Smart Meters Zählerstände erfassen und versenden können. Diese Funktion ist für die zentrale Tarifierung bei den Messstellenbetreibern wichtig. Im Grunde geht es darum die verbrauchten Energiemengen an den jeweiligen externen Marktteilnehmer/innen weiterzugeben. In den Parametereinstellungen der Geräte sind der Gültigkeitszeitraum und die Häufigkeit der Messdatenübersendung einzustellen.

Dieser Anwendungsfall kann auch eingespeiste Energiemengen erfassen und liefern.

- **TAF 8: Erfassung von Extremwerten für Leistung**

In diesem Anwendungsfall sind die Extremwerte der gemessenen Leistung relevant. Dabei speichert der Smart Meter die n niedrigsten bzw. m höchsten Werte im Abrechnungszeitraum. Die Anzahl der zu ermittelnden Extremwerte n und m ist von der Parametereinstellung abhängig.

Analog zu den oben gelisteten TAFs kann dieser TAF auch Extremwerte der Einspeisung auch erfassen und an den relevanten Marktteilnehmer/innen vermitteln.

## Anwendungsfälle für steuerbare Anlagen

### - TAF 9: Abruf der Ist-Einspeisung einer Erzeugungsanlage

Wichtig ist dieser Anwendungsfall zur Einführung von Netzregelungspotentiale. Es erlaubt das Auslesen der Ist-Einspeiseleistung einer Erzeugungsanlage, was besonders für die Energiemanagementprozedere wichtig ist. Die Ist-Einspeiseleistung braucht eine Live-Datenübertragung.

## Anwendungsfälle für Netzzustandsdatenerhebung

### - TAF 10: Abruf von Netzzustandsdaten

Für eine Live-Regelung des Netzes im Rahmen einer Energiemanagementmaßnahme ist die Erhebung der Netzzustandsdaten, besonders für die Netzbetreiber, notwendig. Dies beinhaltet Spannungs- und Stromwerte sowie andere daraus herleitbare Werte.

## Anwendungsfälle

### - TAF 11: Steuerung von unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen und Erzeugungsanlagen

Wichtig für die Tarifierung bei steuerbaren (unterbrechbaren) Verbrauchseinrichtungen und Erzeugungsanlagen ist es, der aktuelle Zählerstand im Zeitpunkt des Steuerungsereignisses zu erfassen. Durch diesen Anwendungsfall wird genau diese kontinuierliche Erfassung der Tarifierung ermöglicht.

### - TAF 12: Prepaid Tarif

Dieser TAF definiert ein Tarifierungsfall, bei dem ein Betrag beim Energielieferanten im Voraus bezahlt und dafür eine Energiemenge für den Verbraucher freigeschaltet wird. Die Freigeschaltete Verbrauchsmenge wird als Parameter im SMGW eingegeben. Beim Unterschreiten eines vordefinierten Schwellwertes bzw. dem Verbrauch der gesamten Energiemenge erfolgt eine Benachrichtigung vom SMGW am Verbrauchenden. Nach Ablauf eines vordefinierten Toleranzzeitraums wird vom SMGW zusätzlich ein Signal an einem Stromunterbrecher abgeschickt.

### - TAF 13: Bereitstellung von Messwertsätzen zur Visualisierung für den Letztverbraucher über die WAN-Schnittstelle

Dieser Anwendungsfall bringt mehr Alternativen für die lokale Datenvisualisierung mit, wobei Messwertsätze aus den jeweiligen Anwendungsfälle an der WAN-Schnittstelle (Wide Area Network) bereitgestellt werden. Dies ist wichtig zur Visualisierung der Daten in einem Portal oder in einer App, ohne an das Hausnetz (HAN: Home Area Network) gebunden werden zu müssen.

### - TAF 14: Hochfrequente Messwertbereitstellung für Mehrwertdienste

Mit diesem Anwendungsfall, hinzugefügt erst in einem später erschienenen Erratum für die BSI TR-03109-1, können Messstellenbetreiber ihren Kunden die Visualisierung von hochaufgelösten, also disaggregierten, Daten und darauf aufbauenden Dienstleistungen anbieten. Dabei können die Daten hochfrequent an den/die Externen Marktteilnehmer\*innen übertragen werden. Dies löst die Tarifierung/Zählermessungen von der datensparsamen Option in TAF 1 und vom 15-minütigen Takt der Messwertsätze, so dass die Messwerte in kleineren Zeitschritten (zum

Beispiel sekundlich oder minütig) gespeichert, übertragen und visualisiert werden können. Unter diesen TAF fällt auch die angebotene Dienstleistung von Discoveryg.

Ferner definiert die durchgeführte Marktanalyse des BSI (BSI 2019) fünf Einsatzbereiche, die durch die verschiedenen TAFs ermöglicht werden und in einem Stufenmodell gegliedert sind:

- Erste Stufe – Einsatzbereich **Smart Metering / Sub-Metering**

Der primäre Einsatzbereich für intelligente Messsysteme ist für die anwendungsspezifische Erfassung des Verbrauchs. In zertifizierten Smart Meters erster Generation (Ende 2019) sind **TAF 1, 2, 6 und 7** vorhanden. Das bedeutet, dass die Smart Meters eine datensparsame und zeitvariable Tarifierung erlauben und einen Abruf von Zählerstandgänge und von Messdaten im Bedarfsfall ermöglichen.

- Zweite Stufe – Einsatzbereich **Smart Grid**

Diese zweite Stufe führt den Einsatzbereich Smart Grid ein. Dabei handelt es sich insbesondere um energiewendespezifische Anwendungsfälle, die zukünftig vor allem für die Einbindung von dezentralen Erzeugungsanlagen, Speichern und steuerbaren Verbrauchseinrichtungen, sogenannten Controllable Local Systems (CLS) eine Rolle spielen werden. Dieser zweite Einsatzbereich benötigt mindestens die **TAF 9, 10 und 14**. Dabei geht es einerseits um die Erhöhung der netzdienlichen Funktion des Smart Meters, in dem die Ist-Einspeisung und den Netzzustand vom SMGW abgelesen werden können (TAF 9 und 10), und andererseits um eine hochfrequente Bereitstellung der Messdaten für Mehrwertdienste (TAF 14).

Diese letzteren drei TAF werden den schon zertifizierten Smart Metern per Softwareupdate in einer nächsten Phase nachgerüstet.

- Dritte Stufe – Einsatzbereiche **Smart Mobility, Smart Home / Smart Building** und **Smart Services**

In dieser dritten Stufe, die zum Zeitpunkt der Verfassung dieses Berichtes noch in Ausarbeitung ist, wird der Einsatzbereich Smart Grid vertieft und um weitere intelligente Anwendungen und Dienstleistungen erweitert. So wird der Einsatzbereich Smart Mobility integriert, um die intelligente Netzdienlichkeit zu bestärken. In der im Mai 2021 erschienenen Studie zu den technischen Eckpunkten für die Weiterentwicklung der Standards werden wichtige Weichenstellungen für die SMGW-Infrastruktur nach zahlreichen Austauschitzungen mit den betroffenen Akteuren präzise vorgestellt. Diese wurden so eingeplant, dass sie, analog zum zweiten Re-Zertifizierungsprozess, mittels Software-Updates den bereits installierten SMGW nachgerüstet werden können.

Für weitere Einsatzbereiche wie Smart Home und Smart Services formuliert das Messstellenbetriebsgesetz nach § 21 Abs.1 Nr. 4a lediglich die Anforderung, dass das SMGW „offen“ für mögliche Anwendungen und Mehrwertdienste sein muss (Bundesregierung 2022a).

## 3.4.2 Historie

Im Folgenden wird die Historie des Smart-Meter-Rollouts, der aktuelle Stand und das zukünftige Potenzial vorgestellt.



In September 2016 wurde das Messstellbetreibergesetz (MsbG) verabschiedet, das den Messstellenbetrieb leitungsgebundenen Energieversorgung neu strukturiert und insbesondere das Rollout von intelligenten Messsystemen und modernen Messeinrichtungen in den Sektoren Strom und Wärme regelt. Bis heute sind Pflichteinbaufälle nur im Strombereich vorgegeben. Nach der Novelle der Heizkostenverordnung (Bundesregierung 2022b) müssen ab 2023 neu installierte fernablesbare Geräte für die Heizkostenerfassung auch an ein Smart-Meter-Gateway, also einen digitalen Stromzähler, angebunden werden

Die neuen Regelungen betreffen nicht nur die Ausstattung von Messstellen der leitungsgebundenen Energieversorgung mit modernen Messeinrichtungen und intelligenten Messsystemen (iMSys), sondern auch die Ausgestaltung des Messstellenbetriebs, die Definition neuer Marktrollen durch die Trennung der Messstellen- und Netzbetriebsaufgaben sowie das Festlegen der technischen Mindestanforderungen für den Einsatz von iMSys und der Datenkommunikationsmaßnahmen mit dem Smart-Meter-Gateway (SMGT), zum Beispiel die Erhebung, Verarbeitung und Nutzung von Messdaten (Bundesregierung 2022a).

Das MsbG legte fest, dass die Ausstattung der Messstellen mit den modernen und intelligenten Messsystemen nur dann beginnen kann, wenn entsprechend zertifizierte Geräte im Markt erhältlich sind. Laut MsbG war dies in einer vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) durchzuführenden Marktanalyse festzustellen, die als Grundlage für die Feststellung der technischen Möglichkeit nach §30 MsbG dienen soll und mit derer Veröffentlichung der verpflichtende Einbau gestartet werden kann.

Während moderne Messeinrichtungen schon Anfang 2017 im Markt erhältlich und an den entsprechenden Messstellen eingebaut werden konnten, war dieses Kriterium für die iMSys mit SMGT noch nicht erfüllt. Erst Ende 2019 wurden drei konkurrierende Anbieter erfolgreich zertifiziert (BSI 2019). Die Marktanalyse konnte dann darauffolgend vom BSI Anfang 2020 (31.01.2020) veröffentlicht werden.

Obwohl dieser Meilenstein schon längst erreicht wurde, ist die Rollout-Pflicht der iMSys zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes noch nicht gestartet. Dies liegt daran, dass das Prozedere durch ein Gerichtsverfahren in 2020 gebremst wurde. Im Februar 2020 klagten mehrere Unternehmen die Zertifizierungsprozedere der Smart Meter. Daraufhin hat im März 2021 das Gericht entschieden, dass bei der Zulassung von Smart Metern die gesetzlichen Anforderungen nicht ausreichend erfüllt waren, und somit ein Stopp der Einbaupflicht eingeführt. Im Mai 2022 wurde vom BSI die Allgemeinverfügung von 2020 zurückgenommen (BSI 2022b).

Im November 2022 wurde eine Novelle des Messstellenbetriebsgesetzes seitens der Bundesregierung entschieden, um den schnellen Rollout von Smart Metern zu ermöglichen (O A 2022). Mit der Novelle wird ein Neustart des Smart Meter Rollout angegangen, wo mehrere Eckpunkte für das Gesetz angekündigt wurden, zum Beispiel der Entwurf eines verbindlichen Fahrplans mit Rollout-Ziele, die Zulassung verschiedener Rollout-Geschwindigkeiten, das Bündeln mehrerer Smart Meter an einem Gateway. Sowie logistische Anpassungen der Rollout-Formalitäten (Tagesspiegel Background 2022).

### 3.4.3 Stand

Aufgrund der oben genannten verwaltungstechnischen, regulatorischen und rechtlichen Aspekte ist der Einbau der iMSys noch nicht weit vorangeschritten. Der von der Bundesnetzagentur veröffentlichte Monitoringbericht stellt für die Bewertung des aktuellen Bestands und des Gesamtpotenzials an iMSys eine gute Basis dar (BNetzA 2022).

Der Bericht gibt an, wie viele Messstellen insgesamt vom verpflichtenden und optionalen Einbau betroffen sind, sowie wie sich die stattgefundenen Einbaufälle in drei verschiedenen Kategorien aufteilen:

1. Messsysteme gemäß §19 Abs. 5 MsbG
2. Moderne Messeinrichtungen
3. Intelligente Messsysteme im Sinne des MsbG

Die erste Kategorie bezieht sich unter anderem auf eingebaute intelligente Messsysteme, die den Anforderungen der MsbG nicht entsprechen bzw. die (noch) nicht im Sinne der technischen Eckpunkte der BSI zertifiziert worden sind. Hier ist es wichtig zu erwähnen, dass die von Discoveryg installierten Messsysteme in diese Kategorie reinfallen.

Der Bericht unterscheidet ebenfalls sowohl die Pflichteinbaufälle als auch die optionalen Einbaufälle je nach Art und Größe der Letztverbraucher und/oder Anlagenbetreiber. Im Jahr 2020 liegt der Ausbau bei 0,4 % für die verpflichtenden und 0,01 % für die optionalen Fälle. Bezieht man die nicht zertifizierten Smart Meter mit ein, erhöhen sich diese Werte auf 11,5 % bzw. 6,8 %.

Bis 2020 summieren sich die bereits installierten moderne Messsysteme auf 9,5 Millionen, das sind 14,9 % der verpflichtenden und 19,4 % der optionalen Einbaustellen.

Die vorgestellten Zahlen zeigen, dass der Smart-Roll-Out deutlich mehr vorangetrieben werden soll. Der verpflichtende Einbau betrifft Stand heute ca. 7 Mio. Endverbraucher, der optionale Einbau umfasst ca. 44 Mio. Endverbraucher.

Weiterhin bleibt die Anzahl an einbaupflichtigen und optional auszurüstenden Letztverbraucher\*innen und Anlagenbetreiber\*innen über die Jahre nicht konstant, sondern wird signifikant ansteigen, insbesondere mit der vermehrten Nutzung von flexiblen Verbrauchseinrichtungen zur Erreichung der Sektorkopplungs- und Energiewendeziele. Die vom BSI prognostizierte mögliche Entwicklung der Mengengerüste von Smart Meter Gateways in Pflichteinbaufälle ist in Tab. 3.1 vorgestellt (Gähns et al. 2021; BSI 2022a). Prognose schätzt einen Anstieg der auszustattenden Pflichteinbauten von ca. 7 Mio. im Jahr 2020 auf mehr als 15 Mio. im Jahr 2030.

**Tab. 3.1: Prognose für die Entwicklung der Mengengerüste von MSGT in 2030**

Quelle: (BSI 2022a)

Basis	Einbaufälle (nur in Niederspannung)	Stand 2020	Prognose 2030
MsbG	Verbraucher > 6.000 bis 10.000 kWh/a (ohne Verbraucher nach §14a EnWG)	3,7 Mio.	4,1 Mio.
MsbG (LSVO)	Öffentliche Ladeinfrastruktur < 150 kW	0,1 Mio.	0,5 Mio.
EnWG	Verbraucher > 4.000 bis 6.000 kWh/a mit dynamischem Tarif (Elektrizität)	-	0,4 Mio.
MsbG (HKVO)	Verbraucher im Liegenschaftsmodell (§6 MsbG) und SubmeteringSystem	-	> 1,8 Mio.
MsbG	Verbraucher nach §14a EnWG (private LIS, Wärmepumpe, Nachtspeicherheizung)	1,0 Mio.	5,2 Mio.
EEG, KWKG	EEG/KWKG-Erzeuger 25 bis 100 kW	0,2 Mio.	0,3 Mio.
EEG, KWKG	Prosumer mit PV 1 bis 7 kW und steuerbarer Verbrauchseinrichtung (Wärmepumpe, private LIS, Speicher)	0,6 Mio.	1,2 Mio.
<b>Summe</b>		<b>6,6 Mio.</b>	<b>&gt; 15 Mio.</b>

Nach dem Regierungswechsel wurde die Wichtigkeit des Rollout für die Energiewende erkannt und das Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende (Bundestag 2023) erarbeitet und im April 2023 vom Bundestag beschlossen. Damit soll der Einbau der Smart Meter unbürokratischer und schneller erfolgen.

Die größten Neuerungen sind (Bundesregierung 2023):

- Das Gesetz sieht einen Rolloutfahrplan mit verbindlichen Zielen bis zum Jahr 2030 vor. Die Messstellenbetreiber sind per Gesetz beauftragt, die angeschlossenen Verbrauchsstellen schrittweise mit Smart-Metern auszustatten. Ab 2025 ist der Einbau von intelligenten

Messsystemen verpflichtend für Haushalte mit einem Jahresstromverbrauch von über 6.000 Kilowattstunden oder einer Photovoltaik-Anlage mit mehr als 7 kW installierter Leistung. Bis 2030 sollen alle diese Abnehmer entsprechend mit Smart Metern ausgestattet sein. Auch Haushalte, die weniger Strom verbrauchen, haben das Recht auf Einbau eines intelligenten Stromzählers.

- Spätestens ab 2025 sind alle Lieferanten verpflichtet, allen Verbraucher\*innen, die einen Smart Meter nutzen, einen dynamische Stromtarif anzubieten. Diese können dann Strom beziehen, wenn er in kostengünstigeren Zeiten mit hoher Erneuerbare-Energien-Erzeugung zur Verfügung steht.
- Die Kosten für ein intelligentes Messsystem für Privathaushalte und Kleinanlagenbetreiber werden auf 20 Euro pro Jahr gedeckelt. Dafür werden die Netzbetreiber stärker an den Kosten beteiligt. Bei Verbraucher\*innen mit einer steuerbaren Verbrauchseinrichtung nach Paragraph 14a Energiewirtschaftsgesetz ist wegen des höheren Einsparpotenzials eine Preisobergrenze von 50 Euro pro Jahr vorgesehen.
- Der Rollout bedarf künftig keiner Freigabe mehr durch das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI). Die Hersteller am Markt erfüllen mittlerweile die notwendigen hohen Anforderungen an den Datenschutz und die Datensicherheit. Die bestehenden Auflagen werden mit dem Gesetz ausgebaut mit präzisen Vorgaben zu Speicherungen, Löschungen und Anonymisierung.
- Der Rollout kann sofort mit bereits zertifizierten Smart Metern starten. Bestimmte Funktionen sollen später per Anwendungsupdate bereitgestellt werden.

## 4 Ökologische Bewertung des technischen Aufwands im Strombereich

### 4.1 Entwicklung eines Berechnungstools

Die Grundlage zur ökologischen Bewertung von digitalen Anwendungen zur Erfassung des Stromverbrauchs bildet die Methode der Ökobilanzierung. Dieser lebenszyklusbasierte Ansatz betrachtet Umweltwirkungen in jeder Phase des Lebenszyklus von Produkten. Da es sich bei den Anwendungsfällen in diesem Projekt nicht um klassische Produkte handelt, sondern um Systeme mit verschiedenen Teilkomponenten, wurde die Methode der Ökobilanz entsprechend angepasst. Die Schritte der Ökobilanz wurden jedoch entsprechend der Norm für die Erstellung von Lebenszyklusanalysen nach DIN e.V. (2006) erstellt:

- Untersuchungsrahmen (Beschreibung des Anwendungsfalls, Systemgrenzen, etc.)
- Sachbilanz (Prozesse und Daten, die zur Abschätzung genutzt wurden)
- Wirkungsabschätzung (Entwicklung des Berechnungstools)

- Interpretation

Die Vorgehensweise der Ökobilanzierung orientiert sich an der Methodik, die von Gähns et al. (2021) entwickelt wurde. Hierbei wird bei der Bewertung von ökologischen Effekten eine Systematisierung in Effekte erster, zweiter und dritter Ordnung zurückgegriffen. Die Effekte erster Ordnung beziehen sich auf direkte Effekte aus Technologieperspektive, meinen also zum einen zusätzliche Geräte, die für den Anwendungsfall notwendig sind, sowie die Wirkungen von Datentransfer, -aufbereitung, -speicherung und -nutzung. Die Effekte zweiter und dritter Ordnung beziehen sich auf indirekte Effekte, die im Rahmen des Anwendungsfalls entstehen. Die Effekte zweiter Ordnung bezeichnen indirekte Effekte aus Technologieperspektive, unter anderem den Ersatz von Materialien oder Produkten durch digitale Anwendungen. Effekte dritter Ordnung beziehen sich auf Effekte aus der Benutzer- oder Systemperspektive, z.B. eine Verhaltensveränderung im Anwendungsfall. Die Effekte dritter Ordnung, bezogen auf die Benutzerperspektive, wurden mit Hilfe von Datenauswertungen von Dienstleistern durchgeführt und sind in Kapitel 5 beschrieben. In der folgenden Tab. 4.1 sind die Effekte dargestellt.

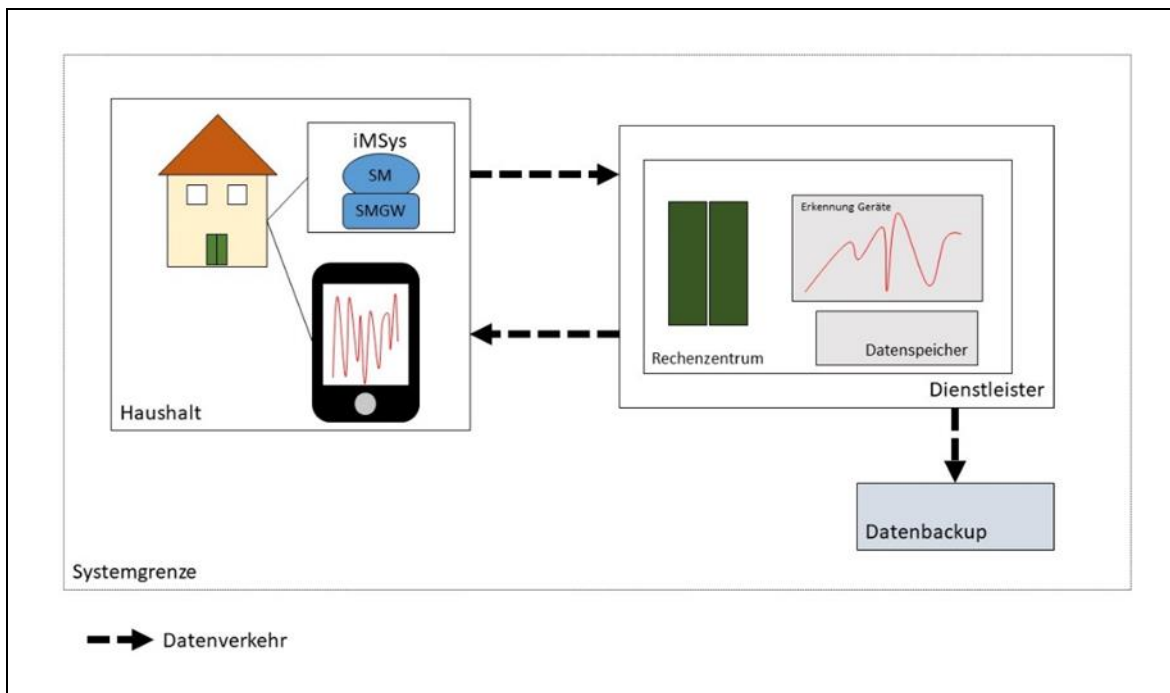
**Tab. 4.1: Systematisierung der ökologischen Effekte von IKT**

Quelle: In Anlehnung an Pohl et al. (2019)

Effekte erster Ordnung (direkte Effekte)	IKT-Lebenszyklus (Produktion, Nutzung, Entsorgung)
Effekte zweiter Ordnung (indirekte Effekte aus Technologieperspektive)	Substitutionseffekte, Optimierungseffekte
Effekte dritter Ordnung (indirekte Effekte aus Benutzerperspektive)	Suffizienz, Spillover-Effekte, Rebound-Effekte

## 4.1.1 Untersuchungsrahmen

In Abb. 4.1 ist der Untersuchungsrahmen innerhalb der Systemgrenzen dargestellt. Es werden sowohl Effekte betrachtet, die im Haushalt auftreten als auch solche die beim Dienstleister der digitalen Anwendung auftreten.



**Abb. 4.1: Systemgrenzen des Anwendungsfalls der sekundlichen Datenerfassung mit Geräteerkennung**

Die Betrachtungsebene ist ein Haushalt mit einem System, welches systematisch und digital den Stromverbrauch erfasst und auswertet. Die unterschiedlichen Ausprägungen von Erfassung und Auswertungen des Stromverbrauchs werden in Kapitel 3.1.3. dargestellt. Der Betrachtungszeitraum ist ein Jahr. Betrachtet werden Effekte erster, zweiter und dritter Ordnung, welche in der folgenden Tab. 4.2 für den hier betrachteten Untersuchungsrahmen dargestellt sind.

**Tab. 4.2: Übersicht über die betrachteten Effekte der sekundlichen Stromerfassung mit Geräteerkennung**

Effekte erster Ordnung	Lebenszyklus von Smart Meter, Smart Meter Gateway, Datentransfer, Datenaufbereitung, Datenspeicherung, Datennutzung
Effekte zweiter Ordnung	Vorzeitiger Austausch Ferraris Zähler
Effekte dritter Ordnung	Suffizienz- bzw. Rebound-Effekte beim Stromverbrauch

Für alle Effekte wurden Teilökobilanzen in SimaPro angefertigt. Wenn möglich wurde auf Datensätze aus ecoinvent oder sonst auf eigene Annahmen zurückgegriffen (Wernet et al. 2016). Ausgewertet wurde das Treibhausgaspotential in CO<sub>2</sub> Äquivalenten (kg CO<sub>2eq</sub>), da diese Wirkungskategorie vor allem im Bereich des Klimawandels und der Energiewende die größte Rolle spielt. Für die Wirkungsabschätzung wurde die CML-IA Methode angewandt (CML 2016). Bei elektronischen Geräten spielt jedoch nicht nur das THG-Potenzial eine wichtige Rolle in der ökologischen Bewertung (siehe dazu Pohl und Finkbeiner (2017)), sondern auch die Nutzung von endlichen Ressourcen. Dies wurden allerdings aufgrund der Schwierigkeiten bei der Datenerhebung nicht berücksichtigt.

## 4.1.2 Sachbilanz

Im Rahmen der Sachbilanz wurden die Daten für die Ökobilanz recherchiert und ausgewertet. Teilweise wurden Komponenten aus der Literatur oder anderen Projekten übernommen. Im Folgenden wird für jede Komponente die Datenerhebung dargestellt.

Für den Strombereich wurden zwei Anwendungsfälle betrachtet. Zum einem die sekundliche Erfassung mit Geräteerkennung und zum anderen die viertelstündliche Erfassung ohne Geräteerkennung. Je nach Anwendungsfall unterscheiden sich die Menge an erhobenen und entsprechend transferierten, ausgewerteten und gespeicherten Daten. Der Smart Meter, der Gateway und die Datenerfassung im Haushalt sind in beiden Fällen gleich.

### Smart Meter

Die Ökobilanz des Smart Meters beruht auf den Primärdaten von (Sias 2017) und betrachtet die Lebensphasen Herstellung, Transport und Abfallbehandlung. Generell wird die Nutzung der Geräte separat betrachtet.

### Smart Meter Gateway

Für die Zusammensetzung des Smart Meter Gateways wurden Hersteller Daten, die im Internet zur Verfügung stehen, genutzt (Sagemcom Dr. Neuhaus GmbH 2016). Die Bestandteile des Gateways sind eine SIM-Karte, das Gehäuse und weiteres Zubehör. Die Lebensdauer wird analog zum Smart Meter mit 12 Jahren angenommen.

### Datenerfassung

Die Datenerfassung im Haushalt wird analog zu (Gähns et al. 2021) über den Stromverbrauch des Smart Meters und des Smart Meter-Gateways angegeben. Obwohl bei der sekundlichen Erfassung laut Hersteller 3 GB Daten erfasst werden und bei einer viertelstündlichen Erfassung nur 0,003 GB pro Jahr unterscheidet sich der Stromverbrauch bei der Erfassung der Daten nicht (Discovery 2020).

### Datentransfer (Funk)

Bei der Abschätzung des Datenverkehrs wurde auf die Studie von Gröger (2020) zurückgegriffen. Hier wird der Energieverbrauch für den Datentransfer mit folgender Formel berechnet:

$$W_{\text{Mobile Daten}} [\text{Wh}] = \text{Datenmenge} [\text{GB}] * 252 \text{ Wh/GB.}$$

Der mobile Datentransfer via Funk funktioniert auf Materialebene über mehrere Funkmasten, deren Hauptbestandteile Beton und Stahl sind. Aufgrund fehlender Daten, sowohl zum Aufbau von Funkmasten als auch zur Lebensdauer, konnten jedoch keine Annahmen über den Materialverbrauch pro GB gemacht werden und die Funkmasten wurden in dieser Analyse vernachlässigt.

### **Datenverarbeitung**

Die Datenverarbeitung umfasst die Aufbereitung der gesammelten Daten beim Dienstleister, sowie die Geräteerkennung. Bei der ökologischen Bewertung wurde zum einen auf Berechnungen von Gähns et al zurückgegriffen. Diese Berechnungen, welche die Datencenter aus Schödwell et al. (2018) zugrunde legt, wurde hier um Primärdaten der IT-Abteilung von Discovery ergänzt. Die Datenverarbeitung wird bei einer viertelstündlichen Erfassung vernachlässigt, weil keine Geräteerkennung stattfindet.

### **Datenspeicherung**

Auch bei Abschätzung ökologischer Effekte von Datenspeicherung und -backup wurde auf die Daten der IT-Abteilung von Discovery zurückgegriffen. Gespeichert werden bei einer sekundlichen Erfassung 1 GB pro Jahr. Für die Backupspeicherung wird weiterhin 1 GB pro Jahr angenommen. Bei einer viertelstündlichen Erfassung wird analog zur sekundlichen Erfassung angenommen, dass ein Drittel der gesammelten Daten gespeichert werden (0,001 GB pro Jahr).

### **Datennutzung**

Die Datennutzung im Haushalt wurde analog zu Gähns et al. (2021) mit 120 min pro Jahr abgeschätzt. Auch die Berechnung der ökologischen Effekte wurde von Gähns et al. (2021) übernommen.

### **Strommix**

Der Strommix wurde für 2020 mit ecoinvent Daten neu modelliert und weist einen Emissionsfaktor von 0,437 kg CO<sub>2eq</sub> auf. Grundlage für die Modellierung war die Nettostromerzeugung 2020, aufbereitet vom Fraunhofer ISE (Fraunhofer ISE 2021).

## **4.1.3 Wirkungsabschätzung**

Für die Wirkungsabschätzung werden die Ergebnisse der Teilökobilanzen in einem Excel-Tool für den entsprechenden Anwendungsfall zusammengefasst. Dargestellt werden können zum einen ökologische Folgen durch die Effekte erster und zweiter Ordnung sowie Suffizienz- bzw. Rebound-Effekte durch die Anwendungsfälle (Effekte dritter Ordnung). Mit Hilfe der angenommenen Lebensdauer von Geräten und dem Datenaufwand werden die ökologischen Effekte für ein Jahr berechnet. Diese werden dann, ausgedrückt in CO<sub>2eq</sub>, den möglichen Folgen durch Effekte dritter Ordnung gegenübergestellt. So wird auch ersichtlich ab welcher Einsparhöhe das System lohnenswert ist beziehungsweise sich aus ökologischer Sicht auch nicht lohnt.

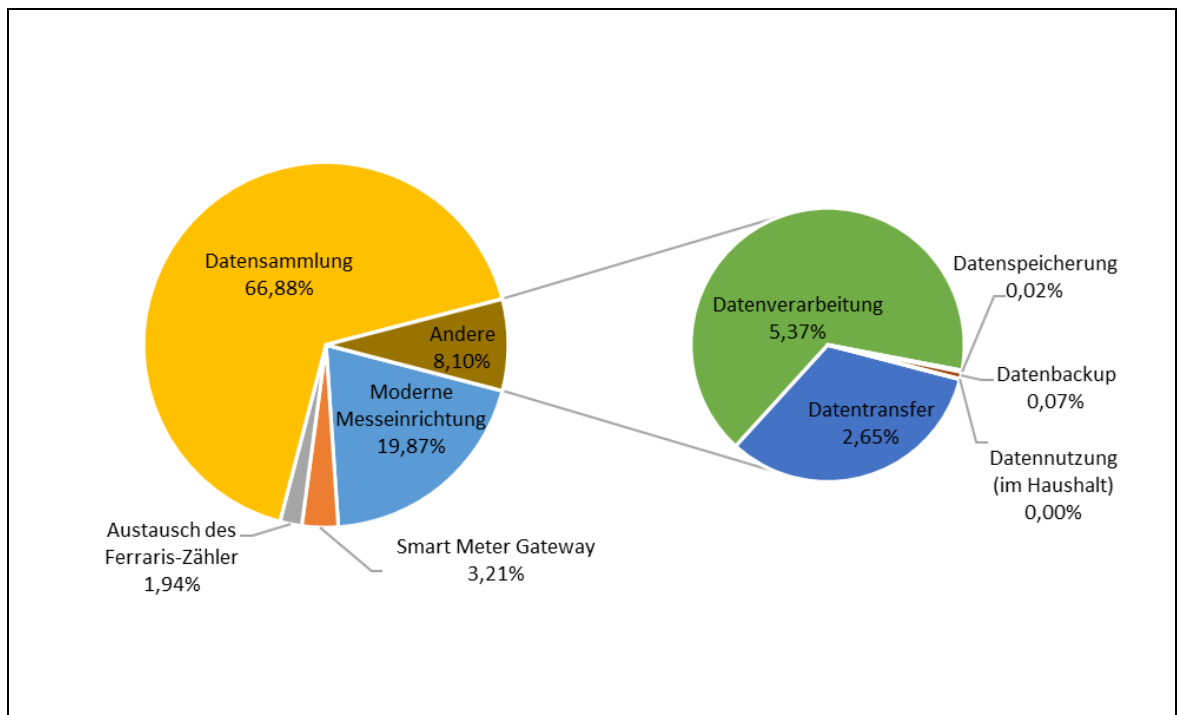


## 4.2 Ergebnisse der ökologischen Bewertung

### 4.2.1 Sekündliche Erfassung mit Geräteerkennung

Die sekundliche Erfassung mit Geräteerkennung weist Emissionen von circa 16,8 kg CO<sub>2eq</sub> pro Jahr auf. In Abb. 4.2 sind die Anteile an diesen Emissionen dargestellt. Den mit Abstand größten Anteil hat die Erfassung der Daten im Haushalt (Datensammlung 66,88 %), welche den Stromverbrauch des Smart Meter und des Smart Meter Gateways widerspiegelt. Den zweitgrößten Anteil hat der Lebenszyklus der modernen Messeinrichtung (19,87 %). Der Gateway macht mit seinem Lebenszyklus nur 3,21 % der Emissionen aus. Insgesamt sorgt die technische Ausstattung des Haushalts mit Smart Meter, Gateway und dem Stromverbrauch der Geräte für 90 % der anfallenden Emissionen. Weitere 1,94 % entstehen durch die vorzeitige Entsorgung des Ferraris Zählers. Nur 8,1 % der Emissionen sind auf den Transfer und die Verarbeitung von Daten zurückzuführen.

Nimmt man für den Strommix einen Emissionsfaktor von 0,437 kgCO<sub>2eq</sub> an (wie hier berechnet für 2020), müssten mindestens 38,4 kWh Strom eingespart werden, damit sich das System aus ökologischer Sicht lohnt.

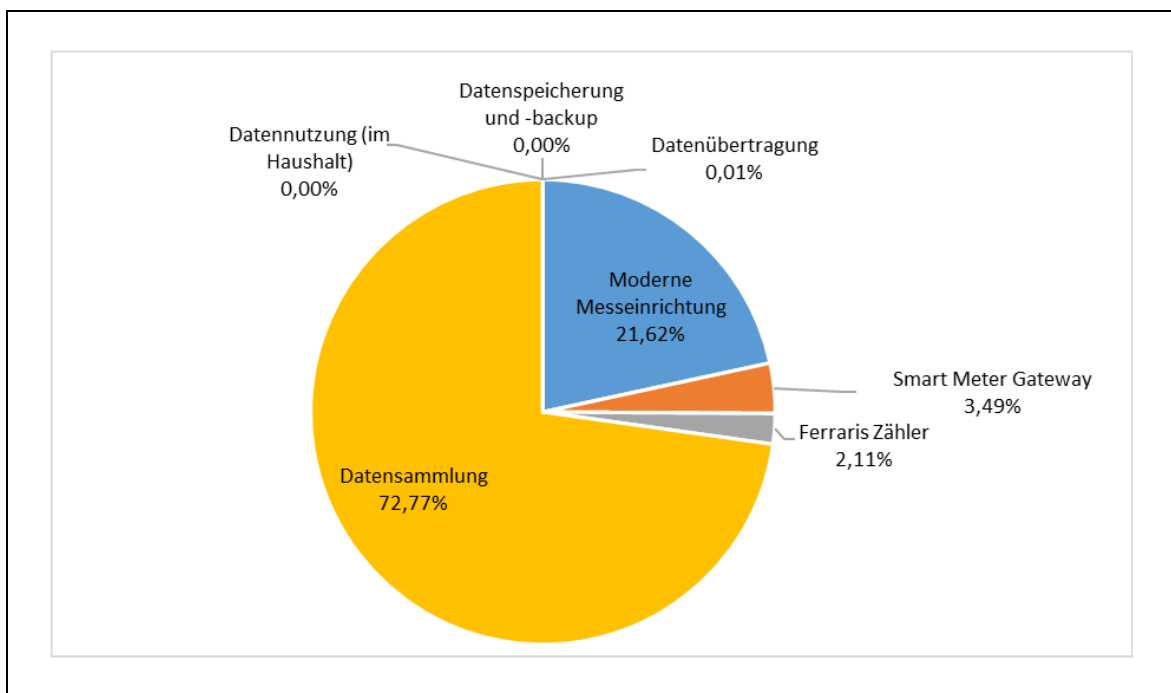


**Abb. 4.2: Anteile der Komponenten an ökologischen Effekten der sekundlichen Erfassung mit Geräteerkennung**

### 4.2.2 Viertelstündliche Erfassung

Für eine viertelstündliche Erfassung lagen keine Primärdaten von Herstellern vor, weshalb die Ergebnisse nur eine Orientierung bieten können. Errechnet wurden Emissionen in Höhe von 15,6 kgCO<sub>2eq</sub> pro Jahr. Trotzdem die Menge an erfassten Daten deutlich geringer ist, bleiben sowohl

die technische Ausstattung mit Smart Meter, Gateway und Entsorgung des Ferraris Zählers, sowie die Erfassung der Daten im Haushalt im Anwendungsfall der viertelstündlichen Erfassung gleich zur sekundlichen Erfassung. Das hat zur Folge, dass die Emissionen nur um 1,2 kg CO<sub>2eq</sub> unter den Emissionen bei der sekundlichen Erfassung liegen. In Abb. 4.3 sind die Anteile an den Emissionen dargestellt. Die Übertragung und Speicherung der Daten spielt in diesem Anwendungsfall kaum noch eine Rolle und ist nur noch für 0,01 % der Emissionen verantwortlich. Die Erfassung der Daten im Haushalt (Datensammlung) macht hier 72,77 % und die moderne Messeinrichtung 21,62 %. Ähnlich wie bei der sekundlichen Erfassung ist das SMGW für 3,49 % und die vorzeitige Entsorgung des Ferraris Zählers für 2,11 % der Emissionen verantwortlich.



**Abb. 4.3: Anteile der Komponenten an ökologischen Effekten der viertelstündlichen Erfassung**

Wieder ausgehend von einem Emissionsfaktor von 0,437 kgCO<sub>2eq</sub> müssen bei der viertelstündlichen Erfassung 35,7 kWh Strom eingespart werden, damit keine zusätzlichen Emissionen durch die Anwendung entstehen. Bei einem Jahresstromverbrauch von 3500 kWh wäre das mindestens 1 % Strom, der eingespart werden muss.

### 4.2.3 Sensitivitätsanalyse

Zur Überprüfung der Ergebnisse wird für beide Anwendungsfälle eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Da ein Großteil der Emissionen mit der Datenerfassung im Haushalt verknüpft ist, welche sich durch den Emissionsfaktor des Strommixes ergeben, wird für beide Anwendungsfälle ein alternativer Strommix angenommen. Grundlage für diesen Strommix bildet die Veröffentlichung „Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 –

2020“ des Umweltbundesamtes (Icha et al. 2021). Da hier für das Jahr 2020 nur ein Emissionsfaktor in  $\text{CO}_2/\text{kWh}$  angegeben ist (also nicht  $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ), wird dieser mit den Verhältnissen aus 2019 hochgerechnet. 2019 lag der Emissionsfaktor für nur  $\text{CO}_2$  bei  $0,434 \text{ kg/kWh}$  und für  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  bei  $0,470 \text{ kg/kWh}$ . Für 2020 wird der Emissionsfaktor für  $\text{CO}_2$  mit  $0,380 \text{ kg/kWh}$  angegeben, was, unter der Berücksichtigung des Verhältnisses von  $\text{CO}_2$  zu  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  in 2019, zu einem Emissionsfaktor von  $0,411 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}$  in 2020 führt.

Da der Emissionsfaktor etwas geringer ist, ergeben sich auch geringere Emissionen für die sekundliche und viertelstündliche Erfassung. Bei einer sekundlichen Erfassung wurden Emissionen in Höhe von  $16,1 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}$  berechnet. Auch hier dominiert die Datenerfassung mit  $66 \%$ . Mit dem angepassten Strommix müssten  $39,2 \text{ kWh}$  mindestens eingespart werden, damit durch die digitale Anwendung keine zusätzlichen Emissionen entstehen. Die viertelstündliche Erfassung emittiert pro Jahr  $14,9 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}$  bei dem angepassten Strommix. Wie bei der sekundlichen Erfassung unterscheiden sich die Anteile der verschiedenen Komponenten. Die Datenerfassung macht  $72 \%$  der Emissionen aus und dominiert auch hier. Damit eine zumindest ausgeglichene Emissionsbilanz entsteht (keine zusätzlichen aber auch keine eingesparten Emissionen) müssen hier mindestens  $36,4 \text{ kWh}$  pro Jahr eingespart werden.

Die Sensitivitätsanalyse mit Hilfe eines angepassten Emissionsfaktors des Strommixes macht deutlich, dass sich durch die Änderung kaum andere Ergebnisse zeigen. Da jedoch viele Annahmen getroffen werden mussten, um fehlende Primärdaten auszugleichen, sind die Ergebnisse generell in Teilen nicht belastbar und geben nur eine grobe Orientierung.

## 5 Bewertung des Einsparpotenzials

Zur Abschätzung der Veränderungen im Stromverbrauch durch einen Smart Meter, wurden zwei Datensätze ausgewertet. Diese Datensätze wurden im Rahmen von zwei Projekten erhoben, die an den Einsparzähler-Programm (BAFA 2021) teilnahmen, die von der deutschen Regierung gefördert wurden. Einer der Datensätze wurde von dem Unternehmen Discovery<sup>1</sup> (siehe Kapitel 5.1) bereitgestellt. Im Rahmen des Programms bot Discovery privaten Haushalten die Installation eines intelligenten Stromzählers an, die sich freiwillig für diese Art der Strommessung entschieden haben. Der Stromverbrauch wurde im Sekundentakt aufgezeichnet. Die gesammelten Daten wurden über ein Gateway an Discovery gesendet und für den persönlichen Zugriff über ein Online-Portal aufbereitet. Das Portal bietet einen Überblick über den Verbrauch des Kunden, inklusive Live-Daten sowie Tages-, Monats- und Jahresdurchschnittswerte im Vergleich. Die Kunden können auch die Erfassung einzelner Geräte auswählen, die durch algorithmische Disaggregation, so genannte Non-Intrusive Load Monitoring (NILM)-Algorithmen (Geräteerkennung), ermittelt werden. Die Nutzenden haben Discovery Metadaten zu ihrem Haushalt zur Verfügung gestellt, wie Anzahl der Haushaltsmitglieder, Wohnfläche, Art der Warmwasserbereitung, Haus/Wohnungsart, Besitz eines Elektroautos/Wärmepumpe.

---

<sup>1</sup> Unternehmenswebsite: [www.discovery.com](http://www.discovery.com)

## 5.1 Datenauswertung Discovergy

Es wurden vom Praxispartner Discovergy Metadaten der Kunden des Einsparzählerprogrammes zur Verfügung gestellt, die vom IÖW auf Verhaltensmuster und Auffälligkeiten untersucht wurden. Diese Haushalte hatten im Rahmen dieses seit 2017 laufenden Förderprogramms einen Smart Meter installiert, der ihnen ihr Stromverbrauchsverhalten sekundlich visualisierte. Dadurch sollte untersucht werden in welchem Maße ein Smart Meter und korrelierende Dienstleistungen das Stromverbrauchsverhalten der Nutzer positiv beeinflusst. Discovergy stand während des Messzeitraums mit den Haushalten in Kontakt und bat sie, Veränderungen in ihren Lebensbedingungen zu berichten, wie z. B. Wechsel der Haushaltsmitglieder.

### 5.1.1 Datengrundlage

Der Datensatz beinhaltete neben Metadaten der 1.288 Kund\*innen zu Haushaltsgröße, Wohnsituation und Art der Warmwasserbereitung, Vergleichswerte zur Änderung des Stromverbrauchs vor und nach Installation des Smart Meters. Ebenso war ersichtlich, ob der jeweilige Haushalt eine PV-Anlage betreibt. Da es nur einen Zahlenwert für den jeweiligen Stromverbrauch gab, war es nicht möglich die Corona-Pandemie zu berücksichtigen. Zunächst wurden diese Daten bereinigt. Dabei wurden alle Haushalte mit Einsparungen bzw. Mehrverbrauch von über 70 %, unzureichenden Metadaten und deren Einbau des Smart Meters weniger als sechs Monate zurücklag für weitere Untersuchungen ausgenommen. Nach dieser Filterung waren 1.065 Kundendaten verwertbar. Diese Gesamtheit wurden nach den drei Kriterien Gesamtverbrauch, Änderungen des Verbrauchs und Dauer des Messzeitraums unterteilt und den Ausprägungen dieser Kriterien zugeordnet. In Tab. 5.1 sind die Anzahl der Haushalte für die Ausprägungen der einzelnen Kriterien dargestellt.

**Tab. 5.1: Unterteilung der Grundgesamtheit nach den Kriterien Gesamtverbrauch, Änderungen des Verbrauchs und Dauer des Messzeitraums**

Kategorie	Anzahl der Haushalte
<b>Gruppierung 1</b>	
Unterdurchschnittlicher Verbrauch	149
Durchschnittlicher Verbrauch	207
Überdurchschnittlicher Verbrauch	709
<b>Gruppierung 2</b>	
Wenigerverbraucher	273

Gleichbleibender Verbrauch		577
Mehrverbraucher		215
<b>Gruppierung 3<sup>2</sup></b>		
Messzeitraum 0,5-2 Jahre	Wenigerverbraucher	65
	Gleichbleibender Verbrauch	633
	Mehrverbraucher	78
Messzeitraum 2-4 Jahre	Wenigerverbraucher	153
	Gleichbleibender Verbrauch	25
	Mehrverbraucher	111

## 5.1.2 Ergebnisse

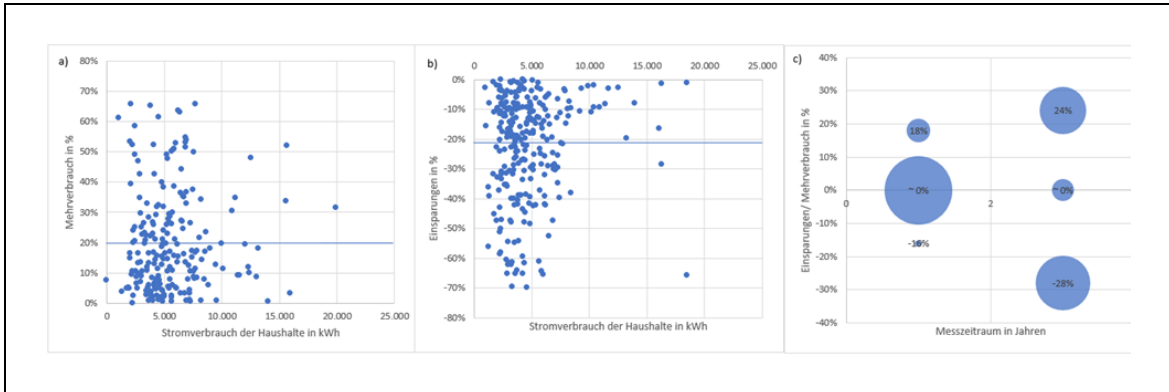
Über alle Kunden hinweg war eine Einsparung von -1 % festzustellen. Je nach Höhe des Stromverbrauchs sind die erfassten Einsparungen deutlich unterschiedlich. Für die Gruppierung 1 wurden die Haushalte nach geringem, mittlerem und hohem Verbrauch unterteilt<sup>3</sup>. Die Gruppe mit niedrigem Stromverbrauch (149 Haushalte) erzielte mit -5 % pro Haushalt und Jahr die größten Einsparungen. Die Haushalte mit durchschnittlichem Verbrauch (207 Haushalte) sparen insgesamt über -2 % pro Haushalt und Jahr, während die Haushalte mit hohem Verbrauch (709 Haushalte) nur -1 % pro Haushalt und Jahr sparen. Diese Werte sind relativ und erlauben keine Aussage über die absoluten Werte.

Die Abb. 5.1a) und b) zeigen die Ersparnisse und den Mehrverbrauch der einzelnen Haushalte der Gruppierung 2 mit verändertem Verbrauch als Funktion des Jahresverbrauchs. Der Durchschnittswert der Einsparung beträgt -9 % und -22 % pro Haushalt und Jahr (Abb. 5.1b).

<sup>2</sup> Als gleichbleibender Verbrauch wurde ein Verbrauch bis zu 0,5 % Abweichung definiert.

<sup>3</sup> Identifikation der drei Verbraucherguppen anhand des deutschen Stromspiegels mit Berücksichtigung der Wohnsituation, Haushaltsgröße und Art der Warmwasserbereitung (co2online 2023)

Hier konnte festgestellt werden, dass 180 Haushalte mit einem überdurchschnittlichen Verbrauch -9 % einsparten, während Durchschnittsverbraucher nur -8 % einsparten. Ebenso sparten 61 Kunden, die in Wohnungen leben mit -11 % mehr ein als 212 Haushalte in Wohnhäusern mit -8 %, obwohl Wohnhäuser ca. 2.000 kWh/a mehr verbrauchen. Der Durchschnittswert des Mehrverbrauchs liegt bei +7 % und +20 % pro Haushalt und Jahr (Abb. 5.1a).



**Abb. 5.1:** a) Mehrverbrauch der 215 Haushalte mit erhöhtem Stromverbrauch b) Einsparungen der 273 Haushalte mit reduziertem Stromverbrauch c) Durchschnittliche Einsparung und Mehrverbrauch der Haushalte mit unterschiedlichen Nutzungszeiten des Smart Meter

Die Kunden hatten unterschiedliche Messzeiträume, die unmittelbar nach der Installation des Smart Meter begannen. Um beurteilen zu können, wie sich der Smart Meter langfristig auf das Konsumverhalten auswirkt, wurden die Kunden in Gruppierung 3 in zwei Gruppen eingeteilt: In der einen Gruppe lag der Messzeitraum zwischen 0,5 und 2 Jahren, in der anderen zwischen 2 und 4 Jahren (Abb. 5.1c). Die Analyse zeigt, dass sich die Tendenzen bei den Einsparungen bzw. beim Zusatzverbrauch im Zeitverlauf verstärken: Während der Großteil (82 %) der ersten Gruppe im Verbrauch nahezu unverändert blieb, war dieser Anteil in der zweiten Gruppe deutlich geringer (9 %). In dieser Gruppe mit mindestens zwei Jahren SM-Nutzung wird der Stromverbrauch meist entweder gesenkt oder um mehr als ein Viertel erhöht. Dabei sparen die Kunden geringfügig mehr ein. Darüber hinaus wurden die Haushalte nach ihren charakteristischen Merkmalen untersucht, z. B. Haushalte mit und ohne elektrische Warmwasserbereitung oder PV-Anlagen (Prosumer). Tab. 5.2 zeigt die Ersparnisse und den Mehrverbrauch dieser Gruppen sowie die Werte aller Haushalte.

**Tab. 5.2:** Durchschnittlicher Mehrverbrauch und Einsparungen in verschiedenen Kundengruppen

Haushalte mit erhöhtem Verbrauch nach SM-Installation	Haushalte mit reduziertem Verbrauch nach SM-Installation	Alle Haushalte

Warmwasserbereitung <b>mit</b> Strom	Warmwasserberei- tung <b>ohne</b> Strom	Warm- wasser- bereitung <b>mit</b> Strom	Warm- wasser- bereitung <b>ohne</b> Strom	Warm- wasser- bereitung <b>mit</b> Strom	Warm- wasser- bereitung <b>ohne</b> Strom
+ 16%	+ 21%	- 20%	- 23%	- 1%	- 2%
Prosumer	Non-prosumer	Prosumer	Non- prosumer	Prosumer	Non- prosumer
+ 22%	+ 20%	- 20%	- 23%	0%	- 1%

## 5.2 Datenauswertung Fresh Energy

In diesem Kapitel wird auf das Fresh Energy Datensatz eingegangen. In einem ersten Schritt wird der Datensatz beschrieben und dessen Vorbereitung für die anschließenden Analysen erläutert. In einem zweiten Schritt werden die Auswertungsergebnisse vorgestellt.

### 5.2.1 Datengrundlage

Fresh Energy<sup>4</sup> stellte den zweiten Datensatz zur Verfügung, der als offene Daten veröffentlicht wurde (Milojkovic 2021). Der Datensatz erfasst Haushalte, die zwischen dem 1. November 2017 und dem 31. Oktober 2020 am Programm teilgenommen haben. Die Daten enthalten nur den Energieverbrauch nach der Installation eines Smart Meter und werden ab dem ersten Tag nach der Installation erfasst. Für einige Endverbraucher\*innen, die von Anfang an teilgenommen haben, sind Daten für den gesamten Zeitraum, d. h. für drei Jahre, verfügbar. Die Daten bestehen aus vier Teilmengen mit unterschiedlichen Informationen über die teilnehmenden Haushalte:

- 1) Ein Datensatz mit dem Stromverbrauch in einer täglichen Auflösung für 955 Haushalte
- 2) Ein Datensatz mit einer höheren Auflösung von einem Wert alle zwei Sekunden für 98 Haushalte
- 3) Ein Datensatz mit den anonymisierten verfügbaren Informationen über Haushaltsmerkmale für 551 Haushalte (Anzahl der Mitglieder, Verfügbarkeit bestimmter Geräte wie Elektroautos oder Wärmepumpen, Heizungsart usw.)
- 4) Ein Datensatz mit dem Stromverbrauch bestimmter Geräte (Waschmaschine, Trockner usw.), der durch Geräteerkennungsalgorithmen (NILM) für 950 Haushalte ermittelt wurde

<sup>4</sup> Das Start-up Fresh Energy war 2016 als Ausgründung aus dem Innovation-Hub von Innogy an den Start gegangen. 2020 wurde das Unternehmen von der EWE AG komplett übernommen (Bathke 2020).

Im Gegensatz zu den Discovergy-Datensätzen wurden keine Angaben darüber gemacht, ob sich die Metadaten der Haushalte geändert haben (z. B. Zunahme der Haushaltsmitglieder, zusätzliche Sektorkopplungstechnologien) oder ob Geräte ersetzt wurden (z. B. durch eine andere Effizienzklasse oder Größe).

Da beim Fresh Energy-Datensatz kein Referenzverbrauch vor der Installation des Smart Meters verfügbar ist, wird für die Auswertung die Entwicklung des Verbrauchs mithilfe der täglichen Verbrauchswerte untersucht.

Die Daten werden gegenüber exogene Effekte, wie die COVID-19-Pandemie, bereinigt, in dem Daten ab 2020 nicht berücksichtigt werden. Außerdem werden lediglich Haushalte in der Analyse inkludiert, für die auch Metadaten vorliegen, da die Interpretation des Einsparpotenzials in einem späteren Auswertungsschritt mit den Haushaltsinformationen verknüpft wird (vgl. Auswertung der Energieeinsparungen in Haushalten). Des Weiteren werden Haushalte mit einer Sektorkopplungstechnologie, d.h. einem Elektroauto oder einer Wärmepumpe, aufgrund eines potenziell höheren und ungewöhnlichen elektrischen Lastprofils aus der Analyse ausgelassen.

Um das Einsparpotenzial zu quantifizieren, wird nach dem Zeithorizont (d. h. Jahres- und Monatswerte) und der (De-)Aggregation des Geräteverbrauchs (d. h. Gesamt- und gerätespezifischer Verbrauch) unterschieden.

Der Jahresdurchschnitt des Stromverbrauchs für die Jahre 2018 und 2019 wird berechnet, während für die monatliche Betrachtung die Entwicklung für die Monate 2017, 2018 und 2019 untersucht wird. Der Ausschluss der Daten für das Jahr 2017 aus der Jahresbetrachtung ist darauf zurückzuführen, dass diese nur für die letzten beiden Monate des Jahres zur Verfügung stehen und daher für eine vollständige Hochrechnung nicht ausreichen.

Die Analyse geht über die Betrachtung des aggregierten Verbrauchs hinaus und bezieht gerätespezifische Untersuchungen aus dem NILM-Datensatz mit ein. Es liegen Daten für verschiedene Geräte vor, entweder über einen bestimmten Zeitraum, z.B. für ständig eingeschaltete Geräte (Stand-by), Beleuchtung und Kühlgeräte oder pro Zyklus (Ereignisgeräte), z.B. Geschirrspüler, Waschmaschine oder Trockner. Im Gegensatz zum aggregierten Verbrauch wird der Verbrauch der ausgewählten Geräte nicht nach ihrem monatlichen oder jährlichen kWh-Wert bewertet, sondern bei den Ereignisgeräten auch nach der Anzahl der Ereignisse, d.h. wann diese Geräte benutzt werden.

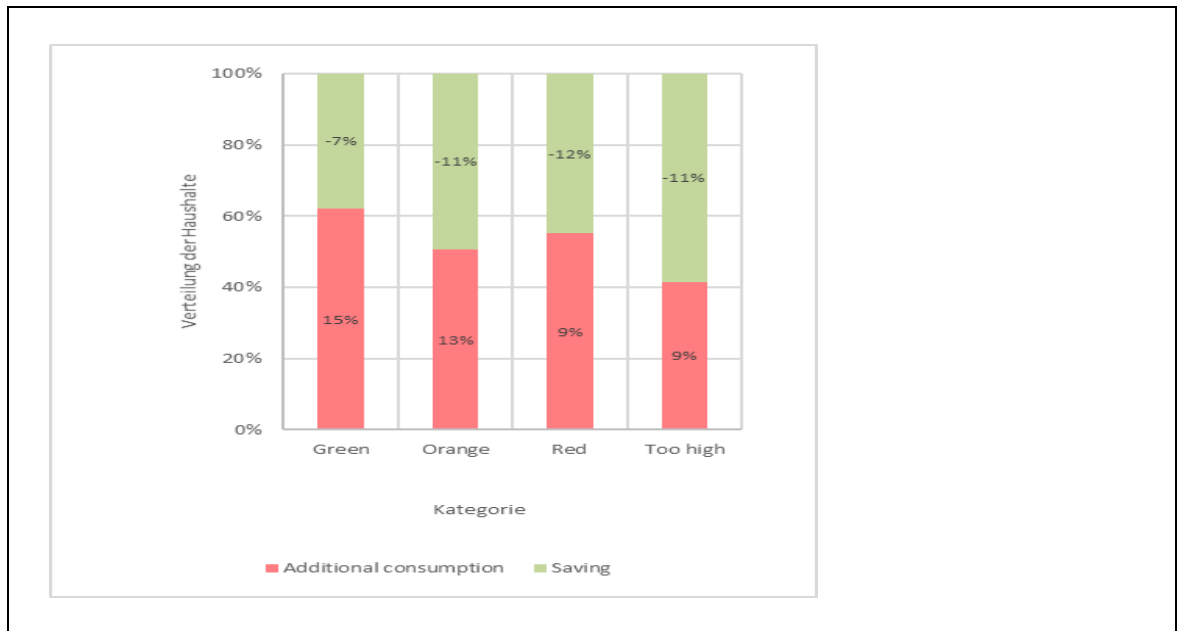
Im Allgemeinen werden die Veränderungen als Prozentwerte mit 2018 als Referenzjahr ausgedrückt, d.h. die Differenz zwischen den Werten von 2019 oder 2017 und 2018 wird durch den Wert von 2018 geteilt. Dabei werden nur Haushalte mit Daten für 2018 berücksichtigt, d. h. 280 Haushalte. Die Durchschnittswerte werden getrennt für Haushalte mit einem Verbrauchsanstieg (definiert als positiver Wert) und Haushalte mit einem Verbrauchsrückgang, d. h. mit Einsparungen (definiert als negativer Wert), gebildet. Obwohl im ursprünglichen Datensatz Haushalte mit verdächtigen Werten entfernt werden, werden zu starken Veränderungen im Verbrauchsverhalten ausgeschlossen, um eine Verzerrung der gebildeten Durchschnittswerte zu vermeiden. In Analogie zur Auswertungsmethode des Discovergy-Datensatzes wird dieser Wert auf 70 % festgelegt.

Darüber hinaus werden für eine haushaltsübergreifende Auswertung auch spezifische Indikatoren wie der jährliche Energieverbrauch pro Person und die jährliche Häufigkeit des Auftretens eines bestimmten Geräts pro Person abgeleitet.



## 5.2.2 Ergebnisse

Die Auswertung des Datensatzes zeigt eine annähernd gleichmäßige Verteilung der Haushalte zwischen Mustern der Stromeinsparung und des Mehrverbrauchs. Einerseits ist bei der Hälfte der 280 untersuchten Haushalte mit Daten für 2018 ein Verbrauchsanstieg zu verzeichnen, der im Durchschnitt 12 % beträgt. Auf der anderen Seite verzeichnet die andere Hälfte der Haushalte einen Verbrauchsrückgang von durchschnittlich -11 %.



**Abb. 5.2: Verteilung der Haushalte zwischen Mehrverbrauch (rot) und Einsparung (grün) für jede Kategorie der Stromverbrauchseffizienz**

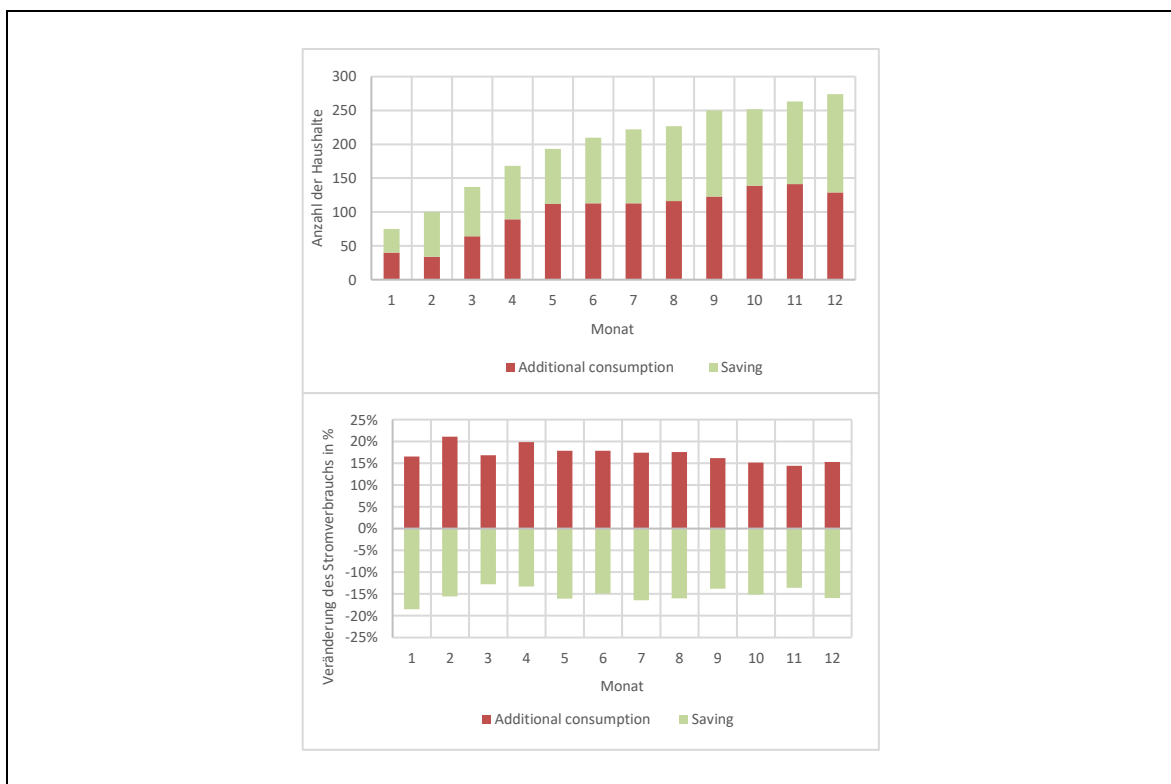
Die Zahlen innerhalb der Säulen stellen die jeweilige durchschnittliche Verbrauchsänderung dar. Quelle: eigene Darstellung.

Darüber hinaus werden zur Berücksichtigung der Wohnform, d.h. Haus oder Wohnung, und der Anzahl an Haushaltsmitglieder die Kategorien des Stromspiegels (co2online 2021) mit den Metadaten der Haushalte abgeglichen, um die jeweilige Stromeffizienzklasse abzuleiten. Abb. 5.2 zeigt die Verteilung der Haushalte auf die verschiedenen Kategorien: grün: Kategorien A und B, orange: Kategorien C, D und E, rot: Kategorien F und G, und zu hoch: außerhalb des Rahmens der Tabellen in (co2online 2023).

Die Haushalte in der grünen Kategorie haben die leichte Tendenz, ihren Verbrauch zu erhöhen, d.h. 60 % der Haushalte verzeichnen einen durchschnittlichen Anstieg von 15 %, während der Rest moderate Einsparungen von -7 % erzielt. Die Haushalte der orangefarbenen und der roten Kategorie weisen ähnliche Tendenzen auf, wobei die gegensätzlichen Verbrauchsmuster gleich verteilt sind, wobei die rote Kategorie einen geringeren durchschnittlichen Mehrverbrauch von 9 % gegenüber 13 % in der orangefarbenen Kategorie verzeichnet. Das Einsparpotenzial ist mit etwa -11 bis -12 % ähnlich. Haushalte mit einem zu hohen Stromverbrauch, der außerhalb des in CO2online

(2023) definierten Rahmens liegt, zeigen eine etwas stärkere Tendenz zum Sparen, d.h. ca. 60 % erreichen eine durchschnittliche Abnahme von -11 %, während die restlichen 40 % einen Mehrverbrauch von 9% verzeichnen. Die verzeichneten niedrigeren Einsparquoten für hocheffiziente Haushalte könnten darauf zurückzuführen sein, dass die Effizienz ihres Verbrauchs eine Grenze erreicht und in der Nähe dieses optimalen Wertes volatiler wird, während Haushalte mit der schlechtesten Effizienz einen größeren Spielraum für Verhaltensanpassungen des Verbrauchs haben.

Um die Entwicklung der Verbrauchsmuster mit dem monatlichen Fortschreiten des Programms sowie die Auswirkungen der Saisonalität auf die Tendenz zu Einsparungen oder zusätzlichem Verbrauch zu untersuchen, werden die monatlichen Veränderungen betrachtet, indem die relative Veränderung des Verbrauchs für einen Monat im Jahr 2019 im Vergleich zum Wert desselben Monats im Jahr 2018 berechnet wird. Die sich daraus ergebenden Prozentsätze bestätigen die bereits erwähnte nahezu gleichmäßige Verteilung der Verbrauchsmuster. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die Entwicklung der teilnehmenden Haushalte und den Anteil der Energiespar- und Mehrverbrauchshaushalte. In Bezug auf die relative Veränderung (siehe Abb. 5.3) schwankt der Anstieg zwischen 14 % und 21 % mit dem höchsten Wert im Februar, während der Rückgang zwischen -13 % bis -19 % mit dem niedrigsten Wert im Januar liegt. 80 % der Haushalte schwanken von Monat zu Monat zwischen zusätzlichem Konsum und Sparen, zeigen aber kein einheitliches Muster.



**Abb. 5.3: Monatliche Entwicklung der Anzahl der teilnehmenden Haushalte und die jeweilige Verteilung der Tendenzen (oben); Monatliche durchschnittliche Veränderung des Stromverbrauchs (unten)**

Rot: Mehrverbrauch, Grün: Einsparung

Darüber hinaus werden die Auswirkungen des Vorlaufs im Programm für die 66 Haushalte untersucht, die ihre Smart Meter bereits ab November 2017 installiert haben. Bei den durchschnittlichen relativen Veränderungen gegenüber 2018 bleiben die Durchschnittswerte über die 66 Haushalte die gleichen wie beim Datensatz von 280 Haushalten, d.h. es wird ein jährlicher Mehrverbrauch von 12 % und eine jährliche Einsparung von -11 % im Jahr 2019 verzeichnet. Da keine Daten für das gesamte Jahr 2017 verfügbar sind, kann kein solider Vergleich für die Trends der jährlichen Veränderungen von 2017-2018 und 2018-2019 durchgeführt werden.

Bei der Betrachtung der Verbrauchsmuster bestimmter Geräte, die der NILM-Datensatz liefert, sind verschiedene Tendenzen von 2018 bis 2019 in unterschiedlichem Ausmaß zu beobachten. Einerseits zeigen die Stand-by-Geräte und die Beleuchtung, bei denen nur der Energieverbrauch aufgrund ihrer kontinuierlichen Nutzung über einen bestimmten Zeitraum betrachtet wird, einen durchschnittlichen Gesamtanstieg des Verbrauchs um 4 % bzw. 16 %. Andererseits zeigen die Werte für den Kühlgeräteverbrauch eine stärkere Tendenz zu Einsparungen, wobei 70 % der Haushalte im Durchschnitt 25 % einsparen, was zu einem Nettorückgang von -12 % für alle Haushalte führt.

Wie bereits erwähnt, sind für den Fresh Energy-Datensatz keine Informationen über Veränderungen der Haushaltsmerkmale während des Programmzeitraums verfügbar. Da Änderungen des Energieverbrauchs nicht mit Änderungen der Haushaltsgröße oder -ausstattung in Einklang gebracht werden können, sind die vorgenannten Ergebnisse nur vorläufig und müssen im Hinblick auf mögliche einflussreiche Änderungen konsolidiert werden.

## 6 Fokusgruppen im Strombereich

### 6.1 Konzeption und Durchführung der Fokusgruppen

Bei der Fokusgruppenmethode handelt es sich um eine geleitete Gruppendiskussion, bei der ein Moderator die Meinungen von circa sechs bis neun anonymisierten Teilnehmenden zu einem bestimmten Thema einfängt. Dieses Marktforschungsinstrument wurde im Projekt angewandt, um die Erfahrungen von Nutzer\*innen mit einem Smart Meter (SM) zu sammeln und daraus Schlüsse auf das Stromsparpotenzial durch intelligente Stromzähler ziehen zu können. Der Kontakt zu den Nutzer\*innen wurde über den Praxispartner Discovergy hergestellt, der die Kundengruppe des Einsparzählerprogramms dazu angeschrieben hat.

Zunächst wurde sich auf diese vier Kundengruppen festgelegt, die in einer Fokusgruppe (FG) befragt werden sollten:

- FG 1: Kund\*innen mit einem überdurchschnittlichen Stromverbrauch
- FG 2: Kund\*innen mit einem unterdurchschnittlichen Stromverbrauch
- FG 3: Prosumer (PV-Anlagenbesitzer)
- FG 4: Kund\*innen mit variablem Stromtarif

Es wurden als zusätzliche Kriterien festgelegt, dass die Teilnehmer der Fokusgruppen zu 30 % weiblich und zu 30 % jünger als 40 Jahre sein sollten, um die Diskussionsrunden so divers wie möglich zu gestalten.

Des Weiteren wurde zusammen mit dem Praxispartner festgelegt, dass die Akquise für die Fokusgruppen auf der freiwilligen Rückmeldung von potenziellen Teilnehmer\*innen basieren soll, die für ihre Beteiligung eine monetäre Aufwandsentschädigung in Form eines Einkaufsgutscheins erhielten. Dementsprechend wurde vom IÖW ein Rekrutierungsfragebogen entwickelt, den die Discovery-Kunden per Mail erhielten und anhand dessen die Teilnehmer vorselektiert wurden.

In diesem Fragebogen wurden die bereits erwähnten Kriterien abgefragt und zusätzlich auch in welchem Berufsfeld die Personen tätig sind, um Expert\*innen, die in der Energiebranche arbeiten, ausschließen zu können. Ebenso wurden fünf Termine zur Auswahl gestellt, an denen die Fokusgruppen potenziell stattfinden sollten. Dieser Fragebogen wurde zusammen mit einem Informationsblatt, in dem das Projekt Detective und dessen Ziel erläutert wurde, an die Discovery-Kund\*innen versendet.

Es konnten über diesen Weg für die FG 1, FG 3 und FG 4 jeweils neun passende Teilnehmer\*innen gefunden werden. Für FG 2 gab es zu wenig Rücklauf, weshalb diese Fokusgruppe nicht stattgefunden hat. Im Auswahlprozess war es nicht zu vermeiden, dass es mit zwei Ausnahmen rein männliche Teilnehmer waren, die zudem viel technisches Vorwissen mitbrachten, da viele im Bereich IT arbeiten. Aufgrund der Pandemieauflagen, die zu der Zeit gültig waren, haben die drei Fokusgruppen als online-Veranstaltung stattgefunden.

Die drei Fokusgruppen fanden zwischen dem 09.11.2021 und 18.11.2021 statt und hatten folgenden Ablauf:

1. Begrüßung, Vorstellung des Ablaufs und der Regeln für den Austausch
2. Kurzpräsentation zur Vorstellung des Projekts Detective
3. Vorstellungsrunde
4. Moderierter Erfahrungs- und Meinungsaustausch zu
  - a. Motivationen und Vorbehalte, einen Smart Meter zu nutzen
  - b. Erfahrungen mit Smart Meter und Nutzerverhalten
  - c. Datensparsamkeit
5. Kurze Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse und Verabschiedung der Teilnehmenden

## 6.2 Ergebnisse der Fokusgruppen

### 6.2.1 Entscheidungsgrundlage

Über die Motive für die Installation eines Smart Meters sind sich alle befragten Personen über die verschiedenen Fokusgruppen hinweg einig. Hauptbeweggründe waren das technische Interesse am Smart Meter und den Auswertungen, die mit den sekundlich erhobenen Daten möglich sind. Ergänzende Motive waren Spaß an Daten und Monitoring. Ebenso stellen die Teilnehmer\*innen

aber fest, dass ihre Beweggründe sehr speziell waren aufgrund ihrer Technikaffinität und dementsprechend nicht auf die Mehrheit der deutschen Bevölkerung übertragen werden können.

Die Prosumer wollten zusätzlich mit den zur Verfügung gestellten Daten ihren Eigenverbrauch erhöhen. Den Nutzern mit einem flexiblen Stromtarif war es vorrangig wichtig, durch die Informationen einen dauerhaft günstigen Stromtarif nutzen zu können.

Des Weiteren gaben die Kunden an, dass die Förderung durch das Einsparzählerprogramm<sup>5</sup> eher als Beschleuniger diente und nicht den Hauptanreiz zur Smart-Meter-Installation darstellte, da bereits Grundinteresse an dieser Technologie bestand. Dennoch herrschte Uneinigkeit darüber, ob das intelligente Messsystem zum jetzigen Zeitpunkt auch ohne diesen Zuschuss installiert worden wäre. Während die Prosumer sich klar dafür aussprachen, da es für das Monitoring ihrer PV-Anlage sehr vorteilhaft und gleichzeitig verpflichtend nach § 29 MsbG ist, waren die Vielverbraucher\*innen und die Kunden mit flexiblem Stromtarif eher geteilter Meinung.

Ähnlich unstimmtig war das Bild zum Aspekt Klimaschutz. Auf die direkte Frage, ob das Thema Klimaschutz eine Rolle bei der Kaufentscheidung gespielt habe, gaben zwar einige an, dass sie mithilfe des Smart Meters den eigenen Stromverbrauch senken wollten. Das Argument, Geld zu sparen, überwog jedoch. Bei den PV-Anlagenbesitzern und den Menschen mit variablem Stromtarif spielte die Lastverschiebung und damit der monetäre Anreiz eine größere Rolle als die Reduktion des Energieverbrauchs.

Die Entscheidungsfindung über die Smart-Meter-Installation geschah in den meisten Fällen von der teilnehmenden Person selbst und Bedenken anderer Haushaltsmitglieder spielten dabei keine Rolle. Die einzigen Vorbehalte, die die Entscheider\*innen selbst hatten, bezogen sich auf den Datenschutz. Die sekundliche Stromverbrauchserfassung erzeugt eine sehr hohe Transparenz, dennoch war dies kein Grund, das Messsystem nicht zu installieren.

## 6.2.2 Auseinandersetzung mit dem Stromverbrauch und Nutzung des Informationsangebots

Ein Thema der Fokusgruppen war, mehr über die Nutzung des Informationsangebotes durch die Haushalte zu erfahren. In einigen Haushalten wird über den Energieverbrauch gesprochen. Teilweise wurde dies durch die Visualisierungen, die mit den Daten des Smart Meters möglich sind, gefördert. Insgesamt entstand jedoch der Eindruck, dass der Stromverbrauch haushaltsintern eher wenig besprochen wird bzw. nur anlassbezogen. Wenn der Verbrauch z. B. punktuell sehr hoch ist, werden gemeinsam Optionen für eine Lastverschiebung oder Verhaltensänderung diskutiert. Am meisten Austausch ist bei den Mehrverbrauchern zu beobachten, was daran liegen könnte, dass sie sehr daran interessiert sind, ihre hohen Verbräuche zu analysieren und zu verstehen. Ansonsten wird wenig über den Stromverbrauch gesprochen und es gibt in den meisten Haushalten einen Hauptverantwortlichen, der den Stromverbrauch regelmäßig kontrolliert.

---

<sup>5</sup> Kostenloser Einbau des Geräts im Rahmen des vom BMWi geförderten Einsparzählerprogramms

Es stellte sich heraus, dass für schnelle Informationen bei den Mehrverbrauchern und Prosumern meist die App verwendet wird. Zur genaueren Analyse des Stromverbrauchs und weiteren Berechnungen das Webportal. Bei den Prosumern wichen einige Teilnehmer nach einiger Zeit auf andere Apps zur Steuerung von Smarthomeanwendungen aus. Die Haushalte mit flexiblem Tarif nutzen meist die App ihres flexiblen Stromtarifs und kaum das Angebot von Discovery.

Auch in der Nutzungshäufigkeit gab es große Unterschiede. Personen mit flexiblen Tarifen nutzen überwiegend die App ihres jeweiligen Stromanbieters. Während die Leute mit flexiblem Stromtarif dementsprechend durchschnittlich maximal monatlich Informationen von Discovery abrufen, nutzen Mehrverbraucher das Angebot wöchentlich und Prosumer täglich. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Stromerzeugung aus PV-Anlagen mit dem Wetter fluktuieren und somit die Stromproduktion stark schwankt.

Gruppenübergreifend werden die bereitgestellten Informationen zum Monitoring und zur Analyse der einzelnen Haushaltsgeräte genutzt. Dabei wollten nur einzelne Ausnahmen ihren Stromverbrauch reduzieren. Bei den Prosumern wird zum Teil auch die PV-Anlage kontrolliert und die Leute mit flexiblem Tarif takten zudem Ihre Geräte.

Interessant in dem Zusammenhang ist die Frage nach der Änderung des Nutzungsverhaltens im Laufe der Zeit. Durchschnittlich nutzten alle Teilnehmer\*innen das Angebot zu Beginn täglich. Das nahm mit der Zeit ab, da die Tagesverläufe ähnlich sind und man folglich das Interesse verliert, wenn man täglich die immer gleichen Haushaltsgeräte mit ihren immer gleichen Lastspitzen erkennt. Nur bei Geräteneuinstallationen oder Alarmsignalen (z. B. erhöhte monatliche Abrechnung) wurde vermehrt auf die Informationen zugegriffen. Einzelne Personen nutzen die Informationen noch genauso regelmäßig wie zu Beginn, was aber nicht auf reines Interesse zurückzuführen ist, sondern durch bestimmte Umstände bedingt wird. Das könnte beispielsweise eine Überprüfung des Ladestands des Elektroautos sein.

### 6.2.3 Verhaltensänderungen

Es wurden hauptsächlich Geräte ausgetauscht, die als Stromfresser identifiziert wurden und deren Austausch ohnehin unumgänglich war. Dabei handelte es sich in den meisten Fällen um den Austausch von Glühbirnen zu LED. Es wurden oft Dinge erneuert, deren hoher Stromverbrauch auch ohne Smart Meter hätte erkannt werden können. Besonders bei den Leuten mit flexiblen Tarifen fällt auf, dass der Verbrauch eher durch Gerätetaktung verschoben als reduziert wurde. Diese Maßnahmen wurden ergriffen aufgrund der Visualisierung des z. T. hohen Stromverbrauchs, der auf den ersten Blick nicht sofort zugeordnet werden konnte.

Laut Eigenangabe sind die Prosumer die einzige Gruppe, die dauerhaft ihr Verhalten geändert hat. Im Vergleich zu den angegebenen Handlungen, die umgesetzt wurden, scheint aber auch diese Gruppe, sowie die beiden anderen, eher einmalige Maßnahmen (z. B. Geräteaustausch) ergriffen zu haben.

Auf die Frage zur Selbsteinschätzung, ob ihr Energieverbrauch durch das Informationsangebot gesunken ist, waren die Antworten recht einheitlich. In allen Gruppen ist der Verbrauch dauerhaft gesunken, aber einige Teilnehmer kauften sich ein Elektroauto, weshalb der Stromverbrauch dadurch wieder erhöht wurde, obwohl sie zuvor eingespart hatten.

Auch in Anbetracht der ergriffenen Maßnahmen wurde nochmals deutlich, dass das Motiv Umweltschutz eher ein schöner Nebeneffekt, als das Hauptmotiv hinter den Handlungen war. Darauf wurde kein Wert gelegt, da der Spieltrieb und potenzielles Geldsparen im Vordergrund standen.

## 6.2.4 Datensuffizienz

Es wurde deutlich, dass den Teilnehmern bestimmte Informationen für die weitere Reduktion ihres Stromverbrauchs fehlen. So wurde von allen Teilnehmern eine funktionierende Geräteidentifikation gefordert. Aus den aktuell zur Verfügung stehenden Informationen lassen sich nach einiger Zeit keine stromverbrauchsreduzierenden Informationen mehr herauslesen und dementsprechend sollte das Angebot in diese Richtung erweitert werden. Zudem gab es den Wunsch nach Automatisierung. So sollten bestimmte Geräte wie z. B. die Waschmaschine automatisch angeschaltet werden, wenn der Strompreis günstig ist. Des Weiteren wünschten sich die Kunden Benachrichtigungen, sobald ein Gerät überdurchschnittlich viel verbraucht oder die PV-Anlage ausfällt. Ebenso wünschten sich besonders die Prosumer eine Auswertung, wie teuer der Strom bei Nutzung eines flexiblen Tarifs gewesen wäre, um einen Stromanbieterwechsel zu erleichtern.

Unter dem Aspekt der Datensuffizienz wurde klar, dass der Großteil die Transparenz einer zweisekündlichen Stromverbrauchsmessung gerne dauerhaft hätte. Beim 15-minütigen Profil gehen den Teilnehmern zu viele Informationen verloren und es ist nicht möglich, auf einzelne Geräte zu schließen. Die Teilnehmer\*innen sind aber alle überdurchschnittlich technikaffin, weshalb sie sich auch vorstellen konnten, dass nicht jeder diese Transparenz benötigt. Eine Lösung für die Zukunft wäre, dass jeder Stromkunde selbst bestimmen könnte, wie lange sein Stromverbrauch in welcher Granularität visualisiert wird.

Im Hinblick auf die im Projekt bereits berechnete Umweltbelastung des Smart Meters und der Datensammlung, -speicherung und -visualisierung von 12 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Jahr war das Meinungsbild sehr einheitlich. Die Teilnehmer waren sich alle einig, dass die 12 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/Jahr kein Grund sind, den Smart Meter nicht zu installieren, da er ein deutlich größeres Einsparpotenzial hat. Die Umweltbelastung fühlte sich für die Teilnehmer im Vergleich verschwindend gering an.

Nichtsdestotrotz sprechen sich alle Teilnehmer\*innen der Fokusgruppen für die Aggregation der Daten auf stündliche bzw. Tageswerte nach ca. fünf Jahren aus. Zudem sollte es möglich sein, die Genauigkeit der Lastprofile je nach Bedarf anzupassen.

# 7 Handlungsempfehlungen für den Strombereich

Es zeigt sich deutlich, dass die Teilnehmer\*innen der Fokusgruppen dem Smart Meter zwar ein klares Einsparpotenzial zusprechen, jedoch selbst die Stromverbrauchsreduktion nur mit wenig Nachdruck angehen. Die Ergebnisse der ausgewerteten Haushaltsdaten bestätigen diesen Eindruck (siehe dazu Kapitel 5). Für die Zukunft wäre es also wichtig, die Stromeinsparung und den Umweltschutz mehr in den Fokus zu rücken und die korrelierenden Dienstleistungen genau auf die Haushalte und deren Bedürfnisse abzustimmen. Über dieses Potenzial hinaus hat der Smart Meter für die Energiewende insgesamt eine große Bedeutung. Denn mit den Smart Metern können etwa

dezentrale Stromerzeuger wie Photovoltaik- oder Windenergieanlagen gesteuert werden, um das Stromnetz stabil zu halten. Auch könnten variable Stromtarife eingeführt werden, sodass die Preise bei großem Stromangebot niedriger sind als in Zeiten von niedrigem Angebot und damit der Verbrauch an das Angebot angepasst werden könnte. Deshalb sollte die Verbreitung weiter vorangebracht und dabei so gestaltet werden, dass einerseits Stromeinsparungen erzielt und die ökologischen Wirkungen minimiert werden.

Das Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende bietet die Chance, neuen Schwung in den Rollout zu bringen. Doch auch dieses sieht nicht den flächendeckenden Ausbau vor, nach dem Rolloutfahrplan mit verbindlichen Zielen bis zum Jahr 2030 sind die Messstellenbetreiber beauftragt, die angeschlossenen Verbrauchsstellen schrittweise mit Smart Metern auszustatten. Ab 2025 ist der Einbau von intelligenten Messsystemen verpflichtend für Haushalte mit einem Jahresstromverbrauch von über 6.000 Kilowattstunden oder einer PV-Anlage mit mehr als sieben kW installierter Leistung. Bis 2030 sollen alle diese Abnehmer entsprechend mit Smart-Metern ausgestattet sein. Allerdings wird allen Haushalten das Recht auf einen Smart Meter eingeräumt (Bundestag 2023).

Für den weiteren Verlauf der Energiewende wurden folgende Handlungsempfehlungen für die Nutzung von Smart Metern entwickelt:

### **1. Der Rollout ist eine notwendige Voraussetzung für das Gelingen und das Vorantreiben der Energiewende**

Die Integration der erneuerbaren Energien in das Energiesystem kann nur gelingen, wenn Stromerzeuger und Verbraucher\*innen digital miteinander verknüpft werden. Dafür ist es nötig, die Haushalte nicht nur mit einer modernen Messeinrichtung auszustatten, sondern mit einem Smart Meter, der eine sichere, zuverlässige und datenschutzkonforme Übertragung ermöglicht. Der Verzug bei den Zielen der Bundesregierung für den Rollout muss aufgeholt werden und zudem sollte der Rollout auf alle Haushalte ausgedehnt werden. Der flächendeckende Ausbau hätte deutliche Effizienzvorteile: So würde ein großer logistischer Aufwand entfallen, wenn der Umbau nicht punktuell, sondern straßenweise erfolgen würde. Auch aus wirtschaftlicher und ökologischer Perspektive entstünde ein Vorteil, wenn sich in Mehrfamilienhäusern alle Zähler ein Gateway teilen. Zusätzliche positive Effekte könnten in Zukunft erwartet werden, wenn der Aufbau der digitalen Infrastruktur so konzipiert wird, dass alle Energie- und Wasserverbräuche der Haushalte erfasst und über ein gemeinsames Gateway versendet werden können.

### **2. Verbrauchsdaten nur nach Bedarf erheben**

Die Frequenz der Datenerhebung sollte aus Umweltschutzgründen so gering wie möglich sein. Grundsatz sollte sein, dass die Daten nur nach Bedarf erhoben werden – etwa mit einer wöchentlichen Erhebung als voreingestelltem Default und nur bei einem flexiblen Tarif viertelstündlich. Die Geräte sollten allerdings so konzipiert sein, dass eine höhere Frequenz gewählt werden kann, wenn dies aus technischer Sicht, etwa zur Netzüberwachung, erforderlich ist. Dienstleistungen, die öfter als viertelstündlich Daten erheben, können die Verbraucher\*innen dennoch beim Energiesparen unterstützen. Die Daten können so aufbereitet werden, dass sie auf ineffiziente Geräte hinweisen. Eine entsprechende Visualisierung des Stromverbrauchs kann zu stromsparendem Verhalten anregen. Solche Dienstleistungen sind allerdings mit einem größeren ökologischen Fußabdruck verbunden, weil deutlich mehr Daten erhoben, verarbeitet und gespeichert werden. Daher sollten diese Angebote nur auf expliziten Wunsch der Kund\*innen und ausschließlich vorübergehend erfolgen mit der Möglichkeit der Wiederholung. Eine Nachricht nach Aktivieren dieser Dienstleistung mit



der Information, dass dieser Dienst mit einem höheren Energieverbrauch einhergeht, kann sensibilisieren, diesen nur zu nutzen, wenn auch die Informationen verwertet werden sollen.

Außerdem könnte mit einer Aktion, beispielsweise auf den Stromrechnungen, verschiedene Dienstleistungen bekannt gemacht werden und Verbraucher\*innen aufzeigen, welche Angebote bestehen, um den eigenen Stromverbrauch besser im Blick zu haben.

### **3. Kosten des Rollouts sollten nicht ausschließlich Verbraucher\*inne tragen**

Grundsätzlich sind die Kosten für die Smart Meter nach dem Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende von den Haushalten selbst zu tragen. Das Gesetz sieht dabei Preisobergrenzen für den Einbau und den Betrieb von Smart Metern vor. Dabei gilt: Wer viel Strom verbraucht, muss auch mehr bezahlen. Doch die Kosten für einen Smart Meter werden in der Regel nicht durch die Stromeinsparung kompensiert. Da die Verbreitung des Smart Meter eine notwendige Infrastruktur für die Energiewende ist, sollte diese Belastung nicht vollumfänglich den Verbraucher\*innen übertragen werden. Zumindest ein Teil der Kosten sollte z.B. aus öffentlicher Hand durch Steuermittel bezuschusst werden.<sup>6</sup> Die Kosten, die noch von den Haushalten zu tragen sind, sollten dabei sozialverträglich gestaltet sein, sodass finanziell schlechter gestellte Haushalte nicht überproportional belastet würden.

### **4. Bedarf für Forschung und Entwicklung**

Die Geräteerkennung hat noch großen Entwicklungsbedarf, auch wenn Dienstleistungen dazu am Markt angeboten werden, werden noch nicht alle Geräte erkannt oder sind Zuordnungen fehlerbehaftet. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf und auch für die Vergleichsmöglichkeiten zur Einordnung des Stromverbrauchs der Geräte. Eine geführte Bestandsaufnahme zur besseren Erkennung der Geräte und zur Sensibilisierung von stromintensiven Geräten könnte Kund\*innen nach der Installation des Smart Meter unterstützen.

## **8 Erfassung und Systematisierung digitaler Anwendungen im Wärmebereich**

### **8.1 Ansatzpunkte für Einsparanwendungen**

In Deutschland sind in Wohngebäuden wassergeführte zentrale Heizungssysteme sowohl in Mehrfamilien- als auch in Ein- und Zweifamilienhäusern üblich: das Wasser wird von einem Wärmeerzeuger erwärmt, über Leitungen in die zu beheizenden Räume verteilt und überträgt dort Wärme an die Raumluft, bevor es zurück zum Wärmeerzeuger strömt.

---

<sup>6</sup> Dieser Aspekt ist bereits in dem Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende berücksichtigt und die Kosten für einen Smart Meter für Privathaushalte und Kleinanlagenbetreiber auf 20 Euro pro Jahr gedeckelt. Dafür werden die Netzbetreiber stärker an den Kosten beteiligt (Bundestag 2023).

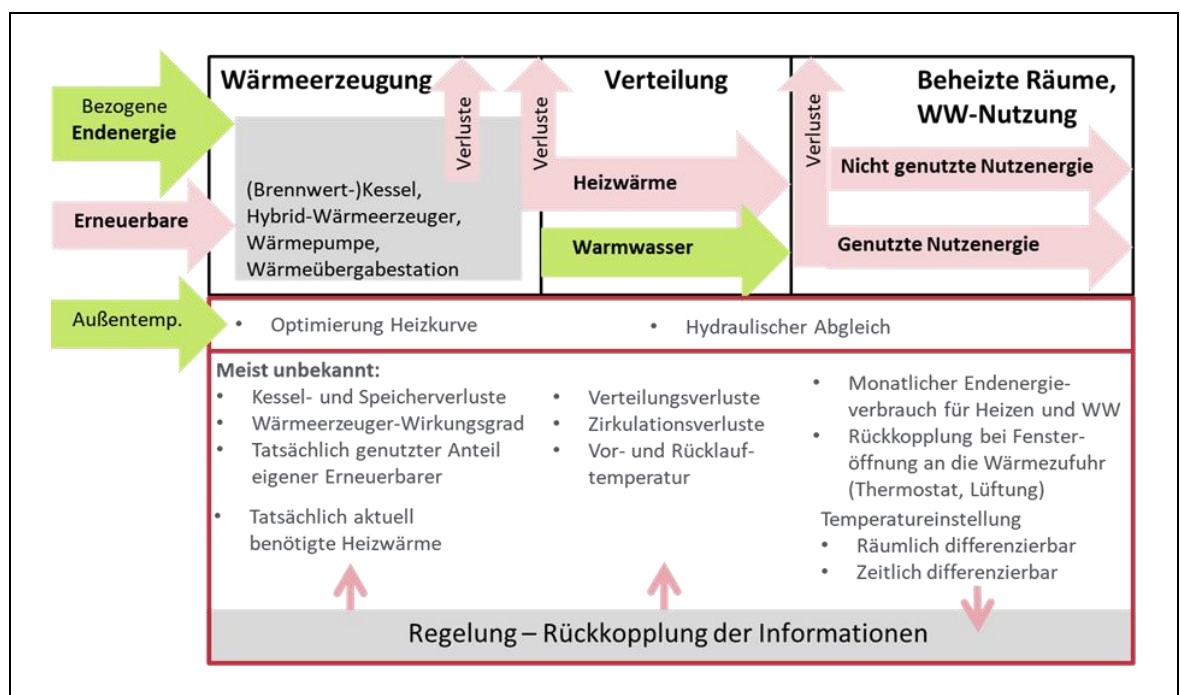
Für die Wärmeerzeugung in wassergeführten Zentralheizungen werden unterschiedliche Technologien genutzt:

- (Brennwert-)Kessel mit Gas, Öl oder Biomasse als Brennstoff
- Wärmenetze (Fern-/Nahwärme) mit Wärmeübergabestation im Gebäude
- Luft- oder Erd-Wärmepumpen
- Solarthermie für Trinkwarmwasser oder zur Heizungsunterstützung

Möglich sind auch Hybrid-Lösungen in denen mehrere Wärmeerzeuger kombiniert werden, etwa eine Wärmepumpe mit einem Spitzenlastkessel. Häufig erfolgen Raumwärmeerzeugung und Trinkwassererwärmung durch den gleichen Wärmeerzeuger.

Die Wärmeverteilung erfolgt durch ein – auch je nach Größe und Konfiguration von Gebäude und Anlage ggf. sehr komplexes - hydraulisches System. Dazu gehören in der Regel Puffer- und Trinkwarmwasserspeicher, Umwälzpumpen für den Heizkreislauf und ggf. Zirkulationspumpen für den Trinkwasserkreislauf. Die Wärmeübergabe erfolgt entweder durch klassische Heizkörper oder Flächenheizungen im Fußboden oder der Wand. Die Wärmeabgabe durch die Heizkörper kann meist mit einem Thermostatventil geregelt werden: je nach eingestellter Temperatur/Stufe wird der Fluss durch den Heizkörper begrenzt, sobald die gewünschte Temperatur erreicht ist. Wenn voreinstellbare Thermostatventile vorhanden sind, kann der maximale Durchfluss mit einem hydraulischen Abgleich optimiert werden.

Aus dem Zusammenspiel von Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung, Wärmeübergabe und Wärmenutzung ergeben sich mehrere Ansatzpunkte für digitale Anwendungen zur Wärme-Energieeinsparung. Mithilfe digitaler Technologien könnten sowohl Effizienzpotenziale bei der Erzeugung, Verteilung und Übergabe der Wärme erschlossen, als auch Einsparungen beim Verbrauch erleichtert werden (Abb. 8.1).



**Abb. 8.1:** Bedarf an digitaler Datenerfassung, Feedback und Steuerung in Heizungssystemen

Legende: grüne Pfeile – heute gemessene Größen, rosa Pfeile – bisher nicht oder unzureichend gemessene und geregelte Größen (eigene Darstellung)

Tab. 8.1 gibt einen Überblick über sechs verschiedene Anwendungsbereiche für digitale Einsparmöglichkeiten, welche im Folgenden genauer dargestellt werden.

**Tab. 8.1: Überblick Anwendungsbereiche digitaler Einsparmöglichkeiten im Wärmebereich**

Anwendungsbereich	Einspar-Prinzip
<b>1. Verbrauchstransparenz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung von Bewusstsein über Energieverbrauch.</li> <li>• Verbrauchsminderung durch manuelle Anpassung (z.B. Temperaturabsenkung am Thermostat, Änderung des Lüftungsverhaltens).</li> </ul>
<b>2. Betriebs-/Effizienzüberwachung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erkennung suboptimaler oder fehlerhafter Einstellungen.</li> <li>• Manuelle oder automatische Anpassung.</li> </ul>
<b>3. Regelung des Wärmeerzeugers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion der Laufzeit und Leistung durch bessere Anpassung an den Bedarf.</li> </ul>
<b>4. Optimierung Wärmeverteilung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erleichterung des hydraulischen Abgleichs.</li> <li>• Optimale Wärmeverteilung reduziert Verbrauch.</li> </ul>
<b>5. Regelung der Wärmeübergabe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erleichterte oder automatische Anpassung der Thermostatventileinstellung am Heizkörper an den Bedarf.</li> <li>• Verbrauchsreduktion durch geringere Wärmeübergabe.</li> </ul>
<b>6. Vermeidung von Nutzwärmeverlusten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rollläden schließen automatisch bei Dunkelheit und reduzieren so Wärmeverluste.</li> <li>• Digitale Assistenzsysteme zeigen auf wann Lüftung notwendig ist, so dass Wärmeverluste durch zu häufiges Lüften verhindert werden.</li> </ul>

## 8.2 Produktkategorien und Einsparpotenziale

Für die in Kapitel 8.1 aufgeführten Anwendungsbereiche wurden Produktkategorien bzw. Produktbeispiele und - wo verfügbar – Untersuchungen zu möglichen Einsparpotenzialen recherchiert. Ziel war es die Funktionsprinzipien und die Bandbreite an Datenaufwand und möglichen Einsparungen für verschiedene Anwendungen aus den Anwendungsbereichen aufzuzeigen. Die dargestellten Ergebnisse basieren auf Literatur- und Internetrecherche, sowie Telefon- und Videogesprächen mit Expert\*innen und Anbietern von Produkten.

### 8.2.1 Verbrauchstransparenz

Digitale Anwendungen können helfen die Verbrauchstransparenz für Verbraucher\*innen zu verbessern. Dafür kann entweder der Endenergieverbrauch oder der Wärmeverbrauch digital erfasst und die Information dazu regelmäßig digital zur Verfügung gestellt werden. Der Rhythmus der Datenerfassung, Datenübertragung und Informationsbereitstellung kann sich dabei prinzipiell stark unterscheiden.

Einsparungen können über digitale Verbrauchstransparenz erreicht werden, wenn die übermittelte Information bei den Nutzenden zu einem erhöhten Bewusstsein über den Wärmeenergieverbrauch und zu energiesparendem Verhalten führt.

Daher ist es sinnvoll, die Informationen zum Verbrauch mit begleitenden Hinweisen zu energiesparendem Verhalten zu kombinieren, um Einsparpotentiale stärker auszuschöpfen. Bei der Bewertung des Einsparpotentials einer digital unterstützten Verbrauchstransparenz muss dann jedoch zwischen dem Effekt der Verbrauchsinformation und der Energiespartipps unterschieden werden.

Im Folgenden werden zwei beispielhafte Anwendungen aus dem Bereich digitale Verbrauchstransparenz dargestellt.

#### 8.2.1.1 Monatliche Heizkosteninformation in Mehrfamilienhäusern

##### **Funktionsprinzip und Produktbeispiele**

Der Wärmeverbrauch einer Wohnung wird digital erfasst und den Bewohnern regelmäßig zur Verfügung gestellt. Dazu können Informationen zur Einordnung und Energiespartipps kommen.

Seit Januar 2022 ist die monatliche Information der Mietenden über ihren Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser verpflichtend, wenn die Wohnung über fernablesbare Messgeräte verfügt. Bis 2026 müssen alle Mietwohnungen entsprechend nachgerüstet werden (Bundesministerium der Justiz 2021a). Der Verbrauch muss in der Information mit dem Vormonat, dem Vorjahresmonat und dem Durchschnittsverbrauch in Vergleich gestellt werden (Bundesministerium der Justiz 2021b). Die Information wird den Mietenden in der Regel per E-Mail, mit einer App auf dem Smartphone oder ggf. auch per Post zugestellt.

##### **Komponenten und Datenübertragung**

Die Heizkostenverteiler müssen über eine integrierte Funkschnittstelle verfügen. Über diese werden die Daten an ein Gateway übertragen, welche die Informationen über Mobilfunk an den Mess-

dienstleister überträgt. Auch Endenergie- und Wasserzähler müssen durch Geräte mit Funkschnittstelle ersetzt oder entsprechend mit einem Funk-Modul aufgerüstet werden, welches die Daten an das Gateway übertragen kann. Die Datenübertragung erfolgt nach Vorgabe der Heizkostenverordnung monatlich.

### **Einsparpotenzial**

Die Verbrauchsinformation sollte mit Hinweisen zu Einsparmöglichkeiten verbunden werden, um die Verbraucher\*innen zu befähigen ihren Wärmeverbrauch zu reduzieren. Um dann das Einsparpotenzial der Verbrauchsinformation selbst bewerten zu können, stellt sich die Frage, wie hoch der Einspareffekt wäre, wenn nur Energiespartipps ohne Verbrauchsinformation zur Verfügung gestellt werden.

Bereits vor der verpflichtenden Einführung der monatlichen Heizkosteninformation, wurde im Modellvorhaben „Bewusst heizen, Kosten sparen“ der Deutschen Energie-Agentur (Müller et al. 2017) der Einfluss einer digitalen Verbrauchsinformation untersucht. Bei dem von Deutschen Mieterbund und der Firma ista unterstützten Modellvorhaben wurde das Energiedatenmanagement von ista eingesetzt. Es wurden knapp 1000 Mieterhaushalte angesprochen, von denen 189 über drei Heizperioden teilnahmen. Die Akquise wurde mit dem Angebot einer kostenlosen persönlichen Heizkostenberatung verbunden. Die Teilnehmer erhielten eine jährliche Informationsbroschüre mit Energiespartipps und wurden zwei Mal jährlich zum Projekt befragt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Teilnehmenden des Projektes ihren Wärmeverbrauch klimabereit im Durchschnitt um 10 % senken konnten. Eine Kontrollgruppe aus Mietshaushalten ähnlicher Liegenschaften, die nicht am Projekt teilnahmen, zeigte eine Einsparung von 2 %. Das Einsparpotenzial der Verbrauchsinformation liegt aber vermutlich deutlich unter der sich ergebenden Differenz: auch bei den Haushalten in den Projekt-Liegenschaften, die keine Verbrauchsinformation erhielten wurde eine deutlich erhöhte Einsparung von durchschnittlich 8 % festgestellt. Es ist möglich, dass die nichtteilnehmenden Haushalte durch die in zwei Jahren stattfindende Ansprache für die Teilnahmeakquise für ihren Wärmeverbrauch sensibilisiert wurden. Das Einsparpotenzial der Verbrauchsinformation liegt demnach wohl eher bei 2 %, wenn die Information ohne Einspartipps vermittelt wird vermutlich noch unter diesem Wert. Es ist davon auszugehen, dass das Einsparpotenzial auch von der Aufmerksamkeit abhängt, welche die Verbraucher\*innen dem Thema Energieverbrauch widmen, auch aufgrund von aktuellen Kosten und der Diskussion in der Öffentlichkeit.

#### 8.2.1.2 Kontinuierliche Verbrauchsinformation

##### **Funktionsprinzip und Produktbeispiele**

Bei Hauseigentümer\*innen fällt die Einschränkung der Verbrauchsinformation auf monatliche Werte aufgrund des Datenschutzes weg. Hier ist auch eine kontinuierliche aktuelle Information zum Endenergie- und/oder Wärmeverbrauch möglich, die mit Informationen zur Einordnung und Energiespartipps kombiniert werden könnte. Teilweise bieten Smartphone-Apps von Herstellern von Wärmeerzeugern die Möglichkeit, z.B. den Gasverbrauch tagesaktuell einzusehen, sowie mit vorangegangenen Wochen-, Monats- oder Jahreswerten zu vergleichen (z.B. ViCare App der Firma Viessmann (Viessmann 2023)). Ein Produkt bei dem der Nutzer oder die Nutzerin, verbunden mit Einspartipps, regelmäßig aktiv auf den aktuellen Verbrauch hingewiesen werden, ist für einfache Heizsysteme mit Heizkessel nicht üblich. Energiemanagementsysteme mit Visualisierung (und Op-

timierung) der Energieflüsse und Verbrauch zielen auf komplexere Kombinationen von Photovoltaikanlage, Wärmepumpe, Stromspeicher und ggf. E-Ladestation für das Auto (z.B. GridBox von Viessmann (Viessmann 2022)).

### **Komponenten und Datenübertragung**

Für eine kontinuierliche Verbrauchsinformation muss ein vernetzter Endenergiezähler vorhanden sein, der die Verbrauchsdaten an ein Internet- oder Mobilfunk-Gateway überträgt. Bei Anwendungen, die vom Hersteller des Wärmeerzeugers angeboten werden, ist der vernetzte Zähler im Wärmeerzeuger integriert. Es könnten aber auch die zur Abrechnung vorhandenen Zähler aufgerüstet oder ausgetauscht werden. Die Frequenz der Datenübertragung ist von der gewünschten Nutzung abhängig. Bei einem einfachen Heizkessel reicht ein täglicher Wert.

### **Einsparpotenzial**

Da ein einfaches kontinuierliches Verbrauchsfeedback mit aktiver Information des Verbrauchers mit dem Ziel der Wärmeeinsparung so offenbar nicht im Einsatz ist, können hierzu auch keine Einsparpotenziale abgeschätzt werden. Bei Energiemanagementsystemen mit Visualisierung der Energieflüsse in Systemen mit PV-Anlage in Kombination mit einer Wärmepumpe zielt die Verbrauchsinformation hauptsächlich darauf ab, den Verbrauch so anzupassen, dass ein möglichst hoher Eigenverbrauch des erzeugten Stroms erreicht wird. Inwieweit die Information auch dazu beiträgt, den Verbrauch insgesamt durch sparsameres Verhalten zu senken, ist unklar.

## **8.2.2 Betriebs- und Effizienzüberwachung**

Bei der Online-Betriebsüberwachung werden Endenergie- und Wärmeverbrauchsdaten, ggf. Temperaturdaten von verschiedenen Systempunkten und Wetterdaten digital erfasst und an einen Anbieter für Betriebsüberwachung weitergeleitet. Auf Grundlage dieser Daten können Fehlfunktionen erkannt und optimierte Einstellungen für das System abgeleitet werden. Während der Prozess der Datenerfassung dabei automatisiert ist, kommt im nächsten Schritt in der Regel ein\*e Expert\*in zum Einsatz: er oder sie werten die Daten mit einer spezifischen Software aus und leitet z.B. optimierte Systemeinstellungen ab. Kritische Parameter sind etwa die Einstellung der Heizkurve – d.h. die angestrebte Höhe der Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur -, die Temperaturpreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur, die Dauer und Zieltemperatur der Nachtabsenkung und die Außentemperatur bei der zwischen Sommer- und Winterbetrieb gewechselt wird. Wenn der Anbieter der Betriebsüberwachung den entsprechenden Zugang erhält, können Einstellungen bei neueren Wärmeerzeugern zum Teil auch online über eine Fernsteuerung vorgenommen werden. Oft ist jedoch der Einsatz eines Wartungsdienstes vor Ort notwendig, insbesondere, wenn Probleme im hydraulischen System behoben und Teile ausgetauscht werden müssen.

Die Produkte von Anbietern für Online-Betriebsüberwachung sind auf größere Gebäude – Mehrfamilienhäuser oder Nichtwohngebäude – ausgerichtet, da sich hier die entstehenden Kosten eher rentieren. Die Anwendungen unterscheiden sich u.a. in der Menge und Frequenz der erhobenen Daten, der Auswertung und der Umsetzung der Optimierung. Im Folgenden werden zwei Produktbeispiele vorgestellt, deren Anbieter für den vorliegenden Bericht interviewt wurden.



**Abb. 8.2: Prinzip der digitalen Effizienz bzw. Betriebsüberwachung**

### 8.2.2.1 Verbrauchsanalyse mit Handlungsempfehlungen - EWUS Digitaler Heizraum

#### Funktionsprinzip

Die Online-Betriebsüberwachung „Digitaler Heizraum“ des Unternehmens Effiziente Wärme- und Stromlieferung GmbH (EWUS) basiert auf einer Erfassung von genutzter Endenergie und erzeugter Wärme sowie öffentlichen Wetterdaten. Mit einer softwarebasierten Analyse des Heizverhaltens werden von einem Experten Vorschläge für optimierte Einstellungen entwickelt und ggf. Hinweise zu möglichen Problemen in der Hydraulik des Systems gegeben. Die Vorschläge werden dem Auftraggeber übermittelt, der für die manuelle Umsetzung vor Ort verantwortlich ist. Meist erfolgt die Umsetzung im Rahmen der regelmäßigen Termine des Wartungsdiensts, die etwa ein- bis zweimal jährlich erfolgen. EWUS hat somit nur einen geringen Einfluss auf die Umsetzung der Optimierung.

Der übliche Einsatzbereich des Produktes sind Anlagen mittlerer Größe mit einer Leistung von ca. 40 kW bis 400 kW. Der Verbrauch liegt meist über 50.000 kWh pro Jahr – in der Regel deutlich höher.

#### Komponenten und Datenübertragung

Zur Erfassung des Wärmeverbrauchs wird ein Wärmemengenzähler mit digitaler Schnittstelle genutzt, welcher seine Daten alle sechs Minuten per Funk an den Mobilfunk-Gateway übermittelt. Die

vorhandenen Endenergiezähler müssen für eine digitale Erfassung und Übertragung aufgerüstet oder ersetzt werden. Meist handelt es sich um einen Gaszähler, dessen Zählwerkfortschritt mit einem Reed-Kontakt abgenommen werden kann. Ein Impulsadapter funkt die Daten ca. alle fünf Minuten an den Mobilfunk-Gateway. Der Mobilfunk-Gateway speichert die Daten kurzfristig und überträgt sie viertelstündlich an EWUS. Pro Monat kommen so etwa 20 MB Datenübertragung pro Heizzentrale zusammen. Zusätzlich werden stündlich Wetterdaten der nächstgelegenen Wetterstation abgefragt.

### **Einsparpotenzial**

Das Einsparpotenzial wird von EWUS mit in der Regel 5 % bis 8 % angegeben (EWUS 2022). Das Produkt „Digitaler Heizraum“ wurde auch im Rahmen des Förderprogramms „Einsparzähler“ (BAFA 2021) angeboten. Dadurch stehen im größeren Umfang Daten zu real erzielten Einsparungen zur Verfügung, die für das vorliegende Projekt ausgewertet wurden (siehe Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

## 8.2.2.2 Hochfrequente Betriebsüberwachung - EZN Energetisches Monitoring

### **Funktionsprinzip**

Die Online-Betriebsüberwachung „Energetisches Monitoring“ des Unternehmens Energiezentrale Nord GmbH (EZN) umfasst neben der Datenanalyse auch die Umsetzung von Optimierungen und Behebung von hydraulischen Problemen. Zusätzlich zum Wärme- und Endenergieverbrauch werden Temperaturdaten von verschiedenen Punkten des Heizkreislaufs übertragen, z.B. vom Warmwasserspeicher oder der Trinkwasserzirkulation. Die Datenauswertung erfolgt durch eine\*n Experten\*in mit einer spezifischen Software, die den Zusammenhang zwischen Datenmustern und bestimmten Fehlern lernt. Eine minütliche Datenübertragung erlaubt dabei die Erkennung von Schaltvorgängen im System nahezu in Echtzeit. Optimierte Einstellungen der Kontrollparameter – etwa der Heizkurve – können von EZN selbst oder in direkter Zusammenarbeit mit dem Wartungsdienst vorgenommen werden. Bei nach 2010 installierten Heizungsanlagen ist dies meist über eine Online-Fernsteuerung möglich, während Probleme im hydraulischen System oder der Austausch von identifizierten fehlerhaften Komponenten vor Ort erfolgt.

Üblicherweise kommt das Produkt bei größeren Anlagen mit einem jährlichen Verbrauch von über 100.000 kWh zum Einsatz.

### **Komponenten und Datenübertragung**

Ähnlich wie bei der oben beschriebenen EWUS-Anwendung, kommen ein Wärmemengenzähler und ein Endenergiezähler mit digitaler Schnittstelle zum Einsatz. Die Übertragung zu einem Datenlogger erfolgt in diesem Fall über Kabel. Die im Standardfall etwa 20 Temperatursensoren sind ebenfalls über Kabel verbunden. Die Übermittlung der Daten über den Mobilfunk-Router an EZN erfolgt minütlich.

### **Einsparpotenzial**

Das Einsparpotenzial wird von EZN im Durchschnitt auf etwa 15 % des Endenergieverbrauches bei Gas-Heizanlagen geschätzt, bei Fernwärme auf etwa 8 % bis 10 %. Das Produkt „Energetisches Monitoring“ wurde auch im Rahmen des Förderprogramms „Einsparzähler“ angeboten. Dadurch



stehen im größeren Umfang Daten zu real erzielten Einsparungen zur Verfügung, die für das vorliegende Projekt ausgewertet wurden (siehe Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)

Bei Wärmepumpen und Hybrid-Heizungsanlagen wird das Einsparpotenzial von EZN als ähnlich hoch wie bei Gas-Brennwertanlagen eingeschätzt (Sporysz 2022), auch wenn hier noch weniger Daten aus der Praxis vorliegen.

## 8.2.3 Regelung der Wärmeerzeugung

Die Temperatur, auf welche der Wärmeerzeuger den Vorlauf des Heizungssystems erhitzt, wird üblicherweise witterungsgeführt geregelt: die Heizkennlinie beschreibt die Soll-Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der vom am Gebäude angebrachten Temperaturfühler gemessenen Außentemperatur. Die Neigung der Kurve – deren mittlerer Wert als Steilheit bezeichnet wird - bestimmt, wie stark sich eine Änderung der Außentemperatur auf die Vorlauftemperatur auswirkt. Die erforderliche Vorlauftemperatur ist abhängig vom Wärmebedarf (also u.a. der Dämmung des Gebäudes) und dem Heizungssystem (Größe der Heizkörper/Flächenheizung). Die korrekte Einstellung mit Anpassung an die lokalen Gegebenheiten ist komplex: im Prinzip müssen die Bewohner\*innen in der Heizperiode Protokoll über die bei komplett geöffneten Thermostatventilen erreichten Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außentemperatur führen. Diese Daten sollte der Heizungsinstallateur dann nutzen um bei zwei bis drei Folgeterminen die Feineinstellung der Heizkurve durchzuführen (Held 2020). Oft befindet sich die Heizkennlinie daher in der Werkseinstellung oder ist nicht ausreichend an das Gebäude angepasst.

Eine (temporäre) allgemeine Erhöhung oder Absenkung der Vorlauftemperatur entspricht einer Parallelverschiebung der Heizkurve und kann z.B. für eine zentrale Nachtabsenkung der Temperaturen vorgenommen werden. Dabei ist zu beachten, dass die Thermostatventile an den Heizkörpern der Temperaturabsenkung durch eine weitere Öffnung entgegenwirken. Die Heizgrenztemperatur ist diejenige Außentemperatur, bei der die Regelung die Heizungsanlage abschaltet.

Im Folgenden werden verschiedene Möglichkeiten dargestellt, wie digitale Anwendungen die Regelung des Wärmeerzeugers besser an den Wärmebedarf anpassen können. Teilweise werden diese Optionen in Produkten auch kombiniert angeboten.

Nicht betrachtet werden im vorliegenden Bericht Anwendungen die üblicherweise auf Nichtwohngebäude abzielen, und z.B. auf einer vorhandenen Gebäudeleittechnik aufsetzen, da sich das vorliegende Forschungsprojekt auf für den privaten Verbraucher relevante Anwendungen fokussiert. Solche Anwendungen kombinieren in der Regel mehrere der hier genannten Optionen und ggf. weitere Informationen, Simulationen der Anlagentechnik und/oder des Gebäudes mit seinen bauphysikalischen Eigenschaften für (selbstlernende) Algorithmen zur Betriebsoptimierung.

### 8.2.3.1 Wetterprognose-Steuerung

#### **Funktionsprinzip (und Produktbeispiele)**

In der einfachsten Variante einer Wetterprognosesteuerung wird das Signal des Außentemperaturfühlers durch die Information über den zu erwartenden Temperaturverlauf ersetzt. Durch die Informationen über den prognostizierten Temperaturverlauf können vorausschauende Regelstrategien

angewandt werden, etwa, wenn im Tagesverlauf eine Erwärmung des Gebäudes durch Sonnenbestrahlung zu erwarten ist und daher die Wärmezufuhr am Morgen reduziert werden kann. Für eine verfeinerte prädikative Regelung können auch weitere Wetterdaten, wie z.B. Windgeschwindigkeiten, Sonneneinstrahlung, Luftfeuchtigkeit oder die Niederschlagsmenge, genutzt werden.

In einer erweiterten Variante werden die Temperaturen von Vor- und Rücklauf, die verbrauchte Wärme oder die Innentemperatur der Räume gemessen und zusammen mit den Wetterdaten ausgewertet, um die Heizkennlinie und die vorausschauende Regelung besser auf das Gebäude und seine thermische Trägheit anzupassen. Dabei handelt es sich im Prinzip um eine Kombination von Wetterprognose-Steuerung und bedarfsgeführter Vorlauftemperatur (siehe 8.2.3.3).

Eine Nachrüstung der Heizungsanlage mit Wetterprognosesteuerung lohnt sich eher in großen Mehrfamilienhäusern (Gähns et al. 2021). Für kleinere Gebäude wäre eine Integration in die Hard- und Software des Heizkessels notwendig, diese wird aber aktuell nicht angeboten (Gähns et al. 2021).

### **Komponenten, Datenübertragung und -verarbeitung**

In (Gähns et al. 2021) werden die benötigten Komponenten für eine erweiterte Wetterprognosesteuerung aufgelistet: Dabei handelt es sich um eine Aufrüstung einer bestehenden witterungsgeführten Heizungsregelung mit einer zwischen Außentemperaturfühler und Heizkessel geschalteten Steuerbox. Wie bei der Online-Betriebsüberwachung wird der Gaszähler auferüstet, um ein digitales Verbrauchssignal zu erhalten, welches per Funk oder Kabel an die Steuerbox übertragen wird, ebenso wie die Signale der Temperaturfühler an Vor- und Rücklauf oder eines ggf. verwendeten Wärmemengenzählers. Die Steuerbox beinhaltet einen Datenlogger, welcher die Messung täglich über ein Gateway – entweder per Kabel oder mit einem Mobilfunk-Router – an den Server des Anbieters weiterleitet. Die auf dem Server berechneten optimierten Außentemperaturvorgaben werden stündlich an die Steuerbox gesendet.

### **Einsparpotenzial**

Das Einsparpotenzial einer Wetterprognosesteuerung hängt von der Trägheit des Gebäudes und des Heizungssystems bei der Wärmefaufnahme und Abgabe ab. Einsparungen können vor allem in der Übergangszeit in Frühjahr und Herbst und stärker bei trägen Heizungssystemen, die langsamer auf die Regelung reagieren, erzielt werden (Gähns et al. 2021).

Ein Anbieter von Wetterprognose-Steuerungen der erweiterten Variante mit Informationen zum Verbrauch gibt die Bandbreite der üblicherweise erzielten Einsparungen mit 10 % bis 20 % an, was für eine kleine Fallstudie mit sieben Gebäuden auch bestätigt werden konnte (Gähns et al. 2021). Größer angelegte Untersuchungen zum Einsparpotenzial sind nicht bekannt.

In einer Kurzstudie zu möglichen Energieeinsparungen einer digitalisierten Heizung schätzen Mailach und Oschatz (2017) den Einspareffekt einer einfachen Wetterprognosesteuerung mit ca. 3 % in einem Altbau und ca. 1 % im Neubau. Eine Simulationsstudie zum Effekt einer Steuerung mit Wetterprognose und Berücksichtigung von Abwesenheiten (Kersken und Sinnesbichler 2013), rechnet der Wetterprognosesteuerung eine Einsparung von 7 % an, wobei die Referenz jedoch mit

einer dauerhaft mit 20°C beheizten Wohnung bzw. Einfamilienhaus relativ verbrauchsintensiv gewählt war.

### 8.2.3.2 Tagabsenkung der Vorlauftemperatur bei Abwesenheit

#### **Funktionsprinzip und Produktbeispiel**

Neben einer zentralen Nachtabsenkung, kann es in Einfamilienhäusern auch tagsüber bei längeren Abwesenheiten der Bewohner\*innen sinnvoll sein die Vorlauftemperatur der Heizung abzusenken. Die Abwesenheit kann dabei entweder über das GPS-Signal eines Smartphones, über das Programmieren von Abwesenheitsslots in einer Heizungssteuerungs-App oder über die Eingabe in eine fest installierte Bedienoberfläche ermittelt werden. Ein Beispiel für ein Smart-Home-System, das eine solche Steuerung ermöglicht, ist die wi-butler-Heizungsregelung (wi-butler 2023).

#### **Komponenten, Datenübertragung und –Verarbeitung**

Damit die Vorlauftemperatur an die erfassten Abwesenheiten angepasst werden kann, muss die Heizungssteuerung über eine digitale Schnittstelle verfügen. Über diese ist der Heizkessel mit einem Gateway verbunden, bei dem die Abwesenheitssignale eingehen. Das kann z.B. ein mit dem Internet oder einem lokalen Heimnetzwerk verbundener SmartHome-Gateway sein. Bei einer Anwendung mit Smartphone-Lokalisierung werden regelmäßig Daten an den Server des Anbieters und das Gateway übertragen. Bei wi-butler erfolgt die Datenübertragung an den Wärmeerzeuger nur im Bedarfsfall (wi-butler 2021).

#### **Einsparpotenzial**

Üblich und sinnvoll ist eine Tagabsenkung der Vorlauftemperatur bei Abwesenheit in Kombination mit der Nutzung intelligenter Thermostatventile, damit die Stellantriebe an den Heizkörpern nicht versuchen, die niedrigere Vorlauftemperatur durch einen höheren Durchfluss auszugleichen. In der Literatur wird das Einsparpotenzial eines verringerten Wärmeverbrauchs während Abwesenheitsphasen meist anhand von intelligenten Thermostatventilen, die nur die Wärmeübergabe durch die Heizkörper reduzieren, untersucht (siehe Kapitel 8.2.5.). Die Wärmeeinsparungen durch die Reduktion der Raumtemperatur bei Abwesenheit mit solchen smarten Thermostaten ohne Vernetzung zum Wärmeerzeuger können als untere Grenze für das Einsparpotenzial der Absenkung der Vorlauftemperatur bei Abwesenheit gesehen werden, da hier noch die Verluste im Verteilsystem und ggf. eine höhere Effizienz des Wärmeerzeugers bei niedrigeren Vorlauftemperaturen hinzukommen.

### 8.2.3.3 Bedarfsgeführte Vorlauftemperatur

#### **Funktionsprinzip und Produktbeispiel**

Im Gegensatz zur witterungsgeführten Regelung, wird bei der bedarfsgeführten Anpassung der Vorlauftemperatur der tatsächliche aktuelle und ggf. zukünftige Wärmebedarf des Gebäudes berücksichtigt. Der aktuelle Wärmebedarf wird entweder über eine Innentemperaturmessung in einem oder mehreren Räumen oder die Ventilstellung der Heizkörperthermostate ermittelt. Prinzipiell können dabei auch Veränderungen des Wärmebedarfs aufgrund von Wetteränderungen (siehe Kapitel 8.2.3.1) oder Abwesenheiten (siehe Kapitel 8.2.3.2) in eine vorausschauende Regelung eingebunden werden.

Ein Produktbeispiel, das die Tagabsenkung bei Abwesenheit und die Regelung der Heizung nach aktuellem Bedarf kombiniert, ist die Heizungsregelung mit dem SmartHome-System wi-butler. Angaben zu diesem System beruhen auf Gesprächen mit einem Entwicklungsingenieur dieses Anbieters.

### **Komponenten, Datenübertragung und -verarbeitung**

Grundvoraussetzung ist auch bei dieser Anwendung eine digitale Schnittstelle am Wärmeerzeuger, die mit einem SmartHome-Gateway verbunden ist. Es werden auch Nachrüstmodule für ältere Wärmeerzeuger angeboten, wenn diese über eine 0-10 V Schnittstelle verfügen. Das SmartHome-Gateway empfängt Signale von an den Heizkörpern angebrachten intelligenten Thermostatventilen („Smarte Thermostate“, siehe Kapitel 8.2.5). Ist-Temperaturwerte werden entweder durch die intelligenten Thermostate oder zusätzliche Temperaturfühler in den Räumen übermittelt. Zusätzlich werden beim wi-butler System ggf. auch Signale von Fenster-Sensoren zur Lüftungserkennung und Informationen zur Anwesenheit – etwa über Bewegungsmelder oder durch das Smartphone anpassbare Zeitprofile – eingespeist. Die Wunschtemperatur bei An- und Abwesenheit wird durch den Nutzenden hinterlegt.

Bei dem wi-butler System benötigt die Hauptfunktion der Heizungsregelung meist keine Datenverarbeitung außerhalb des Hauses, da die Heizungsregelung auch ohne Internet funktionieren soll. Der SmartHome-Gateway dient hier auch als Home-Server, auf dem die Berechnung durchgeführt werden. Die Datenübertragung von den Thermostaten zum Home-Server erfolgt über ein Funkprotokoll, z.B. Zigbee oder enocean, etwa alle 10 Minuten oder bei großen Änderungen. Signale vom Home-Server an den Wärmeerzeuger werden bei Bedarf weitergegeben, entweder auch über enocean, ein lokales Heimnetzwerk oder in manchen Fällen auch über das Internet.

### **Einsparpotenzial**

Das Einsparpotenzial einer bedarfsgeführten Vorlauftemperatur wird hier in Bezug auf eine Referenz mit gleichem zeitlichen Verlauf der Soll-Raumtemperaturen bewertet.

Das Einsparpotenzial einer an den aktuellen Wärmebedarf in den Räumen angepassten Vorlauftemperatur hängt stark vom Typ des Wärmeerzeugers ab (Seifert 2009), da der Einfluss der Vor-/Rücklauftemperaturen auf die Effizienz sich stark unterscheidet. Die in (Seifert 2009) beschriebenen Simulationen zeigen, dass durch eine Regelung unter Berücksichtigung der Ventilstellung bei einem Brennwert-Kessel je nach den angewandten Systemtemperaturen bei bis zu rund 8 %, während bei einem Niedertemperaturkessel nur rund 1 % eingespart wird. Bei Luft-Wärmepumpen liegt die Einsparung in ähnlicher Höhe wie bei Brennwert-Geräten, bei Erdwärmepumpen tendenziell etwas höher. Bei Wärmepumpen ist die Abhängigkeit des Einspareffektes von den genutzten Systemtemperaturen besonders hoch: Während für Luft-Wasser-Wärmepumpen mit einem hohen Anlagentemperaturniveau (Vor-/Rücklauf bei 55/45°C) die kalkulierte Einsparung knapp 8 % beträgt, fällt sie bei niedrigeren Anlagentemperaturen (40/30°C) mit gut 3 % deutlich geringer aus (Seifert 2009; Mailach und Oschatz 2017). Auch die Größe des Pufferspeichers beeinflusst die Einsparung: bei größeren Speichern ist das Adaptionspotenzial im Teillastfall höher (Seifert 2009).

Breite Messdaten zum Einsparpotenzial einer bedarfsgeführten Vorlauftemperatur finden sich kaum. Es kann vermutet werden, dass eine bedarfsgeführte Vorlauftemperatur vor allem im Vergleich mit einer schlecht an das Gebäude angepassten Heizkurve ein relevantes Einsparpotenzial bietet.

## 8.2.4 Optimierte Wärmeverteilung

### Funktionsprinzip und Produktbeispiele

Für eine optimale Verteilung der Wärme sollte idealerweise durch jeden Heizkörper genau der Volumenstrom strömen, der zur Deckung des aktuellen Wärmebedarfs notwendig ist. Dieses Ziel soll mit einem hydraulischen Abgleich des Heizungssystems erreicht werden.

Beim statischen hydraulischen Abgleich werden dafür die bei Vollast – d.h. den höchsten Wärmebedarf auf den die Heizungsanlage ausgelegt ist – notwendigen maximalen Volumenströme für die einzelnen Heizkörper berechnet und entsprechende Einstellungen am Heizkörperventil vorgenommen. Voraussetzung ist, dass die Heizkörper über sogenannte „voreinstellbare Thermostatventile“ verfügen, bei denen der Durchfluss schon vor dem eigentlichen Thermostatventil begrenzt werden kann.

Nachteil des statischen hydraulischen Abgleichs ist, dass sich im Teillastfall – wenn der Wärmebedarf geringer als bei Vollast ist, und die Thermostatventile nicht voll geöffnet und ggf. an den verschiedenen Heizkörpern auf unterschiedlichen Stufen stehen – der Druckabfall über die Heizkörper ungleichmäßig verändert und die Volumenströme nicht mehr optimal angepasst sind, ggf. werden einige Heizkörper zu oder nicht ausreichend warm.

Beim dynamischen hydraulischen Abgleich werden Differenzdruckregler eingesetzt, um Veränderungen des Wasserdruckes auszugleichen, sodass die Volumenströme auch im Teillastfall abgeglichen sind. Wenn dafür Thermostatventile mit interner Differenzdruckregelung eingesetzt werden, wird dies teilweise bereits als „automatischer hydraulischer Abgleich“ bezeichnet, auch wenn dabei keine digitale Anwendung zum Einsatz kommt und weiterhin die manuelle Berechnung und Voreinstellung der Volumenströme notwendig ist.

Der hydraulische Abgleich kann durch digitale Anwendungen erleichtert und optimiert werden. Beim „automatischen hydraulischen Abgleich mit permanenter Massestromberechnung“ (Scheithauer 2019) erfolgt die Berechnung und (Fein-)Einstellung der notwendigen Volumenströme kontinuierlich durch eine intelligente digitale Systemsteuerung mit der gemessenen Raumtemperatur als Regelungsgröße. Bei Anlagen mit weniger als 20 Heizkörpern kann der klassische hydraulische Abgleich durch diesen automatischen Abgleich ersetzt werden. Eine Kombination von der bei größeren Systemen in jedem Fall notwendigen klassischen Berechnung und Voreinstellung mit der digitalen permanenten Massestromberechnung zur Feinabstimmung liefert jedoch die besten Ergebnisse.

Angeboten wird die permanente Massestromberechnung in Kombination mit intelligenten Thermostaten, z.B. von der Firma Danfoss mit den Produkten Danfoss Eco oder Danfoss Ally (Danfoss).

### Komponenten, Datenübertragung und -verarbeitung

Benötigt werden für den automatischen hydraulischen Abgleich mit permanenter Massestromberechnung intelligente Thermostate mit interner Differenzdruckregelung und Temperaturmessung, ggf. zusätzliche Raumtemperatursensoren und ein entsprechendes (SmartHome-)Gateway. Die Messdaten werden an das Gateway per Funk übertragen, ebenso wie umgekehrt die Signale für die Einstellungen. Die Berechnungen erfolgen entweder lokal auf dem Gateway oder auf dem (Cloud)-Server des Anbieters.

## Einsparpotenzial

Schon das Einsparpotenzial des klassischen hydraulischen Abgleichs ist schwierig zu beziffern, da es davon abhängt, wie weit das Heizungssystem vorher vom Idealzustand abweicht, und auch welches Verfahren zum Einsatz kommt. Ein größerer Datensatz zur durchschnittlichen Einsparung nur durch einen hydraulischen Abgleich wurde nicht gefunden, da in Studien (DELTA-Q 2005) meist zusätzliche Optimierungsmaßnahmen, wie z.B. ein Pumpentausch durchgeführt wurden. Das Potenzial des digital unterstützten Abgleichs liegt zum einen darin, die Einsparungen durch Feinabstimmung zu verbessern, als auch darin, dass der Abgleich durch die Erleichterung in der Berechnung überhaupt erst durchgeführt wird.

## 8.2.5 Regelung der Wärmeübergabe („Smartes Thermostat“)

### Funktionsprinzip (und Produktbeispiele)

Die Wärmeübergabe vom erwärmten Wasser im Heizkreislauf an die Räume wird durch die Stellung der Ventile bestimmt, die den Fluss durch die Heizkörper bzw. Heizflächen steuern. Elektronische vernetzte Thermostatventile können auf verschiedene Weise darauf hinwirken, dass die Wärmeübergabe dem Wärmebedarf in den Räumen besser angepasst wird:

- **Anpassung an die Wetterprognose:** Das Thermostat erhält Wetterprognoseinformationen. Wenn im Tagesverlauf eine Erwärmung des Gebäudes durch Sonne zu erwarten ist, wird die zur Erreichung der Zieltemperatur notwendige Ventileinstellung angepasst.
- **Tag-/Nachtabsenkung nach Zeitplan oder detektierter Abwesenheit:** es werden Zeitpläne mit Zieltemperaturen für die verschiedenen Räume/Heizkörper vorgegeben. Alternativ erstellt die Steuerung aus den Eingaben der Nutzenden selbstlernend Zeitpläne. Die Anwesenheit kann auch mit Hilfe von Bewegungsmeldern oder GPS-Signale des Smartphones detektiert und anschließend eine entsprechende Anpassung der Ventileinstellungen vorgeschlagen bzw. automatisch vorgenommen werden.
- **Lüftungserkennung:** wenn offene Fenster oder Außentüren detektiert werden – entweder über elektronische Kontakte an den Rahmen oder über einen plötzlichen Temperaturabfall – wird eine Schließung der Ventile per Push-Nachricht ans Handy vorgeschlagen oder erfolgt automatisch.

Wenn die smarten Thermostate mit dem Wärmeerzeuger vernetzt sind, können sie auch direkt für die Regelung der Vorlauftemperatur des Wärmeerzeugers eingesetzt werden (siehe Kapitel 8.2.4). Die von privaten Verbraucher\*innen selbst gekauften und montierten smarten Thermostate verfügen in der Regel nicht über diese Option. Das folgende Kapitel behandelt daher nur solche smarten Thermostate ohne Kommunikation mit dem Wärmeerzeuger.

### Komponenten, Datenübertragung und -verarbeitung

Zentrales Element sind die elektronischen vernetzten Stellantriebe, die „Smarten Thermostate“. Oft sind in diesen auch Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren integriert. Manchmal kommen aber auch zusätzliche Messfühler in Raumthermostaten zum Einsatz. Meist sind die Stellantriebe per Funk mit einem zentralen Smart-Home-Gateway verbunden, wie auch die ggf. genutzten Tür- und Fensterkontakte. Das Smart-Home-Gateway empfängt über die Internetverbindung Informationen

vom Server des Anbieters bzw. den darüber geleiteten Eingaben vom Smartphone des Nutzers oder der Nutzerin.

Ein System, das ohne Smart-Home-Gateway auskommt und so auch ohne Smartphone leicht genutzt werden kann, ist en:key von (Kieback&Peter), bei dem die Stellantriebe nur mit einem Raumsteuerungsgerät vernetzt sind. Das auch manuell bedienbare Raumsteuerungsgerät verfügt über einen Temperatur- und Infrarot-Präsenzsensoren und benötigt keine Internetverbindung. Besonders an diesem System ist zudem, dass keine Batterien ausgewechselt werden müssen: das Raumsteuerungsgerät wird über eine kleine Solarzelle und die Stellantriebe über die Wärme der Heizkörper mit Energie versorgt.

### **Einsparpotenzial**

Smarte Thermostate sind die bekannteste digitale Anwendung zur Energieeinsparung bei Heizungen. Dementsprechend sind in der wissenschaftlichen Literatur relativ viele Untersuchungen zu ihrem Einsparpotenzial vorhanden. Einen Überblick findet sich etwa in (Schäuble et al. 2020) und (Stoppa et al. 2021). Viele der dort genannten Studien betreffen aber Heizungssysteme, bei denen die Luft direkt erwärmt wird – wie etwa in den USA oft anzutreffen –, und nicht die in Deutschland verbreiteten wassergeführten Zentralheizungen.

Generell ist zu erwarten, dass die zu erzielenden Einsparungen u.a. von der Art der Nutzung (Länge der Abwesenheitszeiten, Temperatureinstellungen), dem bisherigen Heizverhalten (wurden die Thermostatventile bereits manuell bei Abwesenheit heruntergestellt?) und Einstellungen (Nachtabsenkung bereits vorhanden?) und dem Gebäudetyp (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus) und Sanierungszustand (Dämmung) abhängen.

Einige Studien berechnen die möglichen Einsparungen anhand von Simulationen für eine konkrete Wohnung oder Einfamilienhaus (Schlitzberger; Scheepens und Vogtländer 2018). Dieser Ansatz hat den Vorteil, die Einsparungen in Abhängigkeit von klar definierten Parametern und gegenüber einer eindeutigen Referenz ermitteln zu können. So kann auch das Einsparpotenzial der verschiedenen Funktionalitäten (Tag-/Nachtabsenkung, Lüftungserkennung) voneinander getrennt werden.

In der Studie von Schlitzberger et al. (Schlitzberger) für die Verbraucherzentrale NRW wurde eine Reihe relevanter Rahmenbedingungen systematisch für ein Einfamilienhaus und eine Wohnung in einem Mehrfamilienhaus variiert - Nutzungszeiten, Wärmeschutzniveau und Bauteilschwere, Lüftung und Höhe der Raum-Solltemperatur – und die Einsparung im Vergleich zu einer Referenz mit und ohne schon vorhandene Nachtabsenkung (durch Einstellung am Wärmeerzeuger) verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass alleine die Nachtabsenkung am Thermostatventil Einsparungen von 2-6 % im Mehrfamilienhaus und 5-12 % im Einfamilienhaus bewirken kann, hauptsächlich abhängig von der Bauteilschwere. Die zusätzlichen Einsparungen durch eine Tagabsenkung liegen bei wenig Abwesenheiten (2 Stunden pro Tag, z.B. Familie mit Kindern) nur bei etwa 1-2 %, und kann durch Absenkung der Temperatur in wenig genutzten Räumen noch etwas um 2-4 % gesteigert werden. Bei längeren Abwesenheitszeiten (wochentags 10 Stunden) lassen sich deutlich höhere Einsparungen von ca. 8-11 % erreichen. Tendenziell sind nach der Simulation die Einsparungen im Einfamilienhaus etwas höher als in der Mehrfamilienhauswohnung.

Die möglichen Einsparungen durch die Lüftungserkennung sind laut Schlitzberger et al. eher gering: beim Stoßlüften (2x 12 Minuten täglich) betragen maximal 0,4 % in der Mehrfamilienhauswohnung und 0,2 % im Einfamilienhaus. Nur im Extremfall von täglich dreistündigem Dauerlüften werden bis zu 13 % Einsparung erreicht.

Zu beachten ist, dass in (Schlitzberger) für den Fall der Mehrfamilienhauswohnung vereinfachend angenommen wurde, dass kein Wärmetransfer von oder in die über oder unter den beiden simulierten Wohnungen liegenden Stockwerke stattfindet. In der Realität führt geringeres oder stärkeres Heizen in einer Wohnung in einem Mehrfamilienhaus zu einem erhöhten oder niedrigeren Wärmebedarf in den umliegenden Wohnungen („Wärmeklau“). Bionda et al. (Bionda und Domingo-Iriyoyen 2017) konnten mit einer Simulation der Auswirkung von anwesenheitsabhängiger Heizung in einer oder aller Wohnungen in einem Mehrfamilienhaus zeigen, dass die Tagabsenkung in einer einzelnen Wohnung für diese zwar Einsparungen von bis zu 40 % ermöglicht, diese aber nahezu komplett auf Wärmetransfer aus anderen Wohnungen beruhen. Die Wärmeeinsparung des gesamten Gebäudes (acht Wohneinheiten auf vier Geschossen) bei Ausstattung nur einer Wohnung im ersten Stock betrug maximal 1 %. Bei einer Tagabsenkung während Abwesenheiten in allen Wohnungen können nach der Simulation auf Gesamtgebäudeebene hingegen inklusive Nachtabsenkung bis zu 9 % Einsparung erreicht werden. Da in der Simulation jedoch gleichzeitige – und mit wochentags 10 Stunden relativ langen – Abwesenheiten in allen Wohnungen angenommen werden (Bionda 2016), wird hier das Potenzial wahrscheinlich überschätzt.

Auch reale Messdaten beschränken sich oft auf einzelne Gebäude und kurze Zeiträume (Beizaee et al. 2015; Scott et al. 2011). Als repräsentativ kann aber die Feldstudie „SmartHome Rösrath“ (Rehm et al. 2018) betrachtet werden. Im Rahmen dieser Studie wurden mehr als 120 Einfamilienhäuser mit Gaszentralheizung und konventionellen Heizkörpern in Rösrath von einem Team der Technischen Hochschule Köln mit einem SmartHome-System ausgestattet, welches smarte Thermostate, Fenster-/Tür-Kontakte und Bewegungsmelder beinhaltete. Die Bewohner\*innen wurden während der Studie zur Nutzung des Systems in einem Workshop geschult und mehrmals befragt. Die Erstellung von Zeitplänen und Regeln für die Anpassung der Thermostateinstellungen oblag den Nutzenden. Für die Berechnung der Veränderung des Energieverbrauches wurde der vom Gaszähler gemessene Verbrauch – meist für Heizung und Trinkwarmwasser gemeinsam – für das Jahr in dem die Studie stattfand und drei zurückliegende Jahre klimabereinigt und miteinander verglichen (Rehm 2020).

Die Ergebnisse der Rösrath-Studie zeigen eine relativ breite Verteilung der erzielten Einsparungen bzw. Mehrverbräuche (Rehm et al. 2018): zwar konnte im Durchschnitt eine Einsparung von 4 % erzielt werden und 57 % der Haushalte erzielten Einsparungen. Die Gruppe der Haushalte, in denen Mehrverbräuche gemessen wurden ist mit 43 % aber ebenfalls sehr groß. Die maximale Einsparung lag bei 33 % und der maximale Mehrverbrauch bei 27 %. Nicht berücksichtigt wurden dabei Haushalte, in denen sich die Anzahl der Personen geändert hatte (Rehm et al. 2018).

Die Befragungen im Rahmen der Rösrath-Studie zeigten, dass die höchsten Einsparungen von der Personengruppe erzielt wurden, die sich bei der Bedienung des SmartHome-Systems am sichersten fühlte, es kontinuierlich nutzte und ein hohes Bewusstsein für den Energieverbrauch hat (Rehm et al. 2018). Als mögliche Gründe für Mehrverbräuche wurden Probleme bei der Benutzung des Systems und Rebound-Effekte („Heizung kann einfacher an gewünschte Temperatur angepasst werden“, „Das System spart Energie, also kann ich mehr heizen“) identifiziert (Rehm et al. 2018), neben veränderten Präsenzzeiten, die aber auch bei den Einsparungen eine Rolle spielen können.

Aus der Rösrath-Studie lässt sich schlussfolgern, dass bei einem allgemeinen Einsatz – mit der zu erwartenden Bandbreite des Nutzungsverhaltens – von smarten Thermostaten die durchschnittlichen erzielbaren Einsparungen bei etwa 4 % in Einfamilienhäusern liegen, auch wenn bei motivierten und technikaffinen Nutzenden deutlich höhere Einsparungen erreichbar sind.



In Mehrfamilienhäusern ist der Einspareffekt smarter Thermostate auf Gebäudeebene nach den vorliegenden Simulationsergebnissen (Bionda und Domingo-Irigoyen 2017) zweifelhaft, wenn nur einzelne Wohnungen ausgestattet werden. Zum Effekt auf den Energieverbrauch des gesamten Gebäudes bei der Ausstattung aller Wohnungen mit smarten Thermostaten liegen nur wenige Messdaten vor: in (Grinewitschus et al. 2021) wird von fünf ausgestatteten Gebäuden berichtet, von denen zwei witterungsbereinigte Einsparungen von bis zu 15 % zeigten, die drei anderen geringfügige Verbrauchssteigerungen – wobei der Einfluss der Covid19-Pandemie die Vergleichbarkeit der untersuchten Heizperioden 2019/2020 und 2020/2021 verringert. Es ist davon auszugehen, dass der mögliche Einspareffekt stark von der Zusammensetzung der Mieterschaft und der Qualität der Einweisung abhängt.

Berücksichtigt werden muss auch, dass veränderte Einstellungen an den Thermostaten bei nicht optimalem hydraulischen Abgleich im System negative Auswirkungen auf die Effizienz des Wärmeerzeugers haben können (siehe Kapitel 8.2.4).

## 8.2.6 Vermeidung von Nutzwärmeverlusten

Digitale Anwendungen können auch zu Wärmeeinsparungen beitragen, indem sie den Verlust von Nutzwärme verringern, ohne direkt auf das Heizungssystem zu wirken. In diese Kategorie fallen die zwei folgenden Anwendungen.

### 8.2.6.1 Automatische Rollladensteuerung

#### **Funktionsprinzip**

Eine automatische Rollladensteuerung fährt die Rollläden bei Dunkelheit runter und verringert so Transmissionswärmeverluste durch die Fenster, da die Rollläden wie eine zusätzliche Dämmung wirken. Eine in ein SmartHome-System eingebundene Rollladensteuerung kann in der kalten Jahreszeit die Rollläden zudem auch tagsüber bei Abwesenheit runterfahren, wenn keine Wärmegevinne durch Sonneneinstrahlung zu erwarten sind.

#### **Komponenten, Datenübertragung und –Verarbeitung**

Als Grundvoraussetzung muss der Rollladen über einen elektronischen Motor verfügen. Die einfachste Variante der automatischen Rollladensteuerung ist eine Zeitschaltuhr, deren Einstellungen ggf. an die veränderlichen Dämmerungszeiten bzw. den individuellen Tagesrhythmus angepasst werden müssen. Es kann auch ein mit der Steuerung verbundener Lichtsensor verwendet werden. Bei einer Einbindung der elektronischen Rollladensteuerung in ein SmartHome-System können auch Daten zum jeweiligen Dämmerungszeitpunkt vom Server an die lokale Steuerung übertragen werden.

#### **Einsparpotenzial**

Das Einsparpotenzial einer automatischen Rollladensteuerung hängt von mehreren Faktoren ab. Einerseits wird die Einsparung dadurch beeinflusst, wie viel Fensterfläche eine Wohnung bzw. ein Haus hat, und welchen Wärmedurchgangskoeffizienten diese aufweisen. Andererseits kommt es darauf an, wie sich die Bewohner\*innen im Referenzfall ohne automatische Steuerung verhalten: wie konsequent schließen sie nachts die Rollläden mit einer manuellen Steuerung?

In (Demel und Benitz-Wildenburg 2013) wurde die jährliche Energieeinsparung pro Quadratmeter Fensterfläche für verschiedene Fensterqualitäten berechnet. In einer Untersuchung für die Verbraucherzentrale NRW (Quack et al. 2019) wurde auf dieser Basis durch das Öko-Institut ein Einsparpotenzial von 2 % für eine Modellwohnung mit 10 m<sup>2</sup> Fensterfläche mit einem U-Wert von 1,7 W/m<sup>2</sup>K abgeschätzt. In der Annahme wird aber offenbar davon ausgegangen, dass die Rollläden in der Referenz mit manueller Steuerung nachts nicht geschlossen werden. Daher kann dies als eine Abschätzung im oberen Bereich des Möglichen angesehen werden.

### 8.2.6.2 Lüftungsassistenz

#### **Funktionsprinzip**

Mit der – für die Luftqualität regelmäßig notwendige – Lüftung geht in der Heizperiode ein erheblicher Wärmeverlust einher. Eine Lüftungsassistenz mit einem Luftmessgerät, das die Luftfeuchtigkeit und/oder CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft misst, kann den Bewohner\*innen helfen, das Lüften genau an den Bedarf anzupassen. Die Anzeige kann entweder nur auf dem Display des Gerätes erfolgen, oder auf dem Smartphone, ggf. mit einer Aufforderung zum Lüften per Push-Nachricht.

#### **Komponenten, Datenübertragung und -verarbeitung**

Benötigt wird ein Raumluftsensor, entweder als eigenständige Gerät, oder vernetzt mit einem Smart-Home-Gateway. Auch viele intelligente Thermostate (siehe Kapitel 8.2.5) verfügen bereits über Sensoren für die Luftfeuchtigkeit.

#### **Einsparpotenzial**

Ein Einsparpotenzial ist nur dann gegeben, wenn vor der Nutzung des Luftmessgerätes tendenziell zu viel gelüftet wurde. Im gegenteiligen Fall, kann es – bei einer sinnvollen Verbesserung der Luftqualität - zu einem Mehrverbrauch an Wärme kommen.

## 8.3 Auswahl der Anwendungen für die ökologische Bewertung

### 8.3.1 Übersichtsmatrix zu Einsparpotenzialen und Datenlage

Aus den in Kapitel 8.2 untersuchten Produktkategorien wird für die vorliegende Studie eine Auswahl an Anwendungen getroffen, für die das Einsparpotenzial dem Ressourcenaufwand gegenübergestellt wird, um ein ökologisches Einsparpotenzial abzuleiten.

Notwendig für eine solche Analyse sind ausreichend gesicherte Informationen zu Einsparpotenzialen, der eingesetzten Technik und der Datenübertragung. Tab. 8.2Tab. 8.2: Übersicht über die abgeschätzten Einsparpotenziale und Datenverfügbarkeit der betrachteten digitalen Anwendungen gibt einen Überblick über die abgeschätzten Einsparpotenziale und verfügbaren Daten zu den in 8.2 betrachteten Anwendungen.

**Tab. 8.2: Übersicht über die abgeschätzten Einsparpotenziale und Datenverfügbarkeit der betrachteten digitalen Anwendungen**

Anwendungsbereiche	Einsparpotenzial	Datenlage
<b>Digitale Verbrauchstransparenz</b>	< 2 %	Die in einer Studie ermittelte Einsparung kann nicht sauber von dem Einfluss von Einspartipps getrennt werden.
<b>Online-Betriebsüberwachung</b>	5 % bis 15 % nach Erfahrung der Anbieter. Genaue Berechnung auf Basis von Messdaten möglich.	Sehr gute Datenlage zum Einsparpotenzial mit real gemessenen Verbrauchsdaten von zwei Anbietern für eine große Zahl von Gebäuden.  Informationen zur Technik von den Anbietern verfügbar.
<b>Digital unterstützte Regelung der Wärmeerzeugung</b>	Wetterprognosesteuerung: vorhanden, aber Höhe unklar  Tagabsenkung: ~ 4 %  Bedarfsgeführte Vorlauftemperatur: ~ 3 % bis 8 % je nach Anlagentyp und Systemtemperatur	Sehr unterschiedliche Angaben zur Wetterprognosesteuerung, keine breite Datengrundlage.  Potential der Tagabsenkung anhand der Daten für smarte Thermostate abschätzbar.  Simulationsdaten zeigen Potential der bedarfsgeführten Vorlauftemperatur bei Abhängigkeit vom Heizungsanlagentyp.
<b>Digital optimierter hydraulischer Abgleich</b>	Vermutlich vorhanden, Höhe aber unklar.	Keine Daten zum zusätzlichen Einsparpotenzial der digitalen Anwendung gegenüber konventionellem hydraulischem Abgleich.
<b>Digitale Regelung der Wärmeübergabe („Smartes Thermostat“)</b>	~ 4 % im Durchschnitt bei Einfamilienhäusern. Geringer bzw. unklar in Mehrfamilienhäusern. Individuell deutlich höhere Einsparungen, aber auch Mehrverbräuche möglich.	Eine aussagekräftige Feldstudie zu Einfamilienhäusern. Simulationsdaten die Abhängigkeiten von Rahmenbedingungen zeigen.

<b>Digital unterstützte Vermeidung von Nutzwärmeverlusten</b>	< 2% für automatische Rollladensteuerung.  Unklar für Lüftungssistenz, potenzielle Mehrverbräuche	Nur grobe Abschätzung anhand technischer Rahmendaten. Keine Messdaten, Simulationen.
---	---	--

## 8.3.2 Auswahl und Vorgehen für die Analyse

### 8.3.2.1 Online-Betriebsüberwachung

Aufgrund der nach der ersten Einschätzung hohen Einsparpotenziale und der guten Datenverfügbarkeit, die eine Präzisierung ermöglicht, sowie dem Zugang zu Informationen zum technischen Aufwand, wurden die zwei Varianten der Online-Betriebsüberwachung für die weitere Analyse ausgewählt.

Für die ökologische Bewertung werden zunächst in Kapitel 9.2.1 und 9.2.2 die durch die technischen Komponenten und die Datenverarbeitung erzeugten Treibhausgas-Äquivalente ermittelt. Die Daten zu den erzielten Einsparungen werden in Kapitel 10.1 analysiert, in Treibhausgas-Äquivalente umgerechnet und den Emissionen für den technischen Aufwand gegenübergestellt. Die ermittelten Einsparungen werden mit dem ifeu-Gebäude-Modell auf den nationalen Gebäudebestand an großen Mehrfamilienhäusern hochgerechnet, da die Anwendungen üblicherweise bei diesem Gebäudetyp zum Einsatz kommen.

### 8.3.2.2 Smarte Thermostate

Als weitere Anwendung für eine ökologische Bewertung wurden – aufgrund der verfügbaren Daten und ihrer relativ weiten Verbreitung<sup>7</sup> – smarte Thermostate ohne Kommunikation mit dem Wärmeerzeuger ausgewählt.

Bei smarten Thermostaten ist die Datengrundlage für eine ökologische Bewertung weniger eindeutig als bei der Online-Betriebsüberwachung: für Einfamilienhäuser ergeben sich nach einer Feldstudie zwar durchschnittliche Einsparungen, im Einzelfall sind aber auch Mehrverbräuche möglich. Für Mehrfamilienhäuser liegen nicht ausreichend Daten vor, um eine mögliche Einsparung zu bewerten. Die Ausstattung einer einzelnen Wohnung führt offenbar höchstens zu geringen Einsparungen auf Gebäudeebene. Daher wird hier nur die Anwendung in Einfamilien- und Reihenhäusern betrachtet.

Für die ökologische Bewertung werden zunächst in Kapitel 9.2.3 die für den technischen Aufwand anfallenden Emissionen dargestellt. Dabei wird jeweils ein Beispiel für ein System mit und ohne auszuwechselnde Batterien in den Stellantrieben betrachtet.

<sup>7</sup> Siehe z.B. Umfrage in (Grinewitschus et al. 2021) nach der bereits knapp 10 % der Befragten smarte Thermostate besaßen.

In Kapitel 10.2 wird dann berechnet wie hoch die zu erzielenden Einsparungen in einem typischen Einfamilien- und Reihenhaus je nach Energieträger sein müssen, um die durch die Technik verursachten Emissionen aufzuwiegen. Die für Einfamilienhäuser im Durchschnitt erreichbaren Netto-Einsparungen werden auf den gesamten deutschen Bestand an Einfamilien- und Reihenhäusern hochgerechnet.

## 9 Ökologische Bewertung des technischen Aufwands im Wärmebereich

### 9.1 Methodik des Berechnungstools

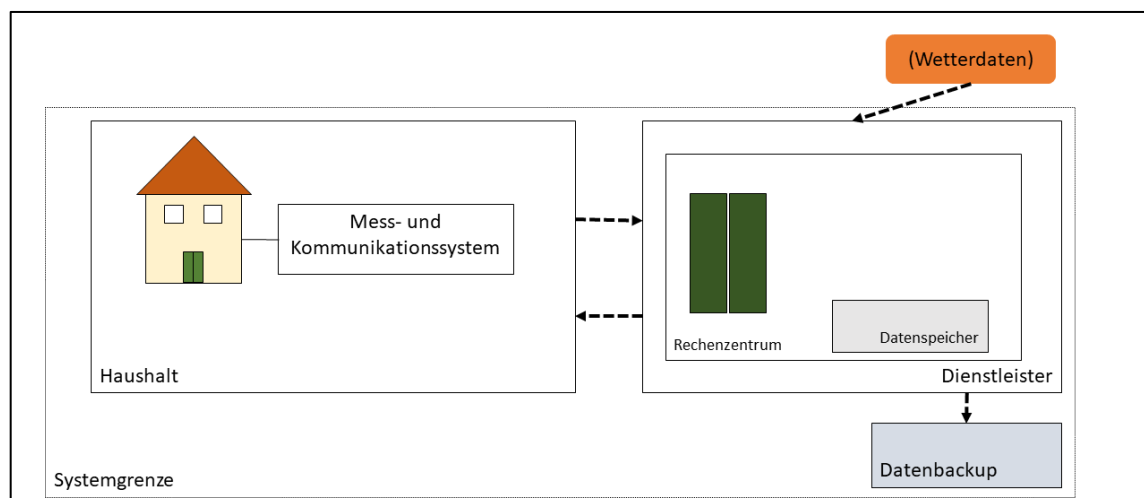
Die ökologische Bewertung des technischen Aufwands der ausgewählten Anwendungen im Wärmebereich folgt der gleichen Methode wie im Strombereich (vgl. Kapitel 4.1). Das Excel-Tool, welches für die Wirkungsabschätzung im Strombereich angelegt wurde, kommt, etwas angepasst, auch im Wärmebereich zur Anwendung. Die Ökobilanzen der zusätzlichen Geräte werden anhand der abgeschätzten Lebensdauer und der Datenaufwand mit der Datenmenge auf ein Jahr skaliert.

Im Folgenden werden spezifisch für die ausgewählten Anwendungsfälle im Wärmebereich Untersuchungsrahmen, Sachbilanz und Wirkungsabschätzung dargestellt.

#### 9.1.1 Untersuchungsrahmen

Im Wärmebereich wurden zwei Anwendungsfälle der Online-Betriebsüberwachung - die Verbrauchsanalyse mit Handlungsempfehlungen und die hochfrequente Betriebsüberwachung – sowie Smarte Thermostate bewertet.

In der Abb. 9.1 ist der Untersuchungsrahmen innerhalb der Systemgrenze für die Online-Betriebsüberwachung dargestellt.



### **Abb. 9.1: Systemgrenzen der ökologischen Bewertung für die Online-Betriebsüberwachung**

Der Untersuchungsrahmen zur ökologischen Bewertung des technischen Aufwands für smarte Thermostate beschränkt sich auf die Betrachtung der notwendigen Komponenten (Stellantriebe, Sensoren, Batterien, Internetbridge).

## 9.1.2 Sachbilanzen

### 9.1.2.1 Sachbilanz für die Online-Betriebsüberwachung

Im Folgenden wird für alle Komponenten der beiden Anwendungsfälle der Online-Betriebsüberwachung die Sachbilanz dargestellt; zunächst solche Komponenten, die in beiden Fällen Anwendung finden.

Die Messeinheit besteht in beiden Anwendungen aus einem Wärmemengenzähler und einem Impulsadapter. Bei der hochfrequenten Anwendung sind weiterhin Temperatursensoren verbaut. Die Kommunikationseinheit beinhaltet einen Mobilfunkrouter und bei der hochfrequenten Anwendung zusätzlich einen Datenlogger.

#### EZN & EWUS

- Wärmemengenzähler (modelliert)
- Impulsadapter (generische Elektronik)
- Mobilfunkrouter (EZN)
- Mobilfunkrouter/Gateway mit kurzfristiger Datenspeicherung (EWUS)

#### Nur EZN

- Datenlogger
- 20 Temperatursensoren

Für alle technischen Komponenten wird analog zum Strombereich eine Lebensdauer von 12 Jahren angenommen.

#### **Wärmemengenzähler**

Die Bestandteile des Wärmemengenzählers wurden aus online verfügbaren Datenblättern entnommen und so in Simapro mit econinvent Daten modelliert (kamstrup 2021).

#### **Impulsadapter**

Da zum Impulsadapter keine Daten zu den Bestandteilen zur Verfügung standen wurde dieser mit Hilfe des Bauteils generische Elektronik abgeschätzt. Dieses Bauteil wurde von Gähns et al. (2021) entwickelt und ermöglicht eine ökologische Abschätzung von Elektronik Komponenten, wenn das

Gewicht bekannt ist. Für den Impulsadapter wurde ein Gewicht von 30 g angenommen (Relay M-Bus Solutions 2022).

### **Datenlogger**

Ein Datenlogger wurde bereits von (Gährs et al. 2021) abgebildet und hier übernommen.

### **Mobilfunkrouter**

Für die Abschätzung des Mobilfunkrouter waren keine Daten zu Bestandteilen vorhanden, weswegen auf die generische Elektronik ausgewichen wurde. Als Gewicht wurden 287 g angenommen (Teltonika 2022).

### **Temperatursensor**

Für den Temperatursensor, der bei der hochfrequenten Datenerfassung zum Einsatz kommt, wurde nach Angabe des Anbieters ein DS18B20 angenommen. Dieser besteht laut Datenblättern, die online verfügbar sind, vor allem aus Kupfer und wiegt circa 114 mg (maxim integrated 2022). Da hier Gewichtsangaben der verschiedenen Materialien im Produkt dargestellt sind, konnte der Sensor in Simapro mit ecoinvent Daten modelliert werden. Angenommen wird, dass pro Messsystem 20 Temperatursensoren installiert werden müssen. Bei einer Lebensdauer von 12 Jahren ergibt das eine Menge von 1,67 Temperatursensoren pro Jahr.

### **Datenmengen**

Von zwei Anbietern konnten auch die erhobenen Datenmengen erfragt werden. Bei einer hochfrequenten Erfassung werden circa 120 MB pro Monat erhoben, was im Jahr circa 1,44 GB entspricht. Bei der wenigen hochfrequenten, viertelstündlichen Erfassung fallen pro Monat 20 MB und pro Jahr entsprechend 0,24 GB an. Wie im Wärmebereich wird angenommen, dass ein Drittel der erhobenen auch gespeichert und ins Backup geladen werden.

### **Wetterdaten**

Beide Anwendungen nutzen für die Analysen auch Wetterdaten. Bei der hochfrequenten Erfassung werden die Daten minütlich heruntergeladen, bei der zweiten Anwendung nur einmal täglich. Experimentell wurde ermittelt welche Datengröße pro heruntergeladenem Datenpaket entsteht. Beim täglichen Herunterladen fallen pro Jahr 0,42 MB an und beim minütlichen Herunterladen 50 MB pro Jahr. Da sich diese Datenmengen nicht auf den einzelnen Anwendungsfall herunterbrechen lassen, sondern vom Dienstleister für alle Kund\*innen genutzt werden, werden die Wetterdaten bei der ökologischen Bewertung vernachlässigt.

#### **9.1.2.2 Sachbilanz für die Smarten Thermostate**

Ergänzend zur Online-Betriebsüberwachung im Wärmebereich wurden auch zwei Varianten von smarten Thermostaten analysiert. Das eine System funktioniert mit, das andere ohne Batterien. Aufgrund fehlender Primärdaten ist in beiden Fällen nur eine grobe Abschätzung der ökologischen Effekte möglich.

Die berücksichtigten Komponenten in dem System mit Batterie sind

- Stellantrieb
- Internetbridge
- Batterie.

Bei dem System ohne Batterie werden folgende Komponenten betrachtet

- Raumsensor
- Stellantrieb.

Da für keine Komponente Primärdaten vorhanden waren, wurden Stellantrieb, Raumsensor und Internetbridge mit Hilfe der generischen Elektronik (Gähns et al. 2021) modelliert, wobei die Gewichte aus Herstellerangaben entnommen werden konnten (tado; Kieback&Peter).

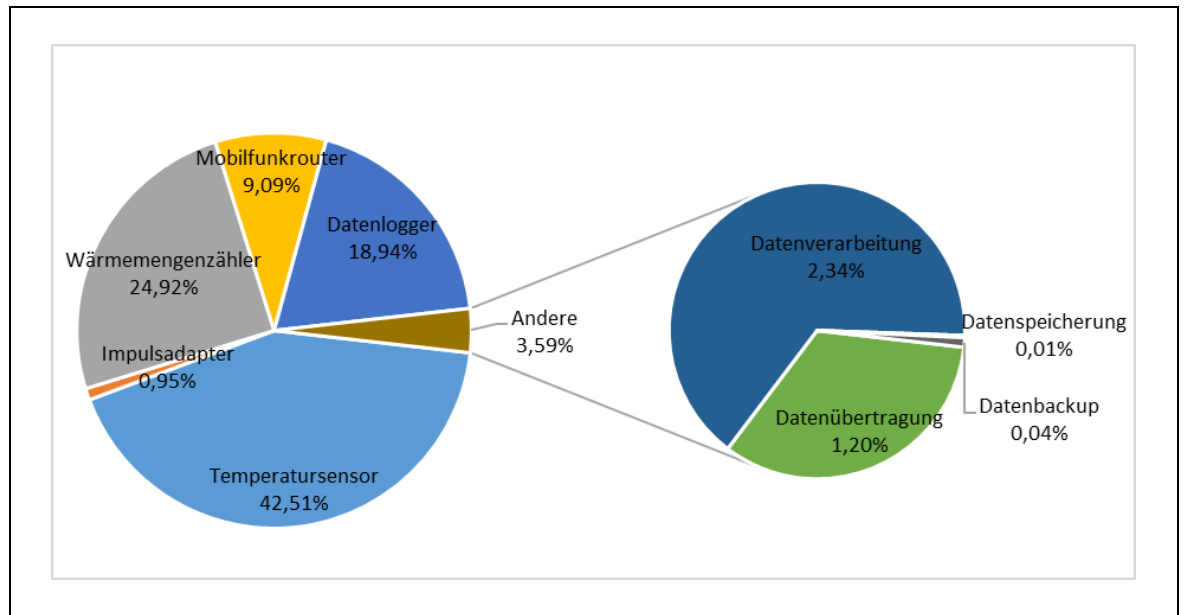
Die Datenübertragung wurde im Fall der smarten Thermostate nicht berücksichtigt, da hierzu keine Daten vorlagen. Weiterhin wurde bei den Berechnungen der Online-Betriebsüberwachung im Wärmebereich und auch bei der Erfassung im Strombereich deutlich, dass die Datenübertragung im Vergleich zum Technikaufwand eine untergeordnete Rolle spielt.

## 9.2 Ergebnisse der ökologischen Bewertung des Technikaufwands

### 9.2.1 Hochfrequente Betriebsüberwachung (EZN)

Die ökologische Bewertung der hochfrequenten Betriebsüberwachung von Heizungsanlagen ergibt Emissionen von insgesamt 14,4 kgCO<sub>2eq</sub>. In Abb. 9.2 sind die Anteile der einzelnen Komponenten an den Gesamtemissionen dargestellt.





**Abb. 9.2: Anteile der Komponenten an ökologischen Effekten der viertelstündlichen Erfassung im Wärmebereich**

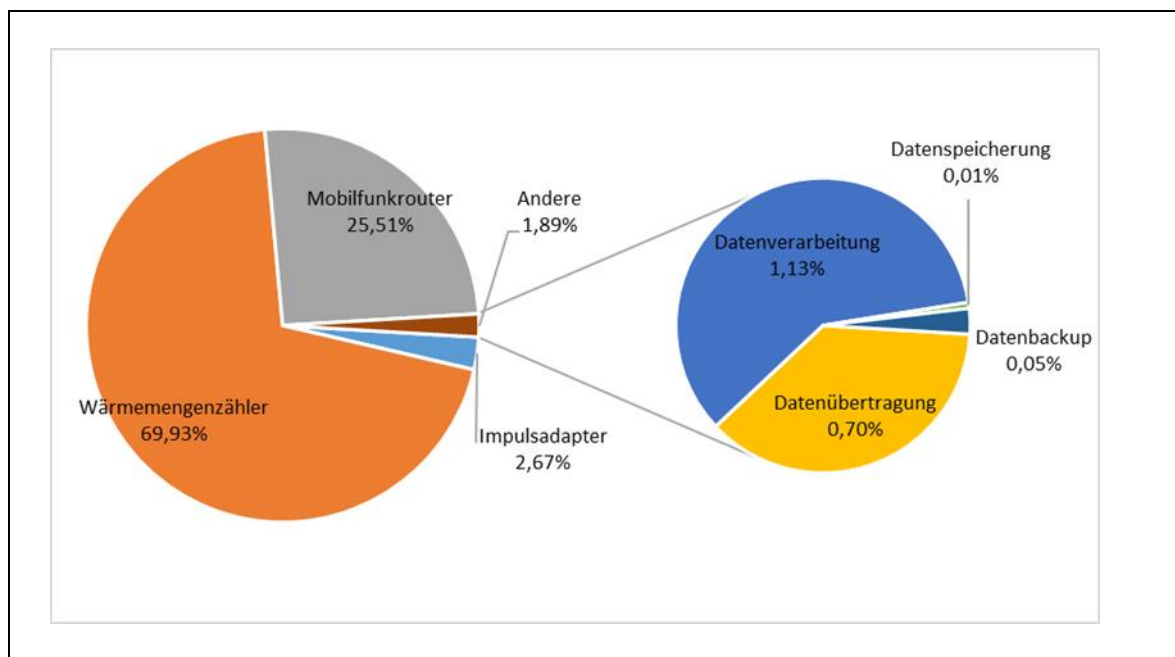
Der Großteil der Emissionen ist mit 42,51 % auf die Temperatursensoren zurückzuführen. Zusammen mit dem Impulsadapter und dem Wärmemengenzähler macht die Messeinheit circa zwei Drittel der gesamten Emissionen aus. Die Kommunikationseinheit, bestehend aus dem Mobilfunkrouter und dem Datenlogger, ist für 28,03 % der Emissionen verantwortlich. Nur 3,59 % der Emissionen sind mit dem Datenaufwand (Übertragung, Verarbeitung, Speicherung) verbunden und spielen

Ausgehend von einer Gasheizung mit einem Emissionsfaktor unter der Berücksichtigung von Emissionen in der Vorkette von  $0,24 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}^8$  ist eine Mindesteinsparung von lediglich 71 kWh pro Jahr notwendig, um keine Mehremissionen zu erhalten.

<sup>8</sup>Interne Abschätzung von ifeu und iTG Dresden im Rahmen der Evaluierung der Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG).

## 9.2.2 Verbrauchsanalyse mit Handlungsempfehlungen (EWUS)

Bei der Verbrauchsanalyse mit einer viertelstündlichen Datenerfassung entstehen pro Jahr insgesamt 5,1 kgCO<sub>2eq</sub>. Dies entspricht nur ungefähr einem Drittel der Emissionen die bei der hochfrequenten Betriebsüberwachung entstehen. Das liegt vor allem daran, dass hier keine zusätzlichen Temperatursensoren und Datenlogger verbaut sind. Der Großteil der Emissionen geht auf den Wärmemengenzähler zurück (69,93 %). Zusammen mit dem Impulsadapter macht das Messsystem also 72,6 % der Emissionen aus. Den zweitgrößten Anteil an den Emissionen hat die Kommunikationseinheit, welche aus dem Mobilfunkrouter besteht, mit 25,51 %. Wie bereits im Strombereich, machen auch hier datenbezogene Emissionen mit 1,89 % nur einen sehr geringen Teil der Gesamtbilanz aus.



**Abb. 9.3: Anteile der Komponenten an ökologischen Effekten der Verbrauchsanalyse mit viertelstündlicher Erfassung im Wärmebereich**

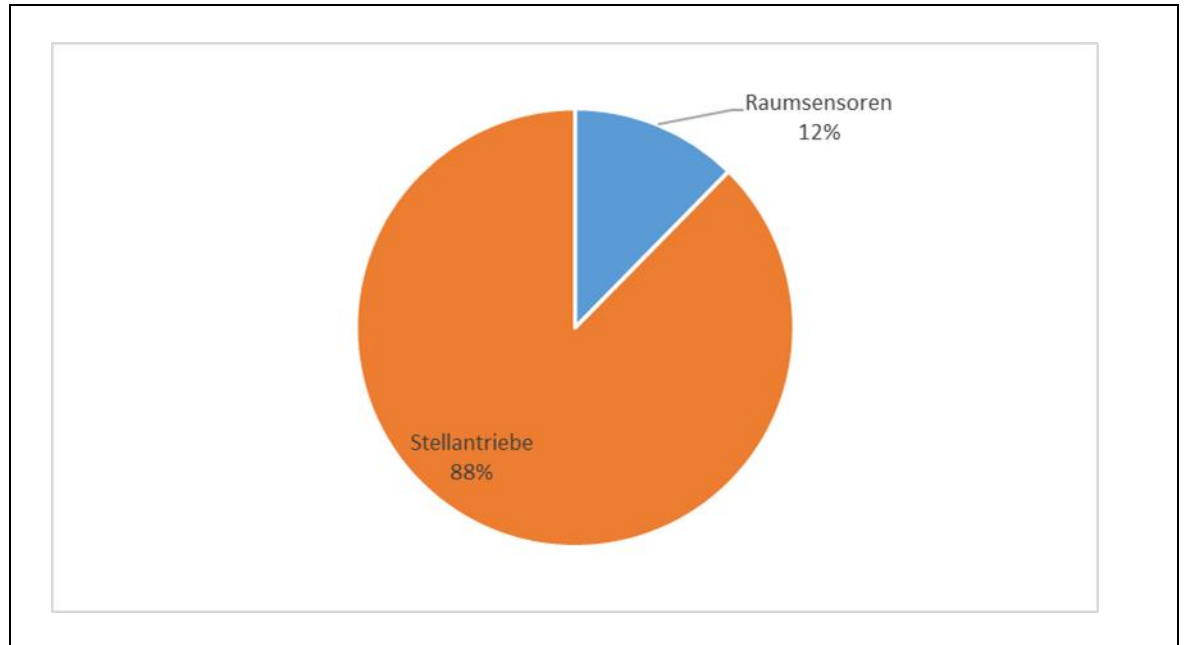
Ausgehend von einer Gasheizung mit einem Emissionsfaktor von 0,24 kg CO<sub>2eq</sub><sup>9</sup> ist eine Mindestsparung von nur 26 kWh pro Jahr notwendig, um keine Mehremissionen zu erhalten.

## 9.2.3 Smarte Thermostate

Im Folgenden werden die Ergebnisse der ökologischen Bewertung der smarten Thermostate dargestellt. Das System ohne Batterie weist 16,3 kgCO<sub>2eq</sub> auf. Die Abb. 9.4 zeigt welchen Anteil die

<sup>9</sup> Interne Abschätzung von ifeu und iTG Dresden im Rahmen der Evaluierung der Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG) unter Berücksichtigung der Emissionen in der Vorkette.

zwei Komponenten (Stellantriebe und Raumsensoren) an des Gesamteffekten haben. Die Stellantriebe haben mit 88 % den weitaus größeren Anteil an den Emissionen im Vergleich zu 12 % der Raumsensoren.

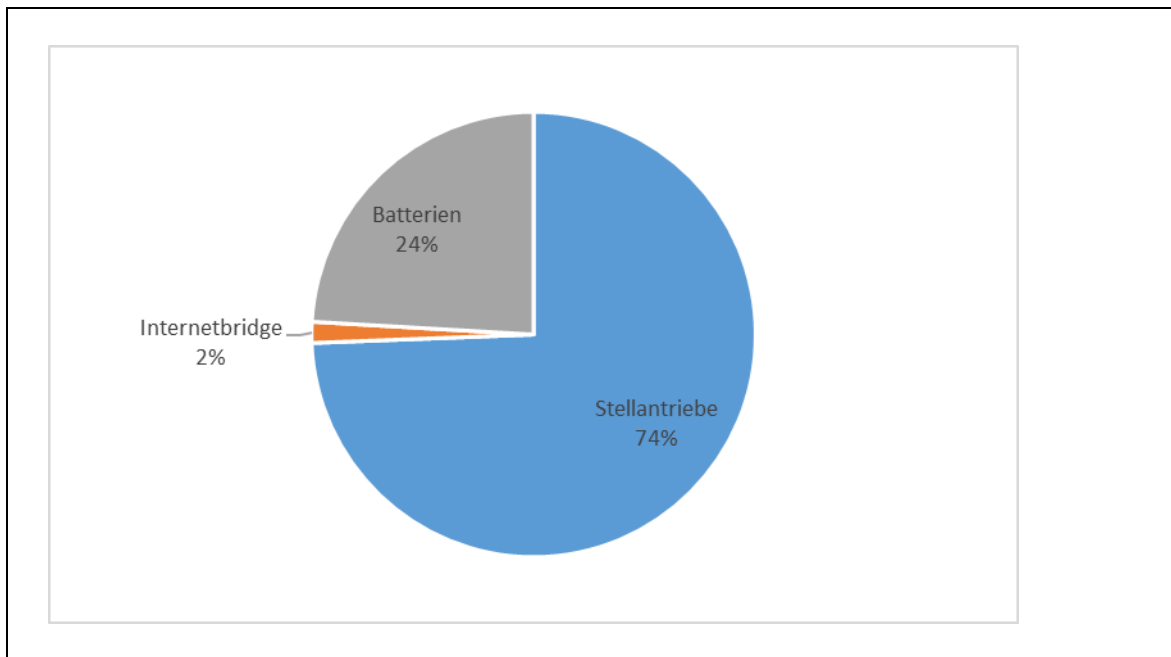


**Abb. 9.4: Anteile der Komponenten an ökologischen Effekten der smarten Thermostate ohne Batterie**

Das System mit Batterie weist mit insgesamt 9 kgCO<sub>2eq</sub> deutlich weniger Emissionen auf als das System ohne Batterie. Das liegt daran, dass hier die Stellantriebe leichter sind und entsprechend weniger Masse des Bauteils generische Elektronik berücksichtigt wurde. Die Stellantriebe sind aber auch hier mit 74 % für den Großteil der Emissionen verantwortlich. Die Batterien haben einen Anteil von 24 % und die Internetbridge nur 1 %. In Abb. 9.5 sind die Anteile an den ökologischen Effekten dargestellt.

Wird von einer Gasheizung mit einem Emissionsfaktor von 0,24 kgCO<sub>2eq</sub><sup>10</sup> ausgegangen, ist im Fall des Systems ohne Batterie eine Mindesteinsparung von 3,9 kWh pro Jahr notwendig, um zumindest keine Mehremissionen zu erhalten. Bei dem System mit Batterie sind es nur 2,2 kWh pro Jahr.

<sup>10</sup> Interne Abschätzung von ifeu und iTG Dresden im Rahmen der Evaluierung der Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG) unter Berücksichtigung der Emissionen in der Vorkette.



**Abb. 9.5:** Anteile der Komponenten an ökologischen Effekten der smarten Thermostate mit Batterie

## 10 Bewertung des Einsparpotenzials im Wärmebereich

### 10.1 Online-Betriebsüberwachung der Heizungsanlage

Ein Teil der hier dargestellten Ergebnisse wurden bereits in einem Konferenzbeitrag veröffentlicht (Aretz et al. 2022).

#### 10.1.1 Methodik

Zur Bewertung des Einsparpotenzials der Online-Betriebsüberwachung, werden die von den Anbietern EWUS und EZN im Rahmen des Einsparzähler-Projektes ermittelten Einsparungen ausgewertet. Für eine bessere Vergleichbarkeit der Daten wurden die Datensätze von EWUS und EZN so bereinigt, dass nur Wohngebäude mit Gas-Zentralheizung berücksichtigt werden. Aus den Daten wird eine durchschnittliche prozentuale Gas-Endenergie-Einsparung ermittelt.

Um die für den Einsatz in einem größeren Mehrfamilienhaus zu erwartende Treibhausgaseinsparung zu bestimmen, wird das am ifeu entwickelte GEMOD Gebäudebestandsmodell genutzt. Es modelliert die Entwicklung des Wärmeverbrauchs des deutschen Gebäudebestandes für Raumwärme und Warmwasser bis zum Jahr 2050. Der Gebäudebestand wird dabei mit 181 Typgebäuden – basierend auf der Gebäudetypologie des Instituts Wohnen und Umwelt – simuliert (IWU 2015). Für Mehrfamilienhäuser sind dies für 13 verschiedene Baualter jeweils ein typisches „kleines“ und „großes“ Mehrfamilienhaus. Die durchschnittliche Wohnfläche eines „großen“ Mehrfamilienhauses beträgt 1372 m<sup>2</sup> und der durchschnittliche Verbrauch von mit Gas beheizten großen Mehrfamilienhäusern im Jahr 2022 beträgt im Modell rund 131.000 kWh/a (96 kWh/m<sup>2</sup>a). Für große

Mehrfamilienhäuser mit Öl-Zentralheizung liegt der durchschnittliche Verbrauch mit rund 145.000 kWh/a (106 kWh/m<sup>2</sup>a) etwas höher und bei großen Mehrfamilienhäusern mit Fernwärmeanschluss mit rund 114.000 kWh/a (84 kWh/m<sup>2</sup>a) etwas niedriger. Da Wärmepumpen eher in energetisch besseren Gebäuden eingesetzt werden liegt der durchschnittliche Verbrauch großer Mehrfamilienhäuser mit dieser Heizungs-Technologie nochmal deutlich niedriger mit rund 104.000 kWh/a (76 kWh/m<sup>2</sup>), wobei 33.081 kWh auf den Strom und der Rest auf die erschlossene Umweltwärme entfallen. Die anhand dieses Verbrauches berechneten Treibhausgaseinsparungen werden den in Kapitel 9 berechneten zusätzlichen Emissionen aufgrund der eingesetzten Technik gegenübergestellt.

Auch für die Hochrechnung des Einsparpotenzials auf den gesamten Bestand an großen Mehrfamilienhäusern in Deutschland wird das GEMOD Modell genutzt. GEMOD berechnet die zukünftige Entwicklung des Wärmeverbrauchs unter Berücksichtigung von Annahmen zu Neubau, Abriss und Sanierung sowie Vorhersagen zur Bevölkerungsentwicklung und der Wohnfläche pro Person. Sanierungszeitpunkte werden in der Simulation anhand der mit einer Weibull-Verteilung berechneten Lebensdauer von Bauteilen bestimmt. Das Modell unterscheidet zwischen Sanierungen ohne Auswirkung auf die energetische Qualität (z.B. Fassadenstreichung), energetischen Sanierungen nach aktuellen Anforderungen und darüberhinausgehenden ambitionierten energetischen Sanierungen. Der zeitliche Verlauf des Anforderungsniveaus der beiden energetischen Sanierungstypen und ihr Anteil an den Sanierungen sind Modellvariablen. Anhand des Wärmeverbrauchs berechnet GEMOD den Energieverbrauch durch die verschiedenen Energieträger entsprechend des Anteils der verschiedenen Heizungssysteme. Der Anteil der unterschiedlichen Heizungssysteme im Startjahr basiert auf Marktstatistiken.

Der zukünftige Verbrauch der verschiedenen Energieträger wird auf Basis der simulierten Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Abhängigkeit der angenommenen Anteile der verschiedenen Heizungstechnologien im Neubau und beim Austausch von Heizungen im Bestand berechnet. Hier werden zwei Szenarien für die Entwicklung des Wärmeverbrauchs, der verwendeten Heiztechnologien verwendet: ein „Business as usual“ (BAU-Szenario), in dem aktuelle Trends fortgeschrieben werden, und ein Szenario, in dem im Jahr 2050 nahezu keine Treibhausgase für die Erzeugung von Wärme in Gebäuden emittiert (Klimaschutzszenario)<sup>11</sup>.

Für die Umrechnung der eingesparten Endenergie in eingesparte Treibhausgasemissionen werden Emissionsfaktoren unter Berücksichtigung der Vorkette von 310 g CO<sub>2eq</sub>/kWh für Heizöl und 240 g CO<sub>2eq</sub>/kWh für Erdgas verwendet<sup>12</sup>. Für Strom unterscheiden sich die Emissionsfaktoren im BAU-Szenario und Klimaschutz-Szenario<sup>13</sup>. Für die Fernwärme wird ein nach der Carnot-Methode

---

<sup>11</sup> BAU-Szenario und TN-Strom-Szenario aus den Langfristszenarien aus (Mellwig et al. 2021)

<sup>12</sup> Interne Abschätzung von ifeu und iTG Dresden im Rahmen der Evaluierung der Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG)

<sup>13</sup> ifeu-Berechnung (irgendwie auf IkKA-Projekt verweisen). Der Erneuerbare-Anteil in der Stromerzeugung steigt im BAU-Szenario auf 60 % in 2030, 82 % in 2040 und 91 % in 2045 und im Klimaschutz-Szenario bereits in 2030 auf 87 %, 98 % in 2040 und 100 % in 2045.

ermittelter Emissionsfaktor von 140 g/kWh in 2022 angesetzt, der im Zuge der unterstellten Dekarbonisierung bis 2045 auf 10 g/kWh zurückgeht<sup>14</sup>. Diese klimazielkonforme Entwicklung des Emissionsfaktors für Fernwärme wird sowohl auf die im BAU- als auch im Klimaschutz-Szenario für den Wärmeverbrauch ermittelten Energieeinsparungen angewandt, wodurch das Potenzial für Treibhausgas-Einsparungen für diesen Energieträger im BAU-Szenario eher unterschätzt werden.

## 10.1.2 Einsparung Verbrauchsanalyse mit Handlungsempfehlungen

Die von EWUS angebotene Anwendung „Digitaler Heizraum“ zur Online-Betriebsüberwachung wird hier als „Verbrauchsanalyse mit Handlungsempfehlungen“ beschrieben (siehe Kapitel 8.2.2.1).

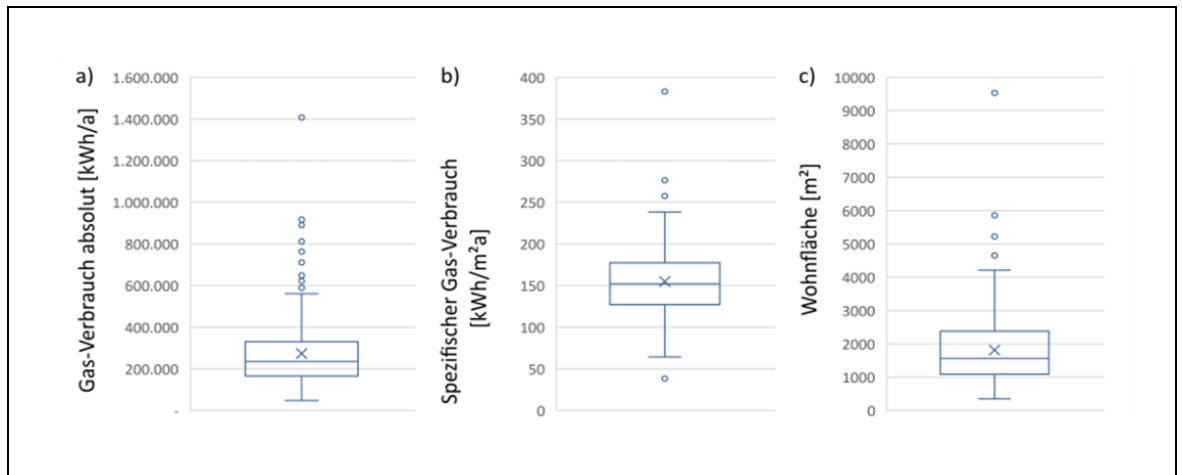
Die EWUS-Daten aus dem Einsparzählerprojekt enthalten die gemessenen Einsparungen für 197 gasbeheizte Wohngebäude mit 6 bis 158 Wohnungen. In 132 dieser Gebäude wurde sowohl die Räume als auch das Trink-Warmwasser (TWW) mit der Gas-Heizung erwärmt. In den restlichen 65 Gebäuden wurde nur die Raumwärme über die Gas-Heizung erzeugt. Für jedes Gebäude liegen der um Klimaeinflüsse bereinigte Gas-Verbrauch vor Weitergabe der Handlungsempfehlungen auf Grundlage der Online-Betriebsüberwachung und die gesamte Wohnfläche vor. Die Einsparungen nach Übermittlung der Handlungsempfehlungen wurden über einen Vergleich des täglichen Gasverbrauches mit einem Erwartungswert bestimmt. Dieser Erwartungswert wird aus dem zuvor für das Gebäude ermittelten Zusammenhang zwischen Gasverbrauch und Außentemperatur abgeleitet. Die ermittelten Einsparwerte sind somit bereits um Klimaeinflüsse bereinigt<sup>15</sup>.

In Tab. 10.1 sind die Verteilung des a) jährlichen gesamten Gasverbrauchs und des b) spezifischen Gasverbrauches pro Wohnfläche vor der Optimierung durch die Online-Betriebsüberwachung, sowie der c) Wohnfläche für die betrachteten Gebäude als Kastengrafiken dargestellt. Die in der Darstellung als Kreuze eingezeichneten Durchschnittswerte sind ein jährlicher Gasverbrauch von 273.426 kWh, ein spezifischer Verbrauch von 155 kWh/m<sup>2</sup>a und eine Gesamtwohnfläche von 1814 m<sup>2</sup>.

---

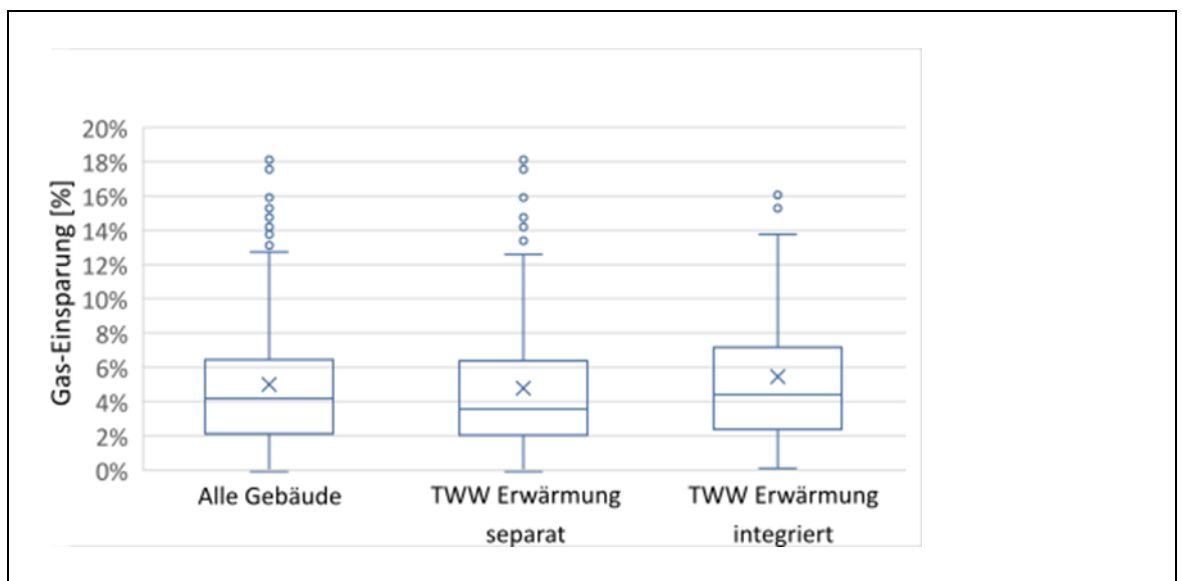
<sup>14</sup> Interne Abschätzung von ifeu und iTG Dresden im Rahmen der Evaluierung der Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG)

<sup>15</sup> In den Gebäuden mit gemeinsamer Heiz- und Trink-Warmwasserbereitung kommt es durch die Klimabereinigung zu einer systematischen Ungenauigkeit, da der Verbrauch durch die Trinkwarmwasserbereitung nicht direkt von der Außentemperatur abhängt.



**Abb. 10.1: EWUS-Daten - Verteilung des Gas-Verbrauches und der Wohnfläche**

Die Verteilung der erzielten Einsparungen ist in Abb. 10.2 als Kastengrafik dargestellt.

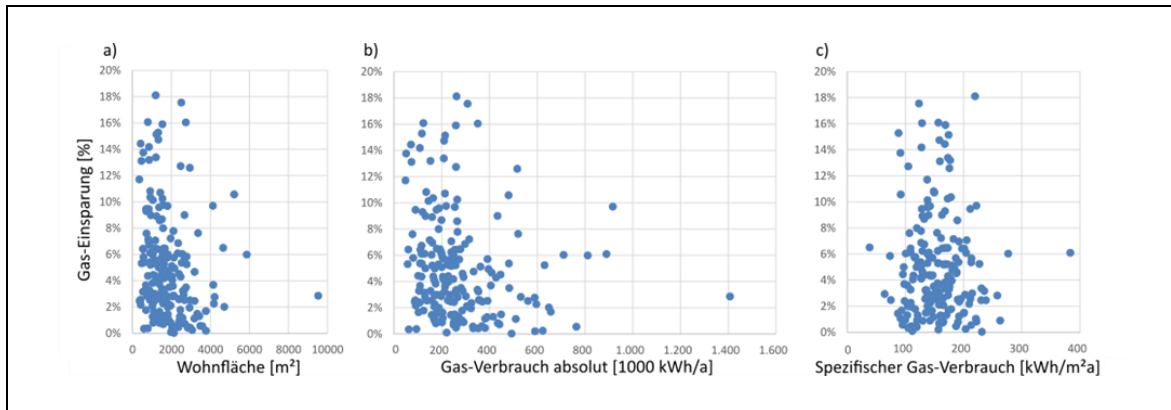


**Abb. 10.2: EWUS Daten - Verteilung der Gas-Einsparung**

Im Durchschnitt beträgt die Einsparung 5,0 % des vorherigen Gas-Verbrauches. Die Hälfte der Gebäude erzielte eine Einsparung zwischen 2 % und 6 %. Rund 12 % der Gebäude erzielten aber auch Einsparungen von mehr als 10%, einige Ausreißer sogar mehr als 15 %. In Gebäuden mit integrierter TWW-Erwärmung liegt die durchschnittliche Einsparung mit 4,8 % etwas geringer als in den Gebäuden mit separater TWW-Erwärmung (5,4 %). Ein möglicher systematischer Fehler durch die Klimabereinigung der Einsparung in Gebäude mit integrierter TWW-Erwärmung führt somit vermutlich eher zu einer leichten Unterschätzung des Einsparpotenzials. Es ist nicht bekannt, ob im Zeitraum der Datenerfassung energetische Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden. Die

durch eine energetische Sanierung zu erwartende Reduktion des Energieverbrauches würde aber üblicherweise höher liegen, als die hier im Mittel beobachteten Einsparungen.

In Abb. 10.3 sind die erzielten Einsparungen in Prozent gegenüber a) der gesamten Wohnfläche, b) des absoluten Gas-Verbrauches und c) des spezifischen Gas-Verbrauches pro Wohnfläche der jeweiligen Gebäude aufgetragen.



**Abb. 10.3: EWUS-Daten - Einsparung in Abhängigkeit der Wohnfläche und des Gas-Verbrauches**

Eine klare Abhängigkeit der Höhe der prozentualen Einsparung von der Wohnfläche bzw. Größe oder dem vorherigen Verbrauch des Gebäudes lässt sich nicht erkennen.

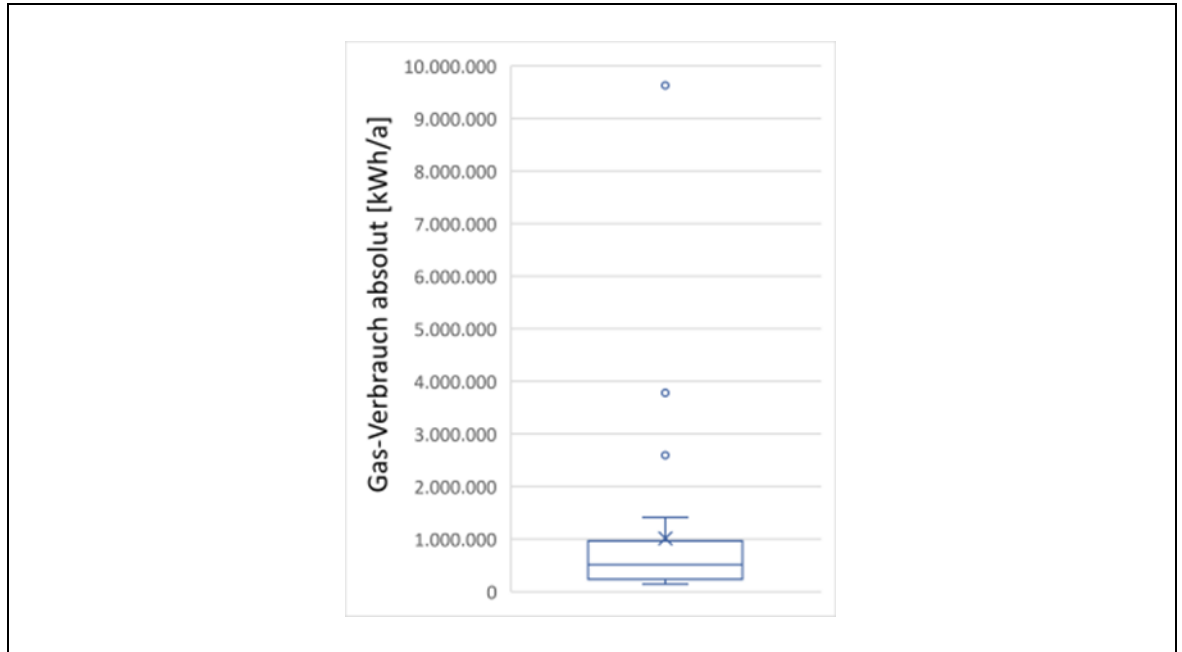
### 10.1.3 Einsparung hochfrequente Betriebsüberwachung

Die von EZN angebotene Anwendung „Energetisches Monitoring“ zur Online-Betriebsüberwachung mit integrierter Optimierung wird hier als „Hochfrequente Betriebsüberwachung“ beschrieben (siehe Kapitel 8.2.2.2).

Die EZN-Daten aus dem Einsparzählerprojekt enthalten die um Klimaeinflüsse bereinigten Verbrauchsdaten von 34 Wohngebäuden mit Gas-Zentralheizung für drei Jahre vor Anwendung der Online-Betriebsüberwachung und für das Jahr nach Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen. Die erzielte Einsparung wird gegenüber dem Mittelwert der drei vorherigen Jahre ermittelt.

In Abb. 10.4 ist die Verteilung des gesamten Gas-Verbrauches der berücksichtigten Gebäude als Kastengrafik dargestellt.

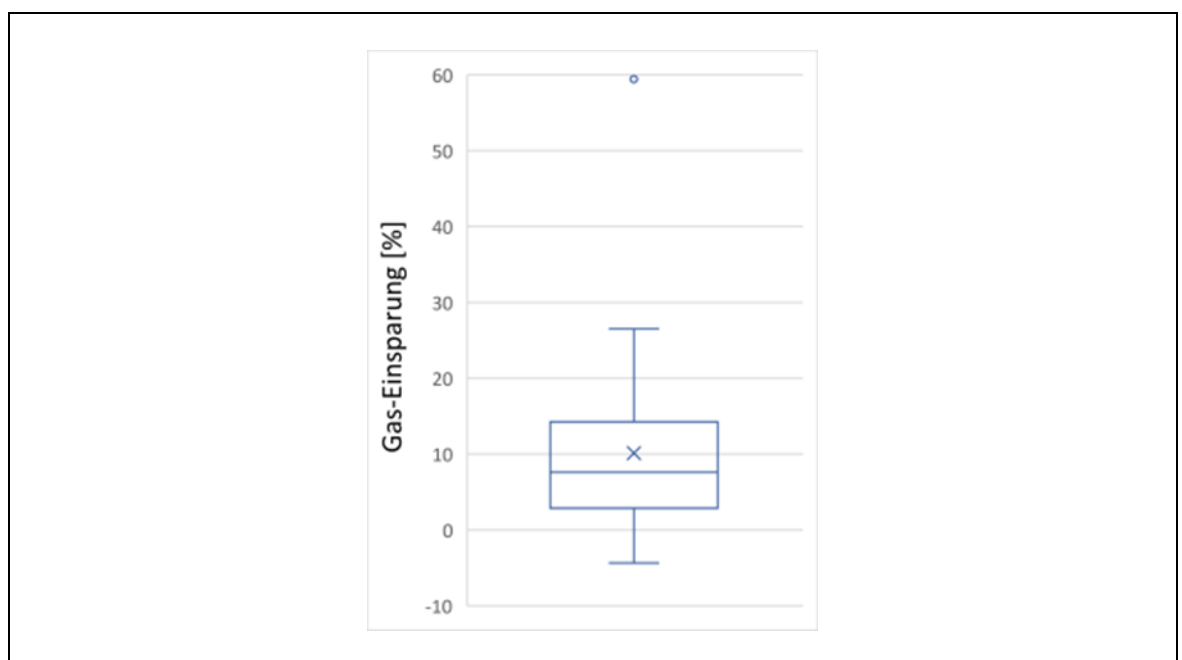




**Abb. 10.4: EZN-Daten - Verteilung des Gas-Verbrauches**

Die Hälfte der Gebäude hat einen jährlichen Verbrauch zwischen 235.000 kW/a und 965.000 kW/a. Aufgrund des Gewichtes einiger Gebäude mit sehr hohem Verbrauch liegt der durchschnittliche Verbrauch rund 1.015.000 kW/a, während der Median nur gut 515.000 kW/h beträgt. Damit liegt der Median des Verbrauches bei den Gebäuden mit hochfrequenter Betriebsüberwachung von EZN etwa doppelt so hoch wie bei den Gebäuden in den EWUS, die Verbrauchsanalyse durchführt (siehe Abb. 10.1).

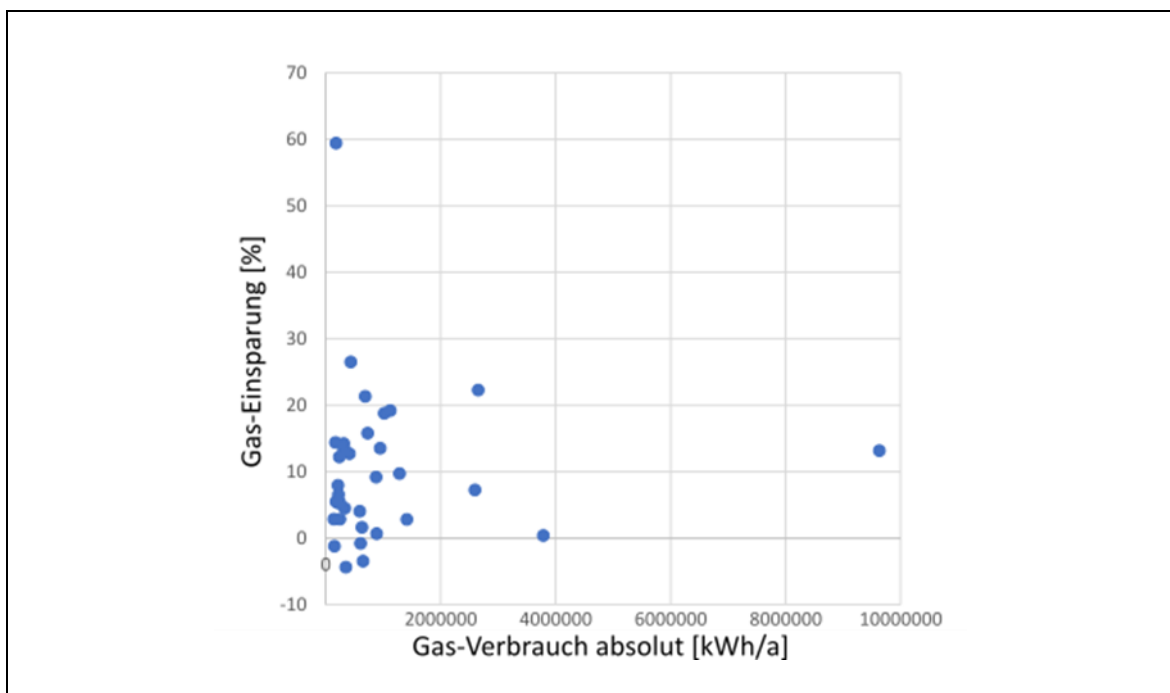
Die Verteilung der prozentual erzielten Einsparungen ist in Abb. 10.5 als Kastengrafik dargestellt.



**Abb. 10.5: EZN-Daten - Verteilung der Gas-Einsparung**

Die durchschnittliche Einsparung beträgt 10,1 %, wobei in der Hälfte der Gebäude Einsparungen zwischen 2,9 % und 14,3 % erzielt wurden. Ein deutlicher Ausreißer bei den Einsparungen ist ein Gebäude, in dem der Verbrauch um fast 60 % reduziert werden konnte. Ohne diesen Ausreißer beträgt die durchschnittliche Einsparung 8,6 %. Dieser Ausreißer wurde hier dennoch berücksichtigt, weil der gesamte EZN-Datensatz einen weiteren Ausreißer mit Einsparungen über 50 % enthält – jedoch für ein Gebäude mit Fernwärme, das in diese Analyse nicht einfließt. Daher kann angenommen werden, dass solch hohe Einsparungen zwar nicht oft auftreten, aber dennoch kein singuläres Ereignis sind. In fünf Gebäuden kam es nach der Optimierung zu leichten Mehrverbräuchen. Dies lag an durch die Optimierung behobenen Fehler im Heizungssystem, welche zuvor die Funktionalität der Heizung eingeschränkt und zu Minderverbräuchen geführt hatten (Sporysz 2022).

In den Gebäuden mit von EZN optimierten Heizungsanlagen wurden während des Untersuchungszeitraum keine energetische Sanierung der Gebäudehülle und kein Heizungstausch vorgenommen. Lediglich das hydraulische System wurde auf Grundlage der Ergebnisse des Online-Monitorings in einigen Fällen durch Komponententausch verbessert. Wir führen die gemessenen Einsparungen daher direkt auf die hochfrequente Betriebsüberwachung zurück.



**Abb. 10.6: EZN-Daten - Einsparung in Abhängigkeit des Gas-Verbrauches**

In Abb. 10.6 sind die prozentualen Einsparungen gegenüber dem absoluten Gasverbrauch vor der Optimierung aufgetragen. Ein eindeutiger Trend lässt sich nicht ableiten.

## 10.1.4 Gegenüberstellung Einsparung und Emissionen durch Technikaufwand

Anhand der empirischen Ergebnisse zu den erreichten Einsparungen, werden im Folgenden zwei generische Anwendungen betrachtet: die „Hochfrequente Betriebsüberwachung“ – basierend auf dem Verfahren von EZN – und die „Verbrauchsanalyse“ – basierend auf dem Verfahren von EWUS – mit einer Energie-Einsparung von 10 % bzw. 5 % für große Mehrfamilienhäuser mit Gas-Zentralheizung. Für andere Heizungssysteme stehen nicht genügend Daten zur Verfügung. Das Einsparpotenzial in Systemen mit anderen Wärmeerzeugern kann aber überschlägig abgeschätzt werden (Sporysz 2022): Öl-Brennwertkessel sind weniger effizient als Gas-Brennwertkessel, die Einsparungen durch eine niedrigere Vorlauftemperatur sind daher geringer. Hier wird die Einsparung für Öl-Heizungen mit 80 % des Wertes für Gas-Heizungen angesetzt: 8 % für die „hochfrequente Betriebsüberwachung“ und 4 % für die „Verbrauchsanalyse“. In Gebäuden mit Fernwärmerversorgung ist das Einsparpotenzial im Prinzip geringer, da hier kein Wärmeerzeuger vor Ort optimiert werden kann. Es können aber Effizienzverluste an der Wärmeübergabestation und Probleme im hydraulischen System vorliegen. Als Abschätzung wird das Einsparpotenzial mit gut zwei Dritteln gegenüber einer Gas-Zentralheizung angesetzt. Wärmepumpen werden in großen Mehrfamilienhäusern bisher nur in geringem Maße eingesetzt, eine Abschätzung des Potenzials ist daher schwierig – da die Effizienz hier stark von der Vorlauftemperatur abhängt, lässt sich ein Einsparpotenzial in ähnlicher Größenordnung wie bei Gas-Zentralheizungen vermuten.

Zur Berechnung des sich aus den prozentualen Einsparungen ergebenden Emissionsreduktionen wird der durchschnittliche Verbrauch eines Gebäudes vom Typ „großes Mehrfamilienhaus“ mit den drei in diesem Segment bisher am häufigsten vertretenen Energieträger – Gas, Öl, Fernwärme – aus dem Gebäudemodell GEMOD (siehe Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) verwendet. Aufgrund der in Zukunft vermutlich steigenden Relevanz von Wärmepumpen, wird auch das vermutete Einsparpotenzial für diese Technologie angegeben. Zwar sind die Werte für Wohnfläche, absoluten und spezifischen Verbrauch des mit Gas beheizten Typgebäudes geringer als die aus den EWUS-Daten ermittelten Durchschnittswerte, die prozentualen Einsparungen sind aber zumindest für diese Anwendung offenbar nicht direkt von diesen Größen abhängig (siehe Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)

In Tab. 10.1 sind die angenommenen prozentualen Einsparungen, die sich daraus ergebenden Energieeinsparungen in kWh/a für das Jahr 2022 und die entsprechende Reduktion von Treibhausgasemissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für die beiden Anwendungen aufgelistet.

**Tab. 10.1: Abschätzung Einsparung für Gebäudetyp großes Mehrfamilienhaus mit verschiedenen Energieträgern für die Wärmeerzeugung**

Energieträger	Verbrauchsanalyse			Hochfrequente Betriebsüberwachung		
	Einsparung [%]	Einsparung [kWh/a]	Einsparung [t CO <sub>2eq</sub> /a]	Einsparung [%]	Einsparung [kWh/a]	Einsparung [t CO <sub>2eq</sub> /a]
Gas	5 %	6.500	1,6	10	13.100	3,1
Öl	4 %	5.800	1,8	8	11.600	3,6
Fernwärme	3,4 %	3.800	0,5	6,7	7.600	1,1
Wärmepumpenstrom	5 %	1.700	0,7	10	3.300	1,5

Die durchschnittlich erwartbaren Treibhausgaseinsparungen überwiegen somit aktuell die durch die Technik verursachten Emissionen (siehe Kapitel 9.2.1 und 9.2.2) von ca. 5,1 kg CO<sub>2eq</sub>/a für die „Verbrauchsanalyse“ und ca. 14,4 kg CO<sub>2eq</sub>/a für die „hochfrequente Betriebsüberwachung“ deutlich: die berechneten zusätzlichen Treibhausgasemissionen durch den technischen Aufwand betragen – je nach Heizungsart – nur 0,3 % bis 1,3 % der abgeschätzten Treibhausgas-Einsparungen.

Mit der zukünftig erwarteten Reduktion des Wärmeverbrauches der Gebäude und der Dekarbonisierung der Fernwärme- und Stromerzeugung steigt zwar das Verhältnis der durch die Hardware verursachten Treibhausgas-Emissionen im Vergleich zu den erzielten Einsparungen. Die Ökobilanz bleibt aber in allen betrachteten Fällen positiv: selbst für mit Wärmepumpen und Fernwärme versorgte große Mehrfamilienhäuser im Klimaschutz-Szenario lassen sich im Jahr 2050 mit der Technik voraussichtlich noch Einsparungen erzielen.

### 10.1.5 Hochrechnung des Einsparpotenzials auf den Gebäudebestand

Für die Hochrechnung des Einsparpotenzials der Online-Betriebsüberwachung Gebäudebestand wird das Segment der großen Mehrfamilienhäuser gewählt. Die Beschränkung auf größere Mehrfamilienhäuser ergibt sich aus der bisherigen Anwendung in diesem Segment und der dort gegebenen Wirtschaftlichkeit - wenn auch eingeschränkt durch das Mieter-Vermieter-Dilemma bei der Verteilung von Nutzen und Kosten der Maßnahme.

Grundsätzlich ist auch eine Anwendung in größeren Nichtwohngebäuden sinnvoll, wobei die Online-Betriebsüberwachung auch in ein weitergehendes Energiemanagement-System des Gebäudes integriert sein kann. Es ist jedoch keine ausreichende Datengrundlage vorhanden, um Nichtwohngebäude in die Hochrechnung mit aufzunehmen. Auch in kleineren Mehrfamilien- und Einfamilienhäusern kann von einem signifikanten Einsparpotenzial durch Betriebsüberwachung und Optimierung der Heizungsanlage ausgegangen werden. Das hier untersuchte Modell einer Nachrüstung bestehender Anlagen und Analyse durch ein spezialisiertes Unternehmen ist für dieses Gebäudesegment jedoch in der Regel mit einem zu hohen Kosten- und Organisationsaufwand verbunden. Hier müsste das Einsparpotenzial durch abgewandelte Maßnahmen erschlossen werden (siehe 12.1.2).

Das theoretisch im Jahr 2022 maximal mögliche Einsparpotenzial unter Berücksichtigung aller großen Mehrfamilienhäuser ergibt sich aus der angenommenen prozentualen Einsparung je nach Energieträger und dem Gesamtverbrauch des Segmentes für diesen Energieträger nach GEMOD.

Die obere Grenze der erreichbaren Einsparung wird anhand des Potenzials der „Hochfrequenten Betriebsüberwachung“ abgeschätzt, und mit dem je nach Energieträger in Tab. 10.1 angegebenen prozentualen Anteil des Verbrauches der abgedeckten Gebäude angesetzt.

Bei einer Abdeckung von 100 % aller mit Gas, Öl, Wärmepumpen oder Fernwärme beheizten großen Mehrfamilienhäuser (rund 97 % aller großen Mehrfamilienhäuser im GEMOD-Modell) ergäbe sich im Jahr 2022 ein Einsparpotenzial von rund 3 TWh. Zum Vergleich: der gesamte Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser für alle Wohngebäude in Deutschland betrug im Jahr 2021 rund 566 TWh (dena 2022b).

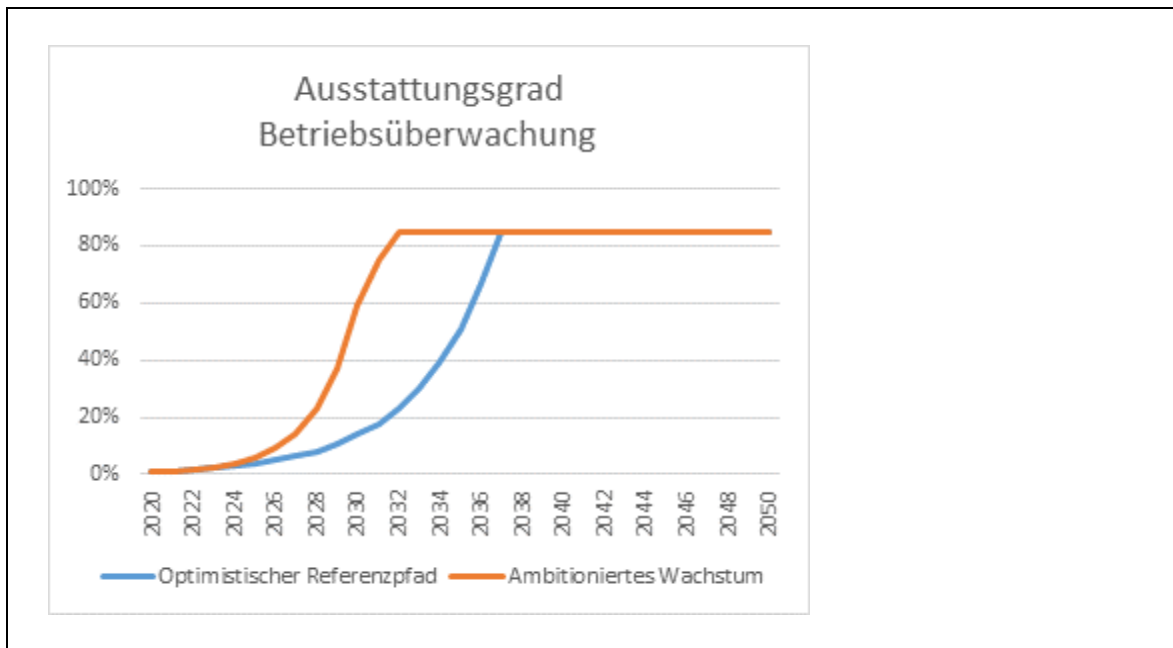
In der Praxis ist das Einsparpotenzial durch die Geschwindigkeit des Markthochlaufs begrenzt. Die Entwicklung der Abdeckungsrate ist entscheidend für die Höhe der erreichbaren Einsparung. Für das Jahr 2020 wird die Zahl der großen Mehrfamilienhäuser mit Online-Betriebsüberwachung auf ca. 3000 geschätzt (Gähns et al. 2021). Diese Zahl entspricht im GEMOD Modell einer Abdeckung von ca. 1 %.

In (Gähns et al. 2021) wird von einer jährlichen Zuwachsrate des Online-Effizienzmonitoring von ca. 25-30% pro Jahr ausgegangen. Dieser Wert dient als Basis für das hier vorgeschlagene Referenzszenario zum Markthochlauf.

Es werden zwei Hochlaufpfade für die Abschätzung des Einsparpotenzials angesetzt:

- **Optimistische Referenzpfad.** Hier wird davon ausgegangen, dass sich ein starkes Marktwachstum von 30 % bis zum Jahr 2037 und einer Sättigung mit einer Abdeckung von 85 % fortsetzt.
- **Ambitioniertes Wachstum.** Eine Verdoppelung des Marktwachstums gegenüber dem Referenzpfad auf 60 % ab dem Jahr 2023 bis zum Jahr 2030. Danach ein langsamerer Anstieg der Abdeckung auf 75 % im Jahr 2031 und einer Sättigung der Abdeckung bei 85 % im Jahr 2032.

Bisher ist die Nachfrage nach Online-Betriebsüberwachungen durch Wohnungsunternehmen noch mehr durch die höhere Transparenz und Erleichterung der Kontrolle über die Heizungsanlagen als durch mögliche Energie-Einsparungen motiviert (siehe Kapitel 11.1). Dies liegt auch daran, dass die Kosten für die Online-Betriebsüberwachung vom Vermieter zu tragen sind, und nur teilweise auf die Mietenden umgelegt werden können. Die Kosteneinsparungen durch verminderten Energieverbrauch kommen hingegen in der Regel den Mietenden zugute, falls kein Wärme-Contracting genutzt wird.

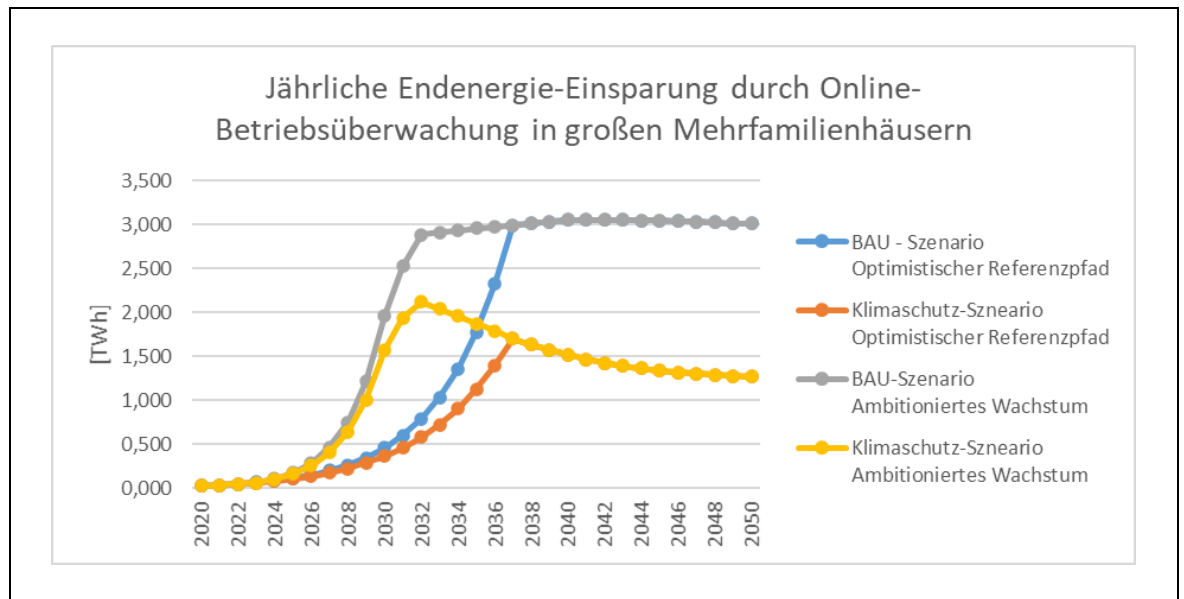


**Abb. 10.7: Angenommener Ausstattungsgrad großer Mehrfamilienhäuser mit Online-Betriebsüberwachung**

Die hier angenommen starken Wachstumsraten und hohen finalen Ausstattungsgrade sind vermutlich nur durch ordnungsrechtliche Vorgaben oder rechtliche Veränderungen (z.B. Teilwarmmiete), welche eine stärkere Teilhabe der Vermieter\*innen an den ökonomischen Vorteilen ermöglichen, erreichbar (siehe Kapitel 12.1.1).

Abb. 10.8 zeigt die sich mit den in Abb. 10.7 dargestellten Ausstattungsgraden für die Online-Betriebsüberwachung großer Mehrfamilienhäuser ergebenden Endenergieeinsparungen für das BAU- und für das Klimaschutz-Szenario. Die erzielbare Endenergieeinsparung steigt zunächst stark mit dem Ausstattungsgrad.

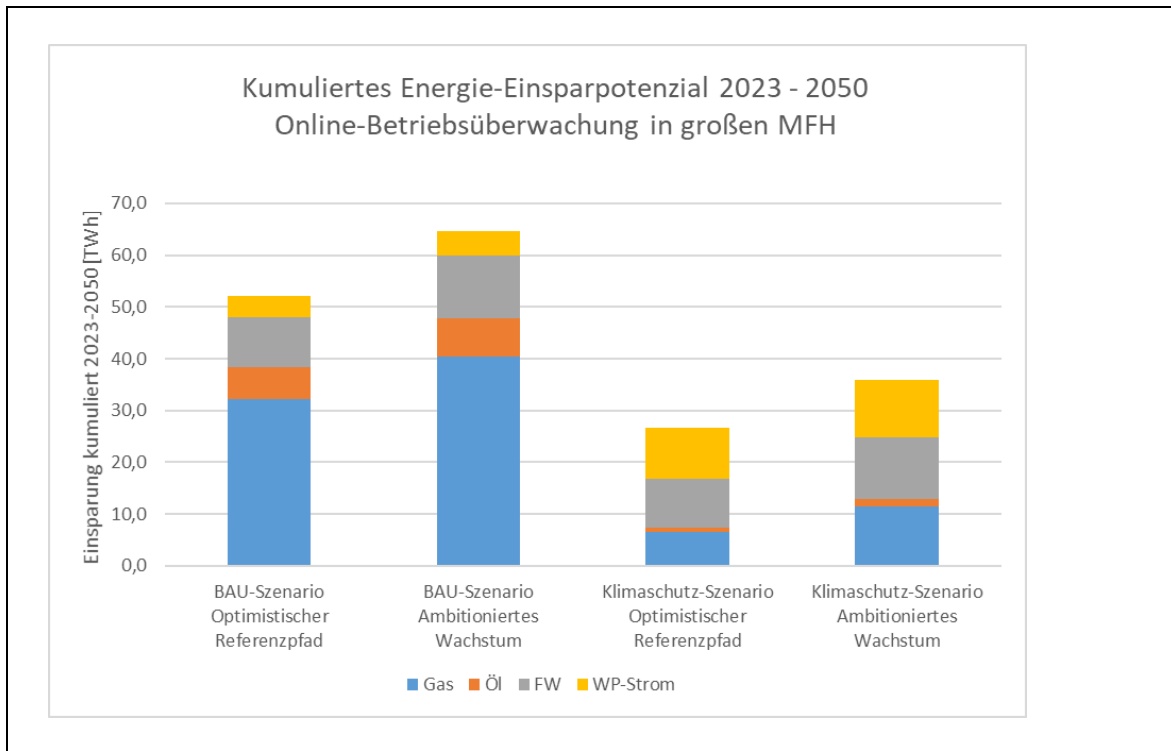
Die erzielbaren Energieeinsparungen im Klimaschutz-Szenario sind niedriger als im BAU-Szenario, weil einerseits der Energieverbrauch der Gebäude im Klimaschutz-Szenario durch Sanierungen zurück geht. Außerdem kommen im Klimaschutz-Szenario deutlich mehr Wärmepumpen zum Einsatz, die Umweltwärme nutzbar machen. Die eingesparte Umweltwärme ist hier nicht berücksichtigt. Daher nehmen die erzielbaren Energieeinsparungen im Klimaschutzszenario ab Erreichen des maximalen Ausstattungsgrades deutlich ab. Im BAU-Szenario ist hingegen dann zunächst noch eine leichte Zunahme der Einsparungen gegeben, aufgrund der Verlagerung des Verbrauches von



**Abb. 10.8: Abschätzung jährliche Endenergie-Einsparung durch Online-Betriebsüberwachung in großen Mehrfamilienhäusern**

Öl-Heizungen zu Technologien mit höherem Einsparpotenzial durch Online-Betriebsüberwachung (Gas-Brennwert-Heizungen und Wärmepumpen, siehe Tab. 10.1).

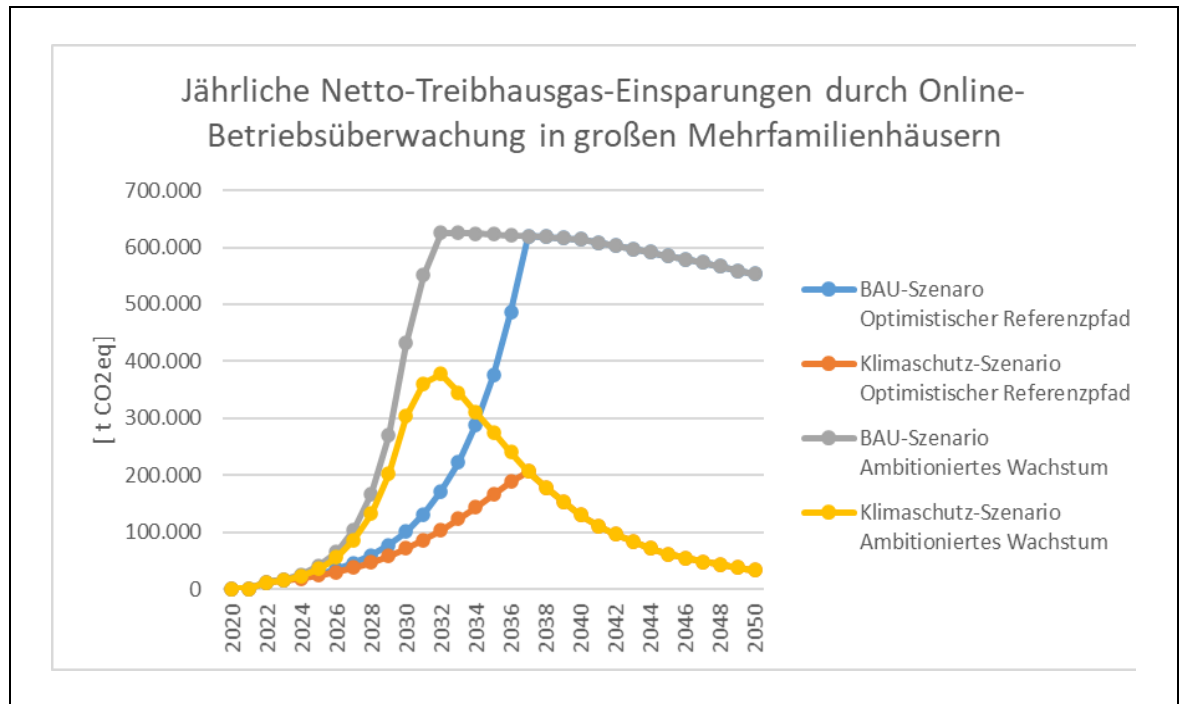
Die Abb. 10.9 zeigt die Verteilung der kumulierten Einsparungen von 2023 bis 2050 auf die unterschiedlichen Energieträger für das BAU- und das Klimaschutz-Szenario mit den beiden Hochlaufpfaden. Der relative Unterschied zwischen den mit einem schnelleren oder langsameren Hochlauf des Ausstattungsgrades erreichbaren Energieeinsparungen ist im Klimaschutz-Szenario ausgeprägter.



**Abb. 10.9: Kumuliertes Endenergie-Einsparpotenzial von 2023 bis 2050 für Online-Betriebsüberwachung in großen Mehrfamilienhäusern**

Die Abb. 10.10 zeigt die sich aus der Endenergie-Einsparung ergebenden Treibhausgas-Einsparungen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Die im Klimaschutz-Szenario verwendeten Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme entsprechen einer Entwicklung mit einer Dekarbonisierung bis 2045 (siehe Kapitel 10.1.1). Auch im BAU-Szenario wird für Fernwärme eine Dekarbonisierung bis 2045 angenommen, um eine untere Abschätzung des Einsparpotenzials zu erhalten – erfolgt die Dekarbonisierung langsamer, ergeben sich in diesem Szenario etwas höhere Treibhausgaseinsparungen. Von den sich aus den Endenergie-Einsparungen und den Emissionsfaktoren der verschiedenen Energieträger ergebenden Treibhausgas-Einsparungen, werden die für die technische Ausrüstung anfallenden Treibhausgasemissionen von 14,5 kg CO<sub>2eq</sub> pro Gebäude abgezogen, um die dargestellten Netto-Treibhausgas-Einsparungen zu erhalten. Die kumulierten Endenergie-Einsparungen sind in Tab. 16.1 und Tab. 16.2 im Anhang im Kapitel 16 aufgelistet.

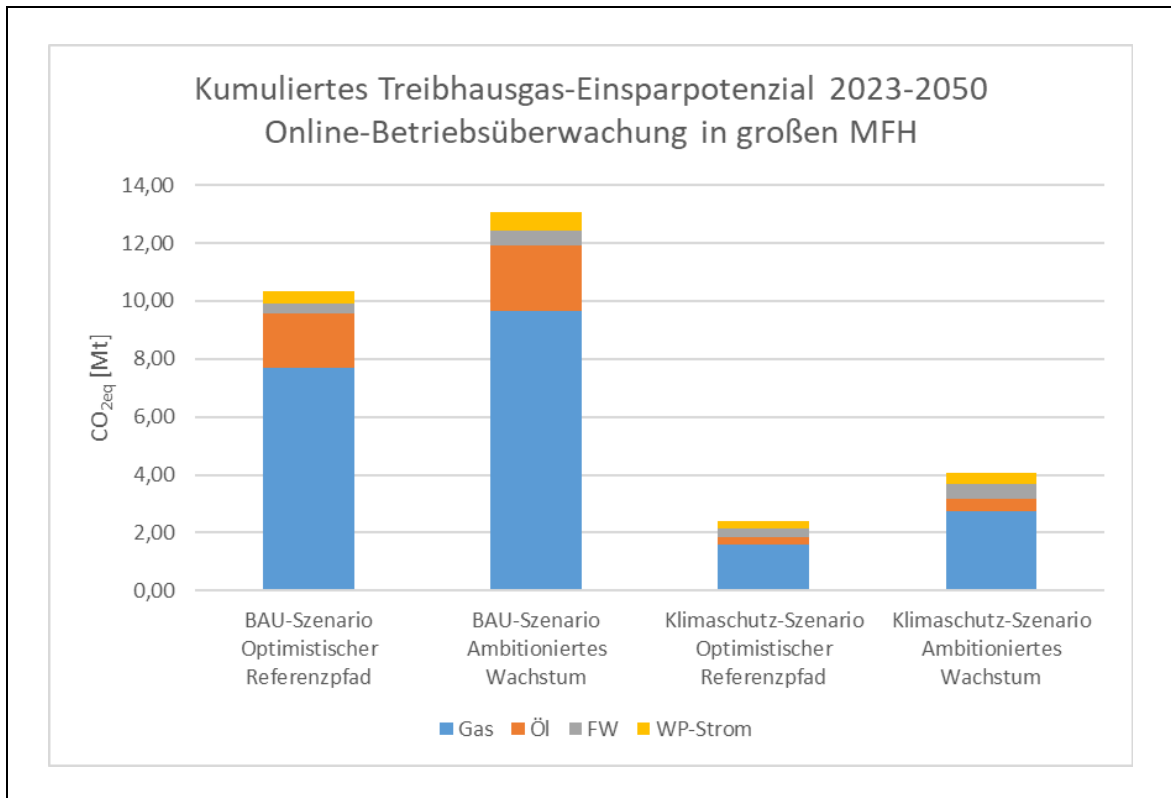




**Abb. 10.10: Abschätzung jährliche Netto-Treibhausgas-Einsparungen durch Online-Betriebsüberwachung in großen Mehrfamilienhäusern**

Die schnelle Umstellung auf Wärmepumpen in der Wärmeversorgung führt zusammen mit der Dekarbonisierung der Stromversorgung zu geringeren, und im Zeitverlauf deutlich stärker abnehmenden, Treibhausgas-Einsparungen im Klimaschutz-Szenario im Vergleich zum BAU-Szenario.

In Abb. 10.11 sind die kumulierten Treibhausgas-Einsparungen von 2023 bis 2050 nach Energieträgern aufgeschlüsselt dargestellt. Das größte Potenzial für Treibhausgas-Einsparungen liegt in allen betrachteten Fällen in der Vermeidung von Gas- und Öl-Verbräuchen, die im BAU-Szenario deutlich größer sind. Dennoch hat auch die mit weniger Treibhausgas-Einsparungen verbundenen Reduktion von Strom- und Fernwärmeverbräuchen aus dekarbonisierter Erzeugung im Klimaschutz-Szenario (vergleiche Abb. 10.8) große positive Umweltauswirkungen, da dadurch der notwendige Ausbau der erneuerbaren Strom- bzw. Fernwärmeerzeugung geringer ausfällt und schneller erfolgen kann.



**Abb. 10.11: Abschätzung kumuliertes Treibhausgas-Einsparpotenzial durch Online-Betriebsüberwachung von 2023-2050 in großen Mehrfamilienhäusern**

## 10.2 Smarte Thermostate

### 10.2.1 Methodik

Für die Bewertung des Einsparpotenzials von Smarten Thermostaten ohne Kommunikation mit dem Wärmeerzeuger werden Literaturdaten verwendet. Die ausführliche Betrachtung in Kapitel 8.2.5 zeigt, dass beim Einsatz von smarten Thermostaten in Einfamilienhäuser zwar eine große Spannbreite von hohen Einsparungen bis hin zu deutlichen Mehrverbräuchen beobachtet werden kann, im Durchschnitt für Gaszentralheizungen und konventionelle Heizkörper aber eine Einsparung von 4 % belegbar ist. Für den Einsatz von smarten Thermostaten in Mehrfamilienhäuser kann hingegen kein belastbares Einsparpotenzial beziffert werden. Die Ausstattung einzelner Wohnungen hat vermutlich nur einen sehr geringen Effekt auf den Verbrauch auf Gebäudeebene, Bei Ausstattung des gesamten Gebäudes deuten Simulationsdaten und Messungen an einzelnen Gebäuden hingegen auf einen Effekt in ähnlicher Größenordnung wie bei Einfamilienhäusern hin.

Die ökologische Bewertung des Einsparpotenzials beschränkt sich daher im Folgenden auf das Segment der Einfamilien- und Reihenhäuser. Für die Berechnung der eingesparten Treibhausgasemissionen eines typischen Einfamilien- bzw. Reihenhauses und die Hochrechnung der Einsparungen auf den Gebäudebestand wird wieder das bereits in Kapitel 10.1.1 eingeführte Gebäudemodell GEMOD verwendet. Es werden je Gebäudekategorie 13 verschiedene Baualterklassen mit unterschiedlicher Versorgungsstruktur betrachtet.

Hier wird angenommen, dass sich der Wert für die durchschnittliche Energie-Einsparung durch smarte Thermostate in Einfamilienhäusern mit einer Gas-Zentralheizung und konventionellen Heizkörpern auf von einer Öl-H, Pellet- oder Hackschnitzel-Heizung oder mit Fernwärme versorgten Einfamilienhäuser mit solchen Heizkörpern übertragen lässt. Außerdem wird davon ausgegangen, dass auch in Reihenhäusern dieses Typus durchschnittlich Einsparungen in dieser Höhe erzielt werden können. Wärmepumpen kommen hingegen bisher in der Regel in Kombination mit Flächenheizungen zum Einsatz. Solche Heizsysteme reagieren eher träge, sodass ein geringeres Einsparpotenzial durch Anpassungen bei Abwesenheiten über wenige Stunden zu erwarten ist – Messdaten hierzu sind nicht bekannt.

Der durchschnittliche Verbrauch eines mit Gas beheizten Einfamilienhauses im Jahr 2022 beträgt im GEMOD-Modell 18.850 kWh (Reihenhaus 14.126 kWh). Der durchschnittliche Verbrauch von mit Fernwärme versorgten Einfamilienhäusern liegt mit 14.942 kWh (Reihenhaus 11.047 kWh) etwas niedriger und bei einer Ölheizung mit 20.048 kWh (Reihenhaus 15.392 kWh) etwas höher.

Für die Hochrechnung des Einsparpotenzials auf den gesamten Bestand der Einfamilien- und Reihenhäuser werden wie in Kapitel 10.1.1 zwei Szenarien für die zukünftige Energieverbrauchsentwicklung des Gebäudebestandes genutzt: ein „Business as usual“ (BAU-Szenario), in dem aktuelle Trends fortgeschrieben werden, und ein Szenario, in dem im Jahr 2050 nahezu keine Treibhausgase für die Erzeugung von Wärme in Gebäuden emittiert (Klimaschutzszenario)<sup>16</sup>.

Für die Umrechnung der eingesparten Endenergie in eingesparte Treibhausgasemissionen werden die in Kapitel 10.1.1 beschriebenen Emissionsfaktoren für Gas, Öl und Fernwärme verwendet. Die klimazielkonforme Entwicklung der Emissionsfaktoren für Fernwärme wird sowohl auf die im BAU- als auch im Klimaschutz-Szenario für den Wärmeverbrauch ermittelten Energieeinsparungen angewandt.

Nicht quantifiziert werden die Treibhausgasemissionen, die durch die reduzierte Verbrennung von Holz in Pellet- und Hackschnitzel-Kesseln eingespart werden, da zu den Prozessemissionen für die Verarbeitung auch noch das verringerte CO<sub>2</sub>-Speichersaldo des Waldes hinzukommt, und von der Herkunft des Brennstoffes abhängt.

## 10.2.2 Gegenüberstellung Einsparung und Emissionen durch Technik

Da bei der Anwendung von smarten Thermostaten eine große Spannweite von Einsparungen – und insbesondere auch Mehrverbräuche – beobachtet wurden, wird hier zunächst ermittelt welche Einsparung beim durchschnittlichen Verbrauch eines Einfamilien- bzw. Reihenhauses im GEMOD-Modell notwendig ist, um die Emissionen durch den technischen Aufwand auszugleichen.

Betrachtet werden beispielhaft zwei Varianten: ein System „Smarte Thermostate mit Batterie“ welches – wie nahezu alle auf dem Markt angebotenen Produkte – batteriebetriebene Stellantriebe verwendet und mittels eines Gateways mit dem Internet verbunden ist. Bei dem System „Smarte Thermostate ohne Batterie“ nutzen die Stellantriebe die Wärmeenergie der Heizkörper, der Raumsensor ist solarbetrieben und es wird kein Internetanschluss benötigt.

<sup>16</sup> BAU-Szenario und TN-Strom-Szenario aus den Langfristszenarien aus (Mellwig et al. 2021)

Aus den in Kapitel 9.2.3 ermittelten Emissionswerten für die einzelnen Komponenten der beiden Systeme werden die jährlichen Gesamtemissionen für den technischen Aufwand für den Anwendungsfall Einfamilien- bzw. Reihenhaus summiert. Angenommen wird eine Ausstattung von acht Heizkörpern (z.B. Badezimmer, Küche, drei Schlafzimmer mit jeweils einem Heizkörper und Wohnzimmer mit zwei Heizkörpern) mit smarten Thermostaten und ein Gateway-Gerät bzw. zwei Raumsensoren. In Tab. 10.2 ist der Beitrag der verschiedenen Komponenten zu den Gesamtemissionen zusammengefasst. Nicht berücksichtigt sind hierbei die der Datenübertragung zuzurechnenden Emissionen, da dazu keine Daten vorlagen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die datenbezogenen Emissionen gegenüber den durch die Hardware verursachten Emissionen zu vernachlässigen sind, da bei den anderen hier untersuchten Anwendungen sowohl im Strombereich (vgl. Kapitel 4.2.1 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) als auch im Wärmebereich (vgl. Kapitel 9.2.1 und 9.2.2) die datenbezogenen Emissionen nur einen geringen Anteil an der gesamten Emissionsbilanz haben.

**Tab. 10.2: Übersicht über Hardware-Emissionen der zwei betrachteten Varianten Smarter Thermostate**

Komponente	Hardware-Emissionen „Smarte Thermostate mit Batterie“	Hardware- Emissionen „Smarte Thermostate ohne Batterie“
<b>Smarter Stellantrieb</b>	8 Stellantriebe mit je 0,84 kg CO <sub>2eq</sub> /a	8 Stellantriebe mit je 1,78 kg CO <sub>2eq</sub> /a
<b>Batterien</b>	2 Batterien pro Stellantrieb mit 0,27 kg CO <sub>2eq</sub> /a	
<b>Raumsensor</b>		2 Raumsensoren mit je 1,0 kg CO <sub>2eq</sub> /a
<b>Gateway/Internet-bridge</b>	1 Gateway mit 0,14 kg CO <sub>2eq</sub> /a	
<b>Gesamtsystem</b>	Ca. 9 kg CO <sub>2eq</sub> /a	Ca. 16 kg CO <sub>2eq</sub> /a

In Tab. 10.3 sind die prozentualen Einsparungen aufgelistet, die für den durchschnittlichen Verbrauch nach GEMOD in einem Einfamilien- bzw. Reihenhaus aktuell je nach genutztem Energieträger mindestens erreicht werden müssen, um die durch die zusätzliche Hardware verursachten Emissionen aufzuwiegen. Wenn höhere Einsparungen erreicht werden, fällt die Ökobilanz auf Gebäudeebene positiv aus. Die angegebene Spannbreite entspricht dem Unterschied der CO<sub>2</sub>-Emissionen für die beiden in Tab. 10.2 aufgeführten Systeme.

**Tab. 10.3: Mindesteinsparung für positive Ökobilanz smarter Thermostate**

Gebäudetyp	Wärmeversorgung	Notwendige Mindesteinsparung für positive Ökobilanz
<b>Einfamilienhaus</b>	Gas-Zentralheizung	0,2 % – 0,4 %
<b>Einfamilienhaus</b>	Öl-Zentralheizung	0,2 % - 0,3 %
<b>Einfamilienhaus</b>	Fernwärme	0,4 % - 0,8 %
<b>Reihenhaus</b>	Gas-Zentralheizung	0,3 % – 0,5 %
<b>Reihenhaus</b>	Öl-Zentralheizung	0,2 % - 0,4 %
<b>Reihenhaus</b>	Fernwärme	0,6 % - 1,1 %

Die Ergebnisse in Tab. 10.3 zeigen, dass die notwendige Mindesteinsparung deutlich unter der aus der Feldstudie Rösrath bekannten durchschnittlichen Einsparung von 4 % bei einer Gas-Zentralheizung mit konventionellen Heizkörpern liegt. Im Mittel kann daher aktuell von einer positiven Ökobilanz beim Einsatz smarter Thermostate für konventionelle Heizkörper ausgegangen werden.

Aufgrund der Dekarbonisierung der Fernwärmeerzeugung wird sich die notwendige Mindesteinsparung für eine positive Ökobilanz bei dieser Heizungsart in Zukunft erhöhen. Mit dem hier angesetzten Rückgang der Emissionsfaktoren für Fernwärme schlägt die Ökobilanz für smarte Thermostate bei ab dem Jahr 2042 ins Negative um. Bis dahin ergibt sich in mit Fernwärme beheizten Einfamilienhäusern eine durchschnittliche Treibhausgas-Einsparung bei Verwendung smarter Thermostate.

Bei der Erstellung der Ökobilanz wurde von einer Lebensdauer der Komponenten von zwölf Jahren ausgegangen – wenn die Thermostate früher entsorgt werden oder die verbleibende Nutzungsdauer der Heizungsanlage kürzer ist, müssen höhere Energie-Einsparungen erzielt werden, um Netto-Treibhausgaseinsparungen zu erreichen.

Mit den für das Jahr 2022 angenommenen Energieverbräuchen und den aktuellen Emissionsfaktoren, sind die durch die Produktion der Hardware entstehenden Treibhausgas-Emissionen bei einer durchschnittlichen Energie-Einsparung von 4 % für die betrachteten Energieträger und Gebäudetypen nach einem halben (Einfamilienhaus mit Ölheizung) bis knapp zwei Jahren (Reihenhaus mit Fernwärme) wieder ausgeglichen.

### 10.2.3 Hochrechnung des Einsparpotenzials auf den Gebäudebestand

Bei der Hochrechnung des Einsparpotenzials von smarten Thermostaten auf den Gebäudebestand in Deutschland wird nur das Segment der Einfamilien- und Reihenhäuser berücksichtigt, da hier das Einsparpotenzial am besten belegt ist. In Mehrfamilienhäusern ist ein relevanter Effekt nur bei einer Komplettausstattung aller Wohnungen zu erwarten, welche aufgrund der für den Vermieter damit verbundenen Kosten – während der Einspareffekt den Mietern zugutekommt – ohne gesetzliche Verpflichtung nicht zu erwarten ist.

Betrachtet werden nur mit Gas, Öl, Fernwärme, Hackschnitzel- oder Pelletkessel versorgte Gebäude. Vereinfachend wird dabei davon ausgegangen, dass in diesen Gebäuden zum allergrößten Teil Zentralheizungen in Verbindung mit konventionellen Heizkörpern zum Einsatz kommen, und daher das für diesen Fall ermittelte mittlere Einsparpotenzial von 4 % auf sie zutrifft. Bei mit Wärmepumpen beheizten Gebäuden ist – zumindest aktuell – eine Kombination mit Flächenheizungen wesentlich üblicher. Da Flächenheizungen wesentlich träger reagieren, ist das für konventionelle Heizkörper bestimmte Einsparpotenzial nicht ohne Weiteres auf sie übertragbar.

In einer aktuellen Studie (Grinewitschus et al. 2021) wurde ein Ausstattungsgrad mit smarten Thermostaten von Wohnungen in Mehrfamilienhäusern von 9,5 % festgestellt. Hier nehmen wir an, dass auch in Einfamilien- und Reihenhäusern ein gleicher Anteil bereits über smarte Thermostate verfügt.

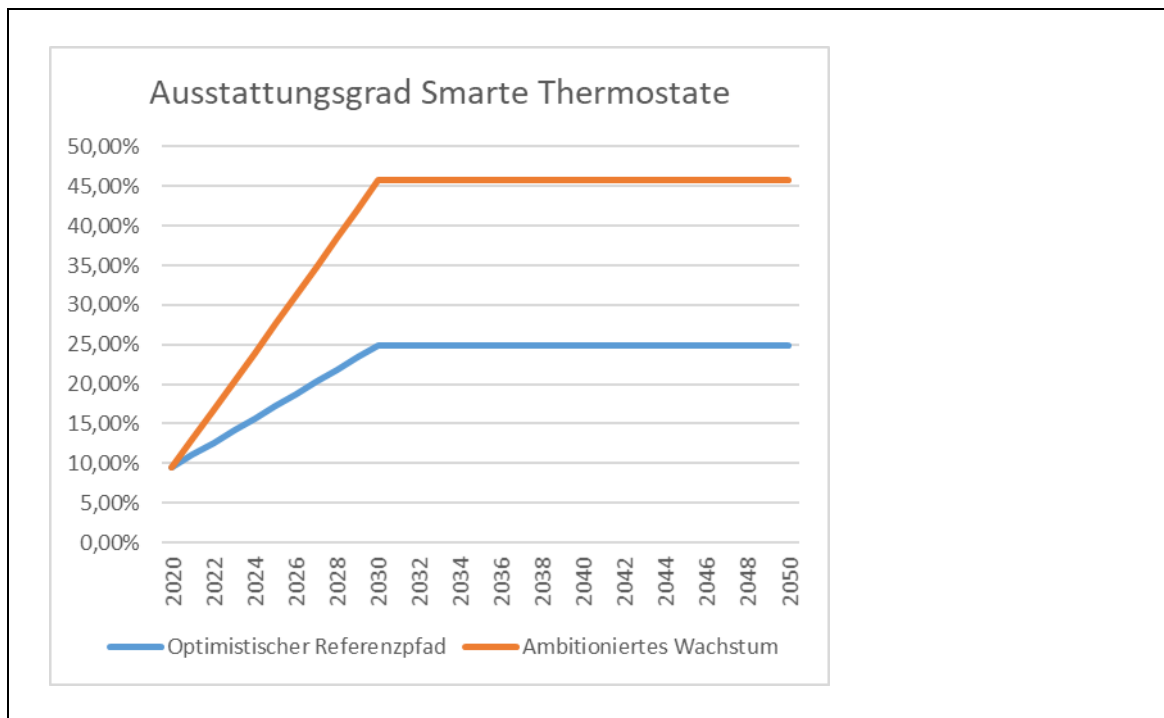
Das maximale Einsparpotenzial bei einer Vollaussattung aller Einfamilien- und Reihenhäusern mit den betrachteten Energieträgern, bezogen auf ihren aktuellen Energieverbrauch nach GEMOD, beträgt für das Jahr 2022 etwa 10 TWh Endenergie. Dieses Einsparpotenzial ist aufgrund der bereits vorhandenen Ausstattung bereits zu knapp 10 % ausgenutzt, so dass als zusätzliches maximales Potenzial ca. 9 TWh Endenergie pro Jahr verbleiben.

Eine Vollaussattung kann – ohne gesetzliche Verpflichtung, die auch nur schwierig zu kontrollieren wäre – nur als unwahrscheinlich angesehen werden. Hier wird die in (Grinewitschus et al. 2021) ermittelte Zahlungsbereitschaft der bisherigen Nicht-Nutzenden als Grundlage für die Abschätzung zweier möglicher Hochlaufpfade genutzt: 23 % dieser Gruppe wären demnach bereit bis zu 20 €, 15 % bis zu 50 € und 2 % mehr als 50 € für Smarte Thermostate auszugeben. Bereits die Kosten für die Ausstattung eines einzelnen Heizkörpers liegen bei rund 50 € - der Preis eines kompletten Systems für mehrere Heizkörper deutlich darüber. Unter der Annahme, dass die seit der Umfrageerhebung gestiegenen Energiekosten die Ausgabebereitschaft in der grundsätzlich interessieren Gruppe erhöht, werden die zwei folgenden Varianten für den Ausstattungsgrad betrachtet:

- **Optimistischer Referenzpfad:** der Ausstattungsgrad erhöht sich linear von 9,5 % in 2020 auf rund 25 % der betrachteten Haushalte im Jahr 2030 und verharrt dann auf diesem Niveau. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Anteil der Haushalte, der zu Ausgaben über 20 € bereit war, in Smarte Thermostate investiert.
- **Ambitioniertes Wachstum:** der Ausstattungsgrad erhöht sich linear von 9,5 % in 2020 auf rund 46 % der betrachteten Haushalte im Jahr 2030 und verharrt dann auf diesem Niveau. In diesem Fall hätte der gesamte Anteil der Haushalte, die überhaupt zu Ausgaben in Smarte Thermostate bereit war, bis 2030 ein entsprechendes System gekauft.

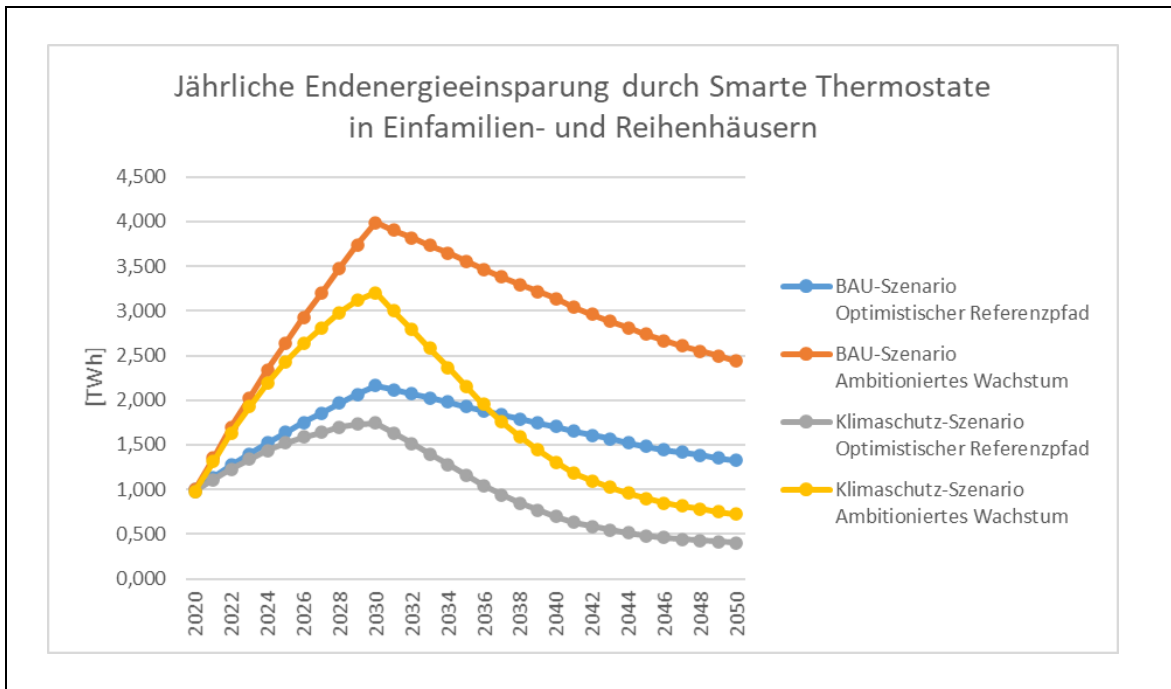
Die sich mit diesen Ausstattungsgraden ergebenden Endenergie- und Treibhausgas-Emissionseinsparungen werden sowohl für das BAU- als auch für Klimaschutz-Szenario (siehe Kapitel 10.1.1) berechnet (Abb. 10.12).

Abb. 10.13 stellt die Entwicklung der jährlichen Endenergie-Einsparungen für die beiden Hochlaufpfade für die Ausstattung mit smarten Thermostaten im BAU- und Klimaschutzenszenario in Einfamilien- und Reihenhäusern mit Gas-, Öl-, Fernwärme und Pellet- oder Hackschnitzel-Heizung dar.



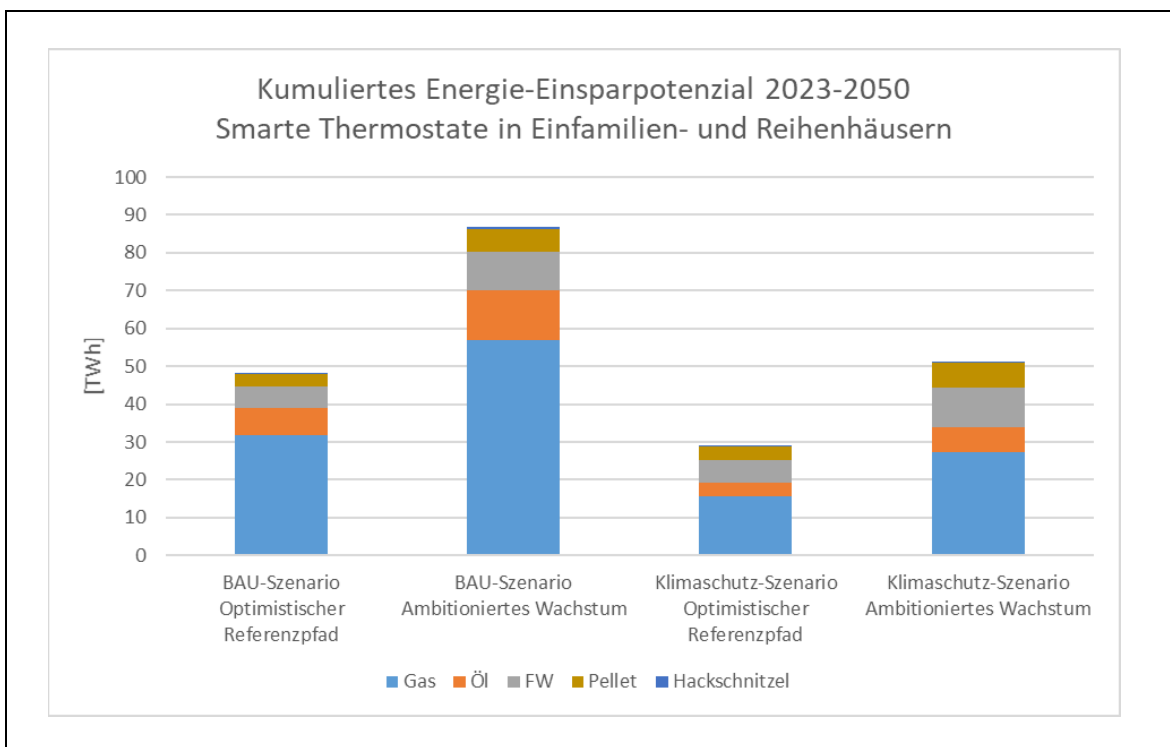
**Abb. 10.12: Angenommener Ausstattungsgrad mit Smarten Thermostaten**

Die jährliche Energieeinsparung steigt mit dem wachsenden Ausstattungsgrad in allen betrachteten Szenarios bis 2030. In den folgenden Jahren sinkt die Energieeinsparung aufgrund des absolut abnehmenden Energieverbrauches der betrachteten Energieträger. Ursächlich hierfür sind sowohl eine steigende Energieeffizienz der Gebäude als auch der Wechsel der Heizungssysteme weg von den fossilen Energieträgern Gas und Öl hin zu u.a. Wärmepumpen, deren Verbrauch hier nicht betrachtet wird (siehe Kapitel 10.2.1). Sowohl Sanierungen als auch Energieträgerwechsel finden unter den Annahmen des Klimaschutz-Szenarios deutlich früher und in größerer Zahl statt als im BAU-Szenario, weshalb die Abnahme der jährlichen Einspareffekte durch smarte Thermostate in diesen Varianten stärker ist.



**Abb. 10.13: Abschätzung jährliche Endenergie-Einsparung durch Smarte Thermostate in Einfamilien- und Reihenhäusern mit den berücksichtigten Energieträgern**

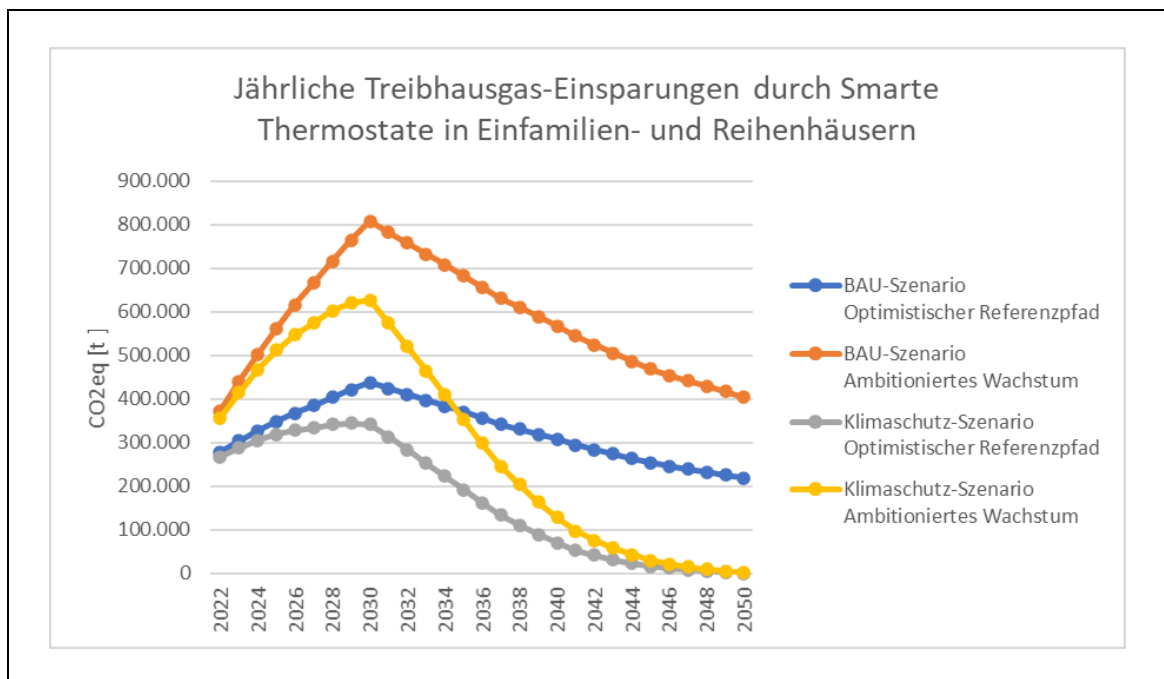
Die sich insgesamt von 2023 bis 2050 für die verschiedenen betrachteten Varianten ergebenden Einsparungen sind in Abb. 10.14 zusammengefasst. Die Aufschlüsselung nach Energieträgern zeigt, dass das Potenzial hauptsächlich in der schnellen Ausstattung von mit Gas und Öl beheizten Gebäuden liegt.



**Abb. 10.14: Abschätzung kumuliertes Energie-Einsparpotenzial 2023-2050 durch Smarte Thermostate in Einfamilien- und Reihenhäuser mit den betrachteten Energieträgern**



Abb. 10.15 zeigt die sich aus der Endenergie-Einsparung ergebenden Treibhausgas-Einsparungen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für Gas-, Öl- und Fernwärme-Heizungen. Die verwendeten Emissionsfaktoren für Fernwärme entsprechen einer Entwicklung mit einer Dekarbonisierung bis 2045 (siehe Kapitel 10.1.1) – erfolgt die Dekarbonisierung langsamer, ergeben sich höhere Treibhausgaseinsparungen. Bei der Berechnung der Treibhausgasemissions-Einsparung wird der Mittelwert der beiden in



**Abb. 10.15: Abschätzung jährliche Netto-Treibhausgas-Einsparungen durch Smarte Thermostate in Einfamilien- und Reihenhäusern mit den berücksichtigten Energieträgern**

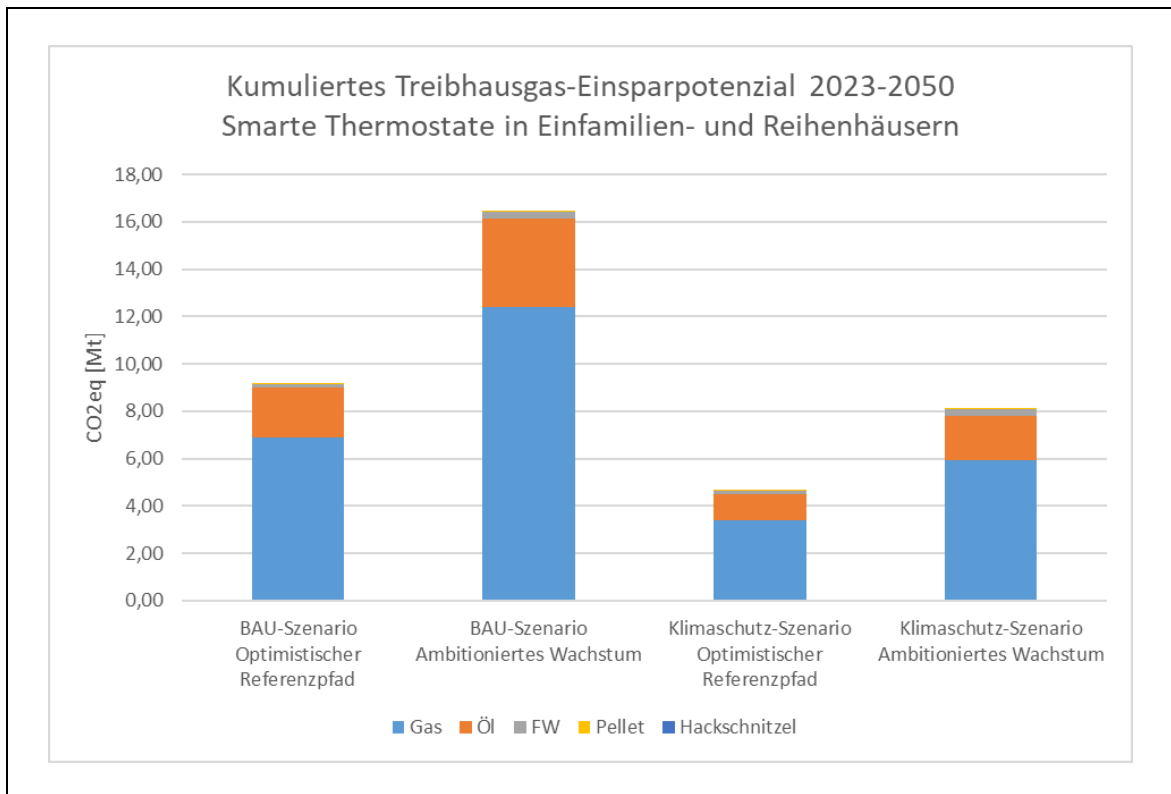
Tab. 10.2 aufgeführten Emissions-Werte für Hardware abgezogen. Es handelt sich daher um Netto-Einsparungen von Treibhausgasemissionen.

Im Klimaschutz-Szenario nehmen die Netto-Treibhausgas-Einsparungen deutlich stärker ab als die – weiterhin vorhandenen – Energieeinsparungen durch smarte Thermostate und führen im Jahr 2050 sogar zu geringen zusätzlichen Emissionen. Die liegt daran, dass im Klimaschutz-Szenario bis zum Jahr 2050 die fossilen Energieträger Gas und Öl aus der Wärmeerzeuger verschwinden, und auch die Fernwärme dekarbonisiert wird. Es zeigt sich, dass daher vor allem im Klimaschutz-Szenario das größte Potenzial für Einsparungen in den Jahren bis 2035 liegt.

Die sich insgesamt von 2023 bis 2050 für die verschiedenen betrachteten Varianten ergebenden Netto-Einsparungen an Treibhausgasen sind in Abb. 10.16

**Tab. 16.2: Kumulierte Netto-Einsparungen von Treibhausgasen durch Smarte Thermostate in Einfamilien- und Reihenhäusern mit den berücksichtigten Energieträgern**

zusammengefasst. Es wird deutlich, dass die Treibhausgas-Einsparungen fast nur auf die Reduktion von Gas- und Öl-Verbräuchen zurückzuführen sind. Aber auch die Einsparung von Holz- und Fernwärme (vergleiche Abb. 10.14) hat positive Umweltwirkungen, etwa durch eine Reduktion des



**Abb. 10.16: Abschätzung kumuliertes Netto-Einsparpotenzial von Treibhausgasen durch Smarte Thermostate in Einfamilien- und Reihenhäusern mit den berücksichtigten Energieträgern**

für die Wärmewende notwendigen Fernwärme-Ausbaus und der geringeren Ausnutzung des begrenzten Biomasse-Potenzials.

## 11 Fokusgruppen zum Wärmebereich

Zu digitalen Lösungen im Wärmebereich wurden insgesamt drei jeweils zweistündige Online-Fokusgruppen (moderierte Gruppendiskussionen bzw. Gruppeninterviews) durchgeführt. Eine Fokusgruppe fand zum Thema Online-Betriebsüberwachung von Heizungsanlagen in Mehrfamilienhäusern mit Vertreter\*innen aus Wohnungsunternehmen statt. Zwei Fokusgruppen wurden zum Thema smarte Thermostaten mit Vertreter\*innen aus Privathaushalten durchgeführt. Die zwei digitalen Lösungen Online-Betriebsüberwachung und smarte Thermostate wurden als Themen für die Fokusgruppen ausgewählt, um Einblicke in die Bewertungen digitaler Lösungen im Wärmebereich sowohl von Unternehmen als auch von Privathaushalten zu generieren. Die Methodik und Ergebnisse der Fokusgruppen werden im Folgenden dargestellt.

# 11.1 Fokusgruppe Online-Betriebsüberwachung

## 11.1.1 Methodik

### Teilnehmendenrekrutierung und Teilnehmende

Die Teilnehmenden der Fokusgruppe zur Online-Betriebsüberwachung wurden über bestehende persönliche Kontakte der Projektpartner\*innen zu Wohnungsunternehmen (insbesondere zu kommunalen Wohnungsunternehmen) rekrutiert. Hierzu wurde von den Projektpartner\*innen eine E-Mail mit Informationen zu den Inhalten der geplanten Fokusgruppe an ihre Kontakte verschickt. In der E-Mail (mit dem Betreff "Digitale Technologien für die Optimierung der Heizungsanlage – Eine Lösung auch für Mehrfamilienhäuser?") wurde hervorgehoben, dass für die Fokusgruppe konkret Personen gesucht werden, die in den Wohnungsunternehmen über Investitionen in Heizungstechnik entscheiden und in deren Verantwortungsbereich der Betrieb der Heizungsanlagen fällt.

In dieser Weise konnten acht Personen (ausschließlich Männer) für die Teilnahme an der Online-Fokusgruppe gewonnen werden. Fünf Teilnehmer kamen aus Wohnungsunternehmen, die die Online-Betriebsüberwachung von Heizungsanlagen bereits (pilothaft) einsetzen, wobei auch unter den drei Teilnehmern aus Unternehmen, die diese Technologie noch nicht konkret einsetzen, erste Erfahrungen damit bestanden. Zwei Unternehmen (einerseits aus der Gruppe der Nutzer und andererseits aus der Gruppe der Nicht-Nutzer) waren mit jeweils zwei Teilnehmern vertreten. Diese hatten in den Unternehmen aber unterschiedliche Aufgabenbereiche im Zusammenhang mit den Heizungsanlagen in den Wohngebäuden des Unternehmens. Zwei der vertretenen Unternehmen waren Energie-Contracting-Firmen, die als Tochterunternehmen von Wohnungsunternehmen an die Mieter\*innen Wärme statt Gas verkaufen, so dass sie bzw. die Wohnungsunternehmen als deren Eigentümer einen direkten wirtschaftlichen Vorteil von den Energieeinsparungen haben. Durch die vielfältige Zusammensetzung der Teilnehmenden (Nutzer und Nicht-Nutzer der Online-Betriebsüberwachung, kaufmännische, technische und/oder Management-Aufgabenbereiche) konnte die Fokusgruppe ein breites Spektrum an Erfahrungshintergründen und Einschätzungen aus der Wohnungswirtschaft zur Online-Betriebsüberwachung abbilden.

### Ablauf und Themen der Fokusgruppe

Die Fokusgruppe fand am 26. April 2022 von 14 bis 16 Uhr statt. Sie hatte folgenden Ablauf:

1. Begrüßung, Vorstellung des Ablaufs und der Regeln für den Austausch (inkl. Chatham House Rules)
2. Vorstellungsrunde
3. Kurzpräsentation zur Vorstellung des DETECTIVE-Projektes
4. Präsentation zu Varianten, Einsatzbereich, Einsparpotenzialen (Ergebnisse des Projektes) und Kosten der Online-Betriebsüberwachung sowie anschließende Klärung von Verständnisfragen
5. Moderierter Erfahrungs- und Meinungs austausch zu
  - a. Anlässen und Gründen für die Einführung der Online-Betriebsüberwachung
  - b. erfahrenen und wahrgenommenen Vorteilen, Nutzen- und Wirksamkeitsaspekten der Online-Betriebsüberwachung
  - c. erfahrenen und wahrgenommenen Nachteilen, Kosten und Hindernissen der Online-Betriebsüberwachung

- d. Abwägung zwischen Vor- und Nachteilen bzw. Nutzen und Kosten in den Unternehmen und den wichtigsten Entscheidungskriterien für oder wider die Nutzung der Online-Betriebsüberwachung
6. Kurze Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse und Verabschiedung der Teilnehmenden

## 11.1.2 Ergebnisse

Die folgende Ergebnisdarstellung ist entsprechend den vier inhaltlichen Blöcken des Erfahrung- und Meinungsaustausches (siehe oben: 5.a bis 5.d) gegliedert. Ein Vergleich mit Ergebnissen aus anderen Studien ist nicht möglich, da uns keine anderen Studien bekannt sind, die entsprechende Befragungen mit Wohnungsunternehmen zur Online-Betriebsüberwachung durchgeführt haben.

### **Anlässe und Gründe für die Einführung der Online-Betriebsüberwachung**

Von den Nutzern der Online-Betriebsüberwachung (d.h. von den Fokusgruppenteilnehmenden aus Unternehmen, die die Online-Betriebsüberwachung bereits einsetzen) wurden die folgenden Anlässe und Gründe für die Einführung dieser Technologie genannt:

- Bessere Information sowie höhere Transparenz und Kontrolle der Heizungssysteme (gerade bei weit verstreuten Anlagen). Dies war unter den teilnehmenden Nutzer\*innen der Hauptgrund bzw. die Hauptmotivation für die Einführung dieser Technologie.
- Fehlerfreie Datenverarbeitung der zugehörigen Zählerdaten für eine schnelle und kosteneffiziente Heizkostenabrechnung
- Störungsmeldungen und Dokumentation von Störungen nutzbar auch zur Überprüfung, ob z.B. Mieterbeschwerden (zu mangelnder Heizungsleistung) berechtigt sind
- Effizienzsteigerung / Energieeinsparung eher als positiver Begleiteffekt

Aus der Diskussion zeigte sich deutlich, dass der letztgenannte Punkt – Effizienzsteigerung bzw. Energieeinsparung bei den Heizungsanlagen – für die Unternehmen, die die Online-Betriebsüberwachung zum Teil bereits seit mehreren Jahren einsetzen, eine eher untergeordnete Rolle in der Entscheidung für die Einführung gespielt hatte. Dies war auch bei den Energie-Contracting-Firmen der Fall, die – wie oben dargestellt – einen direkten wirtschaftlichen Vorteil von Effizienzeinsparungen haben.

Von den Nicht-Nutzern der Online-Betriebsüberwachungen wurden die folgenden Gründe und Anlässe genannt, weswegen sie sich Gedanken darüber machen, ob sie diese Technologie in ihren Unternehmen einführen sollten:

- Energieeinsparpotenziale (genannt von einem Teilnehmer, der als Energieberater in seinem Unternehmen tätig ist und daher insbesondere an Energieeinsparungen interessiert ist)
- Bessere Daten (auch für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Bilanz des Unternehmens im Rahmen der Nachhaltigkeitsberichterstattung)
- Vereinfachung der Datenerfassung zu Heizungsverbräuchen

Anschließend an die offene Frage nach Gründen und Anlässen für die Einführung der Online-Betriebsüberwachung wurden die Teilnehmenden gefragt, welche Rolle die zum Zeitpunkt der Fokusgruppe in Planung befindliche Einführung eines Stufenmodells zur Aufteilung des CO<sub>2</sub>-Preises bei den Heizkosten zwischen Mieter\*innen und Eigentümer\*innen und die Bestrebungen in Folge des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine, Deutschland von russischem Öl und Gas unabhängig zu machen, für ihre Unternehmen spielen. Zur Rolle dieser zwei Faktoren gab es in den unterschiedlichen Unternehmen sehr unterschiedliche Einschätzungen. Einige Teilnehmer schrieben diesen Faktoren einen positiven Einfluss auf die Einführung von digitalen Lösungen zur Heizungssteuerung in der Wohnungswirtschaft zu. Die anderen Teilnehmer glaubten nicht an einen solchen Einfluss oder waren unentschieden.

### **Wahrgenommene Vorteile der Nutzung der Online-Betriebsüberwachung**

Die Nutzer der Online-Betriebsüberwachung nannten die folgenden Vorteile des Einsatzes der Technologie, die sie in ihren Unternehmen erfahren hätten bzw. wahrnehmen würden:

- vor allem bessere Prozesskontrolle und Anlagenüberwachung sowie Reduzierung der Fehlerquote im Überwachungsprozess und in der Rechnungserstellung (von der weit überwiegender Mehrheit der Nutzer genannt bzw. bestätigt)
- kostengünstigerer Betrieb, weniger Störungen und Reparaturaufwand (von der Mehrzahl der Nutzer berichtet bzw. bestätigt)
- längere Lebensdauer der Anlagen (von knapp der Hälfte der Nutzer genannt bzw. bestätigt)
- Komfortverbesserung für Mieter\*innen (nur von wenigen Nutzer genannt bzw. bestätigt)
- Energieeinsparungen bzw. Effizienzsteigerungen (nur von wenigen Nutzer genannt bzw. bestätigt)

Hinsichtlich des letzten Punktes – der Erreichung von Energieeinsparungen bzw. Effizienzsteigerungen – bestand unter den Nutzern große Uneinigkeit. Als ein Grund dafür, dass dieser mögliche Vorteil nicht erreicht würde, wurde genannt, dass die Voreinstellungen an den Heizungsanlagen im Sinne einer effizienten Heizungssteuerung aufgrund von Mieterbeschwerden durch Handwerker zum Teil wieder verstellt würden, so dass erzielte Effizienzsteigerungen oft nicht von Dauer seien.

Die Nicht-Nutzer der Online-Betriebsüberwachung erhofften sich die folgenden Vorteile von dem Einsatz der Technologie:

- Höhere Transparenz über und „Echtzeit-Nachvollziehbarkeit“ von Funktion und Verbrauch der Heizungsanlagen
- Energieeinsparungen

Nicht genannt wurden von den Nicht-Nutzern die möglichen Vorteile kostengünstigerer Betrieb, weniger Störungen und Reparaturaufwand, längere Lebensdauer der Anlagen oder Komfortverbesserung für Mieter\*innen.

Im Anschluss an die offene Frage nach den erfahrenen oder wahrgenommenen Vorteilen des Einsatzes der Online-Betriebsüberwachung wurden mehrere spezifische Fragen gestellt, bei denen die Teilnehmenden jeweils um eine Ja- oder Nein-Antwort gebeten wurden:

- Konnten Sie relevante Energie-/Kosten-/CO<sub>2</sub>-Einsparungen erzielen bzw. erwarten Sie diese?
- Konnten Sie bereits einen kostengünstigeren Betrieb erzielen bzw. erwarten Sie diesen?
- Konnten Sie bereits weniger Störungen und Reparaturaufwand erzielen bzw. erwarten Sie diesen?
- Erwarten Sie auch eine längere Lebensdauer der Anlagen?
- Konnten Sie bereits eine Komfortverbesserung für Mieter\*innen erzielen bzw. erwarten Sie diese?

Für sämtliche Fragen war das Antwortbild sehr heterogen, so dass sich keineswegs für die in den Fragen genannten Vorteile eine einheitliche Zustimmung unter den Teilnehmenden zeigte. Oft bestanden hinsichtlich der Vorteile Zweifel, so dass zwar zu jedem der in den Fragen angesprochenen Vorteile immer mindestens ein Teilnehmer zustimmte, dass dieser seiner Meinung nach gegeben ist, aber oft waren die Teilnehmer unentschieden, weil sie (noch) nicht einschätzen konnten, ob der genannte Vorteil sich tatsächlich in der Praxis zeigt.

### **Wahrgenommene Nachteile und Hindernisse der Nutzung der Online-Betriebsüberwachung**

Als erfahrene und mögliche Nachteile und Hindernisse des Einsatzes der Online-Betriebsüberwachungen nannten die Nutzer die folgenden Aspekte (die Nicht-Nutzer machten zu dieser Frage kaum Angaben):

- Dauerhafter Kontroll- und Optimierungsaufwand (auch weil Einstellungen im Sinne einer effizienten Heizungssteuerung immer wieder von unterschiedlichen Personen vor Ort, z.B. Handwerkern oder Hausmeistern, verändert würden)
- Fehlende Transparenz über die unterschiedlichen technischen Lösungen und Dienstleistungen auf dem Markt dahingehend, ob die von den Anbietern versprochenen Vorteile in der Praxis wirklich erzielt werden können
- Anbieter-Markt mit hoher Fluktuationsrate von Anbietern und technischen Lösungen der Online-Betriebsüberwachung und Unklarheit, welche Systeme und Anbieter der Online-Betriebsüberwachung sich auf dem Markt dauerhaft durchsetzen; daher bestehende Bedenken, auf schnell überholte Technologie zu setzen und Fehlinvestitionen zu tätigen

Im Anschluss an die offene Frage nach den erfahrenen oder wahrgenommenen Nachteilen und Hindernissen des Einsatzes der Online-Betriebsüberwachung wurden wiederum mehrere spezifische Fragen zu möglichen Nachteilen und Hindernissen gestellt, bei denen die Teilnehmenden jeweils um eine Ja- oder Nein-Antwort gebeten wurden, ob sie diese erfahren haben bzw. erwarten.

Hohe Zustimmung von mehreren Teilnehmern gab es vor allem hinsichtlich zweier Nachteile bzw. Hindernisse:

- Hoher Abstimmungsaufwand mit dem Softwareanbieter und mit den für Betrieb und Wartung zuständigen Heizungstechniker\*innen oder Hausmeister\*innen bei Einführung und Betrieb der Online-Betriebsüberwachung
- Datenschutzbedenken und Bedenken zum Netzwerkschutz wegen potenzieller Hackerangriffe (z.B. wegen der Weiterleitung von Daten an Softwarebetreiber)

Sehr heterogene Einschätzungen gab es dazu, ob die folgenden Aspekte einen Nachteil bzw. ein Hindernis der Online-Betriebsüberwachung darstellen: Aufwand bzw. Kosten für Einführung und laufenden Betrieb, Schulungsaufwand von Mitarbeiter\*innen als relevanter Kostenfaktor, Widerstand oder Beschwerden von Mieter\*innen.

### **Abwägung von Vor- und Nachteilen der Online-Betriebsüberwachung**

Aufgrund der intensiven Diskussionen zu den Vor- und Nachteilen konnte bei der Fokusgruppe nur noch ein schnelles Meinungsbild zu der Abwägung der Fokusgruppenteilnehmer zwischen den Vor- und Nachteilen des Einsatzes der Online-Betriebsüberwachung eingeholt werden. Obwohl zuvor mehrere Nachteile und Hindernisse des Einsatzes von den Teilnehmern genannt und hervorgehoben wurden, bejahten alle Teilnehmer (außer eines Teilnehmers aus der Gruppe der Nicht-Nutzer, der sich bei dieser Abstimmung enthalten hat) die Frage, ob sie sich mit ihrem momentanen Wissen und ihren bisherigen Erfahrungen für den (Wieder-)Einsatz der Online-Betriebsüberwachung entscheiden würden. Offensichtlich überwiegen die wahrgenommenen Vorteile für fast alle Teilnehmenden die wahrgenommenen Nachteile.

### **Konsequenzen aus den Fokusgruppenergebnissen**

Als Aufgaben für die zukünftige Forschung ergibt sich aus der Fokusgruppe zur Online-Betriebsüberwachung, noch weitere Befragungen (möglichst auch Repräsentativbefragungen mit einer aussagekräftigen Stichprobengröße) in Wohnungsunternehmen durchzuführen, um noch besser die Wissensbedarfe sowie die wahrgenommenen Vorteile und Nachteile und damit die Gründe für die (Nicht-)Akzeptanz dieser Technologie zu verstehen, was eine wichtige Voraussetzung für die zielgerichtete Gestaltung von Informations- und Aufklärungsmaßnahmen als auch Vermarktungsstrategien zu dieser Technologie darstellt. Dabei sollten sich die Informations- und Aufklärungsmaßnahmen nicht nur an Unternehmen richten, sondern auch an Mieter\*innen, um auch hier Wissen und Akzeptanz für diese Technologie zu schaffen und bestehenden Bedenken (z.B. zum Datenschutz) zu begegnen.

Konkret bedarf es für die Wohnungsunternehmen einer Verbesserung der Markttransparenz zu den tatsächlich sinnvollen, anwendbaren und dauerhaft zur Verfügung stehenden technischen Lösungen und Anbietern für die Online-Betriebsüberwachung. Hierfür wären unabhängiges Evaluationsstudien zu der Wirksamkeit und den Effekten der unterschiedlichen technischen Lösungen für die Online-Betriebsüberwachung hilfreich.

## **11.2 Fokusgruppen Smarte Thermostate**

### **11.2.1 Methodik**

Zum Thema smarte Thermostate wurden zwei jeweils zweistündige Fokusgruppen zum einen mit Vertreter\*innen aus Privathaushalten, die smarte Thermostate bereits einsetzen, und zum anderen

mit Personen aus Privathaushalten durchgeführt, die diese Technologie noch nicht einsetzen. Diese Aufteilung in Nutzer\*innen und Nicht-Nutzer\*innen erfolgte vor allem, um eine Beeinflussung der Nicht-Nutzer\*innen durch die Nutzer\*innen zu vermeiden und um zu vermeiden, dass sich die Nicht-Nutzer\*innen an den Diskussionen in der Fokusgruppe kaum beteiligen, da sie durch den Wissens- bzw. Erfahrungsvorsprung der Nutzer\*innen eingeschüchtert werden. Durch dieses Vorgehen konnte zum einen die durch konkrete Erfahrungen mit smarten Thermostaten geprägte Bewertung dieser Technologie und zum anderen die Bewertung abgebildet werden, die Menschen vor einer Kaufentscheidung zum Beispiel auf Basis von Informationen aus den Medien haben.

### **Teilnehmendenrekrutierung und Teilnehmende**

Die Teilnehmenden der beiden Fokusgruppen wurde durch ein Marktforschungsinstitut rekrutiert, das auf die Durchführung von Fokusgruppen spezialisiert ist. Als Kriterien für die Rekrutierung wurde für beide Fokusgruppen festgelegt, dass jeweils acht erwachsene Personen mit einem Mix von Bewohner\*innen sowohl von Einfamilien- als auch von Mehrfamilienhäusern gewonnen werden sollten. Für die Nutzer\*innen-Fokusgruppe sollten Personen gewonnen werden, die irgendeine Form smarter Thermostate in ihrer Wohnung nutzen (ohne Quote für bestimmte Anbieter / Marken). Bei der Nicht-Nutzer\*innen-Gruppe sollten Personen gewonnen werden, die noch keine smarten Thermostate nutzen, aber offen dafür sind. Die Teilnehmenden erhielten für ihre Teilnahme jeweils eine Aufwandsentschädigung von 60 Euro.

In dieser Weise konnten für jede Fokusgruppe jeweils acht Personen entsprechend den zuvor beschriebenen Kriterien für die Teilnahme gewonnen werden. Unter den Teilnehmenden waren Männer und Frauen in ungefähr gleichen Anteilen vertreten.

### **Ablauf und Themen der Fokusgruppe**

Die zwei Fokusgruppen fanden am 16. Mai 2022 (Nutzer\*innen-Gruppe) und am 23. Mai 2022 (Nicht-Nutzer\*innen-Gruppe) jeweils von 19-21 Uhr (d.h. außerhalb der Arbeitszeit) statt. Beide Fokusgruppen folgten demselben Ablauf:

1. Begrüßung, Vorstellung des Ablaufs und der Regeln für den Austausch
2. Vorstellungsrunde
3. Kurzpräsentation zur Vorstellung des DETECTIVE-Projektes
4. Präsentation zu Prinzip, Varianten und Einsparpotenzialen (Ergebnisse des DETECTIVE-Projektes) der digitalen Steuerung für Heizkörperthermostatventile sowie anschließende Klärung von Verständnisfragen
5. Moderierter Erfahrungs- und Meinungsaustausch zu
  - a. (möglichen) Anlässen und Gründen für die Anschaffung smarter Thermostate
  - b. erfahrenen bzw. wahrgenommenen Vorteilen, Nutzen- und Wirksamkeitsaspekten smarter Thermostate
  - c. erfahrenen bzw. wahrgenommenen Nachteilen von und Hindernissen für die Nutzung smarter Thermostate



- d. Abwägung zwischen Vor- und Nachteilen bzw. Nutzen und Kosten und den wichtigsten Entscheidungskriterien für oder wider die Nutzung smarter Thermostate
6. Kurze Zusammenfassung der Diskussionsergebnisse und Verabschiedung der Teilnehmenden

## 11.2.2 Ergebnisse

Die folgende Ergebnisdarstellung ist entsprechend den vier inhaltlichen Blöcken des Erfahrungs- und Meinungsaustausches (siehe oben: 5.a bis 5.d) gegliedert. Sofern vergleichbare Ergebnisse aus anderen Befragungsstudien zu smarten Thermostaten mit Privathaushalten vorliegen, werden die Ergebnisse aus den DETECTIVE-Fokusgruppen damit in Bezug gesetzt.

### **Anlässe und Gründe für die Anschaffung smarter Thermostate**

In der Nutzer\*innen-Gruppe wurden vielfältige Anlässe und Gründe für die Anschaffung der smarten Thermostate genannt und bei den meisten Personen waren mehrere Gründe für die Anschaffung entscheidend, wobei diese zum Teil eng miteinander zusammenhängen:

- Komfortmotive (sehr oft genannt), z.B. dass man in eine warme Wohnung kommt (und diese nicht erst aufheizen muss, um sich wohl zu fühlen) bzw. eine stabile Temperatur im Raum hat
- Steuerbarkeit aus der Ferne (mehrfach genannt), z.B. um die Heizung herunter zu regeln, wenn dies bei Verlassen der Wohnung vergessen wurde
- Mittel gegen die eigene Vergesslichkeit oder die anderer Bewohner\*innen (mehrfach genannt), z.B. wenn vergessen wurde, die Heizung bei Verlassen der Wohnung bzw. eines Zimmer runterzudrehen oder die Fenster zu schließen – offenbar mit dem zugrundeliegenden Motiv, Energieverschwendung bzw. -kosten zu vermeiden
- Reduzierung von Konflikten und Streitigkeiten unter Bewohner\*innen (mehrfach genannt) dadurch, dass bei Vergessen des Schließens von Fenstern oder des Runterregelns von Heizkörpern bei Verlassen des Zimmers / der Wohnung diese Fehler durch die smarten Thermostate korrigiert werden können; Konfliktvermeidung auch dadurch, dass die automatische Temperatursteuerung durch die Thermostate manuelles Hoch- und Runterdrehen von Heizkörpern durch unterschiedliche Personen vermeidet
- Geld-/Energie-/CO<sub>2</sub>-Einsparung (mehrfach genannt), wobei die Kosteneinsparung das deutlich öfter genannte Motiv für die Anschaffung war als die CO<sub>2</sub>-Einsparung bzw. ein Klimaschutzinteresse
- Technikaffinität (mehrfach genannt von männlichen Teilnehmern), z.B. dass man neue Technologien grundsätzlich gerne ausprobiert.

Dass die Technikaffinität und die Wahrnehmung der Technik eine wichtige Rolle spielt, zeigt sich auch in einer Studie aus den USA (Mamonov und Koufaris 2020), die die „techno-coolness“ als entscheidender Faktor für die Anschaffung von smarten Thermostaten identifiziert hat.

Zwei der Teilnehmenden der Nutzer\*innen-Gruppe nannten explizit Freunde, die sie "überzeugt" oder "überredet" hätten, smarte Thermostate anzuschaffen, was als Hinweis auf den Einfluss des direkten sozialen Umfeldes auf die Anschaffung von smarten Thermostaten ist.

Um mögliche Anlässe für die Anschaffung von smarten Thermostaten in der Nicht-Nutzer\*innen-Gruppe zu identifizieren, wurde die Teilnehmenden nach ihrer Zufriedenheit mit ihrer Heizung und Heizungssteuerung, ihrer Bewertung der zum Zeitpunkt der Fokusgruppe deutlich steigenden Heizkosten sowie ihrer Einschätzung der möglichen Heizkosteneinsparung durch den Einbau von smarten Thermostaten gefragt. Hier zeigte sich, dass bei den Nicht-Nutzer\*innen weder in gewissem Maße bestehende Unzufriedenheit mit der Heizung bzw. mit ihrer Steuerbarkeit noch die Steigerungen bei den Heizkosten dazu führten, dass sie ernsthaft überlegten, sich smarte Thermostate anzuschaffen. Dies war insofern überraschend, als die deutliche Mehrheit der Teilnehmenden auf die Frage nach möglichen Heizkosteneinsparungen durch den Einbau von smarten Thermostaten in ihren Wohnungen angaben, Einsparungen von 5 bis 20 Prozent zu erwarten. Wie schon bei den Nutzer\*innen zeigte sich damit auch hier, dass Heizkosteneinsparungen offenbar nicht – zumindest nicht zum Zeitpunkt der Fokusgruppen im Mai 2022 – das primäre bzw. alleinige Motiv für die Anschaffung von smarten Thermostaten ist. Gegebenenfalls könnte sich dies aber bei weiteren Steigerungen der Heizkosten ändern. Andererseits wurde durch die weitere Diskussion deutlich, dass den Nicht-Nutzer\*innen die Anschaffungskosten der smarten Thermostate im Vergleich zu dem erwarteten Nutzen (durch Heizkosteneinsparungen) zu hoch waren und sie weiterhin deutliche Datenschutzbedenken hatten (siehe Darstellung „Erfahrene und wahrgenommene Nachteile der Nutzung von smarten Thermostaten“).

### **Erfahrene und wahrgenommene Vorteile der Nutzung von smarten Thermostaten**

In der Nutzer\*innen-Gruppe berichteten die Teilnehmenden von unterschiedlichen Vorteilen, die sich durch die Nutzung smarter Thermostate bei ihnen gezeigt hätten. Diese waren weitgehend identisch mit den von ihnen genannten Anlässen und Gründen für die Anschaffung (siehe oben). Der Hauptvorteil des Einsatzes von smarten Thermostaten schien für die Nutzer\*innen in der Überprüfbarkeit und Steuerbarkeit der Temperatur bzw. der Heizung aus der Ferne zu liegen (inklusive des Erkennens geöffneter Fenster), weil sie dadurch eine bessere Kontrolle über die Temperatur bzw. den Komfort in der Wohnung hätten. Entsprechend stimmte die Mehrheit der Teilnehmenden der folgenden Aussage zu: „Durch die smarten Thermostate in meiner Wohnung habe ich eine bessere Temperaturkontrolle als bei klassischen Thermostaten, also mehr Klarheit darüber und Einfluss darauf, wann es wie warm in meiner Wohnung ist.“ Wiederum zeigte sich, dass die Komfortvorteile für die Teilnehmenden deutlich wichtiger waren als die ökonomischen und ökologischen Effekte, was sich mit Ergebnissen aus der weiteren Forschung zu smarten Thermostaten deckt (siehe z.B. Malekpour Koupaei et al. (2020)).

Als weiterer Vorteil, der bei den Anlässen für die Anschaffung noch nicht genannt worden war, wurde die Messung der Luftfeuchtigkeit genannt, so dass dadurch Schimmelbefall vermieden werden könne.

Auf die Frage, ob sich ihre Heizenergieverbräuche bzw. ihre Heizkosten seit dem Einsatz der smarten Thermostate bereits verringert haben (und wenn ja, um wieviel Prozent) hatten die Nutzer\*innen große Schwierigkeiten zu antworten, da ihnen hierfür die Informationen fehlten; denn bei mehreren Personen stellten die von ihnen verwendeten Thermostate keine Informationen zum Heizenergieverbrauch zur Verfügung. Weiterhin gaben sie an, dass durch Energiepreissteigerungen, einen vermehrten Aufenthalt in der Wohnung (z.B. durch coronabedingt gestiegene Home-Office-Zeiten) oder die Anschaffung eines Holzofens der Zeitvergleich von Heizkosten in verschiedenen

Jahren bzw. die Ursachenzuschreibung von Kostenveränderungen auf die smarten Thermostate schwer möglich sei. Dennoch gab die Hälfte der Teilnehmenden der Nutzer\*innen-Fokusgruppe Schätzungen zu den von ihnen eingesparten Heizenergieverbräuchen bzw. Heizkosten ab. Diese lagen zwischen 20 und 38 Prozent, sind aber mit großer Unsicherheit behaftet.

In der Nicht-Nutzer\*innen-Gruppe haben die Teilnehmenden auf die offene Frage nach von ihnen wahrgenommenen Vorteilen von smarten Thermostaten nur wenige genannt: Zwei Personen nannte die Ferneinstellungsmöglichkeit der Wohnungs-/Zimmertemperatur als Vorteil, jeweils eine Person nannte eine genauere Temperatureinstellung, etwas mehr Komfort und die Lüftungsempfehlung bei zu hoher Luftfeuchtigkeit. Auf die zwei konkreten Nachfragen, ob sie glauben, dass sie durch smarte Thermostate in ihrer Wohnung a) eine bessere Temperaturkontrolle bzw. b) eine bessere Verbrauchs- und Kostenkontrolle als bei klassischen Thermostaten hätten, antworteten die Teilnehmenden der Nicht-Nutzer\*innen-Gruppe aber mehrheitlich zustimmend, so dass sie in diesen Bereichen offenbar mehrheitlich Vorteile wahrnehmen. Dass sie smarte Thermostate aber trotz der wahrgenommenen Vorteile noch nicht angeschafft haben, liegt offenbar vor allem an der Wahrnehmung von Nachteilen bzw. Gefahren, wie der folgende Abschnitt deutlich macht.

### **Erfahrene und wahrgenommene Nachteile der Nutzung von smarten Thermostaten**

Als Nachteile und Hindernisse, die sie beim Einsatz von smarten Thermostaten in ihren Wohnungen erfahren haben, nannten die Nutzer\*innen die folgenden Aspekte:

- hohe Anschaffungskosten (meistgenannter Kritikpunkt, von fünf der acht Teilnehmenden als Nachteil genannt) und Unklarheit, ob sich diese amortisieren
- laute / störende Geräusche bei der Kalibrierung, die unter anderem nachts aufträten (von zwei Personen genannt)
- Verbindungsprobleme mit dem Internet (von zwei Personen genannt)
- „nervige“ Fehlermeldungen des Batteriestatus (von einer Person genannt)
- Raumtemperatur nicht wie vom Thermostat angegeben und Funktionsstörungen, so dass die Heizung voll aufgedreht werde (von einer Person für die von ihr genutzten, in der Anschaffung günstigen smarten Thermostaten genannt)

Auffällig ist, dass keine der Personen, die an der Nutzer\*innen-Fokusgruppe teilgenommen haben, Datenschutzbedenken als Nachteil oder kritischen Punkt der Nutzung von smarten Thermostate nannte. Dies war bei den Nicht-Nutzer\*innen deutlich anders, wie die folgenden Ausführungen zeigen.

Von den Nicht-Nutzer\*innen wurden folgende Bedenken hinsichtlich der Anschaffung oder Nutzung smarter Thermostate genannt:

- Datenschutz/-sicherheit (von der Mehrheit der Teilnehmenden als Bedenken geäußert), z.B. könne sich gegebenenfalls jemand Externes durch die smarten Thermostate in die heimische IT-Infrastruktur „einhacken“ oder es sei für Externe (z.B. für Diebe) auslesbar, wann jemand zu Hause sei. Dass Bedenken zu Datenschutz und Datensicherheit bei Smart Home Lösungen zeigt auch die weitere Forschung (z.B. Barbosa et al. (2020))

- hohe Anschaffungskosten (von einigen Teilnehmenden als problematisch wahrgenommen): Über die ungefähren Anschaffungskosten für smarte Thermostate wurden die Teilnehmenden während der Fokusgruppe informiert, und sie nahmen diese als sehr hoch wahr.
- Batterieeinsatz in den Thermostaten (von einigen Teilnehmenden als problematisch wahrgenommen): Unklarheit, was passiert, wenn die Batterien leer seien; Unklarheit / Bedenken hinsichtlich der schädigenden Umweltauswirkungen der Batterien (auch dahingehend, dass etwaige positive Umweltauswirkungen durch Einsparungen im Heizenergieverbrauch durch negative Umweltauswirkungen des Einsatzes von Batterien zunichte gemacht werden könnten)
- Unklarheit, was passiert, wenn das Handy, der Strom oder das WLAN ausfalle und ob dann noch eine manuelle Heizungssteuerung möglich sei (von zwei Teilnehmenden geäußert)

Bei der Beurteilung der Nachteile der smarten Thermostate durch die Nicht-Nutzer\*innen zeigten sich also deutlich andere wahrgenommene Nachteile als bei den Nutzer\*innen. Die wahrgenommenen Nachteile (z.B. die Bedenken, dass die Heizung bei Einsatz von smarten Thermostaten nicht mehr manuell steuerbar sei) weisen auf Wissensdefizite hinsichtlich der Funktionsweise von smarten Thermostaten hin.

### **Abwägung von Vor- und Nachteilen smarter Thermostate**

Auf die Frage, ob sie sich mit ihrem momentanen Wissen und Erfahrungen zu den von ihnen genutzten smarten Thermostaten wieder für deren Anschaffung entscheiden würden, antworteten fast alle Teilnehmenden aus der Gruppe der Nutzer\*innen positiv. Nur ein Teilnehmer – und zwar derjenige, der zuvor angegeben hatte, dass es deutliche Funktionsstörungen mit seinen Thermostaten gebe – sagte, dass er sich wahrscheinlich nicht wieder für die Anschaffung von smarten Thermostaten entscheiden würde, da für ihn der Nutzen und der Komfort nicht so groß waren wie erwartet. Für die anderen Nutzer\*innen überwogen aber deutlich die Vorteile, insbesondere die erzielten Komfortgewinne. Die eventuell durch die smarten Thermostate erzielten Energieeinsparungen spielten in der Abwägung der Vor- und Nachteile für die Nutzer\*innen nur eine untergeordnete Rolle.

Für die Nicht-Nutzer\*innen zeigte sich ein deutlich anderes Bild: Niemand zeigte sich vollends überzeugt von smarten Thermostaten, aber es zeigte sich auch niemand klar abgeneigt. Viele der Teilnehmenden der Fokusgruppe wollen sich weiter über informieren, um besser die Vor- und Nachteile einschätzen zu können.

### **Konsequenzen aus den Fokusgruppenergebnissen**

Als Aufgaben für die zukünftige Forschung ergibt sich aus den zwei Fokusgruppen zu smarten Thermostaten, noch weitere Befragungen (möglichst auch Repräsentativbefragungen mit aussagekräftigen Stichprobengrößen) in Privathaushalten durchzuführen, um noch besser die Wissensbedarfe sowie die wahrgenommenen Vor- und Nachteile und damit die Gründe für die (Nicht-)Akzeptanz dieser Technologie zu verstehen, was eine wichtige Voraussetzung für die zielgerichtete Gestaltung von Informations- und Aufklärungsmaßnahmen als auch Vermarktungsstrategien zu dieser Technologie darstellt. Diese weiteren Befragungsstudien erscheinen auch deswegen sinnvoll, weil

sich durch die in den letzten Monaten stark gestiegenen Energiepreise der Kontext und damit gegebenenfalls auch die Motivation zum Einsatz smarter Thermostate verändert hat.

Wie bei der Technologie der Online-Betriebsüberwachung für Wohnungsunternehmen bedarf es auch einer Verbesserung der Markttransparenz der unterschiedlichen technischen Lösungen für die digitale Steuerung von Heizkörperthermostatventilen in Privatwohnungen, damit die Menschen einschätzen können, welche Lösungen für sie sinnvoll, anwendbar und wirksam sind. Dass Testinstitute wie die Stiftung Warentest zu smarten Thermostaten bereits Tests veröffentlicht haben, ist in diesem Sinne zu begrüßen.

## 12 Politische Handlungsempfehlungen für den Wärmebereich

### 12.1 Betriebsüberwachung von Heizungsanlagen

#### 12.1.1 Mehrfamilienhäuser

Die Auswertung der erzielten Energie- und Treibhausgas-Einsparungen durch Online-Betriebsüberwachung in großen Mehrfamilienhäusern zeigen das hohe Potenzial dieser Anwendung: 5 % bis 10 % der für die Wärmeerzeugung verwendeten Energie lassen sich damit im Durchschnitt einsparen (siehe Kapitel 10.1). Grundlegend ist dabei, dass bei der Betriebsüberwachung nicht nur Daten erfasst, sondern diese auch ausgewertet und entsprechende Optimierungsmaßnahmen ergriffen werden. Die hier ausgewerteten Daten betreffen Gas-Heizungen, optimierte Einstellungen führen aber auch bei anderen Energieträgern, wie Öl, Holz oder Fernwärme, oft zu einem deutlich geringeren Verbrauch. Insbesondere die Effizienz von Wärmepumpen und Hybrid-Heizungssystemen kann von einer Betriebsüberwachung und Optimierung profitieren.

Bisher kommt nur in schätzungsweise 1 % der großen Mehrfamilienhäuser eine solche Betriebsüberwachung und Optimierung zum Einsatz. Zwar ist die Anwendung meist innerhalb weniger Jahre rentabel, zumindest die anfänglichen Investitionskosten werden aber vom Eigentümer getragen, während die reduzierten Energiekosten den Mieter\*innen zu Gute kommen. Die Betriebsüberwachung bietet dennoch auch den Eigentümer\*innen viele Vorteile. Vertreter\*innen von Wohnungsunternehmen haben insbesondere die folgenden Vorteile der digitalen Heizungsüberwachung genannt, von denen ihre Unternehmen profitiert haben (siehe auch detailliertere Darstellung in Kapitel 11.1):

- Bessere Prozesskontrolle und Anlagenüberwachung
- Reduktion der Fehlerquote im Überwachungsprozess und in der Rechnungsstellung
- Kostengünstigerer Betrieb wegen Reduktion der Störungen und Reparaturen
- Längere Lebensdauer der Anlagen

Da das Einsparpotenzial vor allem im größtenteils noch fossil beheizten Gebäudebestand liegt, sollten politische Maßnahmen die Nachrüstung von großen Mehrfamilienhäusern mit einer Online-Betriebsüberwachung und Optimierung adressieren. Dabei ist einerseits die messtechnische Ausrüstung und Datenerfassung und andererseits die Nutzung der Informationen zur Optimierung des

Heizungsbetriebes sicherzustellen. Aktuell ist oft nicht einmal die (digitale) Messausstattung (Endenergieverbrauchszähler, Wärmemengenzähler) vorhanden, um die Effizienz eines Gerätes im Betrieb zu bewerten.

Für Nichtwohngebäude mit einer Heizungsanlage ab einer Nennleistung von 290 kW schreibt die europäische Richtlinie zur Gebäudeenergieeffizienz (EPBD) (EU-Parlament 2018) bereits die Ausstattung mit Systemen für die Gebäudeautomatisierung und -steuerung bis zum Jahr 2025 vor, die in der Lage sein müssen Effizienzverluste von gebäudetechnischen Systemen zu erkennen. Die Umsetzung in deutsches Recht steht aktuell noch aus, muss aber dringend erfolgen.

Die Richtlinie gibt den Mitgliedsstaaten auch die Möglichkeit Anforderungen festzulegen,

„um sicherzustellen, dass Wohngebäude ausgerüstet sind mit:

a) einer kontinuierlichen elektronischen Überwachungsfunktion, welche die Effizienz des Systems misst und den Eigentümer oder Verwalter des Gebäudes darüber informiert, wenn die Effizienz erheblich nachgelassen hat und eine Wartung des Systems erforderlich ist, und

b) wirksamen Steuerungsfunktionen zur Gewährleistung der optimalen Erzeugung, Verteilung, Speicherung und Nutzung der Energie.“

Sinnvoll wäre es diese Anforderungen für Wohngebäude mit Heizungsanlagen ab einer Nennleistung von 290 kW – analog zum Grenzwert bei Nichtwohngebäuden – im Gebäudeenergiegesetz festzuschreiben.

So wären zumindest die Datenerfassung und Analyse als Voraussetzung für die Optimierung in größeren Mehrfamilienhäusern gegeben.

Zusätzlich sollten Anreize geschaffen werden, um Optimierungsmaßnahmen für den Betrieb der Heizungsanlage umzusetzen. Mieter\*innen sollten mit der Heizkostenabrechnung über die Effizienz des Systems informiert werden. Werden vorgegebene Benchmarks<sup>17</sup> nicht erreicht, könnten Eigentümer\*innen verpflichtet werden, Maßnahmen zur Optimierung nachzuweisen um Abschläge bei der Umlegung der Betriebskosten zu vermeiden. Ein steigender CO<sub>2</sub>-Preis mit einem vom Vermieter zu tragenden Anteil bietet ebenfalls Anreize zur Heizungsoptimierung.

Bei den Wohnungsunternehmen ist oft nicht das Personal mit dem technischen Verständnis zur Auswertung der Daten vorhanden. Die Analyse und Ableitung von Maßnahmen können aber auch – wie bei den hier untersuchten Beispielen – durch externe Unternehmen erfolgen. Bei einem schnellen Hochlauf müssten zusätzliche Akteure in den Markt eintreten. Einzelne Messdienstleister beginnen bereits ihr Angebot entsprechend zu erweitern (Grinewitschus et al. 2021). Zentral ist auch die Zusammenarbeit zwischen dem Anbieter der Betriebsüberwachung und dem für die Wartung der Heizungsanlage des Gebäudes zuständigen Unternehmens. Es muss sichergestellt sein, dass optimierte Einstellungen nicht unabgesprochen zurückgesetzt werden, z. B. aufgrund von Mieterbeschwerden.

---

<sup>17</sup> Die großflächige Erfassung von Daten zur Effizienz von Heizungssystemen könnte genutzt werden um, abhängig von der genutzten Technologie, Ziel- oder Minimalwerte für die Effizienz zu etablieren.

Um die Einführung zu erleichtern und einen freiwilligen Hochlauf auch für Wohngebäude mit kleineren Heizungsanlagen zu unterstützen, sollten Informationsangebote zur Online-Betriebsüberwachung und Optimierung für Wohnungsgesellschaften geschaffen werden. Von Wohnungsunternehmen wird eine mangelnde Transparenz am Markt über die Angebote beklagt, und es besteht die Befürchtung bei Fehlinvestitionen zu tätigen und auf schnell überholte digitale Technologien zu setzen (siehe Kapitel 11.1). Bei kleinen Unternehmen und Genossenschaften bestehen ggf. auch keine personellen Kapazitäten sich in die Thematik einzuarbeiten. Eine öffentliche Stelle mit Informationen und Ansprechpartner\*innen, z.B. bei der dena oder im Rahmen der Energiewechselkampagne des BMWK (BMWK 2023), könnte hier helfen über die Technologie und ihre Vorteile und Möglichkeiten aufzuklären. Dabei sollten insbesondere die o. g. Co-Benefits der Anlagen-Digitalisierung neben der Energieeinsparung für Wohnungsunternehmen verdeutlicht werden.

## 12.1.2 Einfamilienhäuser und kleine Mehrfamilienhäuser

Es ist anzunehmen, dass auch in Einfamilienhäusern im Durchschnitt ein erhebliches Einsparpotenzial in der Optimierung der Betriebseinstellungen vorhanden ist. Zwar ist eine kontinuierliche Online-Betriebsüberwachung und Optimierung durch ein spezialisiertes Unternehmen, wie in Kapitel 8.2.2 für Mehrfamilienhäuser beschrieben, für Einfamilienhäuser aktuell nicht wirtschaftlich – und auch aufgrund begrenzter personeller Kapazitäten kaum umsetzbar –, dennoch kann auch in diesem Gebäudesegment die Digitalisierung dabei unterstützen, das Einsparpotenzial zu heben.

Bisher beschränkt sich die Betriebsüberwachung der Heizungsanlage in diesem Gebäudesegment meist auf die verpflichtenden Kontrollen durch den/die Schornsteinfeger\*in – wenn es sich um eine Feuerungsanlage (Verbrennung von Gas, Öl oder Biomasse) handelt und ggf. die Wartung durch den Heizungsbau-Betrieb. Dabei liegt der Fokus der Feuerstättenschau durch das Schornsteinfegerhandwerk auf der Betriebssicherheit. Zwar ist der/die Betreiber\*in laut § 60 des GEG verpflichtet die Komponenten der Heizungsanlage mit Einfluss auf die Effizienz regelmäßig durch eine fachkundige Person warten zu lassen, Zeitabstände und Inhalte sind aber nicht vorgegeben und die Verpflichtung wird auch nicht kontrolliert. Eine regelmäßige Wartung findet daher nicht in jedem Fall statt. Da den Nutzer\*innen in der Regel die Effizienz der Heizungsanlage nicht ersichtlich ist, liegt das Ziel bei Korrekturen der Einstellungen oft lediglich darin, dass es „ausreichend warm“ wird. Grundsätzlich sollte eine regelmäßige Überprüfung und Optimierung von Heizungsanlagen vorgeschrieben sein – die digitale Erfassung von Energieverbräuchen und Wärmeerzeugung und die Online-Überwachung der Messwerte und Einstellungen kann diesen Prozess unterstützen.

Neue Heizungsanlagen sollten über eine gut sichtbare digitale Effizienz-Anzeige verfügen. Die Energieverbräuche und erzeugten Wärmemengen sollten erfasst und gespeichert werden, so dass Vergleiche mit vergangenen Jahren möglich sind. Die Effizienzanzeige sollte einordnen, ob die Effizienz im erwartbaren Bereich liegt – etwa durch eine farbliche „Ampel“. Eine solche Anzeige ermöglicht den Betreiber\*innen zu erkennen, wenn die Anlage nicht optimal läuft, und eine Wartung zu veranlassen. Die gespeicherten Werte ermöglichen bzw. erleichtern eine Analyse des Betriebsverhaltens durch das Fachunternehmen. Die Möglichkeit des Fernzugriffes sollte optional gegeben sein, um die Überprüfung und Änderung von Einstellungen zu vereinfachen.

Eine Regelung der Anforderungen an die Messausstattung von Wärmeerzeugern über eine Ökodesign-Verordnung auf europäischer Ebene ist im Prinzip sinnvoll. Ebenso – und vermutlich schneller – können entsprechende Anforderungen an Heizungsanlagen aber auch über das Gebäudeenergiegesetz geschaffen werden.

## 12.2 Smarte Thermostate

### 12.2.1 Einfamilienhäuser

Für Einfamilienhäuser ist ein durchschnittliches Energie-Einsparpotenzial von etwa 4 % für die Nutzung von smarten Thermostaten mit konventionellen Heizkörpern belegt. Damit lassen sich erhebliche Energie- und Treibhausgaseinsparungen erzielen (siehe Kapitel 10.2). Auch im Vergleich zu den durch die Herstellung der Geräte entstehenden Treibhausgasemissionen überwiegen die Einsparungen im Durchschnitt deutlich.

Zu beachten ist jedoch, dass die Bandbreite der erzielten Einsparungen stark schwankt und smarte Thermostate im Einzelfall nicht immer zu Einsparungen führen. Teilweise wurden auch erhebliche Mehrverbräuche beobachtet (siehe Kapitel 8.2.5), die möglicherweise auf Rebound-Effekte durch die einfachere Bedienung der Heizkörper zurückzuführen sind. Die erzielbaren Einsparungen sind stark von den persönlichen Umständen (Aufenthaltszeiten, Motivation und Verständnis für die Nutzung) und vom Zustand des Gebäudes abhängig.

Da eine Energieeinsparung nicht in jedem Fall gegeben ist, ist eine Verpflichtung zur Nachrüstung nicht sinnvoll.

Sinnvoll könnte unter Umständen eine teilweise Förderung der Nachrüstung<sup>18</sup> in Einfamilienhäusern sein, da hier die Anschaffung durch motivierte Nutzer\*innen unterstützt wird. Gefördert werden sollten nur smarte Thermostate, die mit dem Wärmeerzeuger kommunizieren: für eine auf diese Weise ermöglichte bedarfsgeführte Regelung der Vorlauftemperatur ist insbesondere im Vergleich zu oft nicht optimal eingestellten Heizkurven ein zusätzliches Einsparpotenzial anzunehmen (siehe Kapitel 8.2.3.3). Voraussetzung für die Förderung sollte der Nachweis eines erfolgten hydraulischen Abgleichs sein, da nur dann eine korrekte Funktion sichergestellt ist. Denkbar wäre auch eine Einschränkung auf smarte Thermostate ohne Batterie, um Batterieabfälle zu reduzieren.

### 12.2.2 Mehrfamilienhäuser

Für Mehrfamilienhäuser ist die Datenlage zum Einsparpotenzial gering (siehe Kapitel 8.2.5). Grundsätzlich ist nur bei einer Ausstattung aller Wohnungen eines Gebäudes ein relevantes Einsparpotenzial auf Gebäudeebene zu vermuten, da bei der Nutzung nur in einzelnen Wohnungen von einem erhöhten „Wärmeklau“, d.h. Einsparungen in einzelnen Wohnungen zu Lasten anderer Wohnungen, auszugehen ist. Auch bei einer Komplettausstattung des Gebäudes, wird das Einsparpotenzial je nach Zusammensetzung der Mieterschaft (z.B. Anwesenheitszeiten, Motivation und Verständnis der Funktionen) stark variieren.

Für eine generelle Nachrüstpflcht durch Vermieter, wie etwa durch die dena vorgeschlagen (dena 2022a), fehlt daher bisher eine ausreichende Datengrundlage.

---

<sup>18</sup> Aktuell besteht bereits die Möglichkeit der Förderung elektronischer Thermostate bei Anschaffung einer neuen Heizungsanlage innerhalb der BEG-Einzelmaßnahmen. Dies gilt jedoch nicht für den Kauf smarter Thermostate in Verbindung mit einer Bestands-Heizungsanlage.



Der Effekt einer Ausstattung mit smarten Thermostaten in Mehrfamilienhäusern sollte daher weiter durch reale Messungen in einer größeren Anzahl von Gebäuden untersucht werden. Wichtig wäre dabei, die möglichen Einspareffekte von anderen Optimierungsmaßnahmen an der Heizungsanlage zu trennen. Dafür müsste entweder ein Jahr vor der Umstellung auf smarte Thermostate eine Heizungsoptimierung durchgeführt werden, oder für zwei Jahre darauf verzichtet werden.

Daher wird eine Förderung für die Ausstattung einzelner Wohnungen mit smarten Thermostaten nicht empfohlen, sondern nur ein Komplettausstattung von Mehrfamilienhäusern, wenn die smarten Thermostate mit dem Wärmeerzeuger kommunizieren und so Komponenten zur Optimierung des gesamten Heizungssystems darstellen (siehe oben).

Bei einer Ausrüstung von vermieteten Wohnungen durch den oder die Eigentümer\*in wäre in jedem Fall nur eine Variante ohne Batterien sinnvoll, da der ca. jährliche Batteriewechsel zu wartungs- und kostenintensiv ist. Eine mögliche Förderung im Bereich der Mehrfamilienhäuser sollte daher gezielt nur Stellantriebe ohne Batterie betreffen, auch um Batterieabfälle zu reduzieren.

Der Einspareffekt von smarten Thermostaten bei den im Vergleich zu konventionellen Heizkörpern träger reagierenden Flächenheizungen ist unklar, so dass aktuell keine ausreichende Datengrundlagen für eine Verpflichtung zu smarten Thermostaten bei dieser im Neubau verbreitet eingesetzten Technologie besteht.

### 12.2.3 Regulierung smarter Thermostate - Ökodesign

Die möglichen Energieeinsparungen, der Energie- und der Ressourcenverbrauch smarter Thermostate könnten durch ordnungsrechtliche Anforderungen an verschiedene Eigenschaften und Funktionen verbessert werden. Auf europäischer Ebene können über die Ökodesign-Richtlinie und darauf basierenden Verordnungen Anforderungen für energieverbrauchsrelevante Produkte erlassen werden.

Es wurde bereits eine Vorstudie zu möglichen Anforderungen an Systeme für Gebäudeautomation (Building Automation and Control Systems) erstellt (EU-Kommission). Bei einer möglichen zukünftigen Regulierung von Systemen zur Gebäudeautomation wäre es wichtig insbesondere auch smarte Thermostate ohne Kommunikation mit dem Wärmeerzeuger in der Definition mitzuerfassen.

Die Haltbarkeit bzw. Nutzungsdauer der smarten Thermostate könnte dadurch erhöht werden, dass die Möglichkeit des Betriebs auch unabhängig von der Verfügbarkeit von Software-Updates oder dem Cloud-Service des Herstellers sichergestellt wird, etwa durch Anforderungen an Open Source Schnittstellen.

Um den Verbrauch von Batterien durch smarte Thermostate zu verringern, sind zwei Ansätze denkbar: einerseits könnte eine Art „Mindestlebensdauer“ bzw. ein „maximaler Energieverbrauch“ gefordert werden. Nachteil dieses Ansatzes wäre, dass zunächst Messvorschriften für den Energieverbrauch entwickelt werden müssen (Annahmen zu täglichen Temperaturverläufen, Nutzungsverhalten und sich daraus ergebenden Schaltvorgängen). Da aber andererseits bereits Technologien existieren, bei denen die smarten Stellantriebe ohne Batterien auskommen – „energy harvesting“ der Wärme der Heizkörper oder Anschluss über Kabel – könnte auch geprüft werden einen batterielosen Betrieb direkt zum Standard zu machen. Damit würde die Anzahl der Batterieabfälle durch smarte Thermostate erheblich reduziert.

Solange der Einsatz von Batterien in den Stellantrieben smarter Thermostate weiter erlaubt ist, sollte das Verhalten beim Ausfall der Batterie vorgeschrieben werden: wenn die Batterie (nahezu) leer ist, muss das Ventil geschlossen und so verbleiben, bis eine neue Batterie eingelegt wird. Aktuell existieren Modelle, bei denen das Ventil bei leerer Batterie komplett öffnet. Wenn dies bei längerer Abwesenheit der Nutzer\*innen auftritt, kann es zu erheblicher Energieverschwendung kommen.

Die erzielbaren Energie-Einsparungen könnten durch Anforderungen an die Funktionsweise der smarten Thermostate und der Kommunikation mit dem Nutzenden erhöht werden:

So sollten wertende Angaben oder Empfehlungen zu Raumtemperaturwerten in der Benutzeroberfläche zur Bedienung von smarten Thermostaten, z.B. in einer Smartphone-App, klar auf Energieeinsparungen ausgerichtet sein. Temperaturen von 18°C oder 19°C dürfen nicht als „zu kalt“ eingeordnet werden.

Außerdem sollten smarte Thermostate – wie alle Arten von Thermostaten - von Vorgaben für die Genauigkeit der Temperaturmessung erfasst werden.

Im Sinne von Datensparsamkeit sollten nur so viele Daten übertragen werden, wie für die Erfüllung der Funktion notwendig ist. Außerdem sollten die Daten nach spätestens drei Jahren wieder gelöscht werden. Für smarte Thermostate, die mit dem Wärmeerzeuger kommunizieren sollte die Option einer rein lokalen Datenverarbeitung ohne Verbindung zur Cloud des Herstellers gegeben sein.

## 13 Fazit und Ausblick

Der Rollout ist eine wichtige Voraussetzung für die technische Umsetzung der Energiewende, denn er bringt mehr Flexibilität ins Stromsystem. Verbraucher\*innen können damit flexible Tarife nutzen, in deren Preisgestaltung sich die Höhe des Stromangebots niederschlägt. Auch können elektrische Geräte direkt gesteuert werden und damit der Verbrauch an das Angebot angepasst werden. Die digitale Stromverbrauchserfassung bietet nicht zuletzt die Möglichkeit, den Verbraucher\*innen differenziert Auskunft über ihren Stromverbrauch zu geben. So können Einsparmöglichkeiten identifiziert und Vorschläge zu deren Erschließung gemacht werden.

Die Analysen zeigen jedoch, dass es insgesamt zu keinen nennenswerten Einsparungen kommt. Mit der Installation der Geräte und der kontinuierlichen Datenerhebung entstehen aber erhebliche Umweltwirkungen durch die Hardware und die Datenflüsse. Die relevanten negativen ökologischen Wirkungen des Rollouts können somit nicht kompensiert werden. Um die Bilanz zwischen ökologischem Aufwand und Nutzen auszugleichen, braucht es daher zweierlei: Einen durchdachten Rollout, bei dem durch effizienten Einbau maximale Einsparungen erzielt werden, und eine datensparsame Strategie, bei der die negativen Wirkungen der Geräte minimal gehalten werden.

Das Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende bietet die Chance, neuen Schwung in den Rollout zu bringen. Doch auch dieses sieht nicht den flächendeckenden Ausbau vor, nach dem Rolloutfahrplan mit verbindlichen Zielen bis zum Jahr 2030 sind die Messstellenbetreiber beauftragt, die angeschlossenen Verbrauchsstellen schrittweise mit Smart Metern auszustatten.

Daher ist es eine dringende Aufgabe, den Rollout so zu steuern, dass er zügig umgesetzt wird, dabei aber die Datenerhebung sparsam erfolgt und damit möglichst geringe ökologischen Wirkungen entstehen.

Im Wärmebereich lässt sich mit digitalen Anwendungen viel Energie einsparen. Das große Potenzial liegt hier vor allem darin durch die digitale Erfassung und Auswertung von Endenergie- und Wärmeverbrauchsdaten einen oft ineffizienten Betrieb der Heizungsanlage überhaupt erst sichtbar zu machen. Um die möglichen Energieeinsparungen dann zu realisieren, müssen dann Einstellungen – manuell oder per Fernsteuerung - angepasst und ggf. vor Ort hydraulische Probleme gelöst werden. Durch eine professionelle Betriebs- und Effizienzüberwachung auf Grundlage einer solchen digitalen Datenerfassung lassen sich in großen Mehrfamilienhäusern im Durchschnitt 5 % bis 10 % der Endenergie für Raumwärme und Warmwasser einsparen – die durch die elektronischen Bauteile und Datenübertragung erzeugten Emissionen fallen demgegenüber nicht ins Gewicht. Hier ist eine Nachrüstung sinnvoll und meist auch wirtschaftlich. Eine digitale Effizienzüberwachung sollte daher – analog zur Vorgabe für Nichtwohngebäude in der europäischen Gebäudeeffizienzrichtlinie – für Wohngebäude mit einer Heizungsanlage über 290 kW durch das Gebäudeenergiegesetz verpflichtend werden.

Von der Digitalisierung des Heizungssystems in ihren Mehrfamilienhäusern profitieren nicht nur die Mieter\*innen, sondern auch die Wohnungsunternehmen. In der Fokusgruppe nannten Vertreter\*innen der Wohnungswirtschaft, die bereits digitale Technik in ihren Heizungen einsetzen, dass dadurch eine bessere Anlagenüberwachung, eine Reduktion der Fehlerquote im Überwachungsprozess und in der Rechnungsstellung, eine höhere Zufriedenheit der Mieter\*innen und Kosteneinsparungen durch geringere Störanfälligkeit, geringeren Reparaturbedarf und eine längere Lebensdauer der Anlagen erreicht werden können.

Gleichzeitig sollten alle neuen Heizungsanlagen über eine gut sichtbare digitale Effizienz-Anzeige verfügen. Die Energieverbräuche und erzeugten Wärmemengen sollten erfasst und gespeichert werden, so dass Vergleiche mit vergangenen Jahren möglich sind. So wird die Effizienz auch für Betreiber\*innen kleinerer Heizungsanlagen – etwa in Einfamilienhäusern – transparent und befähigt sie einen suboptimalen Betrieb oder Fehlfunktionen zu erkennen und eine Wartung zu veranlassen.

Auch die Nutzung von smarten Thermostaten an konventionellen Heizkörpern kann zu erheblichen Energieeinsparungen führen, wenn auch nicht zwangsläufig. Bei dieser Technologie kommt es sehr auf die individuellen Umstände und Nutzung an – die Streuung der beobachteten Einsparungen und Mehrverbräuche ist hoch. Im Durchschnitt werden in Einfamilienhäusern jedoch 4% weniger verbraucht. Die Ökobilanz ist bei fossil erzeugter Wärme in Einfamilienhäusern bereits bei Energieeinsparungen von unter 1 % positiv. Dennoch sollten hier Ansätze zur Reduktion des Ressourceneinsatzes – etwas zur Vermeidung von Batterieabfällen – verfolgt werden, da es bereits Geräte ohne auszuwechselnde Batterien gibt. Über Ökodesign-Anforderungen auf EU-Ebene könnte auch eine Kommunikation mit dem Nutzenden vorgeschrieben werden, die zu einer energiesparenden Verwendung ermutigt.

Wenn smarte Thermostate nur in einzelnen Wohnungen genutzt werden, führt die Temperaturdifferenz zwischen unterschiedlich stark beheizten Wohnungen in Mehrfamilienhäuser zu einer Wärmeübertragung, so dass sich das ausschöpfbare Energieeinsparpotenzial für das gesamte Gebäude deutlich reduziert.

Die meisten eingesetzten smarten Thermostate haben keine Verbindung zum Wärmeerzeuger. Geräte, die mit dem Wärmeerzeuger kommunizieren können, ermöglichen hingegen ein zusätzliches Einsparpotenzial durch die Anpassung der Vorlauftemperatur an den abgefragten Wärmebedarf. Dies kann insbesondere gegenüber nicht optimal eingestellten Heizkurven von Vorteil sein.

## 14 Glossar

Intelligentes Messsystem	Eine moderne Messeinrichtung, die über ein Smart-Meter-Gateway in ein Kommunikationsnetz eingebunden ist (Deutscher Bundestag 2016).
Messstellenbetreiber	Es handelt sich entweder um den grundzuständigem Messstellenbetreiber oder um einen Dritten, der die Aufgabe des Messstellenbetriebs durch Vertrag nach § 9 des Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende wahrnimmt (Deutscher Bundestag 2016). Der technische Betrieb der Messstelle umfasst die „Installation, Inbetriebnahme, Konfiguration, Administration, Überwachung und Wartung der modernen Messeinrichtungen und intelligenten Messsysteme einschließlich der informationstechnischen Anbindung von Messeinrichtungen und anderen an das Smart-Meter-Gateway angebotenen technischen Einrichtungen sowie Ermöglichung weiterer energiewirtschaftlicher und sonstiger Dienste“ (Deutscher Bundestag 2016, 2036).
Moderne Messeinrichtung	Eine Messeinrichtung, die anhand eines mechanischen Zählwerks den tatsächlichen Elektrizitätsverbrauch und die tatsächliche Nutzungszeit erfasst und diese auf einem digitalen Display anzeigt (Deutscher Bundestag 2016; Jendrischik 2018). Moderne Messeinrichtungen können über ein Smart-Meter-Gateway sicher in ein Kommunikationsnetz eingebunden werden (Deutscher Bundestag 2016). In diesem Fall spricht man jedoch von einem „intelligenten Messsystem“ (Jendrischik 2018).
Smart Meter	Der Begriff entspricht dem des „intelligenten Messsystems“ (siehe oben).
Smart-Meter-Gateway	Die Kommunikationseinheit eines intelligenten Messsystems. Diese kann ein oder mehrere moderne Messeinrichtungen sowie weitere technische Einrichtungen wie Erzeugungsanlagen sicher in ein Kommunikationsnetz einbinden und verfügt über Funktionalitäten zur Erfassung, Verarbeitung und Versendung von Daten (Deutscher Bundestag 2016). Smart-Meter-Gateways müssen aus Gründen des Datenschutzes und der Datensicherheit vor der Anwendung vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) zertifiziert werden (Jendrischik 2018).
Smart-Meter-Rollout	Der Smart-Meter-Rollout in Deutschland umfasst den flächendeckenden Einbau von Smart Metern anhand eines dreistufigen Prozesses (Günther und Mengs 2018).
Ferraris-Zähler	Ferraris-Zähler (Einrichtungszähler) sind elektromechanische Messgeräte, bei denen in Abhängigkeit von einem leistungsabhängigen Drehfeld eine Multiplikation von Strom und Spannung im Messsystem erfolgt. Dadurch wird der Stromverbrauch eines Hauses gemessen (Kirchhof 2020).

## 15 Literaturverzeichnis

- Aretz, Astrid, Nesrine Ouanes, Helena Stange, Clara Lenk, Lars-Arvid Brischke und Romana Holzner (2022): Evaluation of the energy saving potential through systematic data collection of the electricity consumption and heating system operation in the building sector. *eceee 2022 Summer Study on energy efficiency: agents of change*: 1165–1177.
- BAFA (2021): BAFA - Förderbekanntmachung „Pilotprogramm Einsparzähler“. Website: [https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Einsparzaehler/einsparzaehler\\_node.html](https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Einsparzaehler/einsparzaehler_node.html) (Zugriff: 12. April 2023).
- Barbosa, Natã M., Zhuohao Zhang und Yang Wang (2020): Do privacy and security matter to everyone? quantifying and clustering user-centric considerations about smart home device adoption. In: *Proceedings of the Sixteenth USENIX Conference on Usable Privacy and Security*, S. 417–435. SOUPS'20. 10. August, USA.
- Bathke, Rouben (2020): EWE übernimmt Fresh Energy. *energategate messenger* (4. Dezember). <https://www.energategate-messenger.de/news/207788/ewe-uebernimmt-fresh-energy>.
- Beizae, Arash, David Allinson, Kevin J. Lomas, Ehab Foda und Dennis L. Loveday (2015): Measuring the potential of zonal space heating controls to reduce energy use in UK homes: The case of un-furbished 1930s dwellings. *Energy and Buildings* 92 (1. April): 29–44.
- Bionda, Davide (2016): Anwesenheitssensorenheizung - Thermische Simulationen zur Ermittlung des Heizenergieeinsparpotenzials. [https://www.researchgate.net/publication/324454445\\_Anwesenheitssensorenheizung\\_-\\_Thermische\\_Simulationen\\_zur\\_Ermittlung\\_des\\_Heizenergieeinsparpotenzials](https://www.researchgate.net/publication/324454445_Anwesenheitssensorenheizung_-_Thermische_Simulationen_zur_Ermittlung_des_Heizenergieeinsparpotenzials).
- Bionda, Davide und Silvia Domingo-Irigoyen (2017): Energy saving potential of occupancy-based heating control in residential buildings. *Energy Procedia* 122. CISBAT 2017 International Conference Future Buildings & Districts – Energy Efficiency from Nano to Urban Scale (1. September): 27–31.
- BMWK [Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz] (2023): 80 Millionen gemeinsam für Energiewechsel. Website: <https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Navigation/DE/Home/home.html> (Zugriff: 13. April 2023).
- BNetzA [Bundesnetzagentur] (2022): Monitoringbericht. Website: <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Monitoringberichte/start.html> (Zugriff: 23. März 2023).
- BSI [Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik] (2019): Technische Richtlinie BSI TR-03109-1. Anlage VII: Interoperabilitätsmodell und Geräteprofile für Smart-Meter-Gateways. [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/TechnischeRichtlinien/TR03109/TR-03109-1\\_Anlage\\_Interop-Modell-Geraeteprofile.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/TechnischeRichtlinien/TR03109/TR-03109-1_Anlage_Interop-Modell-Geraeteprofile.pdf?__blob=publicationFile&v=2).
- BSI [Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik] (2022a): Technische Eckpunkte für die Weiterentwicklung der Standards für die Digitalisierung der Energiewende. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. 17. Februar. Website: [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/technische\\_eckpunkte.html?nn=132646](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/SmartMeter/technische_eckpunkte.html?nn=132646) (Zugriff: 23. März 2023).
- BSI [Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik] (2022b): Smart Meter: Rücknahme der Allgemeinverfügung vom 7. Februar 2020 (archiviert). Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. 20. Mai. Website: [https://www.bsi.bund.de/DE/Service-Navi/Presse/Pressemitteilungen/Presse2022/220520\\_Uebergangregelung-SMGW.html?nn=520690](https://www.bsi.bund.de/DE/Service-Navi/Presse/Pressemitteilungen/Presse2022/220520_Uebergangregelung-SMGW.html?nn=520690) (Zugriff: 23. März 2023).
- Bundesministerium der Justiz (2021a): § 5 HeizkostenV - Einzelnorm. Gesetze im Internet. Website: [https://www.gesetze-im-internet.de/heizkostenv/\\_5.html](https://www.gesetze-im-internet.de/heizkostenv/_5.html) (Zugriff: 12. April 2023).
- Bundesministerium der Justiz (2021b): § 6a HeizkostenV - Einzelnorm. Gesetze im Internet. Website: [https://www.gesetze-im-internet.de/heizkostenv/\\_6a.html](https://www.gesetze-im-internet.de/heizkostenv/_6a.html) (Zugriff: 12. April 2023).

- Bundesregierung (2022a): MsbG -Messstellenbetriebsgesetz. Website: <https://www.gesetze-im-internet.de/messbg/index.html> (Zugriff: 23. März 2023).
- Bundesregierung (2022b): Novelle der Heizkostenverordnung.
- Bundesregierung (2023): Intelligente Strommessgeräte: Neustart für die digitale Energiewende. Website: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/digitale-energiewende-2157184> (Zugriff: 23. Mai 2023).
- Bundestag (2023): Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende. [https://www.bundestag.de/SharedDocs/drucksachen/2023/0101-0200/161-23.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundestag.de/SharedDocs/drucksachen/2023/0101-0200/161-23.pdf?__blob=publicationFile&v=1).
- CML, Institute of Environmental Sciences of Leiden University (2016): CML-IA Characterisation Factors. Website: <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors> (Zugriff: 14. Januar 2022).
- co2online (2023): Stromspiegel für Deutschland 2022/23. Website: <https://www.co2online.de/fileadmin/ssi/stromspiegel/Downloads/stromspiegel-tabelle-2023-print.jpg> (Zugriff: 12. April 2023).
- Cohen, Dario (2018): Vortrag von ista. Veranstaltung: Bitkom Digital Energy Conference, 7. Juni.
- Danfoss Hydraulischer Abgleich - Statisch, dynamisch oder automatisch. <https://assets.danfoss.com/documents/197434/AD306347951112de-DE0302.pdf>.
- DELTA-Q (2005): DBU Optimus – DELTA-Q. <https://www.delta-q.de/projekte/dbu-optimus/>.
- Demel, Manuel und Jürgen Benitz-Wildenburg (2013): ift-Fachinformation WA-23/1 – Energie sparen mit temporärem Wärmeschutz (TWS). Website: [https://www.ift-rosenheim.de/documents/10180/131529/FA\\_ift1307.pdf/5851ebb6-9cae-4476-9b31-21ceb160d2e4](https://www.ift-rosenheim.de/documents/10180/131529/FA_ift1307.pdf/5851ebb6-9cae-4476-9b31-21ceb160d2e4) (Zugriff: 23. März 2023).
- dena (2022a): Dena fordert gesetzliche Verpflichtung zum Einbau digitaler Heizkörperthermostate und Messsysteme. 17. Juni. Website: <https://www.dena.de/newsroom/meldungen/2022/statement-heizkoerper-thermostate-und-messsysteme/> (Zugriff: 13. April 2023).
- dena (2022b): dena-Gebäudereport 2023. 1. Oktober. Website: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/dena\\_Gebaeudereport\\_2023.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/dena_Gebaeudereport_2023.pdf) (Zugriff: 13. April 2023).
- Deutscher Bundestag (2016): Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende. <http://dipbt.bundestag.de/extrakt/ba/WP18/701/70189.html>.
- DIN e.V. (2006): ISO 14044:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. 1. Juli. <https://www.iso.org/standard/38498.html>.
- Discoveryg (2020): Interview mit Discoveryg.
- EU-Kommission Ökodesign-Vorstudie für Gebäudeautomations- und -steuerungssysteme. Website: [https://energy.ec.europa.eu/studies/preparatory-studies/ecodesign-preparatory-study-building-automation-and-control-systems\\_en](https://energy.ec.europa.eu/studies/preparatory-studies/ecodesign-preparatory-study-building-automation-and-control-systems_en) (Zugriff: 13. April 2023).
- EU-Parlament (2018): Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance). OJ L. Bd. 156. <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj/eng>.
- EWUS (2022): Interview mit EWUS.
- Fraunhofer ISE (2021): Nettostromerzeugung in Deutschland 2020. 4. Januar. Website: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2020/nettostromerzeugung-in-deutschland-2021-erneuerbare-energien-erstmal-ueber-50-prozent.html> (Zugriff: 17. Februar 2021).

- Gähns, Swantje, Hannes Bluhm, Elisa Dunkelberg, Jannes Katner, Julika Weiß, Peter Hennig, Laurenz Hermann und Matthias Knauff (2021): Potenziale der Digitalisierung für die Minderung von Treibhausgasemissionen im Energiebereich. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/potenziale-der-digitalisierung-fuer-die-minderung>.
- Grinewitschus, Viktor, Hannah Kubitzka, Karsten Fransen und Simon Jurkschat (2021): Abschlussbericht zum Vorhaben BaltBest Einfluss der Betriebsführung auf die Effizienz von Heizungsanlagen im Bestand. Abschlussbericht. TU Dresden, EBZ Business School. [https://www.ebz-business-school.de/fileadmin/user\\_upload/BaltBest\\_Abschlussbericht.pdf](https://www.ebz-business-school.de/fileadmin/user_upload/BaltBest_Abschlussbericht.pdf).
- Gröger, Jens (2020): Digitaler CO2-Fußabdruck Datensammlung zur Abschätzung von Herstellungsaufwand, Energieverbrauch und Nutzung digitaler Endgeräte und Dienste. Berlin. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Digitaler-CO2-Fussabdruck.pdf>.
- Günther, Niklas und Christoph Mengs (2018): Smart Metering - Einsparpotentiale für Kommunen? Leipzig: Universität Leipzig. <https://core.ac.uk/download/pdf/226140697.pdf>.
- Held, Elmar (2020): Wie funktioniert eigentlich die Anpassung einer Heizkurve? | Haustec. 2. Juni. Website: <https://www.sbz-monteur.de/wie-funktioniert-eigentlich/wie-funktioniert-eigentlich-die-anpassung-einer-heizkurve-effizienz-0> (Zugriff: 12. April 2023).
- Icha, Petra, Thomas Lauf und Gunter Kuhs (2021): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2020. Dessau-Roßlau. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-26\\_cc-45-2021\\_strom-mix\\_2021\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-26_cc-45-2021_strom-mix_2021_0.pdf).
- IWU (2015): Institut Wohnen und Umwelt (IWU): Gebäudetypologie und Gebäudebestand. 10. Februar. Website: <https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/gebaeudetypologie/> (Zugriff: 13. April 2023).
- Jendrischik, Martin (2018): Intelligentes Messsystem vs. moderne Messeinrichtung: Was ist der Unterschied? Website: <https://discovergy.com/blog/unterschied-intelligentes-messsystem-moderne-messeinrichtung> (Zugriff: 30. September 2020).
- kamstrup (2021): MULTICAL® 403. Website: <https://products.kamstrup.com/documents/570e50fd558fc.pdf> (Zugriff: 8. Februar 2022).
- Kersken, Matthias und Herbert Sinnesbichler (2013): Simulationsstudie zum Energiesparpotential einer Heizungsregelung mit Abwesenheitserkennung und Wetterprognose. <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/235049>.
- Kieback&Peter Kieback&Peter en:key Room Thermostat. EnOcean Alliance. <https://www.enocean-alliance.org/de/product/kieback-peter-en-key-room-thermostat/>.
- Kieback&Peter en:key: Installations- und Bedienungsanleitung. <https://www.shop-huber-haustechnik.de/media/pdf/a2/f8/e7/Enkey-Installationsanleitung-Huber-Haustechnik.pdf>.
- Kirchhof, Jörg (2020): Das Verhalten von elektronischen Elektrizitätszählern bei verzerrten Spannungen und nichtlinearen Lasten. emv : Internationale Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit, Köln, 2020: 319–326.
- Mailach, Bettina und Bernd Oschatz (2017): Kurzstudie Energieeinsparungen Digitale Heizung. 12. Januar. <http://www.wohnungswirtschaft-heute.de/dokumente/it-energieeinsparungen-digitale-heizung.pdf>.
- Malekpour Koupaei, Diba, Taikgun Song, Kristen S. Cetin und Jongho Im (2020): An assessment of opinions and perceptions of smart thermostats using aspect-based sentiment analysis of online reviews. Building and Environment 170 (1. März): 106603.
- Mamonov, Stanislav und Marios Koufaris (2020): Fulfillment of higher-order psychological needs through technology: The case of smart thermostats. International Journal of Information Management 52 (1. Juni): 102091.



- maxim integrated (2022): DS18B20+. Website: <https://www.maximintegrated.com/en/qa-reliability/emmi/content-lookup/product-content-info.html?partNumber=DS18B20%2B> (Zugriff: 8. Februar 2022).
- Mellwig, Peter, Julia Lempik, Sebastain Blömer und Martin Pehnt (2021): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3 Treibhausgasneutrale Hauptszenarien Modul Gebäude. 1. Oktober. <https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFS-Gebaeude.pdf>.
- Milojkovic, Filip (2021): GEM HOUSE openData: German electricity consumption in many households over three years 2018-2020 (Fresh Energy). <https://ieee-dataport.org/open-access/gem-house-opendata-german-electricity-consumption-many-households-over-three-years-2018>.
- Müller, Christian, Andrea Nicht, Heike Marcinek und Oliver Krieger (2017): Modellvorhaben Bewusst heizen, Kosten sparen. 1. Februar. Website: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9188\\_Abschlussbericht\\_dena\\_Modellvorhaben\\_Bewusst\\_heizen\\_Kosten\\_sparen.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9188_Abschlussbericht_dena_Modellvorhaben_Bewusst_heizen_Kosten_sparen.pdf) (Zugriff: 23. März 2023).
- O A (2022): Neustart für den Smart Meter Rollout – Aufbruch in ein digitales Energiesystem. <https://www.youtube.com/watch?v=k5aR81n3dLA>.
- Pohl, Johanna und Matthias Finkbeiner (2017): Digitalisation for sustainability? Challenges in environmental assessment of digital services. In: Lectures Notes in Informatics, S. 1995–2000. Veranstaltung: Informatik 2017, Bonn. Digitalisation for sustainability? Challenges in environmental assessment of digital services.
- Pohl, Johanna, Lorenz M. Hilty und Matthias Finkbeiner (2019): How LCA contributes to the environmental assessment of higher order effects of ICT application: A review of different approaches. *Journal of Cleaner Production* 219 (10. Mai): 698–712.
- Quack, Dietlinde, Ran Liu und Jens Gröger (2019): Smart Home – Energieverbrauch und Einsparpotenzial der intelligenten Geräte. 14. November. Website: <https://www.oeko.de/publikationen/p-details> (Zugriff: 23. März 2023).
- Rehm, Tobias (2020): Interview mit Tobias Rehm.
- Rehm, Tobias W., Thorsten Schneiders, Christel Strohm und Miriam Deimel (2018): Smart Home Field Test – Investigation of Heating Energy Savings in Residential Buildings. In: 2018 7th International Energy and Sustainability Conference (IESC), S. 1–8. Veranstaltung: 2018 7th International Energy and Sustainability Conference (IESC), Mai. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8439985>.
- Relay M-Bus Solutions (2022): PadPuls M2W. Website: <https://www.relay.de/produkte/m-bus-wireless/pad-puls-m2w> (Zugriff: 8. Februar 2022).
- Sagemcom Dr. Neuhaus GmbH (2016): Smart Meter Gateway (SMGW) für intelligentes Messsystem gemäß BSI. Website: [https://www.sagemcom.com/V02/fileadmin/user\\_upload/Energy/Dr.Neuhaus/Products/Fiches\\_prod\\_2016/DB\\_SMARTY\\_IQ-GPRS\\_1v2.pdf](https://www.sagemcom.com/V02/fileadmin/user_upload/Energy/Dr.Neuhaus/Products/Fiches_prod_2016/DB_SMARTY_IQ-GPRS_1v2.pdf) (Zugriff: 14. Januar 2022).
- Schäuble, Dominik, Adela Marian und Lorenzo Cremonese (2020): Conditions for a cost-effective application of smart thermostat systems in residential buildings. *Applied Energy* 262 (15. März): 114526.
- Scheepens, Arno E. und Joost G. Vogtländer (2018): Insulation or Smart Temperature Control for Domestic Heating: A Combined Analysis of the Costs, the Eco-Costs, the Customer Perceived Value, and the Rebound Effect of Energy Saving. *Sustainability* 10, Nr. 9 (September): 3231.
- Scheithauer, Bernd (2019): Wege zur Massenstromregulierung - Gebäude-Energieberater. 6. Juni. Website: <https://www.geb-info.de/heizungsoptimierung/wege-zur-massenstromregulierung> (Zugriff: 12. April 2023).
- Schlitzberger, Stephan Einsparpotenziale durch elektronische Heizkörperthermostate. Verbraucherzentrale NRW. Website: <https://www.verbraucherzentrale.nrw/pressemeldungen/verbraucherzentrale/einsparpotenziale-durch-elektronische-heizkoerperthermostate-19858> (Zugriff: 23. März 2023).
- Schödwel, Björn, Rüdiger Zarnekow, Ran Liu, Jens Gröger und Marc Wilkens (2018): Kennzahlen und Indikatoren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen

Anwendbarkeit. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-02-23\\_texte\\_19-2018\\_ressourceneffizienz-rechenzentren.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-02-23_texte_19-2018_ressourceneffizienz-rechenzentren.pdf).

Scott, James, A.J. Bernheim Brush, John Krumm, Brian Meyers, Michael Hazas, Stephen Hodges und Nicolas Villar (2011): PreHeat: controlling home heating using occupancy prediction. In: Proceedings of the 13th international conference on Ubiquitous computing, S. 281–290. UbiComp '11. 17. September, New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1145/2030112.2030151>.

Seifert, Joachim (2009): Ein Beitrag zur Einschätzung der energetischen und exergetischen Einsparpotentiale von Regelverfahren in der Heizungstechnik. Dresden: TUDpress Verlag der Wissenschaften Dresden. <http://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/item/S6X5PAJQVI5I4PIO3YTFYPATNDOK2TXD>.

Sias, Glenn Gregory (2017): Characterization of the Life Cycle Environmental Impacts and Benefits of Smart Electric Meters and Consequences of their Deployment in California. Los Angeles: University of California. Website: <https://escholarship.org/uc/item/3h2772v0> (Zugriff: 14. Januar 2022).

Sporysz, Rafael (2022): Interview mit Rafael Sporysz, Geschäftsführer EZN.

Stoppa, Helen, Brent Huchuk, Marianne F. Touchie und William O'Brien (2021): Is anyone home? A critical review of occupant-centric smart HVAC controls implementations in residential buildings. Building and Environment 187 (1. Januar): 107369.

tado Dein Starter Kit: Smartes Heizkörper-Thermostat. <https://www.tado.com/de-de/smartere-heizkoerper-thermostat>.

Tagesspiegel Background (2022): Deutscher Beitrag für Klimafinanzierung auf Rekordniveau. Tagesspiegel Background Energie & Klima (21. Oktober). <https://background.tagesspiegel.de/energie-klima/deutscher-beitrag-fuer-klimafinanzierung-auf-rekordniveau>.

Teltonika (2022): RUT955. Website: <https://teltonika-networks.com/de/product/rut955/> (Zugriff: 8. Februar 2022).

Viessmann (2022): GridBox. Viessmann. 27. Oktober. Website: <https://connectivity.viessmann.com/de-de/gridbox.html> (Zugriff: 12. April 2023).

Viessmann (2023): ViCare App - Energie & Zeit sparen | Viessmann. 1. März. Website: <https://www.viessmann.de/de/produkte/steuerung-und-konnektivitaet/vicare-app.html> (Zugriff: 12. April 2023).

Wernet, Gregor, Christian Bauer, Bernhard Steubing, Jürgen Reinhard, Emilia Moreno-Ruiz und Bo Weidema (2016): The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment 21, Nr. 9: 1218–1230.

wi-butler (2021): Interview mit einem Entwicklungsingenieur des Anbieters wi-butler.

wi-butler (2023): Steuerung | So lässt du deinen Butler für dich arbeiten. Website: <https://www2.wibutler.com/steuerung> (Zugriff: 12. April 2023).

## 16 Anhang

**Tab. 16.1: Kumulierte Endenergie-Einsparungen durch Smarte Thermostate in Einfamilien- und Reihenhäusern mit den berücksichtigten Energieträgern**

Zeitraum	Kumulierte Endenergie-Einsparungen			
	Ambitioniertes Wachstum Smarte Thermostate		Optimistischer Referenzpfad Smarte Thermostate	
	BAU-Szenario	Klimaschutz-Szenario	BAU-Szenario	Klimaschutz-Szenario
<b>2023 bis 2035</b>	43 TWh	34 TWh	24 TWh	20 TWh
<b>2023 bis 2050</b>	87 TWh	51 TWh	48 TWh	29 TWh

**Tab. 16.2: Kumulierte Netto-Einsparungen von Treibhausgasen durch Smarte Thermostate in Einfamilien- und Reihenhäusern mit den berücksichtigten Energieträgern**

Zeitraum	Kumulierte Netto-Einsparungen von Treibhausgasen			
	Ambitioniertes Wachstum Smarte Thermostate		Optimistischer Referenzpfad Smarte Thermostate	
	BAU-Szenario	Klimaschutz-Szenario	BAU-Szenario	Klimaschutz-Szenario
<b>2023 bis 2035</b>	7,3 Mt CO <sub>2eq</sub>	5,6 Mt	4,1 Mt	3,2 Mt
<b>2023 bis 2050</b>	13,6 Mt CO <sub>2eq</sub>	6,7 Mt	7,6 Mt	3,8 Mt





GESCHÄFTSSTELLE BERLIN  
MAIN OFFICE

Potsdamer Straße 105

10785 Berlin

Telefon: + 49 – 30 – 884 594-0

Fax: + 49 – 30 – 882 54 39

BÜRO HEIDELBERG  
HEIDELBERG OFFICE

Bergstraße 7

69120 Heidelberg

Telefon: + 49 – 6221 – 649 16-0

[mailbox@ioew.de](mailto:mailbox@ioew.de)

[www.ioew.de](http://www.ioew.de)