

VDI

Zentrum
Ressourceneffizienz

Im Auftrag des:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 28

Potenziale der Technischen Gebäudeausrüstung und ihrer Automation zur Steigerung der Ressourceneffizienz



© PantherMedia/Peter Hofstetter (YAYMicro)

Januar 2021

VDI ZRE Kurzanalyse Nr. 28: Potenziale der Technischen Gebäudeausrüstung und ihrer Automation zur Steigerung der Ressourceneffizienz

Autor:

Arne Höllen, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Wir danken Herrn Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke, Geschäftsführer am Institut für Luft- und Kältetechnik Gemeinnützige Gesellschaft mbH, Dresden, für seine fachliche Unterstützung.

Die Kurzanalyse wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit erstellt.

Die Kurzanalysen des VDI ZRE geben einen Überblick über aktuelle Entwicklungen des Themas Ressourceneffizienz in Forschung und industrieller Praxis. Sie enthalten eine Zusammenstellung relevanter Forschungsergebnisse, neuer Technologien und Prozesse sowie Gute-Praxis-Beispiele. Damit verschaffen die Kurzanalysen einem breiten Publikum aus Wirtschaft, Forschung und Verwaltung einen Einstieg in ausgewählte Themenfelder der Ressourceneffizienz.

Redaktion:

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)

Bülowstraße 78

10783 Berlin

Tel. +49 30-27 59 506-0

zre-info@vdi.de

www.ressource-deutschland.de

Titelbild: © PantherMedia/Peter Hofstetter (YAYMicro)

Gedruckt auf umweltfreundlichem Recyclingpapier.

VDI ZRE Publikationen:
Kurzanalyse Nr. 28

Potenziale der Technischen
Gebäudeausrüstung und ihrer Automation
zur Steigerung der Ressourceneffizienz

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	6
1 EINLEITUNG	10
2 RESSOURCENEFFIZIENZ	14
2.1 Ressourcen und Ressourceneffizienz	14
2.2 Energieverbrauch in Deutschland	15
2.3 Energieverbrauch im Gebäudesektor	16
2.4 Rechtlicher Rahmen für den Gebäudebereich	18
2.5 Energieaudits und Energiemanagementsysteme	21
2.6 Förderung	24
3 RESSOURCENEFFIZIENZ DURCH TECHNISCHE GEBÄUDEAUSRÜSTUNG	27
3.1 Ressourceneffiziente Energiebereitstellung	33
3.1.1 Thermische Solarenergienutzung	34
3.1.2 Wärmenetze	37
3.1.3 Photovoltaik	40
3.1.4 Stromspeicherung	40
3.1.5 Lastmanagement oder Demand Side Management	42
3.1.6 Energie Umwandlung Wärme <> Strom	45
3.1.7 Wärmepumpen	46
3.1.8 Energie aus Wasser	47
3.1.9 Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	49
3.2 Kühlung	52
3.3 Lüftung	53
3.4 Licht und Schatten	56
3.5 Aufzüge	58
3.6 Bilanzkreiserweiterung vs. Autarkie	59
4 RESSOURCENEFFIZIENZ DURCH AUTOMATION	62
4.1 Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)	63

4.2	Künstliche Intelligenz (KI)	64
4.3	Richtlinien und Normen	66
4.4	Pflichten und Ziele	67
4.5	Nachhaltigkeit	68
4.6	Studien	68
4.7	Potenziale und Hemmnisse	71
5	UMSETZUNG UND BEISPIELE	74
5.1	Plusenergiegebäude	74
5.2	Rathaus Freiburg	76
5.3	ETA-Fabrik	77
5.4	LoRaWAN für Gebäude	79
5.5	Technische Gebäudeausrüstung und KI	80
5.6	Digitaler Heizungskeller	82
5.7	Optimierte Steuerdaten für die Automation	83
5.8	Energiekonzept für den urbanen Raum	85
5.9	EUREF-Campus	87
5.10	Die CO ₂ -neutrale Fabrik - Green Factory	88
5.11	Stromerzeugung aus industrieller Abwärme	89
6	FAZIT	92
	LITERATURVERZEICHNIS	95

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Endenergieverbrauch 2017 nach Sektoren	16
Abbildung 2: Endenergieverbrauch in Wohn- und Nichtwohngebäuden im Jahr 2017	17
Abbildung 3: Rechtlicher Rahmen heute und morgen für den Gebäudebereich	20
Abbildung 4: Vorbildfunktion öffentliche Hand Gebäude	21
Abbildung 5: Plusenergiebürogebäude, Nordfassade	74
Abbildung 6: BIM Längsschnitt TGA	75
Abbildung 7: Photovoltaik-Module auf dem Dach und in der Fassade erzeugen Strom, PVT-Kollektoren (links im Bild) zusätzlich Wärme zum Betrieb der Kantine	76
Abbildung 8: Thermische Kopplung der Systeme in der ETA Forschungsfabrik, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)	78
Abbildung 9: Das LoRaWAN-gesteuerte System	79
Abbildung 10: enisyst Systemschaubild	81
Abbildung 11: Benutzeroberfläche zur Visualisierung	83
Abbildung 12: Fleethof	84
Abbildung 13: Das Energiekonzept von Berlin TXL - The Urban Tech Republic	86
Abbildung 14: Die EUREF-Energiewerkstatt kann im laufenden Betrieb in Führungen besichtigt werden	87
Abbildung 15: Die CO ₂ -neutrale Fabrik	89
Abbildung 16: ORC-Anlage	90
Abbildung 17: Drehrohrofen	91

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AMEV	Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen
ArbStättV	Arbeitsstättenverordnung
ASR	Arbeitsstättenrichtlinie
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BENE	Berliner Programm für nachhaltige Entwicklung
BHKW	Blockheizkraftwerk
BIM	Building Information Modeling
BMI	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, seit 14. März 2018
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, vom 17. Dezember 2013 - 13. März 2018
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
BPIE	Buildings Performance Institute Europe
°C	Grad Celsius
CO₂	Kohlenstoffdioxid
COP	Coefficient of performance
dena	Deutsche Energie-Agentur
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.

DSM	Demand Side Management
EDL-G	Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
EnEG	Energieeinsparungsgesetz
EnergieStG	Energiesteuergesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EU	Europäische Union
EVPG	Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
GuD	Gas und Dampf
GW	Gigawatt
HeizAnIV	Heizungsanlagen-Verordnung
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IEA	International Energy Agency
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IoT	Internet of Things
ISO	International Standardisation Organisation
IT	Informationstechnologie
JAZ	Jahresarbeitszahl
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KI	Künstliche Intelligenz

KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KSG	Klimaschutzgesetz
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
KWKK	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
LED	Light Emitting Diode
lx	Lux
MAP	Marktanreizprogramm
Mio.	Millionen
MSR	Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
MW	Megawatt
NE-Metalle	Nichteisenmetalle
NWG	Nichtwohngebäude
ORC	Organic Rankine Cycle
ProgRess	Ressourceneffizienzprogramm
PV	Photovoltaik
PVT	Photovoltaisch-thermisch
RLT	Raumluftechnik
SpaEfV	Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung
StromStG	Stromsteuergesetz
t	Tonne
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
THG	Treibhausgase

TWh	Terrawattstunde
TU	Technische Universität
UBA	Umweltbundesamt
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDI ZRE	VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH
VDMA	Verein Deutscher Maschinen und Anlagenbau e.V.
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WG	Wohngebäude
WSchV	Wärmeschutzverordnung
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

1 EINLEITUNG

Der Gebäudesektor ist in Deutschland für etwa ein Drittel des Endenergieverbrauchs verantwortlich¹. Daher leistet die Steigerung der Energieeffizienz in diesem Sektor einen wichtigen Beitrag zur Energiewende und zum Klimaschutz.

Die beiden wichtigsten Hebel zur Senkung des Energieverbrauchs sind die Gebäudehülle und die Technische Gebäudeausrüstung (TGA). Während die Einsparpotenziale bei der Gebäudehülle in der Öffentlichkeit eine starke Berücksichtigung finden, müssen die Potenziale der TGA noch stärker herausgearbeitet werden.

Um diesem Zusammenhang Rechnung zu tragen, wurden auf europäischer Ebene beide Einflussfaktoren in der EU-Gebäuderichtlinie² zusammengefasst. Auf deutscher Ebene trat als nationale Umsetzung die Energieeinsparverordnung (EnEV)³ in Kraft. Die EnEV ermöglichte eine Verrechenbarkeit der energetischen Qualitäten von Gebäudehülle und Gebäudetechnik. Am 1. November 2020 wurde die EnEV durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG)⁴ abgelöst. Beide Regelungen sind fokussiert auf den Neubau. Die Sanierung des Altbestands ist kein Schwerpunkt.

Im Dezember 2015 wurde bei der Conference of the Parties (COP) 21 in Paris das sogenannte Paris-Abkommen verabschiedet. Demnach soll die Erwärmung der Erde bis 2050 auf höchstens 2 °C begrenzt werden, möglichst jedoch auf 1,5 °C über dem vorindustriellen Niveau.

Darauf aufbauend wurde im Rahmen eines breiten Dialogprozesses von Sommer 2015 bis März 2016 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), stellvertretend für die Bundesregierung, der sogenannte Klimaschutzplan 2050⁵ erarbeitet. Dieser Klimaschutzplan enthielt erstmals konkrete Ziele und Maßnahmen für einzelne Sektoren,

¹ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019a), S. 6, 18.

² Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2018b).

³ Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2013b).

⁴ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (13. August 2020).

⁵ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016b).

unter anderem den Gebäudesektor, und wurde im November 2016 verabschiedet.

Mit dem Klimaschutzgesetz, das am 18. Dezember 2019 in Kraft trat, sind die Ziele für den Gebäudesektor verbindlich geworden. Im Jahr 2020 dürfen die CO₂-Emissionen im Sektor Gebäude 118 Mio. t betragen und müssen im Jahr 2030 auf 70 Mio. t gesunken sein. Dies entspricht einer Reduktion um 40 %.⁶

Langfristig soll bis zum Jahr 2050 ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand erreicht werden. Ohne eine umfassende energetische Optimierung des Bestands, allein durch den Neubau, kann dieses Ziel allerdings nicht erreicht werden. Daher liegt ein besonderes Augenmerk auf dem Gebäudebestand, den man in Wohn- und Nichtwohngebäude unterteilen kann. Im Rahmen dieser Kurzanalyse werden vorwiegend die Nichtwohngebäude betrachtet.

Insbesondere in den kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) aus den Sektoren Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) und Industrie, aber auch im öffentlichen Sektor oder im kommunalen Bereich, wurde in den vergangenen Jahrzehnten ein hoher Energieverbrauch als gegeben, unvermeidlich oder notwendig hingenommen.

Da der Bestand im Bereich der Nichtwohngebäude sehr heterogen ist und Zentrallager, Sporthallen, Schulen, Hotels, Bürogebäude, Fertigungshallen, Möbelmärkte oder Werkstätten umfasst, kann kein generelles Konzept entwickelt werden. Allerdings, und das hat eine Studie der dena⁷ ergeben, lässt sich von einer durchschnittlichen jährlichen Endenergieeinsparung von 50 % in den erwähnten Nichtwohngebäudetypen ausgehen. Der Ansatz setzt sich zusammen aus Maßnahmen an der Gebäudehülle, aus energieeffizienter Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung sowie einer energieeffizienten Heizung, die idealerweise aus der Kombination einer Flächenheizung auf niedrigem Temperaturniveau und einer Wärmepumpe besteht.

⁶ Vgl. Deutscher Bundestag (2019), S. 2520.

⁷ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2018a).

Die Entscheidung für eine energieeffiziente TGA ist umso wichtiger, wenn man sich die durchschnittliche Lebensdauer der Haustechnik gemäß Kostengruppe 420 der DIN 276⁸ vergegenwärtigt. Das Umweltbundesamt (UBA) quantifiziert in der Studie „Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus“⁹ für Wohngebäude beispielsweise eine Lebensdauer für die Wärmeerzeugung mit Gas und Solar von 18 Jahren und für die Wärmeerzeugung mit BHKW von 20 Jahren. Mit jeder Entscheidung für eine bestimmte Variante wird die Effizienz des angeschafften Systems also auf zwei Jahrzehnte festgelegt.

Gebäude nehmen inzwischen auch eine aktive Rolle bei der Energieerzeugung ein. Diese resultiert vor allem aus der Photovoltaik und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Aber auch die Einspeisung von Wärme aus Solarthermie, der KWK oder Abwärme aus Produktionsprozessen in entsprechende Wärmenetze ist bereits Realität. Bei ausreichender Erzeugung kann ein Gebäude nicht nur den eigenen Bedarf decken, sondern über das Jahr gesehen auch mehr Energie erzeugen als es verbraucht. Solche Gebäude werden als Plus-Energiehäuser bezeichnet.^{10, 11}

Mit der EU-Gebäuderichtlinie¹² wurden die Weichen für den Niedrigstenergiestandard im Gebäudebereich gestellt. Alle Neubauten innerhalb der EU sollen ab dem Jahr 2021 diesen Standard erfüllen, die Gebäude der staatlichen Behörden bereits ab 2019.

In einem digitalen und vernetzten Gebäude werden aber auch die Verarbeitung von Daten sowie automatisierte Prozesse eine immer größere Rolle spielen. Die Gebäudeautomation basiert auf der Verarbeitung von Daten. Die technische Entwicklung im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und der Künstlichen Intelligenz (KI) ermöglicht heute Dinge, die noch vor einigen Jahren kaum denkbar waren. Während früher eher die Automation einzelner Räume im Mittelpunkt stand, findet sich heute die Automation des gesamten Gebäudes, auch im Kontext eines Smart Buildings,

⁸ Vgl. DIN 276 2018-12.

⁹ Vgl. Mahler, B.; Idler, S.; Nusser, T. und Gantner, J. (2019b).

¹⁰ Vgl. ewi Energy Research & Scenarios und ITG Dresden & FIW München (2017), S. 73 - 75.

¹¹ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2018a), S. 334.

¹² Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2010).

im Vordergrund. In diesen Bereich fällt ebenso das Teilen von Energie mit Nachbarn oder innerhalb eines Quartiers. Ein automatisiertes Gebäude kann aber nicht nur ein Smart Building sein, sondern gleichfalls Bestandteil eines Smart Grid.

Die Übertragungsnetzbetreiber kalkulieren heute bereits im Netzentwicklungsplan Strom in dem Szenario „B 2030“, beispielsweise 4 GW für Flexibilitäten und Speicher im Bereich Industrie und GHD, zusätzlich 2 GW Großbatteriespeicher, 8 GW PV-Batteriespeicher, 2,6 Mio. Wärmepumpen und 6 Mio. Elektroautos.^{13, 14}

Die Bundesregierung verfolgt aus den oben dargestellten Gründen seit langem eine Doppelstrategie, bestehend aus Fordern und Fördern. Mit der Verbindlichkeit der Ziele im Gebäudesektor und der Verantwortung der Bundesregierung für das Erreichen dieser Ziele ist der Bereich Fördern ausgebaut worden.

Ziel ist die Umstellung von fossilen auf Erneuerbare Energien in Gebäuden sowie in den Prozessen der Wirtschaft. Im Modul 2 (Prozesswärmebereitstellung aus Erneuerbaren Energien) der Bundesförderung für Energieeffizienz des BMWi können KMU beispielsweise über das BAFA einen Zuschuss der förderfähigen Investitionskosten von 55 % erhalten.

Diese Kurzanalyse soll Bauherren, Architekten und Ingenieuren, ausführenden Unternehmen sowie anderen am Bau Beteiligten, aber auch Eigentümern und Betreibern von Gebäuden Ansatzpunkte, mögliche Lösungen, Vorgehensweisen und Beispiele nahebringen. Sie soll weiterhin aufzeigen, wie Nichtwohngebäude in energieeffiziente Gebäude transformiert und ressourceneffizient betrieben werden können.

Dargestellt werden anhand einiger Beispiele sinnvolle Kombinationen von Technologien im Nichtwohngebäudebereich unter energetischen, wirtschaftlichen, aber auch klimapolitischen Aspekten.

¹³ Vgl. 50Hertz Transmission GmbH; Amprion GmbH; TenneT TSO GmbH und TransnetBW GmbH (2019).

¹⁴ Vgl. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (20. Dezember 2019).

2 RESSOURCENEFFIZIENZ

2.1 Ressourcen und Ressourceneffizienz

Das deutsche Ressourceneffizienzprogramm ProgRes II¹⁵ mit einer Laufzeit von 2016 bis 2020 zielte darauf ab, eine nachhaltige Rohstoffversorgung zu sichern, die Ressourceneffizienz in der Produktion zu steigern, den Konsum ressourcenschonender zu gestalten und die Kreislaufwirtschaft auszubauen. Im Folgeprogramm ProgRes III¹⁶ mit einer Laufzeit bis 2023, das am 17. Juni 2020 vom Bundeskabinett verabschiedet wurde, werden die Wechselwirkungen von Ressourceneffizienz, Digitalisierung und Kreislaufwirtschaft vertieft betrachtet.

Ressourceneffizienz ist sowohl in der Wirtschaft als auch in der Politik ein häufig gebrauchter Begriff. Die Interpretationen der jeweils gemeinten Ressourcen unterscheiden sich allerdings deutlich.

„Aus Sicht eines Unternehmens können als Ressourcen Betriebsstoffe, Werkstoffe, Kapital, Personal, Know-how und Zeit angesehen werden. Die deutsche und europäische Umweltpolitik interpretiert den Begriff Ressource als [...].“¹⁷

„Ressource, die Bestandteil der Natur ist. Hierzu zählen erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe, physischer Raum (Fläche), Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), strömende Ressourcen (z. B. Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie) sowie die Biodiversität. Es ist hierbei unwesentlich, ob die Ressourcen als Quellen für die Herstellung von Produkten oder als Senken zur Aufnahme von Emissionen (Wasser, Boden, Luft) dienen.“¹⁸

¹⁵ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016a).

¹⁶ Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2020a).

¹⁷ Vgl. Schebek, L.; Abele, E.; Campitelli, A. und Becker, B. und Joshi, M. (2016), S. 5; Schebek, L.; Abele, E.; Campitelli, A. und Becker, B. und Joshi, M. (2016).

¹⁸ Vgl. Umweltbundesamt (2012), S. 22.

In der Richtlinie VDI 4800-1:2016-02¹⁹ wird Ressourceneffizienz als das „Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür nötigen Einsatz an natürlichen Ressourcen“ definiert. Natürliche Ressourcen sind laut VDI Richtlinie 4800 Blatt 1 Energieressourcen, Rohstoffe (erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe), Wasser, Luft, Fläche/Boden, Ökosystemleistungen²⁰.

2.2 Energieverbrauch in Deutschland

In dieser Kurzanalyse wird schwerpunktmäßig die Ressource Energie betrachtet. Zwar ist die Energieversorgung eines Unternehmens meist kein zentrales Betätigungsfeld, aber inzwischen müssen sich Unternehmen zunehmend mit den Fragen der Energieeffizienz auseinandersetzen. Auch wenn die Kosten für Energie nur einen geringen Teil der Ausgaben eines Unternehmens ausmachen, sind sie doch gestiegen und werden durch den nationalen Emissionshandel ab 2021 noch verschärft.

Der Energieverbrauch von Unternehmen wird unterteilt in den Energieverbrauch zum Betrieb von Gebäuden und in den Energieverbrauch für die Produktion oder die Verarbeitung von Gütern. In beiden Bereichen sind die gesetzlichen Anforderungen an die Energieeffizienz gestiegen.

Nach Sektoren gegliedert entfielen im Jahr 2017 etwa 29 % der Endenergienutzung in Deutschland auf die Industrie und 15 % auf den Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) (Abbildung 1)²¹. Dem GHD-Bereich zugerechnet werden in der Statistik „Gewerbe- und Handwerksbetriebe mit weniger als 20 Beschäftigten, soweit sie nicht in der Gewinnung von Steinen und Erden, im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe erfasst sind, Betriebe der Energie- und Wasserversorgung (ohne Umwandlungsbereich), Betriebe des Baugewerbes, Land- und Forstwirtschaft (einschließlich Verkehrsverbrauch), Kreditinstitute, Versicherungs- und Handelsunternehmen, private und öffentliche Dienstleistungsunternehmen und Einrichtungen, Behörden, militärische Dienststellen“²².

¹⁹ Vgl. VDI 4800 Blatt 1 2016-02.

²⁰ Vgl. VDI 4800 Blatt 1 2016-02, S. 6 - 10.

²¹ Vgl. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. AGEb (2019), S. 18 - 19.

²² Vgl. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. AGEb (2019), S. 40.

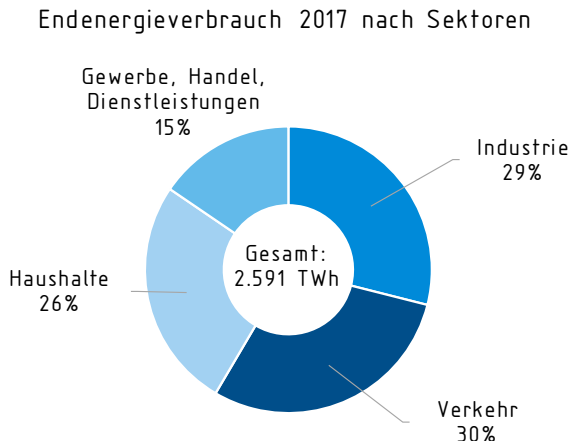


Abbildung 1: Endenergieverbrauch 2017 nach Sektoren²³

Die Statistik beinhaltet den gesamten Endenergieverbrauch der für diese Kurzanalyse relevanten Sektoren, Industrie und GHD. Der Endenergieverbrauch dieser beiden Sektoren wird im folgenden Kapitel zum Endenergieverbrauch des Gebäudesektors in Relation gesetzt und soll insbesondere die Relevanz der Nichtwohngebäude unterstreichen.

Der Endenergieverbrauch ist die bereitgestellte Energiemenge, die beispielsweise im Gebäude direkt verbraucht wird. Im Primärenergieverbrauch ist zusätzlich die Energiemenge enthalten, die benötigt wird, um die Endenergie bereitzustellen.

Daher sind in der Endenergie auch Energieverluste oder Energiemengen zur Erzeugung, Bereitstellung oder zum Transport von Strom oder Gas enthalten.

2.3 Energieverbrauch im Gebäudesektor

Die 21,7 Mio. Wohn- und Nichtwohngebäude in Deutschland waren 2017 in Summe (870 TWh Endenergieverbrauch) für etwa ein Drittel (33 %) des

²³ Vgl. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. AGEb (2019), S. 18 - 19.

gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland (2.591 TWh, 2017) verantwortlich.²⁴

Der Gebäudebestand gliederte sich in 18,95 Mio. Wohngebäude (WG) und 2,7 Mio. Nichtwohngebäude (NWG). Zu letzteren gehören beispielsweise Schulen, Hotels, Sporthallen, Bürogebäude, Fertigungshallen oder Werkstätten. Der Endenergieverbrauch der Wohngebäude lag bei 64 % (Abbildung 2), wohingegen der erheblich kleinere Anteil der Nichtwohngebäude einen Endenergieverbrauch von 36 % aufwies.²⁵

Endenergieverbrauch in Wohn- und Nichtwohngebäuden im Jahr 2017

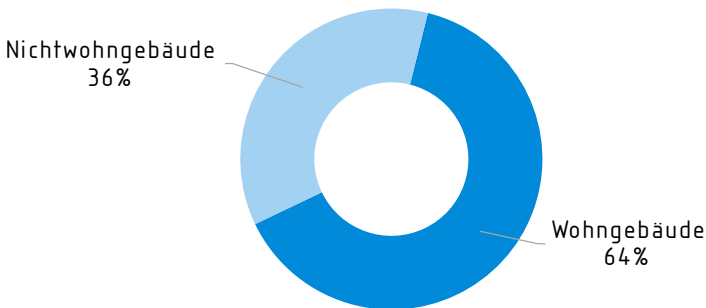


Abbildung 2: Endenergieverbrauch in Wohn- und Nichtwohngebäuden im Jahr 2017²⁶

In Nichtwohngebäuden, auf die sich diese Kurzanalyse beschränkt, stellen sich Heizung, Kühlung, Belüftung, Klimatisierung, Warmwasserbereitung und Beleuchtung die größten Energieverbraucher dar. Die Beleuchtung hat bei Nichtwohngebäuden einen großen Anteil (17 %) am Gebäude-Endenergieverbrauch und folgt direkt nach der Energie für Raumwärme (73 %).²⁷

²⁴ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019a), S. 6, 18.

²⁵ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019a), S. 10, 14.

²⁶ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019a), S. 10, 14.

²⁷ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019a), S. 19.

Die Gruppe der Nichtwohngebäude stellt also durch ihren hohen Energiebedarf einen erheblichen Hebel für Energieeffizienz im Gebäudebereich dar.

2.4 Rechtlicher Rahmen für den Gebäudebereich

Für technische Anforderungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden in Deutschland bietet die EU-Gebäuderichtlinie²⁸ die wichtigste Grundlage. Die EU-Gebäuderichtlinie ist in Deutschland von zentraler Bedeutung für das Energieeinsparungsgesetz (EnEG)²⁹, zuletzt geändert am 4. Juli 2013³⁰, die Energieeinsparverordnung (EnEV)³¹, wesentlich geändert am 18. November 2013³² sowie das zukünftige Gebäudeenergiegesetz (GEG)^{33,34}. Das GEG ist in der vom Bundestag beschlossenen Fassung vom 8. August 2020 am 1. November 2020 in Kraft getreten³⁵. In das GEG³⁶ wurde auch das Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz (EEWärmeG)³⁷ integriert, das die nationale Umsetzung der EU-Erneuerbare-Energien-Richtlinie³⁸ ist.

In der EnEV wurden die Heizungsanlagen-Verordnung (HeizAnV)³⁹ und die Wärmeschutzverordnung (WSchV)⁴⁰ zusammengeführt. Dadurch gab es erstmals die Möglichkeit, die energetische Qualität der Gebäudehülle und die energetische Qualität der Technischen Gebäudeausrüstung miteinander zu verrechnen. Die EnEV trat am 1. Februar 2002 in Kraft.

Zuletzt ist die EnEV 2013 novelliert worden. In Kraft getreten ist die neue EnEV allerdings erst 2014. Diese Novelle beinhaltet neben der Möglichkeit, die Gebäudeautomation beim Jahresprimärenergiebedarf zu berücksich-

²⁸ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2010), S. 13- 35.

²⁹ Vgl. Bundestag und Bundesrat der Bundesrepublik Deutschland (1976), S. 1873 - 1875.

³⁰ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2013), S. 2197 - 2200.

³¹ Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2007), S. 1519 - 1563.

³² Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2013b), S. 3951 - 3990.

³³ Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2019).

³⁴ Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2020c).

³⁵ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (13. August 2020).

³⁶ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (13. August 2020).

³⁷ Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2008), S. 1658 - 1665.

³⁸ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2018a).

³⁹ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Bundesministerium für Raumordnung und Bauwesen und Städtebau der Bundesrepublik Deutschland (1998), S. 851 - 856.

⁴⁰ Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (1994), S. 2121 - 2132.

tigen, auch die 25%ige Reduktion des erlaubten Jahresprimärenergiebedarfs ab dem 1. Januar 2016. Die Änderungen der EnEV im Jahr 2015 wurden im Zuge der schnellen Bereitstellung von Wohnraum für Geflüchtete im Neubau und Bestand mit Artikel 3 der Verordnung zum Asylverfahrensbeschleunigungsgesetz eingefügt⁴¹.

Wichtigste Werkzeuge zur Umsetzung der EnEV sind die DIN V 18599⁴² zur energetischen Bewertung von Gebäuden oder die DIN V 4108-6⁴³ zur Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs in Verbindung mit der DIN V 4701-10⁴⁴ zur energetischen Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen der Heizung, Trinkwassererwärmung und Lüftung (Abbildung 3).

Beide Varianten sind in Deutschland als Berechnungsmethode für den Bedarfsausweis möglich. Sie basieren aber auf Vornormen, die nicht den Status einer auf EU-Ebene harmonisierten Norm aufweisen.

Die aus der bisherigen EnEV resultierenden Energieausweise können auf dem Bedarf, aber auch auf dem Verbrauch basieren. Während ein Verbrauchsausweis die Energieeffizienz eines Gebäudes anhand der tatsächlichen Verbräuche bewertet, beschreibt ein Bedarfsausweis die Energieeffizienz eines Gebäudes anhand der Parameter für Gebäudehülle und Gebäudetechnik sowie des Verhaltens eines Normnutzers. Dieser Ansatz wurde gewählt, um eine Vergleichbarkeit zwischen Gebäuden zu ermöglichen. In der Praxis führt dieser Ansatz allerdings oft zu Abweichungen vom realen Verbrauch.

Für Nichtwohngebäude des Bestands sind Verbrauchsausweise zulässig, die nach den „Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“ ermittelt werden.⁴⁵

⁴¹ Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2015), S. 1790.

⁴² Vgl. DIN V 18599-11 2018-09.

⁴³ Vgl. DIN V 4108-6 2003-06.

⁴⁴ Vgl. DIN V 4701-10 2003-08.

⁴⁵ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015).

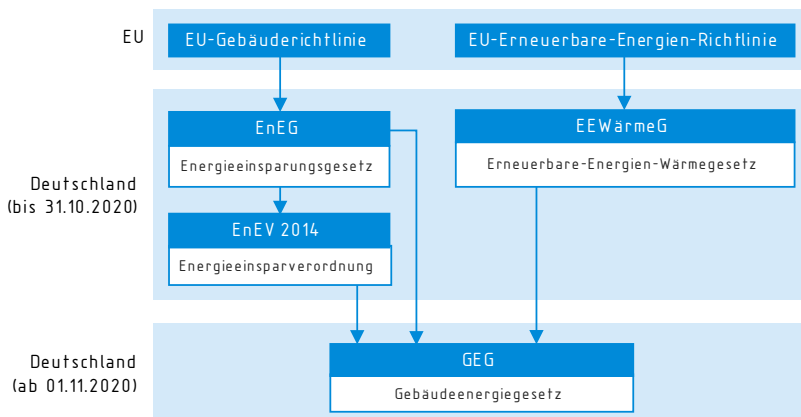


Abbildung 3: Rechtlicher Rahmen heute und morgen für den Gebäudebereich⁴⁶

Die Umstellung auf das GEG zum 1. November 2020 und das Außerkrafttreten der EnEV, des EnEG sowie des EEWärmeG am 31. Oktober 2020 bringen auch einige Änderungen an der Berechnungsmethode mit sich. Die Methode nach DIN V 4108-6⁴⁷ zur Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs in Verbindung mit der DIN V 4701-10⁴⁸ für den Jahresprimärenergiebedarf ist nur noch bis 31. Oktober 2020 für neu zu errichtende Nichtwohngebäude und bis zum 31. Dezember 2023 für neu zu errichtende Wohngebäude, die nicht gekühlt werden, zulässig⁴⁹.

Die EU-Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Richtlinie⁵⁰, die auch als Ökodesign-Richtlinie bezeichnet wird, ist eine weitere wichtige Vorschrift für Gebäude. Mit dem Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG)⁵¹ wird die EU-Richtlinie in deutsches Recht umgesetzt. Für alle Mitgliedsstaaten verbindliche Durchführungsmaßnahmen werden auf Ebene der EU für die Produkte festgelegt, die unter die Ökodesign-Richtlinie fallen.

⁴⁶ Eigene Darstellung.

⁴⁷ Vgl. DIN V 4108-6 2003-06.

⁴⁸ Vgl. DIN V 4701-10 2003-08.

⁴⁹ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (13. August 2020).

⁵⁰ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (31. Oktober 2009).

⁵¹ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2020).

Alle Komponenten der Gebäudetechnik wie die Beleuchtung, Heizung, Kühlung und Klimatisierung sowie die Steuerung der Systeme durch die Gebäudeautomation fallen unter die Ökodesign-Richtlinie.

Erwähnt werden soll auch die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand (Abbildung 4) bei der Energieeffizienz ihrer Gebäude, die aus Artikel 5 der EU-Energieeffizienz-Richtlinie resultiert⁵². Diese Vorbildfunktion der öffentlichen Hand ist im Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen EDL-G § 3⁵³, im Klimaschutzgesetz KSG Abschnitt 5 § 13⁵⁴ beschrieben sowie im bisherigen EEWärmeG § 1a⁵⁵ und ist auch im zukünftigen GEG § 4^{56, 57} abgebildet.

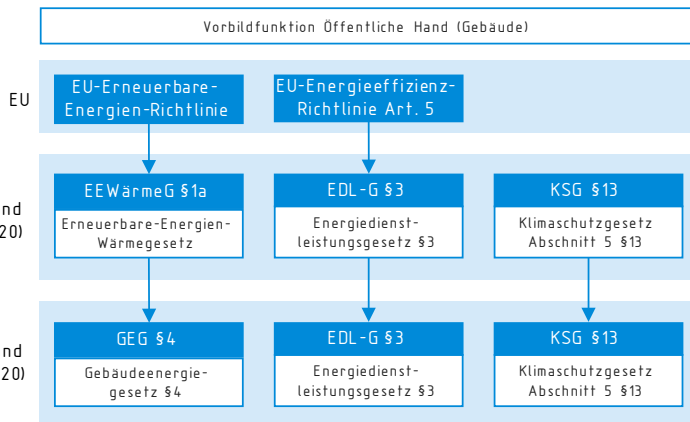


Abbildung 4: Vorbildfunktion öffentliche Hand Gebäude⁵⁸

2.5 Energieaudits und Energiemanagementsysteme

Energieaudits oder Energiemanagementsysteme dienen nicht nur dem Überwachen, Messen und Dokumentieren von Energieverbräuchen, sondern können auch dabei helfen, im Gebäude die größten Energieverbraucher zu

⁵² Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2012), S. 13.

⁵³ Vgl. Bundestag und Bundesrat der Bundesrepublik Deutschland (2019).

⁵⁴ Vgl. Deutscher Bundestag (2019).

⁵⁵ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2008).

⁵⁶ Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2020c).

⁵⁷ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (13. August 2020).

⁵⁸ Eigene Darstellung.

identifizieren und die richtigen Ansatzpunkte für die Steigerung der Energieeffizienz ausfindig zu machen. In Nichtwohngebäuden kann insbesondere die Automatisierungstechnik dazu beitragen, den Energieverbrauch drastisch zu reduzieren, weniger Ressourcen zu verbrauchen und Kosten zu senken. Erreicht wird das durch eine intelligente Steuerung und Regelung der Gebäudetechnik.

Die verpflichtende Einführung von Energieaudits nach DIN EN 16247-1⁵⁹ und Energiemanagementsystemen nach DIN EN ISO 50001⁶⁰ für Unternehmen, die keine „kleinen oder mittleren Unternehmen (Nicht KMU)“ sind, geht auf Artikel 8 der EU-Energieeffizienz-Richtlinie⁶¹ zurück.

In Deutschland ist diese Verpflichtung 2015 im Rahmen der Novelle⁶² des „Gesetzes über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen EDL-G“⁶³ in nationales Recht umgesetzt worden.

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) im Sinne der EU-Definition⁶⁴ sind Unternehmen, die weniger als 250 Mitarbeiter und einen Jahresumsatz von höchstens 50 Mio. Euro oder eine Jahresbilanzsumme von höchstens 43 Mio. Euro haben.

Zur Klarstellung – unter anderem der Verpflichtung nach § 8 – wurde das EDL-G überarbeitet und ist am 25. November 2019 in Kraft getreten⁶⁵. Neu eingeführt wurde mit der Änderung des EDL-G eine Bagatellgrenze für Unternehmen mit einem Energieverbrauch von weniger als 500.000 kWh. Diese müssen nur eine vereinfachte Online-Erklärung (vereinfachtes Audit) zu ihren Energieverbräuchen erstellen. Das Bundesamt für Wirtschaft und

⁵⁹ Vgl. EN 16247-1 2012-10.

⁶⁰ Vgl. ISO 50001 2018-12.

⁶¹ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2012).

⁶² Vgl. Deutscher Bundestag (2015b), S. 578.

⁶³ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2010), S. 1483.

⁶⁴ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2014), S. 70.

⁶⁵ Vgl. Bundestag und Bundesrat der Bundesrepublik Deutschland (2019).

Ausfuhrkontrolle (BAFA) stellt auf seiner Internetseite⁶⁶ ergänzende Informationen zur Verfügung.

Auch für KMU kann es sinnvoll sein, ein Energieaudit nach DIN EN 16247-1 durchzuführen, ein Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50001 oder das Energiemanagement im Rahmen des Umweltmanagementsystems EMAS (Eco Management and Audit Scheme), das auf ISO 14001⁶⁷ basiert, zu etablieren. EMAS erfüllt allerdings nicht automatisch alle Voraussetzungen der DIN EN ISO 50001.

Erst durch die Etablierung eines Managementsystems haben KMU Anspruch auf gesetzliche Ausgleichsregelungen im Rahmen des EEG 2014⁶⁸ (§§ 63 ff.) oder beim Spitzenausgleich (§ 55 Energiesteuergesetz – EnergieStG 2019⁶⁹ bzw. § 10 Stromsteuergesetz – StromStG 2019⁷⁰). Eine Zertifizierung ist für Unternehmen, die Energieeffizienzziele erreichen wollen, darüber hinaus eine effektive Maßnahme, da das Engagement von unabhängiger Seite bestätigt wird.

Unternehmen des produzierenden Gewerbes können den Spitzenausgleich nach der sogenannten Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung⁷¹ (SpaEfV) in Anspruch nehmen und erhalten bis zu 90 % ihrer Belastungen aus der Energie- und Stromsteuer zurück.

Die Bundesstelle für Energieeffizienz beschreibt seit 2016 jährlich empirisch den Markt für Energiedienstleistungen, unter anderem für Energieaudits und Energiemanagementsysteme. In ihrer Studie für das Jahr 2019 ermittelten die beauftragten Forschungsinstitute eine Nutzungsrate von weit unter 50 % und quantifizierten ein erhebliches, noch nicht ausgeschöpftes Marktpotenzial. Deutliche Impulse sehen sie insbesondere von verbesserten

⁶⁶ Vgl. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle BAFA (2019b).

⁶⁷ Vgl. DIN EN ISO 14001 2015-11.

⁶⁸ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2014).

⁶⁹ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2019b).

⁷⁰ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2019b).

⁷¹ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; Bundesministerium für Finanzen und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2013).

Förderbedingungen und der Vorhersehbarkeit von Rahmenbedingungen ausgehen.⁷²

2.6 Förderung

Energieeffizienz wird über zahlreiche Programme des Bundes, der Länder, aber auch der Kommunen oder anderer Institutionen gefördert. Im Folgenden sollen die wichtigsten Bundesförderprogramme genannt werden.

Am 29. März 2019 veröffentlichte das BMWi die Bekanntmachung „Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit“. Die Förderbedingungen für KMU sind sehr attraktiv, da sie gegenüber Nicht-KMU einen zusätzlichen Bonus in Höhe von 10 % der förderfähigen Investitionskosten erhalten. Mit der Durchführung dieses Förderprogramms hat das BMWi das BAFA (Zuschuss) und die KfW (Tilgungszuschuss) beauftragt.⁷³

Die KfW bietet mit „Kredit 295 Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft“⁷⁴ zinsverbilligte Kreditprogramme mit Tilgungszuschuss zu den folgenden vier Fördermodulen an:

Modul 1 – Querschnittstechnologien (Einzelmaßnahmen)⁷⁵

Modul 2 – Prozesswärmebereitstellung aus Erneuerbaren Energien⁷⁶

Modul 3 – Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Sensorik und Energiemanagement-Software⁷⁷

Modul 4 – Energiebezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen⁷⁸

⁷² Vgl. Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE) (2020), S. 107–108.

⁷³ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi (2019).

⁷⁴ Vgl. Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW (2019).

⁷⁵ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi (2019).

⁷⁶ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020a).

⁷⁷ Vgl. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle BAFA (2019c).

⁷⁸ Vgl. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle BAFA (2019a).

Für Kommunen bietet die Kommunalrichtlinie Förderquoten von 40 % und für finanzschwache Kommunen sogar 65 % zur Etablierung von Energie- oder Umweltmanagementsystemen⁷⁹. Die Förderquoten der Kommunalrichtlinie wurden am 22. Juli 2020 für Anträge, die im Zeitraum vom 1. August 2020 bis zum 31. Dezember 2021 gestellt werden, um zehn Prozentpunkte erhöht⁸⁰.

Die neue „Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)“ bündelt ab 2021 die bisherigen Programme zur Nutzung Erneuerbarer Energien und zur Energieeffizienz im Gebäudebereich. Darunter fällt beispielsweise das seit 20 Jahren existierende Marktanzreizprogramm (MAP), das in einer in zahlreichen Punkten angepassten Version am 1. Januar 2020 unter dem Titel „Heizen mit Erneuerbaren Energien“ in Kraft trat⁸¹. Darunter fällt auch das „KfW-Energieeffizienzprogramm – Energieeffizient Bauen und Sanieren“ mit bis zu 27,5 % Tilgungszuschuss⁸².

Die Grundstruktur der „Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)“ besteht aus den drei Teilprogrammen für Wohngebäude (BEG WG), für Nichtwohngebäude (BEG NWG) sowie für Einzelmaßnahmen (BEG EM). Die Zuschussvariante kann direkt beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) beantragt werden. Die Kreditvariante wird durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) umgesetzt. Die Zuschussförderung für Einzelmaßnahmen startete am 2. Januar 2021⁸³. Heizungen auf Basis Erneuerbarer Energien wie Wärmepumpen, Biomasseanlagen oder Solarthermieanlagen werden beispielsweise mit 20 bis 45 % bezuschusst. Die anderen Teile der BEG sollen am 1. Juli 2021 in Kraft treten. Bis dahin gelten Übergangslösungen.

Eine weitere Möglichkeit, die Energieeffizienz in der Wirtschaft zu steigern, ist das Programm des BMWi „Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft – Förderwettbewerb“. Dieses Programm führt das bisherige

⁷⁹ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (5. Dezember 2019).

⁸⁰ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (22. Juli 2020).

⁸¹ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2019b).

⁸² Vgl. Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW (2020a).

⁸³ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi (2020).

Programm STEP up! weiter. Gefördert werden investive Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz von industriellen sowie gewerblichen Anlagen und Prozessen. Bis zu 50 % der förderfähigen Kosten können gefördert werden. Im Bereich der Technischen Gebäudeausrüstung besonders interessant ist die Möglichkeit, die Abwärme beispielsweise zur Einspeisung in Wärmenetze oder zur Stromerzeugung zu nutzen.⁸⁴

Im KfW-Programm 293 „Klimaschutzoffensive für den Mittelstand“ sind Investitionen in die Errichtung, den Erwerb sowie die Modernisierung von Anlagen förderfähig. Für KMU sind insbesondere die Erzeugung von Strom, Wärme und Kälte durch die Nutzung Erneuerbarer Energien und Abwärme sowie die Speicherung und Verteilung von Strom, Wärme und Kälte über Netze relevant. Aktuell können bis zu 6 % des zugesagten Kreditbetrags als Klimazuschuss gewährt werden.⁸⁵

In ihrer jährlichen Evaluation des Marktes für Energie-Dienstleistungen sieht die Bundesstelle für Energieeffizienz in den Förderprogrammen für Wärmeerzeugung und Querschnittstechnologien und in der Einführung einer CO₂-Bepreisung Schritte in die richtige Richtung.⁸⁶

Die Antragszahlen der Förderprogramme für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz im Gebäudesektor sind im ersten Quartal 2020 deutlich gestiegen. Neben dem Beitrag zum Klimaschutz stützen sie auch die Konjunktur.⁸⁷

⁸⁴ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020b).

⁸⁵ Vgl. Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW (2020b).

⁸⁶ Vgl. Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE) (2020), S. 108.

⁸⁷ Vgl. BMWi; BAFA und KfW (2020).

3 RESSOURCENEFFIZIENZ DURCH TECHNISCHE GEBÄUDEAUSRÜSTUNG

Durch die Kombination verschiedener Technologien der Technischen Gebäudeausrüstung kommt es heutzutage zu einer höheren Technisierung und damit auch einer höheren Komplexität des Gebäudes. Geschuldet ist diese den gestiegenen Anforderungen der Nutzer an das Gebäude, aber auch den übergeordneten Anforderungen an die Effizienz der Gebäudehülle und der Technischen Gebäudeausrüstung.

Die EU-Gebäuderichtlinie⁸⁸ definiert in ihrer Novelle von 2018 in Artikel 2 Nummer 3 die gebäudetechnischen Systeme als:

„[...] die technische Ausrüstung eines Gebäudes oder Gebäudeteils für Raumheizung, Raumkühlung, Lüftung, Warmwasserbereitung für den häuslichen Gebrauch, eingebaute Beleuchtung, Gebäudeautomatisierung und -steuerung, Elektrizitätserzeugung am Gebäudestandort oder für eine Kombination derselben, einschließlich Systemen, die Energie aus erneuerbaren Quellen nutzen“⁸⁹.

In der HOAI 2013⁹⁰ ist die Technische Gebäudeausrüstung in Anlagengruppen gegliedert. Diese Anlagengruppen werden im Abschnitt 2 in § 53 (2) definiert.

Mit der Richtlinie 4700 arbeitet der VDI an einer Vereinheitlichung oder einer einheitlichen Terminologie für die Bereiche Architektur, Bautechnik, Technische Gebäudeausrüstung und Facility-Management⁹¹.

Mit der Richtlinienreihe VDI 3810 Blatt 1 bis Blatt 6: Betreiben von Gebäuden und Instandhalten von gebäudetechnischen Anlagen⁹² gibt der VDI

⁸⁸ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2018b), S. 75 - 91.

⁸⁹ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2018b), S. 81.

⁹⁰ Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2013a), S. 2276 - 2374.

⁹¹ Vgl. VDI 4700 2015-10.

⁹² Vgl. VDI 3810 Blatt 1 2012-05.

einen Überblick zur Verantwortung, zum Betrieb und zur Instandhaltung der gebäudetechnischen Anlagen.

Unter dem Titel „Facility Management – Technisches Monitoring von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen“⁹³ beschreibt der VDI mit der Richtlinie VDI 6041 die Anforderungen zur Durchführung des technischen Monitorings. Es werden im Wesentlichen die Schnittstellen zu den Fachdisziplinen der technischen Gebäudeausrüstung sowie Sinn und Zweck des technischen Monitorings aufgezeigt.

Um die Technische Gebäudeausrüstung nun hinsichtlich ihres Nutzens zu beurteilen, sollen im Folgenden verschiedene Ansätze kurz angerissen werden.

Der Nutzen kann im Gebäudebereich beispielsweise darin bestehen, in einem 100 m² und einem 150 m² großen Raum eine konstante Temperatur von 21 °C zu gewährleisten. Um eine Vergleichbarkeit unter definierten Randbedingungen sicherzustellen, ist es daher sinnvoll, den Energiebedarf oder -verbrauch auf die Fläche zu beziehen (kWh/m²).⁹⁴

In der EnEV wird der Energiebedarf aber nicht nur auf die Fläche, sondern zusätzlich auf das Jahr bezogen. Dadurch wird die energetische Qualität der Gebäudehülle zu einer wichtigen Randbedingung, denn vor allem im Winter spielt die energetische Qualität der Gebäudehülle eine relevante Rolle, da die Temperaturdifferenz dann besonders groß ist.

Durch die Anforderungen der bisherigen EnEV, die auch in das zukünftige GEG übernommen werden, sind bereits Vorgaben gemacht. Ein Neubau darf heute nach geltender Rechtslage höchstens 75 % des Primärenergiebedarfs des EnEV 2014 Referenzgebäudes erreichen. Diese 25%ige Verschärfung der EnEV wurde bereits mit der EnEV 2014 beschlossen und trat Anfang 2016 in Kraft.

Da die EnEV die Verrechenbarkeit der energetischen Qualität der Gebäudehülle mit der der Gebäudetechnik ermöglicht, kann der Aufwand für eine

⁹³ Vgl. VDI 6041 2017-07.

⁹⁴ Vgl. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. AGEB (2019), S. 30.

hoch gedämmte Gebäudehülle mit dem Aufwand für die Gebäudetechnik verrechnet werden. Damit kann auch eine Aussage zur Vergleichbarkeit verschiedener Gebäude getroffen werden.

Das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen sagt etwas über die Effizienz einer Technologie oder eines Systems aus. In der Regel wird mit der Technischen Gebäudeausrüstung Energie aufgewendet, um einen Nutzen zu generieren. Im Folgenden werden die energetischen Ansatzpunkte zur Quantifizierung, die CO₂-seitigen Ansatzpunkte sowie ein Materialintensitätsansatzpunkt vorgestellt.

Eine Maßzahl für das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand ist der Wirkungsgrad, der häufig in Prozent angegeben wird. Teilweise beinhaltet der Wirkungsgrad auch Festlegungen wie beispielsweise bei der Brennwertheizung. Dort wird der Wirkungsgrad auf den Heizwert bezogen und zusätzlich die latente Wärme des Abgasstroms genutzt. Daher kann der Wirkungsgrad bei Brennwertgeräten auch über 100 % liegen.

Die Leistungszahl oder der Coefficient of Performance (COP) gibt beispielsweise das Verhältnis des umgewälzten Luftstroms, der geförderten Wassermenge oder der abgegebenen thermischen Leistung zu der aufgenommenen Fremdleistung unter definierten Randbedingungen an. Für einen Vergleich unterschiedlicher Technologien ist daher immer die Vergleichsbasis mit den Randbedingungen aufzuführen.⁹⁵

Die Kombination der verschiedenen gebäudetechnischen Systeme und der damit erzielbare Nutzen werden bei der Jahresarbeitszahl (JAZ) über ein Jahr ins Verhältnis gesetzt. Das kann die abgegebene thermische Leistung zu der erforderlichen Fremdleistung, wie beispielsweise elektrischer Energie für den Betrieb einer elektrisch angetriebenen Wärmepumpe, sein. Es kann sich aber auch um die bei der Klimatisierung abgegebene Kälte zu der für Antriebe und Hilfskomponenten einer Absorptionskältemaschine erforderlichen elektrischen Energie handeln. Zur Bewertung eines Systems liefert die

⁹⁵ Vgl. Verband Beratender Ingenieure VBI (2012), S. 41.

Jahresarbeitszahl die praktikabelsten Ergebnisse⁹⁶. Die Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen kann mithilfe der VDI 4650 durchgeführt werden⁹⁷.

Durch die Kombination verschiedener Technologien, insbesondere von Technologien zur Speicherung mit Technologien zur Energieerzeugung aus Erneuerbaren Energien, kann mit relativ wenig Aufwand ein hoher Nutzen generiert werden. Dies wird im Folgenden bei den Technologien und deren einfacher Kombination sowie später bei den Beispielen deutlich.

Der immer wieder diskutierte Aspekt der energetischen Amortisation, also das Verhältnis von Energieaufwand für die Herstellung einer Technologie zum energetischen Nutzen gegenüber einer weniger effizienten oder notwendigen Technologie, lässt sich beispielsweise mit Daten aus der Ökobaudat (www.oekobaudat.de) unterlegen. Die Ökobaudat enthält Datensätze für zahlreiche Komponenten der Technischen Gebäudeausrüstung wie Lüftung, Dämmung, Wärmepumpen oder Flächenheizungen. Diese Datensätze ermöglichen beispielsweise eine detaillierte Quantifizierung des nicht erneuerbaren Primärenergieaufwands für die Herstellung einer Technologie. Der Nutzen wird dann meist durch eine Kombination der Technologien während ihrer Lebensdauer erbracht. Die Quantifizierung des Nutzens ist dann die Differenz zwischen dem nicht erneuerbaren Primärenergieaufwand für energieeffiziente gegenüber weniger effizienten oder notwendigen Technologien der Technischen Gebäudeausrüstung.

Da die Abgrenzung zwischen dem Mehraufwand und dem notwendigen Aufwand nicht leicht ist, soll im Folgenden auf Einzelbetrachtungen in den späteren Beispielen verwiesen werden (siehe Kapitel 5.2 Rathaus Freiburg).

Die Ökobaudat (www.oekobaudat.de) liefert aber auch Zahlen zu den CO₂-Emissionen, die bei der Herstellung von Technologien zur Wärme- und Strombereitstellung mit Erneuerbaren Energien anfallen. Damit lässt sich dann ebenfalls ein Bottom-up-Ansatz verfolgen. Dazu müssen die CO₂-Emissionen für die Herstellung, die Wartung sowie Instandhaltung der

⁹⁶ Vgl. Verband Beratender Ingenieure VBI (2012), S. 41.

⁹⁷ Vgl. VDI 4650 Blatt 1 2019-03.

Technologien über ihre Lebensdauer hinweg in Beziehung gesetzt werden zu den vermiedenen CO₂-Emissionen aus der Nutzung nicht erneuerbarer Primärenergie, mit der der gleiche Nutzen erzielt werden kann.

In der Studie „Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger“ von November 2019 stellt das Umweltbundesamt mit eigenen Berechnungen die bei der Produktion von Technologien verursachten CO₂-Emissionen den vermiedenen CO₂-Emissionen gegenüber: Bei Photovoltaik-(PV-)Strom werden beispielsweise 3 Mio. t CO₂-Emissionen durch die Herstellung verursacht und knapp 32 Mio. t CO₂-Emissionen vermieden. Werden diese Werte gegenübergestellt und auf Kilowattstunden heruntergerechnet, werden im Ergebnis 627 g CO₂-Emissionen mit jeder Kilowattstunde PV-Strom vermieden. Durch jede mit Pellets erzeugte Kilowattstunde Wärme im Sektor GHD werden 308 g CO₂-Emissionen vermieden.⁹⁸

Die CO₂-Vermeidungskosten für einzelne oder ein System von Technologien werden durch Kombination des CO₂-seitigen Ansatzes mit dem Kostenansatz ermittelt. Für die Gebäudetechnik ist dieser Ansatz in der vom BDI bei McKinsey beauftragten Studie „Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland“ dokumentiert. Einigen Technologien für den Nichtwohngebäudebereich, insbesondere hinsichtlich der Wärmerückgewinnung und Ertüchtigung von Raumluftechnischen Geräten, konnten durchweg negative Vermeidungskosten von teilweise mehr als 200 Euro pro t zugeordnet werden.⁹⁹

Die CO₂-Einsparung durch Nachrüstung einer Wärmerückgewinnung sowie die Ertüchtigung von Raumluftechnischen Geräten werden in einer Studie des „Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden“ auf 0,756 und 0,4 Mio. t CO₂ pro Jahr beziffert. Beide Maßnahmen haben auch in dieser Studie negative Vermeidungskosten von mehr als 200 Euro/t CO₂ innerhalb einer Lebensdauer von 15 Jahren.¹⁰⁰

⁹⁸ Vgl. Lauf, T.; Memmler, M. und Schneider, S. (2019).

⁹⁹ Vgl. BDI (2009).

¹⁰⁰ Vgl. Franzke, U. (2019).

„Bei der Berechnung von CO₂-Vermeidungskosten berücksichtigt man einerseits alle Mittel, die zunächst aufgebracht werden müssen, und andererseits auch durch die Maßnahme vermiedene Kosten - nicht aber Einsparungen durch vermiedene Klimaschäden oder andere indirekte, schwer quantifizierbare Faktoren.“¹⁰¹

Ab Januar 2021 wird eine nationale Emissionsabgabe für fossile Brennstoffe, die nicht bereits dem EU-Emissionshandel unterliegen, mit einem Startpreis von 25 Euro pro Tonne CO₂ in Kraft treten. Dieser Preis für CO₂ wird bis 2025 auf 55 Euro pro Tonne steigen. Darauf hat sich der Vermittlungsausschuss des Deutschen Bundestags geeinigt¹⁰². Das 2019 beschlossene Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG)¹⁰³ wurde daraufhin in einem von der Bundesregierung im Frühjahr 2020 durchgeführten neuen Gesetzgebungsverfahren entsprechend geändert¹⁰⁴.

Wenn die klimaschädlichen CO₂-Emissionen der Wärmebereitstellung durch die Verbrennung fossiler Energieträger im Gebäudesektor einen Preis bekommen, werden Heizungen, die mit Erneuerbaren Energien betrieben werden, durch geringere Betriebskosten sowie Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz automatisch attraktiver.¹⁰⁵

Es können aber auch die für die Herstellung der Technischen Gebäudeausrüstung erforderlichen Rohstoffe zu den für ihren Betrieb erforderlichen Rohstoffen ins Verhältnis gesetzt werden. In der UBA-Studie „Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität“ ist für den Wohngebäudebestand eine Abschätzung des Rohstoffaufwands vorgenommen worden. Für Lüftungen, Dämmung sowie Wärmepumpen mit Flächenheizung sind von 2010 bis 2050 820 Mio. t Rohstoffaufwand notwendig. Gemittelt über 40 Jahre ergibt das 20,5 Mio. t pro Jahr. Demgegenüber steht der Nutzen. Im Jahr 2010 betrug der kumulierte Rohstoffaufwand für die Wärmeversorgung von Gebäuden etwa 48,7 Mio. t, der sich durch die Umsetzung des KfW-

¹⁰¹ Vgl. Franzke, U. (2019).

¹⁰² Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2020d).

¹⁰³ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2019a).

¹⁰⁴ Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2020b).

¹⁰⁵ Vgl. IEA (2020), S. 15.

Effizienzhaus-Standards 40 um 33,6 Mio. t auf 15,1 Mio. t jährlich reduzieren ließe. Dem Aufwand steht also ein wesentlich höherer Nutzen gegenüber.¹⁰⁶

In einer Leitstudie der dena zur Energiewende werden Einsparpotenziale im Nichtwohngebäudebereich quantifiziert. Anders als im Wohngebäudebereich spielen im Nichtwohngebäudebereich Kühlung und Beleuchtung eine große Rolle. Betrachtet wurde jeweils ein saniertes oder neues gegenüber einem unsanierten Gebäude. Mit gängigen anlagentechnischen Lösungen und durch marktüblichen baulichen Wärmeschutz lassen sich Einsparpotenziale von durchschnittlich 50 % erzielen. Untersucht wurden ein Hotel (36 % Einsparung), eine Sporthalle (44 % Einsparung), ein Zentrallager (49 % Einsparung), ein Möbelmarkt (55 % Einsparung), eine Werkstatt (60 % Einsparung), eine Fertigungshalle (47 % Einsparung), ein Bürogebäude (58 % Einsparung) und eine Schule (50 % Einsparung).¹⁰⁷

Zusammenfassend lässt sich also sagen, unabhängig davon, in welcher Kategorie der Aufwand für die Technische Gebäudeausrüstung quantifiziert wird, muss er immer ins Verhältnis zum Nutzen gesetzt und zusätzlich auf die Lebensdauer bezogen werden. Erst dann kann eine Aussage getroffen werden.

Mit der Richtlinienreihe VDI 2067 wird die Berechnung der Wirtschaftlichkeit von gebäudetechnischen Anlagen geregelt. Sie gilt für alle Gebäudetypen und enthält außerdem die Berechnung der Lebenszykluskosten. Damit können verschiedene Anlagenkonzepte miteinander verglichen werden.¹⁰⁸

3.1 Ressourceneffiziente Energiebereitstellung

In allen drei energetischen Bereichen (Strom, Wärme, Kälte) können fossile Ressourcen durch Erneuerbare Energien ersetzt werden. Technologien dazu sind am Markt vorhanden.

¹⁰⁶ Vgl. Günther, J.; Lehmann, H.; Nuss, P. und Purr, K. (2019b), S. 182.

¹⁰⁷ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2018a), S. 313 - 315.

¹⁰⁸ Vgl. VDI 2067 2012-09.

Strom kann nicht nur durch Photovoltaik auf oder am Gebäude, sondern auch durch Windkraft- oder Biogasanlagen in der Nähe des Gebäudes erzeugt werden. Wärmequellen im Nichtwohngebäude sind die Abluft, die Abwärme der IT, der technischen Aggregate wie Kältemaschinen oder Blockheizkraftwerke oder auch des Abwassers. Kälte kann durch die kalte Außenluft, den Untergrund, mit dem Untergrund in Verbindung stehende Bauteile, das Grundwasser oder das Oberflächenwasser bereitgestellt werden.

Aktive ressourceneffiziente Systeme zur Wärmeerzeugung sind Wärmepumpen (elektrisch oder gasmotorisch), die mit Erdsonden oder Erdwärmekollektoren oder auch mit der Außenluft als Quelle arbeiten. Dazu zählen ebenso das Heizen, die Warmwasserbereitung und die Prozesswärmebereitstellung auf Basis Erneuerbarer Energien, insbesondere der Solarthermie mit Flach- oder Vakuumröhrenkollektoren zur Nutzung der Globalstrahlung sowie mit Konzentratoren wie Parabolrinnen- oder Fresnelkollektoren zur Nutzung der direkten Sonnenstrahlung.

Besonders ressourceneffizient sind kombinierte Systeme wie Wärmepumpen, die mit Strom aus Photovoltaik angetrieben werden, oder Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungs-Anlagen (KWKK). Als Brennstoffe kommen nachwachsende Ressourcen in Form von fester, flüssiger oder gasförmiger Biomasse, Wasserstoff oder synthetische, gasförmige oder flüssige Brennstoffe zum Einsatz.

In einer Studie des Fraunhofer ISE werden insbesondere Wärmepumpen, die den Umweltmedien Wärme entnehmen, die Nutzung von Biomasse, von Solarthermie-Anlagen, der Einsatz von Brennstoffzellen oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, die den eingesetzten Energieträger effizienter nutzen als ein Verbrennungskessel, als die Technologien der Zukunft gesehen.¹⁰⁹

3.1.1 Thermische Solarenergienutzung

Die Solarstrahlung auf die horizontale Fläche in Mitteleuropa beträgt im Schnitt 800 – 1.200 kWh/m² und Jahr¹¹⁰.

¹⁰⁹ Vgl. Sterchele, P.; Brandes, J.; Heilig, J.; Wrede, D.; Kost, C.; Schlegl, T.; Bett, A. und Henning, H.-M. (2020), Anhang Tabelle 4.

¹¹⁰ Vgl. Baudson, O.; Botreau, F. und Dittemer, B. (2019), S. 37.

Für die Umwandlung von Solarstrahlung in Wärme kann mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 80 % gerechnet werden. Wenn man sich allerdings die Verteilung der Solarstrahlung verdeutlicht, werden schnell einige Dinge klar:

- über den Tag ist die Solarenergie ungleich verteilt,
- der Ertrag in den Wintermonaten ist viel geringer als im Sommer,
- es erscheint nicht unbedingt wirtschaftlich, den gesamten Wärmebedarf im Winter durch Solarthermie zu decken.

Aus der ungleichen Verteilung der Solarenergie über den Tag und das Jahr ergibt sich die Notwendigkeit der Speicherung. Je nach Art des Speichers kann die Wärme aus der Solarthermie von einigen Tagen bis hin zu Wochen oder Monaten im mit der Heizung kombinierten Pufferspeicher oder bis hin zu einer Saison in großen Wasserspeichern oder aber auch im Untergrund gespeichert werden.

Wärmespeicher können nicht nur Wärme aus Solarthermie, sondern auch Wärme, die mit Wärmepumpen, KWK-Anlagen oder elektrisch betriebenen Heizelementen erzeugt wurde, aufnehmen. Wärmespeicher sind skalierbar vom Einfamilienhaus über den Gewerbebetrieb bis hin zum Quartier. Je größer der Speicher ist, desto geringer sind die Verluste. Mit mehreren 1000 m³ ist auch eine saisonale Speicherung möglich.¹¹¹

Speicher müssen auf den Bedarf an Warmwasser oder Prozesswärme ausgelegt werden. Im Bestand kann die Dimensionierung eine Herausforderung sein, denn oft ist der zur Verfügung stehende Raum begrenzt oder es ist aufgrund der baulichen Gegebenheiten nur der Einbau eines großen vorgefertigten Speichers mit viel Aufwand möglich. Im Speicher kann auch Wärme auf verschiedenen Temperaturniveaus gespeichert werden. Die Wärme auf niedrigerem Niveau lässt sich dann direkt für die Heizung oder zur Temperierung der massiven Teile des Gebäudes nutzen, die Wärme auf höherem

¹¹¹ Vgl. Wirth, H. (2020), S. 69.

Temperaturniveau zur Warmwasserbereitung oder für gewerbliche oder industrielle Prozesse.

Gute Beispiele für die Nutzung der Solarthermie für industrielle und gewerbliche Prozesse gibt der Film „Prozesswärme – Mit der Sonne produzieren“¹¹² (noch mit Nennung der inzwischen aktualisierten Förderbedingungen, siehe Kapitel 2.6) des VDI ZRE.

Mit erprobten Technologien zur thermischen Solarenergienutzung Prozesswärme zu erzeugen, zu speichern und bereitzustellen, ist nicht nur auf lange Sicht sinnvoll, sondern führt dank der attraktiven Bundesförderung für solare Prozesswärme¹¹³ bereits nach einigen Jahren zu einer signifikanten Kosteneinsparung.

Die Variante der Speicherung thermischer Solarenergie aus dem Sommer für den Winter ist eine Idee, die bereits vor Jahrzehnten, beispielsweise in Hamburg oder Friedrichshafen, erprobt wurde. Diese Projekte der ersten Generation bewiesen, dass Solarthermie in großen Behältern saisonal speicherfähig ist.

Allerdings muss es nicht immer die saisonale Speicherung sein. Zahlreiche Projekte im Nachbarland Dänemark zeigen, dass auch eine Kombination aus Solarthermie und Wärmenetz wirtschaftlich sein kann. Bereits über 100 Kommunen und Städte in Dänemark haben einen hohen Solaranteil in ihren Wärmenetzen. Einige deutsche Kommunen und deren Stadtwerke haben inzwischen umgedacht und etablieren ebenfalls Projekte in diesem Bereich. So haben die Stadtwerke Senftenberg im August 2016 eine 8300 m² große Solarthermieanlage mit einer Peakleistung von 4,5 MW in Betrieb genommen. Die Vakuumröhrenkollektoren versorgen im Sommer das komplette Netz, das mit seinem großen Volumen gleichzeitig Speicher für die erzeugte Wärme ist.¹¹⁴

¹¹² Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017a).

¹¹³ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020a).

¹¹⁴ Vgl. Meißner, R. und Moschke, D. (2018), S. 83 - 89.

Die größten zurzeit im Bau befindlichen Solarthermieanlagen in Verbindung mit einem örtlichen Wärmenetz liegen in Ludwigsburg/Kornwestheim (14.800 m²), Potsdam (5.000 m²), Halle (5.100 m²), Bernburg (8.600 m²) und Ettenheim (1.700 m²).¹¹⁵

3.1.2 Wärmenetze

Die bereits erwähnte Solarthermieanlage Ludwigsburg/Kornwestheim wurde in ein bestehendes Fernwärmenetz eingebunden. Um den hohen Solarertrag zur Mittagszeit kontinuierlich verteilen zu können, wurde ein 2000 m³ großer Wärmespeicher errichtet. Dieser Wärmespeicher befindet sich unweit eines bestehenden Holzheizwerks, das über wenig Flexibilitäten verfügt und dessen Ertrag so ebenfalls besser verteilt werden kann.¹¹⁶

An der Stelle Wärmenetz und Wärmespeicher setzt die Bundesförderung „Effiziente Wärmenetze“ an (Wärmenetzsysteme 4.0), die bis zum 31. Dezember 2022 befristet ist. Im Modul II kann bei KMU die Realisierung eines solchen Wärmenetzsystems mit bis zu 50 % der förderfähigen Ausgaben (Fördermodul II) bezuschusst werden, wenn es möglich ist, die Nachhaltigkeitsprämie für die Nutzung Erneuerbarer Energien und Abwärme in Anspruch zu nehmen.¹¹⁷

Eine weitere Variante besteht darin, die Wärme des Sommers aus Solarthermie, Abwärme, der Betonkernaktivierung oder anderen aktivierten Gebäudeteilen über Technologien zur Nutzung oberflächennaher Geothermie im von der Sonne nicht beeinflussten Bodenbereich unterhalb von etwa 15 m einzulagern. Im Winter dann kann dem Untergrund mithilfe von Erdsonden und Wärmepumpen die Wärme wieder entzogen und für die Heizung des Gebäudes genutzt werden^{118, 119}. Dadurch steht im Winter nicht nur Wärme für die Gebäudeheizung zur Verfügung, sondern während des Sommers ebenfalls Kälte aus dem Untergrund für die Gebäudekühlung. Auch ein solches Projekt ist über die Bundesförderung Effiziente Wärmenetze

¹¹⁵ Vgl. Solarserver (2019).

¹¹⁶ Vgl. Stadtwerke Ludwigsburg-Kornwestheim GmbH (2017).

¹¹⁷ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2019a).

¹¹⁸ Vgl. AHO Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e.V. (2011).

¹¹⁹ Vgl. Verband Beratender Ingenieure VBI (2012).

förderfähig, wenn gewisse Bedingungen erfüllt und beispielsweise ausreichend Wärmeabnehmer angeschlossen sind.

Die Stadt Meldorf in Schleswig-Holstein im Kreis Dithmarschen realisiert ein Projekt bestehend aus einem Netz mit saisonaler Wärmespeicherung, in das die Abwärme der Druckerei Eversfrank sowie die Wärme einer Biogasanlage eingebunden werden. Bisher wird die Druckereiabwärme zum Großteil an die Umgebung abgegeben. Solarthermie soll in einer weiteren Ausbaustufe das Energiekonzept ergänzen. Gefördert wurde das Projekt noch im Programm „Kommunale Klimaschutz-Modellprojekte“ der nationalen Klimaschutzinitiative.¹²⁰

In dem Film des VDI ZRE „Ein Netz aus Wärme“¹²¹ wird die vernetzte und kaskadierte Nutzung von Abwärme in einem Industriegebiet in Stade anschaulich dargestellt.

Betonkernaktivierung

Wenn Bausubstanz am Tag von der Sonne bestrahlt wurde und am späten Abend immer noch Wärme abstrahlt, wurde die Energie des Sonnenlichts absorbiert und gespeichert. Die Fähigkeit, Wärme zu speichern, nennt man Wärmespeicherfähigkeit. Die Betonkern- oder Bauteilaktivierung, die Aktivierung der Bodenplatte durch wasserführende Rohrleitungen oder der Wände und Decken durch Kapillarmatten sind probate Mittel zum Zweck. Im Bestand kommt auch die Installation von Heiz- und Kühldecken in Frage.

Welche Rolle können Prognosen spielen

Massen mit guter Wärmespeicherfähigkeit eignen sich sehr gut, um träge Systeme wie Gebäude vorausschauend zu heizen oder zu kühlen. Durch die automatisierte Einbeziehung von Wetter- oder Nutzungsprognosen können Gebäude optimal auf den kommenden Tag der Nutzung vorbereitet werden.¹²²

¹²⁰ Vgl. Sievers, S. und Brumm, S. (2019).

¹²¹ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2014a).

¹²² Vgl. International Energy Agency iea (2019), S. 52.

Abhängig davon, wann und wie Räume genutzt werden sollen, können beispielsweise passive Gewinne in der Bausubstanz gespeichert oder die niedrigen Temperaturen der Nacht zur Kühlung des Gebäudes genutzt werden. Notwendige Ressourcen können dadurch effizient genutzt und in den Bereichen Kälte und Wärme auch bereitgestellt werden.

Eisspeicher

Eisspeicher sind ideale Begleiter von effizienter Gebäudetechnik, denn sie arbeiten mit den Jahreszeiten. Wenn im Sommer genügend Wärme aus der Kühlung des Gebäudes in den Eisspeicher eingelagert wurde, kann im Winter damit geheizt werden. Der Vorteil eines Eisspeichers gegenüber einem Wasserspeicher steckt im Phasenwechsel. Beim Gefrieren von Wasser beispielsweise wird so viel Wärme frei, wie zum Erwärmen derselben Menge Wasser von 0 °C auf 80 °C nötig wäre. Beim Phasenwechsel von flüssig zu fest kann dem Wasser also besonders viel Energie entnommen werden. Man spricht von freiwerdender Latentwärme oder Umwandlungsenthalpie. Diese Latentwärme können Wärmepumpen nutzen, um Gebäude zu beheizen. Der Eisspeicher liefert also immer zur richtigen Zeit das, was gebraucht wird: Wärme im Winter und Kälte im Sommer. Um die Kälte eines Eisspeichers mobil zu machen, wurde am Institut für Luft- und Kältetechnik (ILK Dresden) ein pumpfähiges Flüssigeis mit einem Schmelzpunkt von -5 °C entwickelt, das mit dem Vakuumeisverfahren erzeugt wird.^{123, 124}

Abwärmennutzung

Die Nutzung von Abwärme kann in KMU dezentral und auf verschiedenen Temperaturniveaus erfolgen. In sogenannten Pufferspeichern beispielsweise kann Wasser auf unterschiedlichen Temperaturniveaus gespeichert und später auch wieder entnommen werden. Die Herausforderung liegt darin, eine Durchmischung zu verhindern. Ein anderer Ansatz ist es, die Wärme auf den verschiedenen Niveaus in voneinander getrennten Tanks zu speichern (siehe Beispiel 5.3 ETA Fabrik TU Darmstadt und 5.9 EUREF Campus).

¹²³ Vgl. Safarik, M. (2019b).

¹²⁴ Vgl. Safarik, M. (2019a).

In einer etwas größeren Dimension kann Abwärme aus der Industrie auch über ein Nah- oder Fernwärmenetz zur Wärmeversorgung eines ganzen Quartiers oder sogar Stadtteils genutzt werden. Das Unternehmen *energcity* aus Hannover realisiert ein solches Projekt in Hamburg. Abwärme des Unternehmens *Aurubis*, die in einem Nebenprozess der Kupferproduktion entsteht, fließt bereits seit Oktober 2018 über eine Fernwärmeleitung zur östlichen *HafenCity*. Hamburg fördert die Errichtung der Energiezentrale aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE). Bis Ende 2020 soll auch eine Verlängerung der Fernwärmetrasse nach Hamburg-Rothenburgsort fertiggestellt sein.¹²⁵

3.1.3 Photovoltaik

Für die Umwandlung von Solarstrahlung in Strom kann mit einem Wirkungsgrad zwischen knapp 10 und fast 20 % gerechnet werden. Zwischen einem Zehntel und einem Fünftel der Globalstrahlung kann also durch Photovoltaik in Strom umgewandelt werden. Neben dem Wirkungsgrad bestimmen weitere Faktoren wie beispielsweise der Neigungswinkel, die Verschattung, die Degradation, die Umgebungstemperatur, der Verschmutzungsgrad, die elektrischen Verluste in Leitungen, Wechselrichter oder der Trafo den Ertrag eines Photovoltaikmoduls.¹²⁶

Die Kombination der Photovoltaik mit einem Batteriespeicher kann nicht nur helfen, den in den sonnenreichen Tagesstunden erzeugten Strom später zu nutzen, sondern auch die Netze zu entlasten, denn mit einem höheren Anteil fluktuierender Erzeugung steigt auch die Herausforderung, den Strom über die Netze zum Verbraucher zu leiten.

3.1.4 Stromspeicherung

Batteriespeicher werden immer wichtiger, um das Stromnetz zu stabilisieren. Ihre Vorteile gegenüber großen thermischen Kraftwerken liegen in ihrer schnellen Verfügbarkeit. Neben der Lithium-Ionen-Batterie und der klassischen Blei-Säure-Batterie sind auch Natrium-Schwefel-Batterien bereits seit 20 Jahren erprobt.¹²⁷ Weitere Technologien sind Redox-Flow-Systeme oder

¹²⁵ Vgl. *energcity AG (2019)*.

¹²⁶ Vgl. *Wirth, H. (2020)*, S. 83.

¹²⁷ Vgl. *Baudson, O.; Botreau, F. und Dittmer, B. (2019)*, S. 131.

Lithium-Schwefel-Batterien. Selbstverständlich erfordern auch Batteriespeicher eine technische/wirtschaftliche Auslegung, denn in Abhängigkeit vom Aufwand zum Nutzen kann es auch sinnvoll sein, einen Umweg über die mechanische, thermische oder chemische Speicherung von Strom zu gehen. Das Speichern von Flüssigkeiten oder Gasen in Behältern oder auch Kavernen weist nur geringe Verluste auf und ist eine ausgereifte Technologie.

Der Berliner Senat beispielsweise hat die Umsetzung einer „Stromspeicher-Richtlinie Berlin“¹²⁸ beschlossen. Das Förderprogramm „Förderrichtlinie für Stromspeicher in Verbindung mit einer neu zu errichtenden PV-Anlage im Rahmen des Berliner Energie- und Klimaschutzprogramms 2030“ ist im Oktober 2019 gestartet.

Neben dem Ausbau der Photovoltaik sollen die Verteilnetze entlastet werden. Antragsberechtigt sind Privatpersonen und Unternehmen. Die Förderung beträgt 300 Euro je kWh nutzbarer Kapazität des Stromspeichersystems, maximal jedoch 15.000 Euro. Beim Einsatz einer prognosebasierten Betriebsstrategie wird ein Bonus von 300 Euro gewährt.¹²⁹

Nach der Richtlinie werden nicht nur Batteriespeicher, sondern auch Salzwasserbatterien, Redox-Flow-Systeme oder Wasserstoffspeichersysteme in Kombination mit Elektrolyseur und Brennstoffzelle gefördert¹³⁰. Einige weitere Bundesländer haben ähnliche Programme aufgelegt. Das Speichern von Strom kann aber nicht nur zur Entlastung der Netze beitragen, sondern dient in etwas größeren Dimensionen auch ihrer Stabilisierung. Bisher sind es vorwiegend von Stadtwerken errichtete Stromspeicherkraftwerke, meist auf der Basis von Lithium-Ionen-Akkus, die Regelenergie bereitstellen, um das Netz zu stabilisieren. Dieser Markt ist allerdings noch in der Entwicklung, denn bisher kann ein solcher Speicher lediglich über die Vermarktung von Regelenergie refinanziert werden. Allerdings wird sich mit zunehmender Dezentralisierung auch die bestehende Gesetzeslage ändern und eine Teilnahme von KMU an diesem Markt mit eigenen Speichern interessant werden.

¹²⁸ Vgl. Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe (2019).

¹²⁹ Vgl. Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe (2019).

¹³⁰ Vgl. Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe (2019).

3.1.5 Lastmanagement oder Demand Side Management

In einem Stromnetz kann nicht mehr Strom erzeugt als verbraucht werden, aber umgekehrt kann auch nicht mehr Strom verbraucht als erzeugt werden. Jedes Ungleichgewicht verursacht eine Frequenzänderung und führt im schlimmsten Fall zu einem Blackout. Daher sind Flexibilitäten bei Stromerzeugern und auf Seiten der Stromverbraucher erforderlich. Bislang wurden Flexibilitäten vorwiegend auf der Erzeugungsseite durch konventionelle Kraftwerke bereitgestellt. Große Generatoren gewährleisten darüber hinaus durch ihre träge rotierende Masse die Stabilisierung der Stromnetze. Flexibilitäten auf Seiten der Stromverbraucher werden auch als Last oder Demand Side Management (DSM) bezeichnet. Kleine und mittlere Unternehmen oder Nichtwohngebäude können diese Flexibilitäten durch gezieltes An- oder Abschalten, Herauf- oder Herunterfahren von Lasten im Bereich Strom bereitstellen.¹³¹

Die Zahlen des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) von 2019 verdeutlichen, dass die Entwicklung bereits in vollem Gange ist und sich auch für KMU vielfältige Möglichkeiten zur Teilnahme an ganz neuen Märkten entwickeln werden: Erneuerbare Energien wiesen einen Anteil von 43 % am Bruttostromverbrauch auf und lieferten 242 TWh von 569 TWh.¹³²

In dem Szenario „B 2030“ des Netzentwicklungsplans 2020 kalkulieren die Übertragungsnetzbetreiber für Flexibilitäten und Speicher im Bereich Industrie und GHD 4 GW, zusätzlich 2 GW Großbatteriespeicher und 8 GW PV-Batteriespeicher, weiterhin 2,6 Mio. Wärmepumpen und 6 Mio. Elektroautos.^{133, 134}

Der Entwurf des Netzentwicklungsplans 2021 sah im Szenario „B 2035“ bereits 6 Mio. Wärmepumpen und 12,1 Mio. Elektroautos vor und für den

¹³¹ Vgl. Baudson, O.; Botreau, F. und Dittmer, B. (2019), S. 91.

¹³² Vgl. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2020).

¹³³ Vgl. 50Hertz Transmission GmbH; Amprion GmbH; TenneT TSO GmbH und TransnetBW GmbH (2019), S. 30.

¹³⁴ Vgl. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (20. Dezember 2019), S. 28.

Bereich DSM in den Sektoren Industrie und GHD 5 GW, für Großbatteriespeicher 3 GW und für PV-Speicher 15,3 GW.¹³⁵

Von der Bundesnetzagentur genehmigt wurden am 26. Juni 2020 im Szenario „B 2035“ dann 5 Mio. Wärmepumpen und 12,1 Mio. Elektroautos sowie für den Bereich DSM in den Sektoren Industrie und GHD 5 GW, für Großbatteriespeicher 3,8 GW und für PV-Speicher 14,1 GW.¹³⁶

Die Tendenz ist also steigend und die vier Übertragungsnetzbetreiber Deutschlands treffen inzwischen recht kleinteilige Maßnahmen, damit das Gleichgewicht gehalten werden kann. Im Bereich der hier betrachteten Nichtwohngebäude kommen strombetriebene Heizelemente im gebäude-technischen Bereich, die Be- und Entlüftung, Klimatisierung, Kältemaschinen, Blockheizkraftwerke, elektrisch betriebene Speicher im Wärmenetz, Wärmepumpen, Batteriespeicher, Elektroautos sowie steuerbare industrielle Prozesse für das Demand Side Management in Frage.

Bei vorausschauender Fahrweise eines Gebäudes können so zu Zeiten, in denen die gebäudeinternen Stromspeicher oder die Batterien der Elektroautos bereits gefüllt sind und selbst erzeugter Strom zur Verfügung steht oder es im Netz Strom zu günstigen Preisen gibt, thermische, aber natürlich auch elektrische Speicher aufgeladen werden.

Ein großes Potenzial sieht die EU in Artikel 8 der EU-Gebäuderichtlinie hinsichtlich der Intelligenzfähigkeit von Gebäuden, die dort mit dem sogenannten Intelligenzfähigkeitsindikator beschrieben wird. Der Intelligenzfähigkeitsindikator nach Anhang 1A der EU-Gebäuderichtlinie soll ein Maß dafür sein, inwieweit Gebäude ihren Betrieb an den Bedarf der Bewohner und des Netzes anpassen können.¹³⁷

¹³⁵ Vgl. 50Hertz Transmission GmbH; Amprion GmbH; TenneT TSO GmbH und TransnetBW GmbH (2020).

¹³⁶ Vgl. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (26. Juni 2020), S. 4.

¹³⁷ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2018b), S. 91.

In § 103 (1) enthält das GEG¹³⁸ eine Innovationsklausel, die gilt, wenn nach 1. b) der Jahresendenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung und eingebaute Beleuchtung für neu zu errichtende Nichtwohngebäude das 0,75-Fache des für das Referenzgebäude Erforderlichen aufweist oder nach 2. b) der Jahresendenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung und eingebaute Beleuchtung für geänderte Nichtwohngebäude das 1,4-Fache des für das Referenzgebäude Erforderlichen nicht überschreitet.¹³⁹

Durch eine intelligente prädiktive und adaptive Steuerung sowie die Umwandlung, Speicherung oder den automatisierten Verkauf von Energie an benachbarte Gebäude oder Netzbetreiber können die Vorgaben der EU durchaus auch erfüllt und darüber hinaus Gewinne erzielt werden¹⁴⁰.

Mit einem betrieblichen Lastmanagement können Lastspitzen so reduziert und das Lastprofil derart geglättet werden, dass es zu keiner Überschreitung eines Limits beim Verbrauch kommt. Aus Dokumentationen des Bedarfs lassen sich regelmäßig wiederkehrende oder einmalige Spitzen identifizieren und auch für die Zukunft prognostizieren. Betriebliche Prozesse können beispielsweise dann gefahren werden, wenn das Angebot von Strom hoch und der Preis dafür niedrig ist. Ideal ist es auch, wenn Lasten verschoben werden und stromintensive Prozesse zu Zeiten hoher Strompreise unterbrochen werden können.

Eine eigene Energieerzeugung und -speicherung können so ausgerichtet werden, dass ein Strombezug zu Zeiten, in denen das Netz stark belastet und der Preis dafür hoch ist, vermieden wird. Stattdessen wird der Strombedarf mit eigenen Anlagen oder aus eigenen Speichern gedeckt oder es wird sogar so viel Strom erzeugt, dass dieser am Markt angeboten werden kann.

Das Lastmanagement wird an Bedeutung gewinnen, denn im Zuge der zukünftigen Belastung der Stromnetze durch Elektromobilität, urbane Verdichtung und zunehmende Elektrifizierung der Gebäudetechnik – dazu gehört auch das Heizen von Gebäuden mit Wärmepumpen – werden die Stromnetze

¹³⁸ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (13. August 2020).

¹³⁹ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (13. August 2020).

¹⁴⁰ Vgl. Jurkait, K. (2019), S. 185.

auf der Mittel- und Niederspannungsebene vermehrt stark belastet. Um hier nicht an Grenzen zu stoßen und die Stromnetze zu stabilisieren, ist es erforderlich, steuernd einzugreifen, denn insbesondere auf der Seite der Verteilnetzbetreiber, die diese Ebenen bewirtschaften, ist es betriebswirtschaftlich nicht sinnvoll, die Netze auf einen maximalen Bedarf auszulegen.

Die International Energy Agency IEA geht davon aus, dass der Energiebedarf des Gebäudesektors bis 2050 durch die Kombination von Energiemanagement-Systemen mit KI um 10 % sinken kann¹⁴¹. Durch die Vermarktung von Flexibilitäten und die Einspeisung von Wärme, Kälte oder Strom können Gebäude auch am Energiehandel teilnehmen.

Je belastbarer also Prognosen für Strombedarf und Stromerzeugung sind und je flexibler die Last ist, desto leichter wird es auch, sie zu vermarkten, und desto höher ist das monetäre Einsparpotenzial. Am Markt existieren zahlreiche Dienstleister, sogenannte Aggregatoren, die diese Lasten bündeln und deren Management übernehmen.

3.1.6 Energie Umwandlung Wärme ↔ Strom

Mit dem Angebot von Strom aus Erneuerbaren Energien, der manchmal nicht direkt verbraucht werden kann, weil Verbraucher gerade keinen Strom benötigen oder weil Strom über Netze nicht zu Verbrauchern transportiert werden kann, wird die Umwandlung von Strom in Wärme wieder populär. Dezentral können elektrische Heizelemente in Heizungen oder Blockheizkraftwerken Strom in Wärme umwandeln, zentral kann das in einem Nah- oder Fernwärmenetz geschehen.

Eine auf einem hohen Temperaturniveau durch Strom erzeugte Wärme, die in Steinen, Salzen oder Metallen gespeichert werden kann, ermöglicht ebenso eine direkte Rückverstromung durch herkömmliche thermische Kraftwerkstechnik. Abhängig von den gewerblichen oder industriellen Prozessen kann auch auf hohem Temperaturniveau anfallende Abwärme mit Turbinen direkt in Strom umgewandelt werden.

¹⁴¹ Vgl. International Energy Agency IEA (2019), S. 52.

Aus Wärme ab etwa 95 °C kann mit dem Organic Rankine Cycle, dem ORC-Prozess, Strom hergestellt werden. Der ORC-Prozess ist dem in einem herkömmlichen Wasserdampfkraftwerk ähnlich. Das Wasser wird bei diesem Prozess durch eine organische Flüssigkeit mit niedriger Verdampfungstemperatur ersetzt. Ein anderer Prozess zur Stromerzeugung aus Wärme auf niedrigem Temperaturniveau ist der Kalina-Prozess, bei dem ein Ammoniak-Wasser-Gemisch als Arbeitsmedium dient.¹⁴²

Wie es möglich ist, durch direkte Verstromung und den ORC-Prozess aus Abwärme Strom zu erzeugen, wird in dem Film „Stromerzeugung aus industrieller Abwärme“¹⁴³ des VDI ZRE anschaulich erläutert.

3.1.7 Wärmepumpen

Bei Wärmepumpenanlagen mit Erdwärmekollektoren oder Sonden^{144, 145, 146} kann man mit Jahresarbeitszahlen (JAZ) von etwa 4^{147, 148} im reinen Heizbetrieb rechnen. Dies bedeutet, mit jeder eingesetzten Kilowattstunde Strom werden im Jahresmittel etwa 4 kWh Wärme bereitgestellt.

Da die Wärmeenergie mit der Wärmepumpe den Umweltmedien Boden, Wasser oder Luft entnommen wird, zählt die EU diese Technologie in der 2018 neu gefassten Erneuerbare-Energien-Richtlinie¹⁴⁹ zu den Erneuerbare-Energien-Technologien. Entscheidend ist das Verhältnis von Endenergie-Output zu erforderlichem Primärenergie-Input. Der Output soll den Input wesentlich überschreiten. Der Teil der Energie, der aus erneuerbaren Quellen stammt und in Ansatz gebracht werden kann, wird nach Anhang VII berechnet.¹⁵⁰

¹⁴² Vgl. Verband Beratender Ingenieure VBI (2013).

¹⁴³ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017b).

¹⁴⁴ Vgl. VDI 4640 Blatt 1:2010-06 2010-06.

¹⁴⁵ Vgl. Verband Beratender Ingenieure VBI (2012).

¹⁴⁶ Vgl. AHO Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e.V. (2011).

¹⁴⁷ Vgl. Günther, J.; Lehmann, H.; Nuss, P. und Purr, K. (2019a), S. 39.

¹⁴⁸ Vgl. International Energy Agency IEA (2019), S. 59.

¹⁴⁹ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2018a), S. 109.

¹⁵⁰ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2018a), S. 202.

Das Umweltbundesamt sieht im Abschlussbericht zum Energieaufwand für verschiedene Gebäudekonzepte im Lebenszyklus die Wärmepumpen als ein Wärmeversorgungssystem der Zukunft, insbesondere dann, wenn die Gebäude mit Strom aus Erneuerbaren Energien betrieben werden.¹⁵¹

Auch das Forschungszentrum Jülich kommt in seiner Studie zu kostengünstigen Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem zu dem Schluss, dass die Wärmepumpentechnologie die zukünftig dominierende Heizungstechnik sein wird.¹⁵²

Die Studie des Fraunhofer ISE „Wege zu einem Klimaneutralen Energiesystem“ belegt ebenfalls die wichtige Rolle der elektrischen Wärmepumpen für eine kostengünstige Umsetzung der Energiewende im Wärmesektor.¹⁵³

Mit einem Wärmepumpensystem kann aber nicht nur eine Wärmeversorgung, sondern auch eine Warmwasserbereitung realisiert werden, wenn der Warmwasserbedarf nicht zu hoch ist. Es ist möglich, die von der Wärmepumpe abgegebene Energie auf verschiedenen Temperaturniveaus zu nutzen. Auf einem Temperaturniveau von etwa 80 °C können 10 bis 15 % der Heizleistung ausgekoppelt werden.¹⁵⁴

3.1.8 Energie aus Wasser

Der überwiegende Teil der global vorhandenen Wasserreserven ist Salzwasser (97,5 %). Nur ein sehr kleiner Teil (2,5 %) ist Süßwasser, das zu etwa zwei Dritteln als Eis gebunden ist. Oberflächenwasser in den Flüssen und Seen macht nur etwa 1 % des global vorhandenen Süßwassers aus. Etwa 30 % des Süßwassers ist als Grundwasser in verschiedenen Grundwasserstockwerken vorhanden. Grundwasser stellt daher eine sehr wertvolle Ressource dar, da es teilweise ohne Aufbereitung direkt als Trinkwasser genutzt werden kann.

Es ist also durchaus verständlich, dass Technologien, die dem Süßwasser Energie entziehen, eine Ressource nutzen, die schutzbedürftig ist.

¹⁵¹ Vgl. Mahler, B.; Idler, S.; Nusser, T. und Gantner, J. (2019a), S. 10.

¹⁵² Vgl. Robinius, M.; Markewitz, P.; Lopion, P. und et al (2019), S. 33.

¹⁵³ Vgl. Sterchele, P.; Brandes, J.; Heilig, J.; Wrede, D.; Kost, C.; Schlegel, T.; Bett, A. und Henning, H.-M. (2020), S. 59.

¹⁵⁴ Vgl. Verband Beratender Ingenieure VBI (2012), S. 41.

Dementsprechende Regelungen sehen die Bundes- und Landesgesetzgebungen im Bereich Wasser vor. Auf Bundesebene ist es das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und auf Landesebene sind es die Wassergesetze der Länder. Insbesondere betreffen diese Gesetzgebungen die Nutzung des Grundwassers durch die oberflächennahe Geothermie mit Sonden oder horizontalen Kollektoren. Es sind vorwiegend die Frostschutzmittel in den Anlagen, die ein Einfrieren bei hohem Wärmeentzug im Winter verhindern sollen, die bei Leckagen wasserrechtlich bedenklich sind. Aber auch die energetische Nutzung des Grundwassers durch offene Systeme kann die chemische Beschaffenheit des Grundwassers verändern.¹⁵⁵

Wärme aus Abwasser

Die Nutzung der im Abwasser aus Duschen und Badewannen oder dem gesamten Gebäude enthaltenen Wärmeenergie bietet eine sinnvolle Möglichkeit, Ressourcen zu schonen. Im Rahmen des Förderprogramms „Kleinserien Klimaschutzprodukte“ werden diese Technologien vom ehemaligen Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit gefördert, mit der Abwicklung der Fördermaßnahme wurde das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) beauftragt.

Die am 28. Februar 2021 endende Förderung bezuschusst im Bereich der Grauwassernutzung Duschrinnen, Duschtassen und Duschrohre jeweils in Kombination mit einem Wärmeüberträger sowie Anlagen zur Wärmerückgewinnung aus dem gesamten im Gebäude anfallenden Grauwasser, das einer Wärmerückgewinnung unterzogen wird. Die Förderung sieht maximal 30 % der Investitions- und Installationskosten vor. Zusätzlich zu Privatpersonen, Unternehmen und Kommunen sind auch Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Krankenhäuser antragsberechtigt.¹⁵⁶

Neben der dezentralen energetischen Nutzung des Grauwassers kommt auch eine zentrale energetische Nutzung eines kontinuierlichen Abwasserstroms in Frage. Dazu können beispielsweise Wärmetauscher in bestehende

¹⁵⁵ Vgl. Verband Beratender Ingenieure VBI (2012), S. 76 - 79.

¹⁵⁶ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (2018).

Abwasserleitungen eingesetzt werden. Wenn das Abwasser dann darüberfließt, kann es seine Wärme an ein anderes in dem Wärmetauscher zirkulierendes Medium abgeben.¹⁵⁷

Eine weitere Variante besteht darin, dem Abwasser die Wärme durch einen außen angebrachten Wärmetauscher zu entziehen. Beispiele sind ein Ikea Markt in Berlin-Lichtenberg und ein Hellweg Baumarkt an den Yorkbrücken in Berlin. Bei beiden Gebäuden wurden die Abwasserdruckleitungen mit einem konstanten Volumenstrom mit einem Wärmetauscher ausgestattet. Mit Wärmepumpen wird die Wärme auf das für die Gebäudetemperierung notwendige Temperaturniveau gebracht.

Zentrale Abwasserwärmetauscher können über das Förderprogramm „Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit“¹⁵⁸ im Modul 1 Querschnittstechnologien bezuschusst werden (siehe auch Kapitel 2.6 Förderung).

3.1.9 Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung entwickelte sich aus der Idee, die bei der Erzeugung von Elektrizität mithilfe von Verbrennungsprozessen anfallende Wärme zu nutzen. Die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung ist in dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)¹⁵⁹ geregelt.

Mit dem KWKG wird die Strom- und Wärmeerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) und die Strom-, Wärme- und Kälteerzeugung durch Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen (KWKK-Anlagen) gefördert.

Von KWKK-Anlagen spricht man, wenn KWK-Anlagen durch eine thermisch angetriebene Kältemaschine ergänzt werden. Durch die Kombination zur KWKK kann auch in den Sommermonaten die ausgekoppelte Wärme sinnvoll genutzt werden.¹⁶⁰

¹⁵⁷ Vgl. Verband Beratender Ingenieure VBI (2012), S. 30 - 35.

¹⁵⁸ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020a).

¹⁵⁹ Vgl. Deutscher Bundestag (2015a).

¹⁶⁰ Vgl. ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V. (2019).

Während in der Vergangenheit die Effizienzverbesserung in der gleichzeitigen Erzeugung und Nutzung von Strom und Wärme lag und auch Stein- und Braunkohle oder Öl als Brennstoffe in Frage kamen, haben sich die Prioritäten inzwischen verschoben. Abfall, Abwärme, Biomasse, gasförmige oder flüssige Brennstoffe sind die Energieträger der Zukunft.

Die Technologien reichen von kleinen Einheiten für das Privathaus im Bereich bis zu 2 kW elektrisch über gewerbliche Anlagen von 50 kW bis 2 MW elektrisch bis hin zu Einheiten von 50 bis 300 MW elektrisch. Die Einsatzzwecke hängen sehr stark von den gewerblichen oder industriellen Prozessen, dem Wärme- und Kältenetz sowie den Speichern ab, die mit der KWK-Anlage gekoppelt werden.

Für die Auslegung einer KWK-Anlage und deren Wirtschaftlichkeit ist immer der Bedarf entscheidend, denn ein Teillastbetrieb führt zu Einbußen. Daher lassen sich auch ohne die Quantifizierung des Strom- und Wärmebedarfs keine generellen Aussagen zu *der* KWK-Anlage treffen.¹⁶¹

In dem KWKG sind bereits die Zuschläge für den Bau von Wärme- und Kältenetzen (Abschnitt 4 des Gesetzes) sowie von Wärme- und Kältespeichern (Abschnitt 5 des Gesetzes) geregelt. Das KWKG wird zurzeit überarbeitet. Geplant ist ein Inkrafttreten der novellierten Fassung 2020. Insofern sind die Aussagen dieser Kurzanalyse die KWK betreffend unter Vorbehalt zu sehen. Die Kosten für die nach dem KWKG erforderlichen Ausgaben übernehmen die Übertragungsnetzbetreiber und legen sie als KWKG-Umlage auf die Netzentgelte um. Die Zuschläge für den Bau von Wärme- und Kältenetzen sowie von Wärme- und Kältespeichern werden vom BAFA festgesetzt und genehmigt. Ziel des KWKG ist es, noch 2020 eine Nettostromerzeugung von 110 TWh aus KWK-Anlagen zu erreichen. Diese soll bis 2025 auf 120 TWh jährlich gesteigert werden.¹⁶²

Mit Gas- und Dampf-(GuD-)Kraftwerken zur reinen Stromerzeugung können heutzutage Wirkungsgrade von etwas mehr als 60 % erreicht werden. Mit dem GuD-Kraftwerk-Block „Fortuna“ am Standort Lausward in Düsseldorf

¹⁶¹ Vgl. Baudson, O.; Botreau, F. und Dittmer, B. (2019), S. 82.

¹⁶² Vgl. Deutscher Bundestag (2015a).

beispielsweise erreichen die dortigen Stadtwerke durch die Erzeugung von Strom und Auskoppelung von Fernwärme eine Brennstoffausnutzung von bis zu 85 %. Die maximal auskoppelbaren 300 MW Fernwärme haben den Primärenergiefaktor 0 und sind damit bezüglich der CO₂-Emissionen den Erneuerbaren Energien gesetzlich gleichgestellt.¹⁶³

Wenn auch die Wärme auf niedrigem Temperaturniveau einer sinnvollen Verwendung zugeführt wird, können noch höhere Wirkungsgrade erzielt werden. Im Leitfaden Erneuerbare Energien des Verbands Beratender Ingenieure (VBI) wird von einem Nutzungsgrad von 90 % und darüber gesprochen.¹⁶⁴

Wichtig im Bereich der KWK-Anlagen sind Stichworte wie Ausschreibung, Eigenverbrauch und bei Einspeisung die Auflage zur Direktvermarktung, deren Ziel die Flexibilisierung des Anlagenbetriebs zur Anpassung an die konkrete Nachfrage ist. Im kleinen Bereich kommen als Technologien Verbrennungsmotoren, Stirlingmotoren, Brennstoffzellen-Anlagen und zur Nutzung von Abwärme die bereits erwähnten ORC-Anlagen in Frage.

Meist werden KWK-Anlagen auf Basis der erzielbaren Erlöse durch die Einspeisung des Stroms in Netze oder durch das finanzielle Äquivalent des selbst verbrauchten Stroms refinanziert. Um die ausgekoppelte Wärme sinnvoll zu nutzen, kommen Wärmenetze und Wärmespeicher, die Bereitstellung von Wärme für gewerbliche Prozesse oder die Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Kälte in entsprechende Netze in Frage. Insbesondere die gemeinsame Einspeisung von Wärme aus KWK und Wärme aus Erneuerbaren Energien sowie industrieller Abwärme wird vom Gesetzgeber mit einem Zuschlag honoriert.¹⁶⁵

Die aus dem geltenden KWK-Gesetz resultierenden Zuschläge für besonders innovative KWK werden ebenso wie die bereits erwähnten Zuschläge für Speicher und Netze durch das BAFA festgelegt und vergeben.

¹⁶³ Vgl. Stadtwerke Düsseldorf (2016).

¹⁶⁴ Vgl. Baudson, O.; Botreau, F. und Dittmer, B. (2019), S. 83.

¹⁶⁵ Vgl. Deutscher Bundestag (2015a).

In dem Film „Ressourceneffizienz im Uniklinikum Freiburg“ des VDI ZRE¹⁶⁶ werden die Ansatzpunkte im Bereich KWKK im Detail dargestellt. Das Uniklinikum besitzt ein eigenes GuD-Kraftwerk, setzt als Brennstoff unter anderem Holzpellets ein, nutzt die Solarenergie mit Vakuumröhrenkollektoren und verwandelt Wärme in Kälte mithilfe einer Adsorptionskältemaschine.

3.2 Kühlung

Die klassische technische Art der Kühlung ist die Kompressionskältemaschine. Alternativen sind die thermisch angetriebenen Sorptionskältemaschinen (Adsorption und Absorption). Für den Antrieb von Adsorptionskältemaschinen kann Wärme auf relativ niedrigem Temperaturniveau ab 65 °C eingesetzt werden. Diese Wärme kann aus gewerblichen Prozessen oder der Kraft-Wärme-Kopplung stammen. Sie kann aber auch durch Solarthermie bereitgestellt werden. Der Einsatz von solarthermisch angetriebenen Kältemaschinen stellt durch die Gleichzeitigkeit von Angebot und Nachfrage eine gute Kombination dar. Je nach Einsatzgebiet können Jahresarbeitszahlen von 10 bis 20 erreicht werden. Kompressionskältemaschinen dagegen erzielen unter identischen Bedingungen JAZ von 3,5 bis 4,5.¹⁶⁷

Innovative Kälte- und Klimatechnik, auch in Verbindung mit Speicherung, wird seit dem 1. Januar 2019 über die „Kälte-Klima-Richtlinie“¹⁶⁸ des BMU gefördert. Mit deren Umsetzung wurde das BAFA beauftragt. Dort sind ebenfalls die entsprechenden Anträge für die Investitionszuschüsse zu stellen.

Die Ziele liegen auf der Hand, die Kälte- und Klimatechnik kann durch Steigerung der Energieeffizienz, Minderung des Kältebedarfs sowie durch Reduktion der Emissionen fluoriertes Treibhausgas einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten.¹⁶⁹

Die Notwendigkeit, Nichtwohngebäude zu klimatisieren, ergibt sich oft bereits aus der Architektur, insbesondere, wenn große Glasfassaden und

¹⁶⁶ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2014d).

¹⁶⁷ Vgl. Büttner, T. (2011), S. 42 - 45.

¹⁶⁸ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019).

¹⁶⁹ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019).

intensive Nutzung miteinander einhergehen. Wenn in Nichtwohngebäuden auch Arbeitsstätten eingerichtet sind, findet die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)¹⁷⁰ Anwendung. Unter 3.5 Raumtemperatur fordert der Gesetzgeber für Arbeitsräume „eine gesundheitlich zuträgliche Raumtemperatur“ und einen Schutz „gegen übermäßige Sonneneinstrahlung“. Die Arbeitsstättenregel (ASR) A3.5 Raumtemperatur¹⁷¹ konkretisiert diese allgemeine Forderung. Unter 4.2 Abs. 3 heißt es, dass die Lufttemperatur in Arbeits- und Sozialräumen +26 °C nicht überschreiten soll¹⁷².

Bei Außenlufttemperaturen von mehr als +26 °C und Lufttemperaturen in Arbeitsräumen von über +26 °C werden unter 4.4 beispielhaft mögliche Schutzmaßnahmen für die Beschäftigten beschrieben. Dabei sind organisatorische und technische vor personenbezogenen Maßnahmen anzuwenden. Wenn die Lufttemperaturen in Arbeitsräumen über +35 °C liegen, sind aufwändige organisatorische oder technische Maßnahmen oder persönliche Schutzausrüstungen für die Zeit der Überschreitung erforderlich. Andernfalls ist der Raum nicht als Arbeitsraum geeignet.¹⁷³ Mit dem Film „Weniger Strom im Büro“ des VDI ZRE¹⁷⁴ werden zunächst einige simple Ansatzpunkte im Bereich energieeffizienter Kältetechnik und im weiteren Verlauf auch Maßnahmen zur Effizienzsteigerung im Bereich der IT gezeigt.

3.3 Lüftung

Die Lüftung in Gebäuden hat zwei wichtige Gründe. Sie soll einerseits eine hygienische Umgebung für die Menschen gewährleisten, andererseits soll sie die Feuchtigkeit, die die Bausubstanz schädigen kann, sowie die Schadstoffe, die gesundheitlich bedenklich sind, aufnehmen und nach außen transportieren.

Die einfachste Form der Lüftung ist die Fensterlüftung. Wenn in Nichtwohngebäuden diese sogenannte freie Lüftung über Fenster nicht ausreichend ist, werden mechanische Lüftungssysteme eingesetzt. Die mechanische Lüftung

¹⁷⁰ Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2004).

¹⁷¹ Vgl. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Ausschuss für Arbeitsstätten (2018b).

¹⁷² Vgl. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Ausschuss für Arbeitsstätten (2018b).

¹⁷³ Vgl. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Ausschuss für Arbeitsstätten (2018b).

¹⁷⁴ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2014e).

eines Nichtwohngebäudes kann mit erheblichen Volumenströmen verbunden sein.

Analog zum Heizsystem ist für den Transport der Luft durch Lüftungskanäle der Widerstand abhängig vom Durchmesser, der Form und Länge der Kanäle. Ein wichtiger Ansatzpunkt für Energieeffizienz in der Lüftungs- und Klimatechnik sind daher die Motoren zum Antrieb der Ventilatoren. In diesem Bereich kommen heutzutage nur noch frequenzgeregelte Motoren zum Einsatz.

Da Nichtwohngebäude auch Arbeitsstätten sein können und Zugluft als unangenehm empfunden wird, spielen Luftgeschwindigkeiten eine große Rolle. Anwendung findet die Arbeitsstättenrichtlinie ASR A3.6 Lüftung¹⁷⁵.

Eine große Rolle spielt in der Lüftungs- und Klimatechnik auch der Wasserdampfanteil, weil er die Behaglichkeit des Menschen beeinträchtigt. In der Industrie beeinflusst die Luftfeuchtigkeit zudem die physikalischen Eigenschaften der Produkte.

Warme Luft kann bei gleichem Druck weitaus mehr Feuchtigkeit aufnehmen als kalte Luft. Je nach Bedarf muss Luft also aufbereitet werden, sie muss nicht nur gereinigt, sondern auch erwärmt, gekühlt, befeuchtet oder entfeuchtet werden.

Da die Prozesse für Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten der zugeführten Luft unterschiedlich energie- und kostenintensiv sind, lohnt es sich, genauer hinzuschauen und die sogenannten low hanging fruits zu identifizieren.

Ein energieeffizienter Betrieb von Lüftungsanlagen mit bedarfsgeregelter Lüftung bewirkt sowohl bei der Antriebsenergie für die Ventilatoren als auch bei der Aufbereitung der zugeführten Frischluft (Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten) eine Energieeinsparung. Bei der adiabatischen Kühlung beispielsweise, also der Kühlung von Luft mit Wasser, wird das Wasser zum Teil von der Luft aufgenommen und führt zur Sättigung. Daher ist hierbei

¹⁷⁵ Vgl. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Ausschuss für Arbeitsstätten (2018a).

bei jeder Temperaturänderung abhängig vom Sättigungsgrad der Luft eine Be- oder Entfeuchtung erforderlich.

Bei einer Optimierung der lufttechnischen Anlagen können neben der Verbesserung des Raumklimas bis zu 25 % Energie eingespart werden. Zudem ist das Ausschöpfen der Energieeffizienzpotenziale sehr wirtschaftlich. Viele Optimierungsmaßnahmen erreichen Kapitalrenditen von über 20 %.¹⁷⁶

Kommunen können die Fördermöglichkeiten aus der neuen Kommunalrichtlinie mit Förderquoten von 25 % bzw. 30 % für finanzschwache Kommunen nutzen¹⁷⁷. Die Förderquoten der Kommunalrichtlinie wurden am 22. Juli 2020 für Anträge, die im Zeitraum vom 1. August 2020 bis zum 31. Dezember 2021 gestellt werden, um zehn Prozentpunkte erhöht¹⁷⁸. Mit der Abwicklung der Kommunalrichtlinie ist der Projektträger Jülich beauftragt.

Wärmetauscher

Um die Energie der abgeführten Luft aus Gebäuden über die Lüftungsanlage nicht an die Umgebung abzugeben, werden Wärmetauscher eingesetzt. Die frische zugeführte Luft kann über Wärmetauscher entweder vorgewärmt oder vorgekühlt werden. Diese Systeme können zentral in der Lüftungsanlage oder bei einer dezentralen Be- und Entlüftung im jeweiligen Raum installiert sein.

Zur Vortemperierung der frischen angesaugten Außenluft können auch Luft-Erdwärmetauscher eingesetzt werden. Im Winter wird die Luft vorgewärmt und im Sommer vorgekühlt. Dadurch sinkt der Energiebedarf für die weitere Aufbereitung der Zuluft. Abhängig ist das Ergebnis von der Strömungsgeschwindigkeit und der Temperaturdifferenz zwischen der angesaugten Außenluft und dem Boden. Luft-Erdwärmetauscher kommen beispielsweise beim Umweltbundsamt in Dessau oder der Alnatura Arbeitswelt in Darmstadt zum Einsatz.

Eine Vorwärmung der Außenluft im Winter durch Solar-Luft-Kollektoren, wie sie beispielsweise beim Hallenbad Emmerthal eingesetzt werden, kann

¹⁷⁶ Vgl. Barckhausen, A.; Gründig, D. und Grohne, C. (2015), S. 14.

¹⁷⁷ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (5. Dezember 2019).

¹⁷⁸ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (22. Juli 2020).

zur effizienteren Erwärmung der Luft in den darauffolgenden Prozessen beitragen.

Mit der Richtlinie VDI 6022 Blatt 1 „Raumlufttechnik, Raumluftqualität“ hat die VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik Hygieneanforderungen an raumlufttechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln) aufgestellt. Auch die schwierigen hygienischen Bedingungen beim Betrieb von Luft-Erdwärmetauschern werden in Blatt 1 behandelt.¹⁷⁹

3.4 Licht und Schatten

Die Beleuchtung, insbesondere von Nichtwohngebäuden, ist immer eine Balance zwischen natürlicher und künstlicher Beleuchtung. Natürliche Beleuchtung erfordert Fensterflächen, die nicht unbedingt die Wärmedämmung einer Wand aufweisen. Große Fensterflächen sorgen aber auch für passive solare Gewinne, wenn die Sonnenstrahlung die massiven Teile des Gebäudes wie Wände, Decken und Böden aufwärmt. Diese passive Nutzung der Sonnenstrahlung durch Absorption kann jedoch auch nahtlos in sommerliche Überhitzung übergehen. In der Regel müssen daher Verschattungselemente in Form von Rollläden, Jalousien oder Ähnlichem an der Außenseite der Fenster angebracht werden, um den Eintrag von Sonnenstrahlung zu verhindern.

Künstliche Beleuchtung kann heute mit der LED-Technologie energieeffizient realisiert werden. Die LED weist lange nicht die Verluste der alten Glühlampe auf, die bekanntermaßen etwa 95 % des verbrauchten Stroms als Wärmestrahlung emittiert hat.

Die Beleuchtung an einem Arbeitsplatz ist aber nicht nur die Balance zwischen natürlicher und künstlicher Beleuchtung, sondern auch zwischen zu geringer und zu starker Beleuchtung. Nach der Arbeitsstättenrichtlinie ASR A3.4 „Beleuchtung“¹⁸⁰ ist die natürliche der künstlichen Beleuchtung vorzuziehen. Die Beleuchtungsstärke wird in Lux (lx) gemessen. Die Mindestanforderungen für die Beleuchtung verschiedener Arbeitsplätze in

¹⁷⁹ Vgl. VDI 6022 Blatt 1 2018-01.

¹⁸⁰ Vgl. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Ausschuss für Arbeitsstätten (2014).

Innenräumen konkretisiert die ASR A3.4 in Anhang 1. Für die Beleuchtung öffentlicher Gebäude gibt der „Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV)“ mit der Empfehlung Nr. 156 zahlreiche sehr detaillierte Hinweise¹⁸¹.

Allein auf die Beleuchtung von Nichtwohngebäuden entfallen 17 % ihres gesamten Endenergieverbrauchs (siehe Kapitel 2.3). Das Lichtmanagement ist daher nach dem Wärmemanagement ein entscheidender Punkt bei der Einsparung von Energie, CO₂ und Kosten.

Durch die Ausstattung mit einem Automatisierungssystem kann die Energieeffizienz bei der Beleuchtung erhöht werden. Aufgrund einer Vielzahl von Sensoren kann das verfügbare Tageslicht erfasst und können Lampen und Jalousien bedarfsgerecht gesteuert werden¹⁸². Die Optimierung und Automatisierung der Beleuchtung können zusätzlich mit der Klimasteuerung verknüpft werden. Durch eine Automation der Lamellensteuerung konnten in einer Studie¹⁸³ die Energieverbräuche der Klimaanlage wie auch der Beleuchtung um 27,3 % verringert werden.

Die LED-Technologie setzt sich wegen ihrer hohen Effizienz weiter durch. Im Vergleich zur klassischen Straßenbeleuchtung beispielsweise mit Quecksilberdampf-Hochdrucklampen ist durch Leuchten mit LED eine Energieeinsparung von 80 % möglich¹⁸⁴. Auch im Haushaltsbereich haben sich LED inzwischen etabliert und sind effizient sowie langlebig. Sie sind bis zu 85 % sparsamer als die herkömmlichen Glühlampen und bis zu 40 % sparsamer als Energiesparlampen¹⁸⁵. In den LED-Lampen sind allerdings NE-Metalle, Gold, Silber und die Halbleitermetalle Gallium und Indium enthalten¹⁸⁶. Daher gehört die LED nicht in den Hausmüll, sondern muss einem Recycling zugeführt werden.

¹⁸¹ Vgl. AMEV (2019a).

¹⁸² Vgl. Zumtobel Lighting GmbH (2012a).

¹⁸³ Vgl. Zumtobel Lighting GmbH (2012b).

¹⁸⁴ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2016), S. 5.

¹⁸⁵ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2018b), S. 10 - 11.

¹⁸⁶ Vgl. Martens, H. und Goldmann, D. (2016).

Für Beleuchtung mit Technologien zur adaptiven Nutzung können Kommunen die Fördermöglichkeiten aus der neuen Kommunalrichtlinie mit Förderquoten von 25 % bzw. 30 % für finanzschwache Kommunen nutzen¹⁸⁷. Die Förderquoten der Kommunalrichtlinie wurden am 22. Juli 2020 für Anträge, die im Zeitraum vom 1. August 2020 bis zum 31. Dezember 2021 gestellt werden, um zehn Prozentpunkte erhöht¹⁸⁸.

Die angesprochenen Aspekte im Bereich LED-Leuchtmittel werden in dem Film „LED-Leuchtmittel sparen Strom“¹⁸⁹ des VDI ZRE geschildert.

3.5 Aufzüge

Aufzüge sind am Stromverbrauch der Gebäude mit bis zu 8 % beteiligt, in Deutschland entspricht dies etwa 3 TWh jährlich. Mit modernen Komponenten können Energieeinsparungen von bis zu 50 % realisiert werden.¹⁹⁰

Beim Betrieb von Aufzügen gibt es unterschiedliche Ansatzpunkte, Energie zu sparen, z. B. bei der Beleuchtung, dem Antrieb und der Schachtentlüftung. Das Licht wird heutzutage in der Regel durch energiesparende LED realisiert und kann ausgeschaltet werden, wenn sich niemand in der Kabine befindet. Der Antrieb erfolgt inzwischen mit modernen Frequenzumrichtern, die eine stufenlose Drehzahlveränderung der getriebelosen Motoren ermöglichen. Die Schachtentlüftung stellt die Schwachstelle der energieeffizienten Gebäudehülle dar. In der Regel werden Entlüftungsklappen und Ventilatoren am Kopf des Aufzugsschachts angebracht.

Damit Aufzüge verfügbar sind, wenn sie benötigt werden, müssen sie ansprechbar sein. Daher muss das Steuerungssystem auf Befehle von außen reagieren können. Ob man das Steuerungssystem in einen Stand-by-Modus oder einen Schlafmodus versetzt, ist folglich immer eine Abwägung zwischen Energiesparen und Verfügbarkeit des Aufzugs.¹⁹¹

¹⁸⁷ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (5. Dezember 2019).

¹⁸⁸ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (22. Juli 2020).

¹⁸⁹ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2014c).

¹⁹⁰ Vgl. Hirzel, S.; Fleiter, T. und Rosende, D. (2010).

¹⁹¹ Vgl. Jurkait, K. (2019), S. 165.

Das Licht, die Lüftung und die Anzeige in der Kabine lassen sich unkompliziert aus- und wieder anschalten. Komponenten wie die Türantriebe oder der Frequenzumrichter müssen aber nach Abschaltung in der Steuerung neu angemeldet werden, was eine gewisse Zeitverzögerung beinhaltet.

Bei einer Aufzugsgruppe kann es in Zeiten geringer Nutzung auch sinnvoll sein, einen oder mehrere Aufzüge abzuschalten, ohne die Verfügbarkeit zu beeinträchtigen.

In der VDI 4707 Blatt 1 Aufzüge - Energieeffizienz¹⁹² werden obige Ansatzpunkte als praxisnahe Anwendungshilfe übersichtlich dargestellt. Im Zuge einer Überarbeitung wird die VDI-Richtlinie an die DIN EN ISO 25745-2¹⁹³ angepasst.

Mit der VDI 4707 Blatt 1 kann insbesondere die Nutzungskategorie ermittelt werden. Energieeffizienz geht man anders an bei Aufzügen, die in ständiger Benutzung sind (z. B. an Flughäfen), als bei Aufzügen, die nur gelegentlich benötigt werden (z. B. bei kleineren Wohngebäuden). Zu den verschiedenen Ansatzpunkten für Ressourcen- und Energieeffizienz im Bereich der Aufzüge hat das VDI ZRE einen „Ressourcencheck Aufzüge“¹⁹⁴ veröffentlicht. In dem Film „Energieeffiziente Aufzüge“¹⁹⁵ schildert das VDI ZRE genaue Ansatzpunkte und Möglichkeiten, um Aufzüge effizienter zu machen.

3.6 Bilanzkreiserweiterung vs. Autarkie

Die Erweiterung des Bilanzkreises (nicht zu verwechseln mit den Bilanzkreisen, die die Stromnetzbetreiber bewirtschaften) kann helfen, Synergien aufzuspüren. Diese Synergien liegen bei Nichtwohngebäuden sowie kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) manchmal gar nicht so weit voneinander entfernt. Zum einen können Bilanzkreise durch Wissen, zum anderen räumlich erweitert werden, indem nicht nur das Gebäude selbst, sondern auch der Gebäudestandort mit einbezogen wird.

¹⁹² Vgl. VDI 4707 Blatt 1 2009-03.

¹⁹³ Vgl. ISO 25745-2:2015 2015-10.

¹⁹⁴ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2015).

¹⁹⁵ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2014b).

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) förderte zwischen 2009 und 2013 im Rahmen seiner nationalen Klimaschutzinitiative 30 Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke. Das 30-Pilot-Netzwerke-Projekt lebte von dem Gedanken des regelmäßigen Austauschs, von Ideen zur gegenseitigen Ergänzung und führte so zu einer gesteigerten Identifikation mit dem Thema Energieeffizienz.¹⁹⁶

Die in den Netzwerken teilnehmenden Unternehmen erzielten im Durchschnitt eine jährliche Steigerung der Energieeffizienz um 2,1 % und eine CO₂-Minderung um 2,3 %. Gegenüber dem Durchschnitt der Industrie verdoppelten sie ihre Energieeffizienz-Fortschritte. Im Durchschnitt betrug die interne Verzinsung des eingesetzten Kapitals 30 %.¹⁹⁷

Am 3. Dezember 2014 schlossen 21 Verbände und Organisationen der Wirtschaft sowie stellvertretend für die Bunderegierung das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) eine Vereinbarung zur flächendeckenden Einführung von Energieeffizienz-Netzwerken. Die Initiative Energieeffizienz-Netzwerke hat das Ziel, 500 Netzwerke bis Ende 2020 zu gründen. Am 24. November 2020 arbeiteten 285 Netzwerke¹⁹⁸. In Netzwerken öffnen sich Unternehmen etwas und nehmen Ratschläge von unternehmensfremden Personen an, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen.

Mit dem Autarkie-Ansatz kann zwar ein ähnliches Ziel verfolgt werden, jedoch wird angestrebt, dieses autark zu erreichen. Ein solches Ziel kann die Steigerung der Energieeffizienz sein, es kann aber auch die Unabhängigkeit von einer externen Energieversorgung beinhalten. Der Autarkie-Ansatz mag bei räumlich sehr isoliert stehenden Gebäuden, in deren Nähe es keine Netze gibt, sinnvoll sein. Allerdings müssen stets die Kosten für eine Erschließung gegengerechnet und auf den gesamten Lebenszyklus umlegt werden.

¹⁹⁶ Vgl. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2014b).

¹⁹⁷ Vgl. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2014a).

¹⁹⁸ Vgl. Initiative Energieeffizienznetzwerke (2020).

Im Normalfall sind die Kosten für die zusätzlich erforderliche Gebäudetechnik weitaus höher als für einen Anschluss an bestehende Netze. Das Umweltbundesamt hält autarke Gebäudeenergiekonzepte gesamtwirtschaftlich und ökologisch für nicht zielführend. Diese seien weder aus Kostengründen noch durch Einsparungen an CO₂-Emissionen zu rechtfertigen.¹⁹⁹

Dass es aber auch einen Mittelweg geben kann und dass Unternehmen, die nahezu energieautark oder CO₂-neutral sind, die Stromnetze entlasten können, zeigt der Film „Die CO₂-neutrale Fabrik“²⁰⁰ des VDI ZRE. Das Allgäuer Unternehmen Alois Müller GmbH kann seine Produktion an das eigene Stromangebot aus Photovoltaik anpassen, weiteren Strom mit einem Blockheizkraftwerk erzeugen und benachbarte Unternehmen mit Strom und Wärme versorgen.

¹⁹⁹ Vgl. Mahler, B.; Idler, S.; Nusser, T. und Gantner, J. (2019a), S. 12.

²⁰⁰ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019).

4 RESSOURCENEFFIZIENZ DURCH AUTOMATION

Die Gebäudeautomation basiert auf Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), die die Technische Gebäudeausrüstung steuert und regelt. Im Idealfall vernetzt die Gebäudeautomation alle gebäudetechnischen Komponenten und Systeme miteinander. Die Überwachung, Auswertung und Optimierung der einzelnen Komponenten sowie des Gesamtsystems haben das Ziel, die Effizienz des Systems zu verbessern²⁰¹. Mit fortschreitender Digitalisierung der gebäudetechnischen Komponenten und Systeme sind intelligente Gebäude oder Smart Buildings zur logischen Konsequenz geworden²⁰².

Automation erfordert auf der Gebäudeebene Sensorik und Aktorik, also passives Erfassen und aktives Bewegen. Ein Sensor misst beispielsweise eine Temperatur oder einen Volumenstrom, ein Aktor kann die Temperatur oder den Volumenstrom regeln. Auf der Übertragungsebene werden die Daten der Sensoren und Aktoren übertragen. Das kann entweder über Funk oder Datenleitungen erfolgen. Die Übertragung der Daten wird in der Praxis meist durch unterschiedliche Protokolle umgesetzt. Auf der Managementebene finden das Monitoring, die Auswertung der Daten, die Entscheidungen und die Befehle an die Gebäudeebene statt.^{203, 204}

Es existiert der fragmentierte Ansatz der Raumautomation, der die verschiedenen gebäudetechnischen Systeme für Wärme, Kälte, Lüftung, Beleuchtung, Verschattung und Strom aus der Nutzung des jeweiligen Raums resultierend mehr oder weniger unabhängig voneinander regelt. Der integrale Ansatz ist eine systemübergreifende Gebäudeautomation, die sämtliche gebäudetechnischen Systeme steuert und regelt²⁰⁵.

In der Praxis müssen zahlreiche technische Systeme in eine übergreifende Steuerung und Regelung integriert werden. Die Herausforderungen liegen

²⁰¹ Vgl. Rubner, P.; Gochermann, M. und Domann, C. (2019), S. 33.

²⁰² Vgl. Juschkus, U. (2017).

²⁰³ Vgl. Erbstöber, A.-C. (2018), S. 11.

²⁰⁴ Vgl. Ulbricht, A.; Müller, B.; Zeidler, O.; Geier, M.; Badura, A.; Müller, W. und Richter-Kowalewski, K. (2018).

²⁰⁵ Vgl. Becker, M. und Knoll, P. (2019).

in der Überwindung der Systemgrenzen und der Steuerung und Regelung der technischen Ausrüstung im Kontext eines vernetzten Systems.

In seiner Studie „Klimapfade für Deutschland“²⁰⁶ sieht der Bundesverband der deutschen Industrie (BDI) in dem Einsatz effizientester Hallenbeheizungssysteme und Gebäudeautomation für Büro- und Fabrikgebäude große Potenziale zur Einsparung von Raumwärme. Die Potenziale können durch Nachtabsenkungskonzepte, Konzepte zur Absenkung der Solltemperatur sowie den Einsatz von Fensterkontakten erschlossen werden. Die Kombination mit Energiemonitoring und -controlling ermöglicht es, das erreichte Energieeffizienzniveau auch nachhaltig zu sichern.²⁰⁷

4.1 Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)

Der Energiebedarf der IKT während des Betriebs gliedert sich in den Energiebedarf der Hardware, die als direkter Verbraucher gesehen wird, und den Energiebedarf der Software. Geschätzt bis zu 90 % des benötigten Energiebedarfs von IKT-Hardware sind auf die darauf laufende Software zurückzuführen. Software stellt also eine wesentliche Stellschraube in Bezug auf die Energieeffizienz von IKT-Anwendungen dar.²⁰⁸

Der Ressourcen- und vor allem der Energiebedarf für die IKT muss aber auch in Beziehung gesetzt werden zur Einsparung, die durch die intelligente und effiziente Steuerung der Gebäudetechnik erreicht werden kann. Für den Strombedarf zum Betrieb von Gebäudeautomationssystemen lässt sich von Werten zwischen 2 und 5 kWh/m²a ausgehen^{209, 210, 211}.

²⁰⁶ Vgl. The Boston Consulting Group und prognos (2018).

²⁰⁷ Vgl. The Boston Consulting Group und prognos (2018), S. 139.

²⁰⁸ Vgl. Schebek, L.; Kannengießer, J.; Campitelli, A.; Fischer, J.; Abele, E.; Bauerdick, C.; Anderl, R.; Haag, S.; Sauer, A. und Mandel, J. (2017).

²⁰⁹ Vgl. Kräuchi, P.; Dahinden, C.; d. Jurt; v. Wouters; Menti, U.-P. und Steiger, O. (2017).

²¹⁰ Vgl. Schmid, W. (2016), S. 6 – 10.

²¹¹ Vgl. Kräuchi, P.; Jurt, D. und Dahinden, C. (2016).

Die IKT kann in Verbindung mit der Software bei sinnvollem Betrieb ein Vielfaches der Energie einsparen, die für deren Produktion und deren Betrieb aufgewendet wurde.

Allerdings ist die Herstellung der IKT auch rohstoffintensiv. Neben Metallen wie Eisen, Kupfer, Aluminium, Nickel und Zink werden auch Sonder- und Edelmetalle benötigt. Diese Sonder- und Edelmetalle werden bisher oft aus Gründen der Wirtschaftlichkeit gar nicht oder nur zu einem geringen Teil beim Recycling zurückgewonnen.²¹²

4.2 Künstliche Intelligenz (KI)

Für die intelligente Steuerung und Regelung der gebäudetechnischen Systeme spielt neben der IKT auch die Künstliche Intelligenz (KI) eine immer wichtigere Rolle. Mit Künstlicher Intelligenz können Wetterdaten systematisch analysiert und verarbeitet werden, Preissignale an den Energiemärkten präziser vorhergesagt und Millionen Erzeuger und Verbraucher intelligent miteinander vernetzt werden. Dazu gehören auch gebäudetechnische Komponenten, die im Rahmen dieser Kurzanalyse behandelt werden.

Die notwendige Vernetzung der gebäudetechnischen Komponenten kann über das sogenannte Internet of Things (IoT) und die Adressierung mit IPv6 (Internet Protocol Version 6)²¹³ erfolgen.

Die dena hat im April und Mai 2019 im Rahmen einer Untersuchung 250 Führungskräfte aus der Energiewirtschaft zu KI befragen lassen. Im Bereich Smart City sehen 87 % der Befragten ein Potenzial, im Bereich der Gebäudesteuerung 78 % und im Smart Building 70 %.²¹⁴

Auch in der Analyse der dena mit dem Titel „Globale Trends der künstlichen Intelligenz und deren Implikationen für die Energiewirtschaft“ werden die Chancen in den Vordergrund gestellt. Ein zukünftiges Energiesystem profitiert durch KI von erhöhter Systemeffizienz, reduzierten Kosten und

²¹² Vgl. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2016), S. 53-54.

²¹³ Vgl. Internet Engineering Task Force (2017).

²¹⁴ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019b), S. 10.

optimierter Entscheidungsfindung. Die zunehmende Komplexität des Energiesystems macht KI und IoT unerlässlich für eine resiliente, nachhaltige und erschwingliche globale Energieversorgung.²¹⁵

Die International Energy Agency IEA geht davon aus, dass der Energiebedarf des Gebäudesektors bis 2050 durch die Kombination von Energiemanagementsystemen und KI um 10 % sinken kann²¹⁶.

In ihrer Gebäudestudie²¹⁷ kommt die dena zu ähnlichen Aussagen. Die dena quantifiziert mögliche zusätzliche Einsparungen durch Digitalisierung in Abhängigkeit von der installierten Anlagentechnik und dem baulichen Wärmeschutz im Bereich der Ein- und Mehrfamilienhäuser. Durch eine selbstadaptierende Heizkurveneinstellung ist eine Endenergieeinsparung zwischen 1,5 % und 8 % möglich. Eine Präsenzkontrolle ermöglicht Endenergieeinsparungen zwischen 2,5 % (Neubau) und 4 % (Altbau).²¹⁸

Die Einbeziehung von Wetterprognosen in die Steuerung ermöglicht eine Endenergieeinsparung zwischen 1 % (Neubau) und 3 % (Altbau).²¹⁹

Durch einen automatisch durchgeführten hydraulischen Abgleich sind Endenergieeinsparungen zwischen 2 % (Neubau) und 3 % (Altbau) möglich. Durch eine zeitliche Optimierung der Zirkulation im Warmwassernetz können zwischen 1,5 und 8 % des Endenergieverbrauchs sowie zwischen 5 und 25 % der Hilfsenergie eingespart werden.²²⁰

Bei der Visualisierung der Verbrauchsdaten kann das mögliche Einsparpotenzial zwischen 2 und 10 % variieren. Im Mittel kann von Einsparungen an Endenergie, Wärme und Warmwasser von 5 % ausgegangen werden.²²¹

²¹⁵ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2020), S. 54.

²¹⁶ Vgl. International Energy Agency IEA (2019), S. 52.

²¹⁷ Vgl. ewi Energy Research & Scenarios und ITG Dresden & FIW München (2017).

²¹⁸ Vgl. ewi Energy Research & Scenarios und ITG Dresden & FIW München (2017), S. 75.

²¹⁹ Vgl. ewi Energy Research & Scenarios und ITG Dresden & FIW München (2017), S. 75.

²²⁰ Vgl. ewi Energy Research & Scenarios und ITG Dresden & FIW München (2017), S. 76.

²²¹ Vgl. ewi Energy Research & Scenarios und ITG Dresden & FIW München (2017), S. 76.

Durch die Kombination mehrerer Digitalisierungsoptionen wie Heizkurven-einstellung, Präsenzkontrolle, Lüftungserkennung, Anheiz- und Heizende-Option können zwischen 8 % (Altbau) und 15 % (Neubau) generiert werden.²²²

Thermische Anforderungen eines Gebäudes können beispielsweise auf Basis einer Kombination der Gebäudedaten mit Wetterprognosedaten, Besucherzahlen oder Öffnungszeiten ermittelt und der Energieverbrauch durch eine prädiktive Steuerung um 20 bis maximal 40 % reduziert werden²²³.

4.3 Richtlinien und Normen

Bereits 1993 wurde die Gebäudeautomation als Gewerk im Bauwesen über die DIN 276 innerhalb der Kostengruppe 400 als Kostengruppe 480 eingeführt. Seit Dezember 2018 ist die DIN 276²²⁴ in einer überarbeiteten Version gültig.

Die Gebäudeautomation ist mit der DIN EN 15232²²⁵ umfassend genormt. In der DIN EN 15232 werden Gebäudeautomationssysteme in Effizienzklassen eingeteilt (Tabelle 1) und die mit den jeweiligen Systemen erzielbaren Einsparungen bei thermischer und elektrischer Energie quantifiziert.

Die Klasse C ist lediglich ein Standard Gebäudeautomationssystem. Erst die Klassen B und A ermöglichen Gebäudeautomation und Energiemanagement, die Bereitstellung von Flexibilitäten sowie die Interaktion mit Märkten²²⁶.

Für die Gebäudeautomation in öffentlichen Gebäuden gibt der „Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV)“ mit der Empfehlung Nr. 145 zahlreiche detaillierte Hinweise für Planung, Ausführung und Betrieb.²²⁷

²²² Vgl. ewi Energy Research & Scenarios und ITG Dresden & FIW München (2017), S. 76.

²²³ Vgl. Brecht, B. (2019).

²²⁴ Vgl. DIN 276 2018-12.

²²⁵ Vgl. DIN EN 15232-1 2017-12.

²²⁶ Vgl. Becker, M. und Knoll, P. (2011), S. 6.

²²⁷ Vgl. AMEV (2019b).

Der VDI normt mit der Richtlinienreihe VDI 3814²²⁸ die Automation von Gebäuden. Zum Anwendungsbereich zählen automatisierte Fassadensysteme, Sonnenschutzanlagen und Beleuchtungssysteme, Heizungs-, Kälte und raumlufttechnische (RLT) Anlagen. Neben den Grundlagen werden in den überarbeiteten Blättern 1 bis 6 die Funktionalitäten und die Benutzeroberflächen behandelt.

4.4 Pflichten und Ziele

Im neuen GEG²²⁹ wird die Gebäudeautomation mit einem System der Klasse C in § 25 (1) bei den Berechnungsrandbedingungen zur Bestimmung des Jahresprimärenergiebedarfs für neu zu errichtende Wohn- und Nichtwohngebäude berücksichtigt. Vor dem Hintergrund der zukünftigen Umsetzung weiterer Aspekte der novellierten EU Gebäuderichtlinie²³⁰ ist es aber schon heute wichtig Gebäudeautomationssysteme der Klassen B und A frühzeitig einzuplanen. Denn, die Mitgliedstaaten legen Anforderungen fest, damit Nichtwohngebäude mit einer Heizungsanlage oder einer kombinierten Raumheizungs- und Lüftungsanlage von mehr als 290 kW oder einer Klimaanlage oder einer kombinierten Klima- und Lüftungsanlage von mehr als 290 kW bis zum Jahr 2025 mit Systemen für die Gebäudeautomatisierung und -steuerung ausgerüstet werden. Alle Nichtwohngebäude heißt: Neue, aber auch Gebäude im Bestand. Die Systeme für die Gebäudeautomatisierung und -steuerung müssen in der Lage sein,

²²⁸ Vgl. VDI 3814 Blatt 1:2019-01 Gebäudeautomation (GA) - Grundlagen 2019-01.

²²⁹ Vgl. Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (13. August 2020).

²³⁰ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2018b), S. 75 - 91.

- a) den Energieverbrauch kontinuierlich zu überwachen, zu protokollieren, zu analysieren und dessen Anpassung zu ermöglichen;
- b) Benchmarks in Bezug auf die Energieeffizienz des Gebäudes aufzustellen, Effizienzverluste von gebäudetechnischen Systemen zu erkennen und die für die Einrichtungen oder das gebäudetechnische Management zuständige Person über mögliche Verbesserungen der Energieeffizienz zu informieren; und
- c) die Kommunikation zwischen miteinander verbundenen gebäudetechnischen Systemen und anderen Anwendungen innerhalb des Gebäudes zu ermöglichen und gemeinsam mit anderen Typen gebäudetechnischer Systeme betrieben zu werden, auch bei unterschiedlichen herstellereigenen Technologien, Geräten und Herstellern.²³¹

4.5 Nachhaltigkeit

Gebäudeautomation ist auch ein Parameter im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)²³² des BMI oder der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB)²³³.

Im Kriterium 4.1.6 Bedienungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit der TGA in der Hauptkriteriengruppe Technische Qualität ist die Gebäudeautomation mit der Kostengruppe 480 vertreten. Die technische Qualität fließt mit 22,5 % in die Gesamtbewertung ein.

4.6 Studien

Für den Energieverbrauch ist das Nutzerverhalten von großer Bedeutung. Ein idealer Nutzer schaltet die Heizung ab, wenn er lüftet, und Lampen nur ein, wenn er im Raum ist. Nachts, an Wochenenden und Feiertagen senkt er die Raumtemperatur ab. In der Realität gibt es dieses ideale Nutzerverhalten leider nur sehr selten, fand Prof. Dr. Martin Becker von der Hochschule Biberach in einer Studie für den ZVEI.²³⁴

²³¹ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2018b), S. 86(4), S. 87(4).

²³² Vgl. Informationsportal Nachhaltiges Bauen des BMI (2018).

²³³ Vgl. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (2019).

²³⁴ Vgl. Becker, M. und Knoll, P. (2011).

Die Automatisierungstechnik kann das nicht ideale Nutzerverhalten kompensieren und helfen, einen unnötig hohen Energieverbrauch zu vermeiden. Insbesondere trifft dies zu, wenn die Systeme von den Nutzern nicht heruntergefahren werden, obwohl die Räume nicht genutzt werden.

Um das Potenzial der Energieersparnis in Gebäuden zu untersuchen, führte die Hochschule Biberach eine zweijährige Untersuchung durch. In der Studie²³⁵ wurden in drei identischen Schulungsräumen Heizung, Lüftung, Beleuchtung und andere Energieverbraucher vollautomatisch, teilautomatisch oder manuell angesteuert. Über zwei Heizperioden wurden alle relevanten Daten messtechnisch erfasst und so der tatsächliche Energieverbrauch ermittelt. Bei mittlerem Automatisierungsgrad konnten 21 %, bei hohem sogar 49 % der Energie eingespart werden.

In der vom BDI bei The Boston Consulting Group und prognos beauftragten Studie „Klimapfade für Deutschland“ heißt es:

„Gebäudeautomation und -monitoring kann durch intelligente Verbrauchs-, Lüftungs- und Heiztechniksteuerung zusätzlich zu THG-Einsparungen beitragen. Zudem ermöglicht sie eine bessere Identifikation von Handlungsfeldern zur Energieeinsparung, trägt zur nachhaltigen Sicherstellung der Energieeffizienz im mehrjährigen Betrieb bei und ermöglicht ein Lastmanagement elektrischer Verbraucher. In den 80 %- und 95 %-Klimapfaden wird unterstellt, dass die Gebäudeautomation in Industrie- und GHD-Gebäuden mit 15 Prozent zu den Einsparungen aus der energetischen Gebäudesanierung beiträgt. In Ein- und Zweifamilienhäusern liegt dieser Anteil bei 5 bis 10 Prozent.“²³⁶

In der zitierten Studie merkt der BDI allerdings an, dass es sich um eine konservative Schätzung handelt, und verweist auf die Aussagen des Fachverbands Automation + Management für Haus + Gebäude im VDMA. Dessen Aussagen zu den Effizienzpotenzialen der IT-basierten Gebäudeautomation

²³⁵ Vgl. Becker, M. und Knoll, P. (2011).

²³⁶ Vgl. The Boston Consulting Group und prognos (2018), S. 219.

basieren auf der DIN EN 15232 und stellen eine Senkung des Energieverbrauchs um bis zu 40 % in Aussicht²³⁷.

Im Rahmen einer umfangreichen Untersuchung wurden die Werte aus der DIN EN 15232 an der Technischen Hochschule Rosenheim verifiziert mit dem Resultat, dass das Ergebnis der Norm hinreichend belastbar für eine Investitionsentscheidung ist.²³⁸

Die 34 größeren Liegenschaften aus dem Bereich der Büro- und Verwaltungsgebäude in Bayern wiesen im thermischen Bereich Abweichungen von 5 % von der Norm auf, im elektrischen Bereich ließen sich in der Praxis mindestens die Werte der Norm erreichen.²³⁹

Prof. Dr. Krödel von der Technischen Hochschule Rosenheim quantifiziert die Energieeinsparung beim Wechsel von einer Standardregelausstattung eines Gebäudeautomationssystems der Klasse C auf die Klasse B auf 20 bis 30 %.²⁴⁰

Das Buildings Performance Institute Europe (BPIE) hält eine Gebäudeautomation in allen Nichtwohngebäuden für kosteneffektiv unter der Voraussetzung, dass sie vernünftig installiert und betrieben wird. Die Einsparpotenziale werden für Heizung, Warmwasser sowie Kühlung/Lüftung mit 37 % und für Beleuchtung mit 25 % quantifiziert. Zurzeit haben gerade einmal 25 % der Nichtwohngebäude eine richtig installierte Gebäudeautomation.²⁴¹

Die Kostenseite der Automation beleuchtet Martin Schmelas in seiner Dissertation an der Universität Freiburg im Breisgau. Durch eine automatisierte Kopplung der Wärme-, Kälte- und Stromseite sowie der Verschiebung und Vermarktung von Flexibilitäten konnten bei einem realen Gebäude in der Schweiz monetäre Einsparungen von 38 % realisiert werden²⁴².

²³⁷ Vgl. Fachverband Automation + Management für Haus + Gebäude im VDMA e.V. (2018).

²³⁸ Vgl. Krödel, M. (2017).

²³⁹ Vgl. Krödel, M. (2020).

²⁴⁰ Vgl. Krödel, M. (2020).

²⁴¹ Vgl. Groote, M. de und Lefever, M. (2016), S. 47.

²⁴² Vgl. Schmelas, M. (2017).

Bei industriellen Prozessen kann die Gebäudeautomation eine große Rolle spielen, denn durch den wechselseitigen Austausch von Energie kann der industrielle Prozess als Energiequelle, als Speicher oder auch als Energiesenke für das Gebäude und umgekehrt gesehen werden.

Die Innovationen im Bereich der Automation von Gebäuden gehen aber auch stark mit den Innovationen im Bereich der IT und den Veränderungen in den Energiemärkten einher. Daher sieht das BPIE die Potenziale der Interaktion von Gebäuden mit den Energiemärkten als notwendige Entwicklung für die nächste Zukunft an, denn Flexibilitäten eines Gebäudes werden notwendig sein, um die Stromnetze zu stabilisieren.²⁴³

Im GHD- und Industrie-Bereich ermöglicht die Automation nicht nur in Verbindung mit Managementsystemen erhebliche Effizienz- und Komfortgewinne. Die Ergebnisse von Systemen, die bei der bereits verbauten Technischen Gebäudeausrüstung ansetzen und diese optimieren, sind vielversprechend (siehe Kapitel 5.7).

Im Wohngebäudebereich ermöglicht die Automation von Gebäuden mit spielerischem Herangehen und einfachen Komponenten, beispielsweise für Heizkörper, nicht nur einen Komfort-, sondern auch einen Effizienzgewinn. Wenn es darüber hinausgeht, können Wohngebäude in ein Quartier einbezogen und Regelungssysteme, die von der Wohnung über das Gebäude bis hin zum Quartier Daten austauschen, in ein Energiemanagementsystem integriert werden. In einem Berliner Versuchsquartier konnte allein so der Raumwärmeverbrauch von 80 auf 60 kWh/m²a gesenkt werden.²⁴⁴

4.7 Potenziale und Hemmnisse

Je komplexer das Zusammenspiel der Systeme sein muss, desto komplexer müssen auch die Steuerung und Regelung des gesamten Systems sein. Um die Effizienz der eingesetzten Ressourcen zu gewährleisten, muss das System in seiner Gesamtheit an einem technisch-wirtschaftlichen Optimum arbeiten.

²⁴³ Vgl. Groote, M. de und Lefever, M. (2016), S. 38.

²⁴⁴ Vgl. Beucker, S. und Hinterholzer, S. (2020).

Über die Vernetzung mit Prognosen und Preissignalen kann die Automation von Gebäuden aber gleichfalls zur Systemintegration gebäudetechnischer Systeme beitragen. Dies gilt beispielsweise für Erneuerbare-Energien-Anlagen, Wärmepumpen oder Blockheizkraftwerke.²⁴⁵ Insbesondere Nichtwohngebäude können dann auch als Elemente in einem Smart Grid betrachtet werden.

Allerdings stehen der konkreten Umsetzung auch Hemmnisse im Weg, die die dena in ihrer Studie zur Rolle der Digitalisierung im Gebäudebereich benannt hat. Im Bereich der Technik sind das vorwiegend die Inkompatibilität der Einzelkomponenten mit dem Steuerungssystem, fehlende Nachrüstmöglichkeiten mit Mess- und Steuerungssystemen im Bestand sowie notwendige individuelle Anpassungen. Da Energie häufig nicht das Kerngeschäft des Unternehmens ist, gibt es oft auch nur wenig qualifiziertes Personal, das sich um ein Energiemanagement kümmern könnte. Neben dem fehlenden Wissen zu den Technologien und deren Einsparpotenzialen stellt auch die Komplexität der Technologien sowie deren Inbetriebnahme die Unternehmen vor gewisse Herausforderungen. Da die Nutzungszyklen der Technischen Gebäudeausrüstung recht lang sind, öffnet sich das Opportunitätsfenster für Investitionen in Mess- und Steuerungstechnik äußerst selten. Entscheidend ist immer, dass die richtigen Akteure zur richtigen Zeit über gute und gesicherte Informationen verfügen, um eine Investitionsentscheidung treffen zu können.²⁴⁶

Zur Bewältigung dieser Hemmnisse wurden von der dena aber auch Türöffner identifiziert. Insbesondere technologie- und anbieterneutrale Informations- und Beratungsangebote können helfen, die Hemmnisse zu überwinden. Die Entwicklung von kostengünstigen Komponenten für die Funktionen Messen, Steuern und Regeln wurden gleichfalls als Türöffner genannt. Außerdem ist es wichtig, dass die Geräte verschiedener Anbieter miteinander kommunizieren können. Dabei kann eine herstellerunabhängige Kommunikation beispielsweise über IP-basierte Protokolle helfen. So wird auch eine standardunabhängige Nachrüstung ermöglicht. Durch Förderprogramme

²⁴⁵ Vgl. Müller, Christian, et al. (2017), S. 10.

²⁴⁶ Vgl. Müller, Christian, et al. (2017), S. 59.

zur Implementierung können ebenso Anreize geschaffen werden, um den Fokus stärker auf Energieeffizienz zu lenken und die Aufmerksamkeit für das Thema innerhalb eines Unternehmens zu wecken.²⁴⁷

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch die vom BAFA, dem BMWi und dem UBA beauftragte sogenannte Zählerstudie²⁴⁸. Die Überwachung, das Monitoring sowie die Visualisierung können den Nutzern und Betreibern von Gebäuden wertvolle Anhaltspunkte zur Effizienz liefern. Die Integration kostengünstiger Sensoren, die Bereitstellung von Schnittstellen sowie eine Erweiterung der Rechenlogik auf die Datenverarbeitung können die Basis für Effizienzbewertungen sein.²⁴⁹

²⁴⁷ Vgl. Müller, Christian, et al. (2017), S. 60 - 61.

²⁴⁸ Vgl. v. Horn, S.; Hinsch, T. und Schubert, J. (4. April 2019).

²⁴⁹ Vgl. v. Horn, S.; Hinsch, T. und Schubert, J. (4. April 2019).

5 UMSETZUNG UND BEISPIELE

5.1 Plusenergiegebäude

Das Verwaltungsgebäude, das das Planungs- und Beratungsunternehmen Drees & Sommer SE am Firmensitz in Stuttgart-Vaihingen errichtet, soll allen modernen Anforderungen für Umweltfreundlichkeit und Digitalisierung gerecht werden. Das Plusenergiegebäude (Abbildung 5) soll zum Jahresende 2021 fertiggestellt sein und rund 200 Mitarbeitern Arbeitsplätze bieten. Auf einer Bruttogrundfläche von etwa 7.000 Quadratmetern stellt der 20 Meter hohe und 70 Meter lange Neubau außerdem Platz für einen großen Konferenzbereich, eine Terrasse, eine Cafeteria und eine Kantine für bis zu 1.000 Mitarbeiter zur Verfügung.



Abbildung 5: Plusenergiebürogebäude, Nordfassade²⁵⁰

Das Gebäude soll im Betrieb mehr Energie erzeugen als verbrauchen. Erreicht wird dies mit einer hochdämmenden Fassadenkonstruktion, Photovoltaikanlagen auf dem Dach und an der Südfassade sowie einer begrünten Nordfassade. Erdwärme wird über Geothermie-Sonden und eine

²⁵⁰ Bild: © SCD Architekten Ingenieure GmbH | Drees & Sommer

Wärmepumpe zur Temperierung des Gebäudes genutzt. Dies sind nur die wesentlichen Maßnahmen für die positive Energiebilanz des Gebäudes.

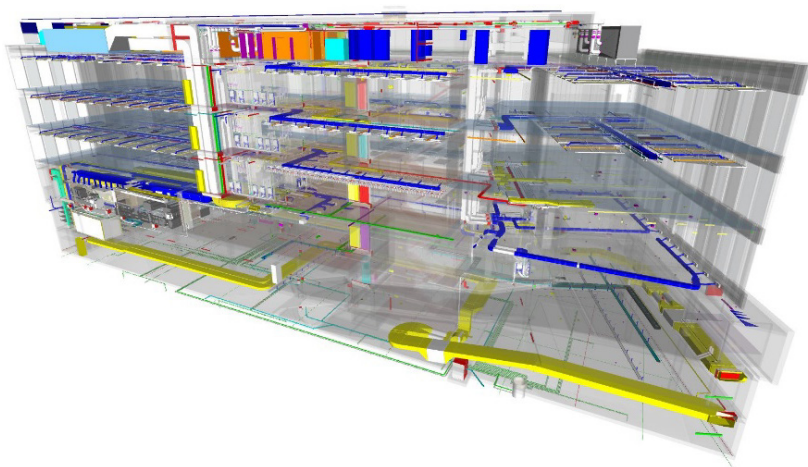


Abbildung 6: BIM Längsschnitt TGA²⁵¹

Geplant ist auch der Einsatz zahlreicher digitaler Technologien, die im späteren Betrieb des Gebäudes eine erhebliche Entlastung darstellen. So können Zugangsberechtigungen vergeben und auch die Buchung von Konferenzräumen oder die Stellplatzbelegung durch Apps erfolgen. Besonders interessant im Kontext der Gebäudeautomation ist allerdings die individualisierte und automatisierte Einstellung von Heizung, Kühlung, Lüftung oder Licht, angepasst an den jeweiligen Büronutzer. Zum Einsatz kommen bei der Planung und Ausführung digitale Methoden wie Building Information Modeling (BIM) und „Lean Construction Management für schlanke Bauprozesse“. Soweit wie möglich sollen industriell vorgefertigte und modularisierte Bauteile Verwendung finden. Bevor die Arbeiten auf der Baustelle wirklich beginnen, arbeiten die Baubeteiligten alle Angaben zu ihren Gewerken in das BIM-Modell ein. Das dreidimensionale Abbild enthält damit nicht nur Daten zu Materialien und Baustoffen, Kosten oder Brandschutz, mit ihm können auch Bauabläufe durchgespielt werden. Widersprüche lassen sich dadurch frühzeitig

²⁵¹ Bild: © SCD Architekten Ingenieure GmbH | Drees & Sommer

im Vorfeld feststellen und zu viel geringeren Kosten beheben als später auf der Baustelle.²⁵²

5.2 Rathaus Freiburg

Das im Jahr 2017 fertiggestellte Freiburger „Rathaus im Stühlinger“ ist Europas größtes Netto-Nullenergie-Gebäude (Abbildung 7). Die Nettogrundfläche von 22.650 m² bietet Platz für 840 Beschäftigte.



Abbildung 7: Photovoltaik-Module auf dem Dach und in der Fassade erzeugen Strom, PVT-Kollektoren (links im Bild) zusätzlich Wärme zum Betrieb der Kantine²⁵³

In einem gemeinsamen Forschungsprojekt der Stadt Freiburg mit dem Fraunhofer ISE, DS-Plan GmbH und der badenova zeigt die Auswertung der Daten des ersten Betriebsjahres (2018), dass das Ziel fast erreicht wurde. Die dynamischen Lastprofile von Bedarf und Erzeugung im Betrieb werden zeitlich hoch aufgelöst erfasst und hinsichtlich Eigenbedarfsdeckung und Lastflexibilisierung analysiert.

Für die Energiegewinnung haben die Architekten auf Photovoltaik (PV) in der Fassade, PV und (abgedeckte) photovoltaisch-thermische (PVT)-Kollektoren auf dem Dach, Grundwasser-Wärmepumpen, Grundwasser-

²⁵² Info: <https://www.dreso.com/de/>

²⁵³ Bild: © Fraunhofer ISE

Wärmetauscher und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung gesetzt. Die PVT-Kollektoren decken einen Teil des Wärmebedarfs der Kantine.

Der Anteil der Gebäudeautomation an der Effizienz des Gebäudes ist schwer zu quantifizieren, denn ein Großteil der Effizienzmaßnahmen beruht auf passiven Maßnahmen: einer hochgedämmten Gebäudehülle, Niedertemperatur-Heizsystemen oder der passiven Kühlung über Grundwasser.

Die Stadt Freiburg setzt zur Steuerung, Erfassung und Optimierung ein Energiemanagementsystem ein. In Verbindung mit der Gebäudeautomation ist das Energiemanagementsystem zur fortlaufenden Kontrolle der Effizienzkennwerte der Einzelkomponenten wichtig, insbesondere in Hinblick auf die Effizienz der Wärmepumpen. Erst damit kann der optimale Betrieb des Gesamtsystems hergestellt und dauerhaft gewährleistet werden. Die Gebäude- und Raumautomation sind regelbasiert. Die Ansteuerung der Betonkernaktivierung ist prädiktiv, zusätzlich wird auf Wetterprognosen (Vorhersage der Außentemperatur) zurückgegriffen.

Gebäude mit eigener Stromerzeugung speisen nicht nur Strom in das Netz ein, sondern können ihren Strombezug zur Wärme- und Kältebereitstellung auch an die Bedürfnisse der Netze anpassen. In Zukunft können solche Gebäude daher eine netzdienliche Rolle spielen.²⁵⁴

5.3 ETA-Fabrik

In einem Projekt an der TU Darmstadt wurde ein Ansatz für die flexible Automation thermischer Systeme innerhalb einer Testfabrik²⁵⁵ entwickelt. Über die Energiemanagementebene kann aktiv auf die technischen Prozesse Einfluss genommen werden (Abbildung 8). Eine prädiktive und adaptive Regelung thermischer Lasten, die Nutzung von Abwärme sowie die Speicherung thermischer Energie sind Bestandteil des Konzepts. Auch Flexibilitätsoptionen an den Strom- und Gasmärkten können durch das Managementsystem aktiv einbezogen werden.

²⁵⁴ Info: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/netto-nullenergiegebaeude-rathaus-freiburg.html>

²⁵⁵ Info: <https://eta-fabrik.de/>

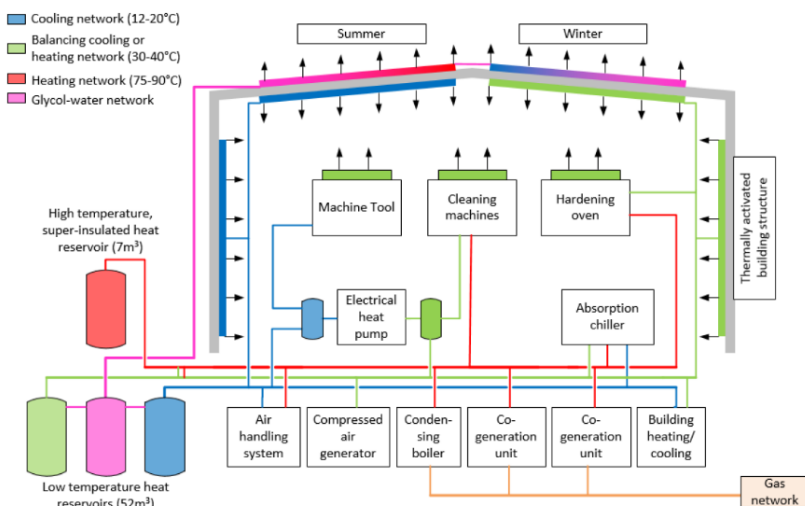


Abbildung 8: Thermische Kopplung der Systeme in der ETA Forschungsfabrik, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)²⁵⁶

Das Gebäudeautomationssystem der Halle kann der Energieeffizienz Klasse A zugeordnet werden. Der COP der Wärmepumpe liegt meist zwischen 4 und 5. Durch Lastprognosen findet auch die Belegung der Halle ihre Berücksichtigung. In Simulationen konnte gezeigt werden, dass eine optimierte Regelung der Energiesysteme gegenüber einer konventionellen Regelung mehr als 20 % der Energiekosten einsparen kann. Grundsätzlich hängt dies jedoch stark vom Energiesystem und den zugrunde liegenden Lasten ab.

Herausforderungen der Zukunft liegen in den objektorientierten Programmierungsansätzen, die den Aufwand für die Einbindung neuer Geräte in das Gesamtsystem vermindern.²⁵⁷

²⁵⁶ Bild: © Technische Universität Darmstadt

²⁵⁷ Vgl. Panten, N.; Strobel, N.; Sossenheimer, J. und Abele, E. (2018), S. 526-532.

5.4 LoRaWAN für Gebäude

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) ist eine Übertragungstechnologie, die mit relativ geringem Stromverbrauch über weite Strecken funken kann. Selbst große Gebäudekomplexe können damit von einem einzigen Gateway aus gesteuert werden.

Tagsüber, teilweise aber auch nachts, werden viele Räume in Gebäuden durchgängig geheizt. Als einfache Energieeffizienzmaßnahme bietet sich daher die Heizung von Räumen abhängig von der Präsenz an (Abbildung 9). An dieser Stelle setzt das Unternehmen Raumgold mit einem Gebäudeautomatisierungssystem für die Heizung an. Rechtzeitig vor Nutzung des Raums wird die Temperatur erhöht und nach Nutzung des Raums wieder heruntergefahren. Das passiert über eine intelligente Heizkurve²⁵⁸, die sich an die individuellen Raumparameter anpasst. Die Raumtemperatur kann prädiktiv anhand von Stundenplänen in einer Schule oder Raumebelegungsplänen in einem Tagungszentrum oder auch adaptiv mittels einer tatsächlichen Belegung gesteuert werden.



Abbildung 9: Das LoRaWAN-gesteuerte System²⁵⁹

Die Kommunikationsstrategie über LoRaWAN ermöglicht die Einbindung von Brückenelementen, um bestehende Gebäudeautomatensysteme

²⁵⁸ Vgl. Schmid, W. (2016).

²⁵⁹ Bild: © Raumgold

ansprechen zu können. Aber selbst ohne die Einbindung weiterer Systeme können Einzelraumregelungen bis zu 20 % Energieeinsparung erbringen. Da keine Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung ausgetauscht werden, ist die Energieeinsparung allein auf die Automatisierung der einzelnen Räume zurückzuführen. Das System arbeitet auf Basis der hinterlegten Pläne und der Präsenzerkennung.

Über eine tiefere Einbindung und weitere Funktionen können aber noch größere Potenziale freigeschaltet werden. Geplant ist es, in Zukunft auch den hydraulischen Abgleich über das System zu gewährleisten oder den Heizkessel und die Pumpen intelligent in das System einzubinden und bedarfsgerecht zu steuern. Zusätzlich kann das System mit einer visuellen Anzeige und entsprechenden Sensoren gekoppelt werden, um den CO₂-Gehalt der Luft anzuzeigen. Der CO₂-Gehalt korreliert mit der Qualität der Innenraumluft.²⁶⁰

5.5 Technische Gebäudeausrüstung und KI

Um Haustechnik effizient zu betreiben, setzt das Unternehmen enisyst auf die vorausschauende Steuerung der komplexen Systeme. So können Heizungs-, Lüftungs- und Kälteanlagen abgestimmt auf die Stromerzeugung aus PV und BHKW in Verbindung mit externen Stromspeichern in Elektroautos betrieben werden.

Zur Optimierung der Technischen Gebäudeausrüstung wird eine prädiktive Regelung eingesetzt. In diese Regelung fließen auch Wetterprognosen ein. Damit kann die Nutzung des aus den PV-Anlagen und BHKWs selbst produzierten Stroms maximiert werden. Ein weiterer wichtiger Einflussparameter der Regelung ist der Bedarf, der durch Lastvorhersagemodelle beschrieben werden kann. Damit die Erzeugung und der Bedarf zur Deckung gebracht werden, setzt das Unternehmen auf Optimierung sowie selbstlernende Systeme und KI (Abbildung 10). Eine Vermarktung der Flexibilitäten am Strommarkt ist mit einer entsprechenden Steuerung ebenfalls realisierbar.

²⁶⁰ Info: <https://www.raum.gold>

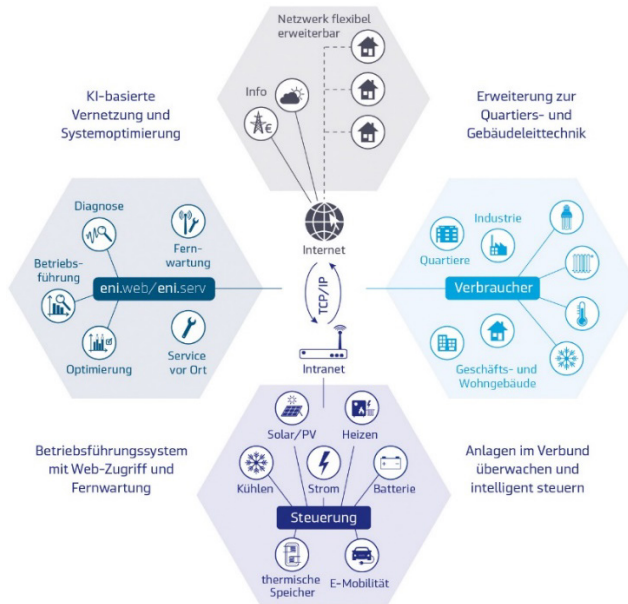


Abbildung 10: enisyst Systemschaubild²⁶¹

Möglich ist eine vollständige Steuerung der Technischen Gebäudeausrüstung oder die Ansprache einzelner Systeme. Bei bereits realisierten Projekten lag die Effizienzsteigerung meist im Bereich zwischen 10 und 30 %. In einigen Fällen wurden auch über 50 % eingespart. Bei bereits sehr gut abgestimmten Gebäuden kann die Einsparung auch einmal unter 5 % liegen.

Die Technische Gebäudeausrüstung wird über eine virtuelle Benutzeroberfläche hinsichtlich der Betriebsparameter visualisiert. Eine Auswertung der Daten mit Analysewerkzeugen ermöglicht Rückschlüsse auf Fehler. Eine automatische Benachrichtigung der Nutzer kann Stillstandzeiten und Schäden reduzieren.

Das System ist herstellerunabhängig und modular aufgebaut und kann in Bestandsanlagen integriert werden.²⁶²

²⁶¹ Bild: © enisyst

²⁶² Info: <https://www.enisyst.de>

5.6 Digitaler Heizungskeller

Der Energieverbrauch von Heizungsanlagen kann durch fehlerhafte Programmierung, falsch montierte oder defekte Bauteile in die Höhe gehen, ohne die Wärmeabgabe zu beeinträchtigen. Um jederzeit über den Betriebszustand der Heizungsanlage Bescheid zu wissen, werden neben Sensoren in der Anlage selbst auch Fachleute benötigt, die die erfassten Daten auswerten und die richtigen Schlüsse ziehen.

Das Hamburger Start-up ENER-IQ möchte das ändern. „Bei den meisten Heizungen gibt es keine Sensoren im kompletten System der Wärmeerzeugung und Verteilung. Passen beispielsweise die Schaltzustände nicht, müssen das bislang Fachleute manuell und vor Ort überprüfen. Wir wollen, dass Sensoren und Technologien aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz das herausfinden“, erklärt Mitgründer Sven Rausch die Idee (Abbildung 11).

Den Anteil der reinen Automation an der höheren Energieeffizienz des Heizungssystems schätzt das Unternehmen auf zukünftig 60 % und steigend. Bisher kann das Unternehmen nur in Ausnahmefällen und bei gegebenem Fernzugriff eine Änderung der Einstellungen bei schlecht laufenden Anlagen vornehmen. Eine vollständige Automatisierung zur kontinuierlichen Optimierung hätte aber erheblichen Einfluss auf die Gesamtperformance einer Anlage. Etwaige Parameteränderungen wären in Sekundenbruchteilen automatisch erledigt und der Einsatz eines Handwerkers wäre nicht mehr zwingend notwendig.



Abbildung 11: Benutzeroberfläche zur Visualisierung²⁶³

In dem Forschungsprojekt „KINERGY“ wurden beispielsweise 20 Heizungs-systeme unterschiedlicher Komplexitätsgrade zusammengefasst. Dieses Projekt startete zum Jahreswechsel 2019/2020. Projektpartner wie die Vermieter von Mehrfamilienhäusern stellten diese zur Verfügung. Ziel ist es, die Wirksamkeit der Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung durch den Einsatz von KI zu verbessern. Erwartet wurden Effizienzsteigerungen von 10 bis 15 %. Die ersten Ergebnisse der Pilotprojekte ergaben sogar Einsparungen von 15 bis 20 %. Die ersten belastbaren Zwischenergebnisse werden Anfang 2021 erwartet.²⁶⁴

5.7 Optimierte Steuerdaten für die Automation

Ein bereits vorhandenes Gebäudeautomationssystem kann auch mit optimierten Steuerdaten versorgt werden. Diesen Ansatz verfolgt das Unternehmen MeteoViva. In Kombination mit dem integrierten Energiemanagement-system lassen sich die Energieverbräuche und Effizienzmaßnahmen dokumentieren und optimieren. Neben allen relevanten thermischen Einflussfaktoren auf ein Gebäude werden auch variable Energiepreise für Last und

²⁶³ Bild: © ENER-IQ

²⁶⁴ Info: <https://eneriq.com>

Verbrauch mit einbezogen. Dabei lassen sich Last und Verbrauch sowohl auf thermischer als auch auf elektrischer Ebene optimieren. Als Ziel kann die Kostenreduktion oder ein geringerer CO₂-Ausstoß definiert werden.



Abbildung 12: Fleethof²⁶⁵

Mit der intelligenten Gebäudesteuerung konnten beispielsweise in einem Projekt in Hamburg die Energiekosten im ersten Jahr um 44 % reduziert werden. Maßgeblich verantwortlich dafür war die bedarfsgerechte Steuerung der Anlagentechnik (Abbildung 12).²⁶⁶

²⁶⁵ Bild: © MeteoViva intern

²⁶⁶ Info: <https://meteoViva.com/>

5.8 Energiekonzept für den urbanen Raum

„Berlin will bis 2050 klimaneutral werden. Mit einer innovativen Kombination unterschiedlicher Technologien entsteht in Berlin TXL ein urbanes Labor für ein CO₂-neutrales Stadtviertel. Auf dem Areal des heutigen Flughafens wird nach dessen Schließung eines der größten Stadtentwicklungsprojekte Europas realisiert (Abbildung 13).

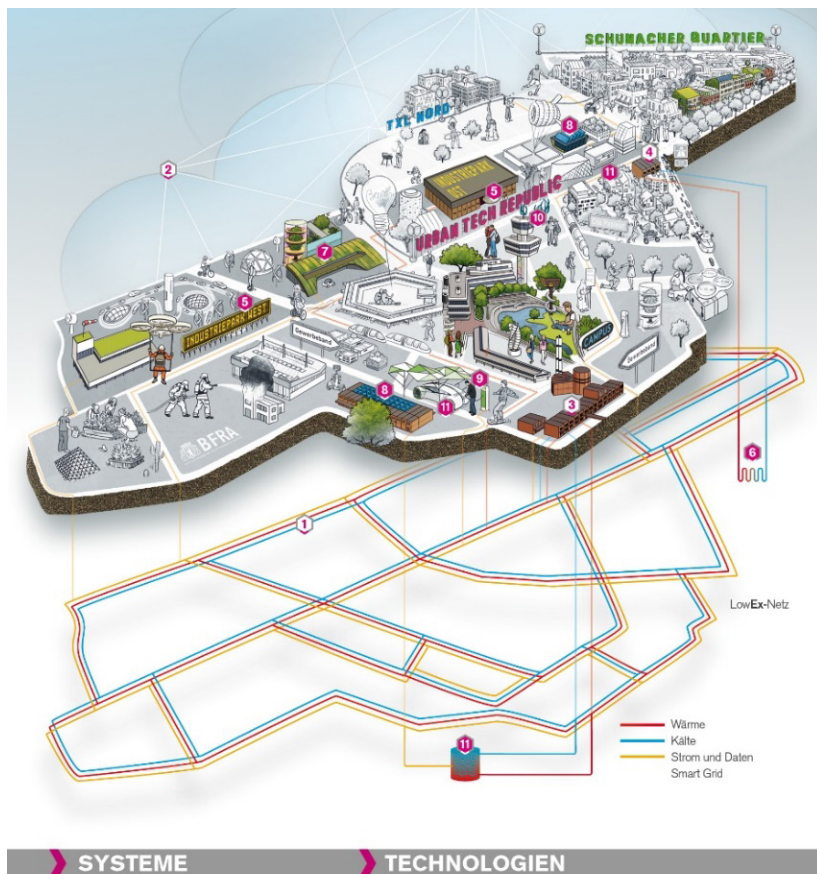
Der Forschungs- und Industriepark Berlin TXL -The Urban Tech Republic bietet Platz für bis zu 1.000 Unternehmen mit 20.000 Beschäftigten. In der direkten Nachbarschaft zur Urban Tech Republic entsteht ein smartes Wohnquartier mit über 5.000 Wohnungen für mehr als 10.000 Menschen, das Schumacher Quartier. Das nachhaltige Energiekonzept für den Standort ist in dieser Größe weltweit einzigartig.

Dieses sogenannte LowEx-Netz (Low-Exergie-Netz) wird mit Temperaturen bis 40 °C betrieben. Gegenüber klassischer Fernwärme mit Temperaturen von teils über 100 °C sind die Verluste im LowEx-Netz deutlich geringer. Die niedrige Vorlauftemperatur macht es außerdem erst möglich, umweltfreundliche Wärmequellen effizient zu nutzen.

Auf dem dezentralen Energie-Marktplatz können Verbraucher zusätzlich Abwärme aus Gebäuden, Abwasser, Serverräumen oder Industrieanlagen in das Leitungssystem des Netzes einspeisen und hierfür eine Vergütung erhalten. Als Erneuerbare Energiequellen sieht das Konzept zum Beispiel oberflächennahe Geothermie, Solaranlagen und Windkraft vor.

Ein komplett neu entwickeltes Stadtquartier bietet dafür ideale Voraussetzungen, denn das innovative Energiekonzept kann bei allen Planungsschritten berücksichtigt werden. Neu- und Bestandsbauten werden dafür mit Flächenheizungen ausgestattet. Bestehende Gebäude wie das sechseckige ehemalige Flughafen-Terminal aus den 1970er-Jahren erhalten eine moderne Wärmedämmung. Erst die Kombination aus geringem Energiebedarf und Flächenheizungen ermöglicht während der Heizperiode die niedrige Vorlauftemperatur des LowEx-Netzes von 40 °C.

Im Sommer können die Gebäude dagegen über die gleichen Heizflächen in den Wänden oder Fußböden gekühlt werden. Das funktioniert, weil das LowEx-Netz in der warmen Jahreszeit lediglich mit 20 °C betrieben wird. Das Erdreich dient in dieser Zeit als natürliche Kältequelle.²⁶⁷



SYSTEME

- 1 LowEx-Netz
- 2 Smart Grid Steuerungssystem
- 3 Energiezentrale Süd
- 4 Energiezentrale Ost

TECHNOLOGIEN

- 5 Abwärme
- 6 Geothermie
- 7 Biogas (externe Zulieferung)
- 8 Fotovoltaik
- 9 E-Mobility
- 10 Kleinwindanlage
- 11 Sektorkopplung (Strom, Wärme, Kälte)

Abbildung 13: Das Energiekonzept von Berlin TXL – The Urban Tech Republic²⁶⁸

²⁶⁷ Vgl. Tegel Projekt GmbH .

²⁶⁸ Bild: © Tegel Projekt GmbH

5.9 EUREF-Campus

Bei dem Energiekonzept für den EUREF-Campus in Berlin-Schöneberg spielen zahlreiche Elemente zusammen. Die Komponenten sind in der EUREF-Energiewerkstatt (Abbildung 14) aufgebaut. Die Erzeugung von Strom und Wärme wird unter anderem durch ein Blockheizkraftwerk nach dem KWK-Prinzip gewährleistet. Das Aggregat wird mit Biomethan angetrieben und der Strom wird in das Berliner Stromnetz eingespeist. Die gleichzeitig erzeugte Wärme fließt über ein eigenes 2,5 km langes Wärmenetz auf einem Temperaturniveau von bis zu 90 °C zu den Gebäuden und beheizt die Büros. Durch den zusätzlichen Einsatz von zwei Spitzenlastkesseln sowie einem kleinen Blockheizkraftwerk wird der gesamte Wärmebedarf gedeckt. Weiterhin wird auch Kälte zur Klimatisierung der Büros und Serverräume erzeugt.



Abbildung 14: Die EUREF-Energiewerkstatt kann im laufenden Betrieb in Führungen besichtigt werden²⁶⁹

Etwa 1.000 Sensoren geben Aufschluss über die Erzeugung und den Verbrauch von Energie. Auf Basis historischer Verbrauchs- und Wetterdaten und aktueller Wetterdaten wird dann eine Prognose für den Bedarf erstellt. Anhand dieser Prognose, in die auch Marktdaten einfließen, werden die Energieanlagen prädiktiv gesteuert. Daraus kann ein Vorrang für gewisse technische Komponenten resultieren. Ziel kann die energetische oder monetäre Effizienz sein. Hilfsmittel sind auch zwei 22 m³ große Speicher, die

²⁶⁹ Bild: © GASAG Solution Plus

zwischen Wärme- und Kältespeicherung umschaltbar sind und als sogenannte Power-to-Heat-/Power-to-Cold-Systeme arbeiten.

Gefördert wurde das Vorhaben vom Berliner Programm für nachhaltige Entwicklung (BENE) unter dem Titel: „Entwicklung und Test einer Leitstand-technologie zum zentralen Monitoring und zur effizienten und vorausschauenden Lenkung hybrider Energieanlagen innerstädtischer Gebäude“ (Förderkennzeichen 1137-B5-O). Die Power-to-Heat-/Power-to-Cold-Anlage wurde im Rahmen des SINTEG-Programms des BMWi gefördert.

In Abhängigkeit von Markt- und Wetterprognosen kann für die einzelnen Bausteine des Energiekonzepts die Einsatzreihenfolge festgelegt werden. Der Einsatz der Power-to-Heat-Anlage kommt z. B. dann in Frage, wenn der Strom am Intraday-Markt günstig ist und die Wärmegestehungskosten für die Erzeugung von Wärme mit einem anderen Aggregat höher liegen. Zusätzlich können auch einzelne Flexibilitäten aus dem thermohydraulischen Gesamtsystem vermarktet werden.²⁷⁰

5.10 Die CO₂-neutrale Fabrik - Green Factory

Mit einer Solaranlage, einem Blockheizkraftwerk, einer Pelletheizung sowie auf die Stromerzeugung abgestimmten Produktionsprozessen lässt sich CO₂-neutral produzieren.

Das Allgäuer Unternehmen Alois Müller GmbH eröffnete 2019 am Standort Ungerhausen die Green Factory, ein nahezu energieautarkes Produktions- und Bürogebäude. Hier werden Heizungs- und Lüftungsanlagen sowie Teile für den Metallbau produziert. Über 200.000 Solarzellen auf dem Dach liefern zwei Drittel der benötigten Energie als CO₂-neutralen Strom, der direkt vor Ort genutzt wird. Überschüssiger Solarstrom fließt ins Stromnetz. Produktionsschritte werden an die Verfügbarkeit des Solarstroms angepasst. Große Stromverbraucher wie die Lasermaschine werden vorrangig betrieben, wenn genügend Strom vom Dach vorhanden ist. Gleiches gilt für Lackier- und Sandstrahlarbeiten, die Produktion verschiedener Medien wie Stickstoff und vollentsalztes Wasser sowie Druckluft (Abbildung 15).

²⁷⁰ Info: <https://www.energiewende-erleben.de/>



Abbildung 15: Die CO₂-neutrale Fabrik²⁷¹

Eine wichtige Voraussetzung für die klimaneutrale Produktion ist die Analyse aller Stoff- und Energieströme, die für die Fertigungsschritte notwendig sind. Über ein ERP-System werden die Auftragslage und die Produktionsdaten mit den aktuellen Wetterprognosen abgeglichen. Scheint die Sonne nicht, so wird das Unternehmen über ein biogasbetriebenes Blockheizkraftwerk versorgt und in langen Kälteperioden sorgt ein Holzpelletkessel für zusätzliche Energie.²⁷²

5.11 Stromerzeugung aus industrieller Abwärme

200 Milliarden Kilowattstunden Wärmeenergie pro Jahr – also etwa der gesamte Energieverbrauch des Bundeslands Hessen – werden als ungenutzte Abwärme von der deutschen Industrie in die Umwelt abgegeben. Im Film „Stromerzeugung aus industrieller Abwärme“²⁷³ des VDI ZRE zeigen zwei Unternehmen, wie sie aus dieser Ressource Strom erzeugen.

Die Bilstein GmbH & CO. KG in Nordrhein-Westfalen bearbeitet Stahlbänder für die Möbel-, Werkzeug- und Automobilindustrie. Damit sich die Stahlbänder später verformen und somit weiterverarbeiten lassen, müssen sie erhitzt

²⁷¹ Bild: © VDI ZRE

²⁷² Film: <https://www.youtube.com/watch?v=2EVEi3w9o9w>

²⁷³ Film: <https://www.youtube.com/watch?v=nV6w1hnlcWM>

und danach wieder abgekühlt werden. Die bei diesem Rekrystallisationsprozess freigesetzte Abwärme wird genutzt, um mit Hilfe einer ORC-Anlage Strom zu erzeugen (Abbildung 16). Im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren reicht bei der ORC-Anlage die vergleichsweise niedrige Temperatur der Abwärme für die Stromerzeugung aus. Durch die effiziente Abwärmenutzung spart der Betrieb nicht nur Strom, sondern kann die Wärme auch zum Beheizen von Gebäuden verwenden sowie durch die schnellere Abkühlung seine Produktion beschleunigen.



Abbildung 16: ORC-Anlage²⁷⁴

Die Portland-Zementwerk Gebr. Wiesböck & Co. GmbH in Oberbayern produziert Zement für die Bauindustrie. Dafür werden die benötigten Rohstoffe zusammen mit Zusatzstoffen in einem Drehrohrofen zu Zement-Klinkern gebrannt (Abbildung 17). Die 400 °C heißen, staubhaltigen Abgase aus dem Drehrohrofen werden zum einen genutzt, um die Roh- und Hilfsstoffe für den Brennprozess vorzuwärmen. Zum anderen werden sie in einen Abhitzkessel geleitet, um Wasserdampf zu erzeugen. Der Dampf betreibt anschließend eine Turbine, die über einen Generator Strom erzeugt. Das Kraftwerk kann damit 30 % des benötigten Stroms selbst produzieren. Das entspricht einer Einsparung von 80.000 t CO₂ pro Jahr.

²⁷⁴ Bild: © VDI ZRE



Abbildung 17: Drehrohröfen²⁷⁵

Die beiden Projekte wurden durch das Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit gefördert.

²⁷⁵ Bild: © VDI ZRE

6 FAZIT

Ressourceneffiziente Technische Gebäudeausrüstung sowie deren Automation im Nichtwohngebäudesektor ist fast immer eine intelligente Kombination von Technologien. Diese Kombination, beispielsweise einer Sole-/Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden, zusätzlichem Wärmetauscher und einer Betonkernaktivierung mit Wandheizungen oder Deckenstrahlplatten führt zu einer kontinuierlichen Nutzung der kombinierten Technologien über das gesamte Jahr.

Ein gebäudetechnisches Energiekonzept sollte generell nicht nur auf den Bedarf ausgelegt werden, sondern sich auch an den zur Verfügung stehenden Potenzialen und Ressourcen orientieren. Neben den natürlich zur Verfügung stehenden Erneuerbaren Energien können beispielsweise Abwärmepotenziale genutzt werden. Auch der Aufbau eines Nah- oder Fernwärmenetzes auf einem bestimmten bzw. einem variablen Temperaturniveau oder ein kaltes Nahwärmenetz ist möglich. Ein zusätzliches Kältenetz kann ebenfalls in ein Energiekonzept integriert werden. Die intelligente Kombination besteht dann darin, ein Optimum unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten zu erzielen.

Für Gebäude resultieren die Effizienzvorgaben zurzeit noch aus der EnEV und dem EEWärmeG, zukünftig aus dem GEG. Die Gebäudeautomation ist seit 2013 in der EnEV verankert. Allein durch die Automation der vorhandenen haustechnischen Systeme können verschiedenen Quellen zufolge zwischen 15²⁷⁶ und 30 %²⁷⁷ Energie eingespart werden. Die Automatisierung eines Gebäudes kann also zu einer signifikanten Ressourceneinsparung in den Bereichen Wärme, Kälte und Strom beitragen.

Die eingangs erwähnten Ziele aus dem KSG für den Gebäudebereich lassen sich allerdings nur mit einer deutlich höheren Sanierungsrate im Gebäudebestand erreichen, denn erst bei einer umfassenden Sanierung im Bestand werden nicht nur einzelne Komponenten der Gebäudetechnik durch effizientere Komponenten ausgetauscht, sondern auch automatisiert. Neben der Beleuchtung betrifft dies insbesondere Motoren zum Antrieb von Pumpen,

²⁷⁶ Vgl. The Boston Consulting Group und prognos (2018), S. 219.

²⁷⁷ Vgl. Krödel, M. (2020).

Aufzügen oder Ventilatoren. In der Regel lässt sich daher die Energieeinsparung durch effiziente Gebäudetechnik nicht exakt von der Energieeinsparung durch Automation trennen. Die aus der DIN EN 15232 für die Gebäudeautomation resultierenden Werte bieten aber eine belastbare Basis für Investitionsentscheidungen.

Eine Herausforderung bei einer Sanierung unter Effizienzgesichtspunkten besteht immer darin, die Effizienz einzelner Technologien miteinander zu verzahnen. Um bei obigem Beispiel zu bleiben, übernimmt im Sommer ein Wärmetauscher die Übergabe von Wärme aus dem Gebäude an den Solekreislauf, der die Wärme über die Sonden an den Untergrund übergibt. Lediglich zwei Pumpen für die beiden Kreisläufe sorgen im Sommer für die Zirkulation.

Luft-Wasser-Wärmepumpen dagegen müssten im Sommer aktiv kühlen, also als Kältemaschine arbeiten. Die JAZ des Gesamtsystems wäre niedrig, denn die aufzuwendende Arbeit wäre sowohl im Winter als auch im Sommer durch die zu überwindende Temperaturdifferenz hoch.

Aus einer energieeffizienten technischen Gebäudeausrüstung resultieren bei kompetenter Planung und Ausführung in Verbindung mit deren Automation und Management in einem Nichtwohngebäude durchschnittlich 50 %²⁷⁸ Energieeinsparung. Wird lediglich eine Energieeinsparung von 40 % im Nichtwohngebäudebereich angenommen, lassen sich bei konsequenter Umsetzung in diesem Gebäudesegment theoretisch 14,4 % des Endenergieverbrauchs des gesamten Gebäudesektors einsparen.

Neben den in dieser Kurzanalyse nicht behandelten baulichen Maßnahmen an der Gebäudehülle tragen also insbesondere eine energieeffiziente Gebäudetechnik sowie deren übergreifende Automation zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudesektor bei. Die räumliche Erweiterung des Bilanzkreises um Wärme, Kälte und Strom aus Prozessen, Anlagen, die Umwelten in räumlicher Nähe zum Gebäude sowie die Speicherung, den

²⁷⁸ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2018a), S. 313 - 315.

Tausch oder Verkauf von Energie kann zu einer ausgeglichenen Bilanz und einem Null- oder einem Plusenergie-Gebäude führen.

Für Nicht-KMU^{279, 280} besteht seit 2015 nach EDL-G die Verpflichtung zum Energieaudit oder zur Etablierung eines Energiemanagementsystems. Durch die Kopplung mit Gebäudeautomationssystemen können auch die Energieverbräuche des Gebäudes dokumentiert, analysiert und optimiert werden, was ebenso für KMU interessant ist.

Der Aspekt der Wirtschaftlichkeit ist insbesondere bei den Nichtwohngebäuden von kleinen und mittleren Unternehmen sehr wichtig. Diese lässt sich quantifizieren, indem die Kosten für eingesparte Energie (und in Kürze zusätzlich die Kosten für die eingesparten CO₂-Emissionen) zu den Investitionskosten ins Verhältnis gesetzt werden. Dies ergibt den sogenannten Kapitalertrag, der weitaus höher liegt als der Ertrag, der heutzutage durch Verzinsung von Kapital bei einer Bank erreichbar ist.

Darüber hinaus kann energieeffiziente Technische Gebäudeausrüstung in Verbindung mit deren Automation und Management auch zu einer Verlängerung des Lebenszyklus eines Nichtwohngebäudes führen. Das macht einen Neubau obsolet und spart in vielen vorgelagerten Sektoren Energie.

Im Bereich der Bauwirtschaft ist zusätzlich der Aspekt der Schonung der mineralischen Ressourcen besonders relevant. Hierzu und zu weiteren Teilaspekten hat das VDI ZRE Kurzanalysen und Studien veröffentlicht, die kostenfrei auf der Website ressource-deutschland.de verfügbar sind.

²⁷⁹ Vgl. Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2003).

²⁸⁰ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2014), S. 70.

LITERATURVERZEICHNIS

50Hertz Transmission GmbH; Amprion GmbH; TenneT TSO GmbH und TransnetBW GmbH (2019): Netzentwicklungsplan Strom 2030 – Zweiter Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber, S. 30 [abgerufen am: 30.09.2019], verfügbar unter: www.netzentwicklungsplan.de

50Hertz Transmission GmbH; Amprion GmbH; TenneT TSO GmbH und TransnetBW GmbH (2020): Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan Strom 2035 – Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber. Version 2021, S. 21 [abgerufen am: 20.01.2020], verfügbar unter: www.netzentwicklungsplan.de

AHO Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e.V. (2011): Planungsleistungen im Bereich der Oberflächennahmen Geothermie. AHO Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung e.V., Heft 26 AHO-Schriftenreihe, ISBN: 978-3-89817-958-4 [abgerufen am: 15.10.2019], verfügbar unter: <https://www.aho.de/publication/heft-26>

AMEV (2019a): Hinweise für die Beleuchtung öffentlicher Gebäude – Beleuchtung 2019 Aufgestellt und herausgegeben vom Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV). Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat, Berlin, lfd. Nr.: 156 [abgerufen am: 20.02.2020], verfügbar unter: https://www.amev-online.de/AMEVInhalt/Planen/Elektrotechnik/Beleuchtung%202019/Beleuchtung_2019.pdf

AMEV (2019b): Hinweise für Planung, Ausführung und Betrieb der Gebäudeautomation in öffentlichen Gebäuden – Gebäudeautomation 2019. Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat, Berlin, Nr. 145 [abgerufen am: 27.02.2020], verfügbar unter: https://www.amev-online.de/AMEVInhalt/Planen/Gebaeudeautomation/GA%202019/AMEV_GA2019_2019-03-29.pdf

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. AGEb (2019): Energie in Zahlen – Arbeit und Leistungen der AG Energiebilanzen. 2. Auflage. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., Berlin, ISBN: 978-3-9814271-2-7

[abgerufen am: 17.10.2019], verfügbar unter: https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb-energie_in_zahlen_2019.pdf

ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V. (2019): KWKK - Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung. ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V., Bonn [abgerufen am: 28.01.2020], verfügbar unter: https://www.asue.de/gaswaermepumpe-kaelte/broschueren/310478_kwkk_-_kraft-waerme-kaelte-kopplung

Barckhausen, A.; Gründig, D. und Grohne, C. (2015): Energieeffizienz lohnt sich [online] [abgerufen am: 30.09.2019], verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/1419_Broschuere_Energieeffizienz-in-KMU_2015.pdf

Baudson, O.; Botreau, F. und Dittmer, B. (2019): Erneuerbare Energien [online] - VBI-Leitfaden. Verband Beratender Ingenieure VBI, 01.02.2019 [abgerufen am: 28.01.2020], verfügbar unter: https://www.vbi.de/wp-content/uploads/2019/10/VBI-Leitfaden_Erneuerbare_Energien_2019_de.pdf

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2020): Beitrag der Erneuerbaren Energien zur Deckung des Stromverbrauchs 2019 [online]. BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 12.03.2020 [abgerufen am: 19.03.2020], verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/Beitrag_EE_zur_Deckung_des_Stromverbrauchs_Jahr_2019_online_o_Ba_12032020.pdf

BDI (2009): Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland [online] - Eine Studie von McKinsey & Company, Inc., erstellt im Auftrag von „BDI initiativ - Wirtschaft für Klimaschutz“. Aktualisierte Energieszenarien und -sensitivitäten März 2009. BDI, 2009 [abgerufen am: 07.12.2020], verfügbar unter: https://bdi.eu/media/presse/publikationen/Publikation_Treibhausgasemissionen_in_Deutschland.pdf

Becker, M. und Knoll, P. (2011): Energieeffizienz durch Gebäudeautomation mit Bezug zur DIN V 18599 und DIN EN 15232 - beauftragt vom Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI). Kurzfassung. Hochschule Biberach, Institut für Gebäude- und Energiesysteme Fachgebiet MSR-Technik und Gebäudeautomation, Biberach [abgerufen am: 15.10.2019], verfügbar unter: https://www.zvei.org/fileadmin/user_

upload/Verband/Fachverbaende/Elektroinstallationssysteme/Studie_Energieeffizienz_durch_Gebaeudeautomation/Kurzfassung-ZVEI-Studie-Energieeffizienz-durch-Gebaeudeautomation.pdf

Becker, M. und Knoll, P. (2019): Weißbuch (White Paper) Nachhaltiges Planen, Bauen und Betreiben durch Einsatz von Gebäudeautomation [online]. Hochschule Biberach, Institut für Gebäude- und Energiesysteme Fachgebiet MSR-Technik, Gebäudeautomation und Energiemanagement [abgerufen am: 24.09.2019], verfügbar unter: <https://www.hochschule-biberach.de/documents/47143/b6d65446-c021-448d-bc39-4ba55db5ae22>

Beucker, S. und Hinterholzer, S. (2020): WindNODE Versuchsquartier Prenzlauer Berg - Wie intelligente Quartiere zur Energiewende beitragen können. Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit GmbH, Berlin [abgerufen am: 26.03.2020], verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/02/WindNODE-Besuchbarer-Ort.pdf>

BMWi; BAFA und KfW (2020): Investitionsförderprogramme für energieeffizientes Bauen und Sanieren stützen die Konjunktur [online]. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 07.04.2020 [abgerufen am: 09.04.2020], verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2020/20200407-investitionsfoerderprogramme-fuer-energieeffizientes-bauen-und-sanieren-stuetzen-die-konjunktur.html>

Brecht, B. (2019): Künstliche Intelligenz in der Gebäudeautomation - Mit ausgeklügelten Algorithmen CO₂-Emissionen reduzieren. In: Heizungsjournal, 54. Jahrgang (11-2019), S. 54 - 57.

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle BAFA (2019a): Allgemeines Merkblatt zur Antragstellung [online] - Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft - Zuschuss. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle BAFA, 15.07.2019 [abgerufen am: 16.10.2019], verfügbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_merkblatt_antragstellung.pdf?__blob=publicationFile&v=7

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle BAFA (2019b): Energieaudit [abgerufen am: 09.07.2020], verfügbar unter: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieaudit/energieaudit_node.html

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle BAFA (2019c): Modul 3 - MSR, Sensorik und Energiemanagement-Software [online] - Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft - Zuschuss. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle BAFA, 15.07.2019 [abgerufen am: 16.10.2019], verfügbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_modul3_ems_merkblatt_tma.pdf?__blob=publicationFile&v=8

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA) (2014): Arbeitsstättenrichtlinie Beleuchtung - ASR A 3.4 [abgerufen am: 17.10.2019], verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-4-Aenderungen-2.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA) (2018a): Arbeitsstättenrichtlinie Lüftung - ASR A3.6 [abgerufen am: 29.10.2019], verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-6-Aenderungen-3.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA) (2018b): Arbeitsstättenrichtlinie Raumtemperatur - ASR A 3.5 [abgerufen am: 24.11.2020], verfügbar unter: https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-5.pdf?__blob=publicationFile&v=5

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (05.12.2019): Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld vom 5. Dezember 2019 - Kommunalrichtlinie [abgerufen am: 19.12.2019], verfügbar unter: https://klimaschutz.de/sites/default/files/Aktualisierte_Kommunalrichtlinie_20.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2019): Richtlinie zur Förderung von Kälte- und Klimaanlage mit nicht-halogenierten Kältemitteln in stationären und Fahrzeug-Anwendungen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative - Kälte-Klima-Richtlinie [abgerufen am: 20.03.2020], verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/ebanzwww/contentloader?state.action=>

genericsearch_loadpublicationpdf&session.sessionid=
a97e8a195096726b75bcd98259ee3d8&fts_search_list.destHistoryId=
03865&fts_search_list.selected=18a1561d37e19926&state.filename=
BAnz%20AT%2031.01.2019%20B2

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (22.07.2020): Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld vom 22. Juli 2020 – Kommunalrichtlinie [abgerufen am: 29.07.2020], verfügbar unter: https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/Kommunalrichtlinie_vom_22._Juli_2020.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016a): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II – Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen – ProgRess. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin, Broschüre Nr. 2247 [abgerufen am: 04.12.2018], verfügbar unter: <https://www.bmu.de/publikation/deutsches-ressourceneffizienzprogramm-ii-programm-zur-nachhaltigen-nutzung-und-zum-schutz-der-natue/>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016b): Klimaschutzplan 2050 – KSP 2050 [abgerufen am: 06.04.2020], verfügbar unter: <https://www.bmu.de/publikation/klimaschutzplan-2050/>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (2018): Richtlinie zur Förderung von innovativen marktreifen Klimaschutzprodukten – Kleinserien-Richtlinie vom 21. Februar 2018 [abgerufen am: 29.10.2019], verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/>

Bundesministerium für Wirtschaft und Bundesministerium für Raumordnung und Bauwesen und Städtebau der Bundesrepublik Deutschland (1998): Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Warmwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung - HeizAnIV) Neufassung gemäß Bekanntmachung vom 4. Mai 1998 – HeizAnIV [abgerufen am: 27.09.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBL&jumpTo=bgbl198s0851.pdf

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019a): Förderbekanntmachung zu den Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0 – Wärmenetze 4.0 – Bundesförderung effiziente Wärmenetze [abgerufen am: 04.03.2020], verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019b): Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt – Heizen mit Erneuerbaren Energien [abgerufen am: 03.03.2020], verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020): Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM) vom: 17.12.2020 [online]. In: BAnz AT 30.12.2020 B2 [abgerufen am: 04.01.2021], verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/publication/jGoyan9JufVrZfcdtfV/content/jGoyan9JufVrZfcdtfV/BAnz%20AT%2030.12.2020%20B2.pdf>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020a): Richtlinie für die Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit. Bundesanzeiger, Berlin, BAnz AT, 31.01.2020 B2 [abgerufen am: 02.03.2020], verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020b): Richtlinie zur Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft – Förderwettbewerb [abgerufen am: 09.04.2020], verfügbar unter: https://www.wettbewerb-energieeffizienz.de/WENEFF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/richtlinie-bmwi-wettbewerb-energieeffizienz-banz-at-15-02-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019): Bekanntmachung Richtlinie Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit [abgerufen am: 25.06.2020], verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015): Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand vom 07.04.2015 [abgerufen am: 15.10.2019], verfügbar unter: <https://www.bundesanzeiger.de/>

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; Bundesministerium für Finanzen; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2013): Verordnung über Systeme zur Verbesserung der Energieeffizienz im Zusammenhang mit der Entlastung von der Energie- und der Stromsteuer in Sonderfällen (Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung) vom 31. Juli 2013 – SpaEfV [abgerufen am: 23.10.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl113s2858.pdf

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (20.12.2019): Bestätigung des Netzentwicklungsplans Strom für das Zieljahr 2030 [abgerufen am: 20.12.2019], verfügbar unter: <https://www.netzentwicklungsplan.de/de/bestaetigung-des-nep-2030-version-2019>

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (26.06.2020): Genehmigung des Szenariorahmens 2021-2035 [abgerufen am: 30.06.2020], verfügbar unter: https://www.netzausbau.de/bedarfsermittlung/2035_2021/szenariorahmen2021-2035/de.html

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (1994): Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV) vom 16. August 1994 – WärmeschutzV [abgerufen am: 27.09.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl194s2121.pdf

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2004): Arbeitsstättenverordnung - vom 12.08.2004 – ArbStättV [abgerufen am: 17.10.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl104s2179.pdf

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2007): Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) vom 24. Juli 2007 – EnEV [abgerufen am: 26.09.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl107034.pdf

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2008): Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG) vom 07.08.2008 - EEWärmeG [abgerufen am: 26.09.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl108s1658.pdf

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2013a): Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure - HOAI) vom 10.07.2013 [abgerufen am: 26.09.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl113037.pdf

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2013b): Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013 - EnEV Änderung 2013 [abgerufen am: 27.09.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl113067.pdf

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2015): Verordnung zum Asylverfahrensbeschleunigungsgesetz vom 24. Oktober 2015 [abgerufen am: 27.09.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl115s1789.pdf

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2016): Unterrichtung durch die Bundesregierung Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen (Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II).

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2019): Gebäudeenergiegesetz - GEG, Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude - GEG [abgerufen am: 06.11.2019], verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gesetzentwurf-zur-vereinheitlichung-des-energieeinsparrechts-fuer-gebaeude.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2020a): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III 2020 - 2023 Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen - ProgRess III [abgerufen am: 24.06.2020], verfügbar unter: <https://www.bmu.de/fileadmin/>

Daten_BMU/Download_PDF/Ressourceneffizienz/progress_iii_programm_bf.pdf

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2020b): Entwurf eines Ersten Gesetzes zur Änderung des Brennstoffemissionshandelsgesetzes - BEHG [abgerufen am: 19.06.2020], verfügbar unter: <https://www.bundesrat.de/drs.html?id=266-20>

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2020c): Entwurf eines Gesetzes zur Vereinheitlichung des Energiesparrechts für Gebäude - GEG [abgerufen am: 29.01.2020], verfügbar unter: <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/19/167/1916716.pdf>

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2020d): Grundlage für CO₂-Preis steht [online]. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 20.05.2020 [abgerufen am: 25.05.2020], verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/nationaler-emissionshandel-1684508>

Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE) (2020): Empirische Untersuchung des Marktes für Energiedienstleistungen, Energieaudits und andere Energieeffizienzmaßnahmen im Jahr 2019 - Endbericht 2019 - BfEE 17/2017. Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE) beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE), Eschborn [abgerufen am: 09.04.2020], verfügbar unter: <http://www.bfee-online.de/>

Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (13.08.2020): Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden - Gebäudeenergiegesetz - GEG [abgerufen am: 13.08.2020], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl120s1728.pdf

Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2008): Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz) vom 07.08.2008 - EEWärmeG [abgerufen am: 23.10.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl108s1658.pdf

Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2010): Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen vom 4. November 2010 - EDL-G [abgerufen am: 17.10.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl110s1483.pdf

Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2013): Viertes Gesetz zur Änderung des Energieeinsparungsgesetzes EnEG vom 4. Juli 2013 - EnEG Änderung 2013 [abgerufen am: 26.09.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl113036.pdf

Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2014): Gesetz zur grundlegenden Reform des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und zur Änderung weiterer Bestimmungen des Energiewirtschaftsrechts vom 21. Juli 2014 - EEG [abgerufen am: 23.10.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl114s1066.pdf

Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2019a): Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen - (Brennstoffemissionshandelsgesetz - BEHG) [abgerufen am: 25.02.2020], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl119s2728.pdf

Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2019b): Gesetz zur Neuregelung von Stromsteuerbefreiungen sowie zur Änderung energiesteuerrechtlicher Vorschriften vom 22. Juni 2019 - StromStG / EnStG [abgerufen am: 23.10.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl119s0856.pdf

Bundestag der Bundesrepublik Deutschland (2020): Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz vom 27. Februar 2008 - EVPG [abgerufen am: 07.01.2021], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl120s1328.pdf

Bundestag und Bundesrat der Bundesrepublik Deutschland (1976): Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz - EnEG) vom 22.07.1976 - EnEG [abgerufen am: 26.09.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl176s1873.pdf

Bundestag und Bundesrat der Bundesrepublik Deutschland (2019):

Gesetz zur Änderung des Gesetzes über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen vom 20. November 2019 - EDL-G [abgerufen am: 29.11.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl119s1719.pdf

Büttner, T. (2011): Integration von Sorptionskältemaschinen in die Haustechnik. In: EuroHeat&Power, 40 (11).

Deutsche Energie-Agentur GmbH (2016): Energieeffiziente Straßenbeleuchtung - Einsparpotenziale identifizieren und erschließen. Deutsche Energie Agentur GmbH, Initiative Energieeffizienz Unternehmen und Institutionen, Art.-Nr. 1435 [abgerufen am: 14.11.2019], verfügbar unter: www.industrie-energieeffizienz.de/strassenbeleuchtung

Deutsche Energie-Agentur GmbH (2018a): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende - Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050. Teil A: Ergebnisbericht und Handlungsempfehlungen (dena), Teil B: Gutachterbericht (ewi Energy Research & Scenarios gGmbH). Deutsche Energie Agentur GmbH [abgerufen am: 07.02.2020], verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf

Deutsche Energie-Agentur GmbH (2018b): Energiespartipps für die Beleuchtung - Einfach Strom sparen. Deutsche Energie-Agentur GmbH, Initiative Energieeffizienz Private Haushalte, Art.-Nr.: 1380.

Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019a): dena Gebäudereport Kompakt 2019 - Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. Deutsche Energie Agentur GmbH, Berlin [abgerufen am: 13.11.2019], verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-GEBAEUUDEREPORT_KOMPAKT_2019.pdf

Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019b): Künstliche Intelligenz für die integrierte Energiewende - Einordnung des technologischen Status quo sowie Strukturierung von Anwendungsfeldern in der Energiewirtschaft. Deutsche Energie-Agentur GmbH [abgerufen am: 15.10.2019], verfügbar unter: <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-analyse-kuenstliche-intelligenz-fuer-die-integrierte-energiewende/>

Deutsche Energie-Agentur GmbH (2020): Globale Trends der künstlichen Intelligenz und deren Implikationen für die Energiewirtschaft. Deutsche Energie-Agentur GmbH [abgerufen am: 25.03.2020], verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2020/dena-ANALYSE_Globale_Trends_der_kuenstlichen_Intelligenz_und_derer_Implicationen_fuer_die_Energiewirtschaft.pdf

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (2019): DGNB System [online], 2019 [abgerufen am: 24.09.2019], verfügbar unter: <https://www.dgnb-system.de/de/>

Deutscher Bundestag (2015a): Gesetz zur Neuregelung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes – Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz - KWKG).

Deutscher Bundestag (2015b): Gesetz zur Teilumsetzung der Energieeffizienzrichtlinie und zur Verschiebung des Außerkrafttretens des § 47g Absatz 2 des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen vom 15.04.2015 [abgerufen am: 17.10.2019], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl115s0578.pdf

Deutscher Bundestag (2019): Gesetz zur Einführung eines Bundes-Klimaschutzgesetzes und zur Änderung weiterer Vorschriften – Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) [abgerufen am: 10.02.2020], verfügbar unter: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl119s2513.pdf

DIN 276:2018-12: Deutsches Institut für Normung e. V, DIN 276, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN EN 15232-1:2017-12: Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 15232-1 Energieeffizienz von Gebäuden, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN EN ISO 14001:2015-11: Deutsches Institut für Normung e. V, DIN EN ISO 14001, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN V 18599-11:2018-09: Deutsches Institut für Normung e. V., DIN V 18599-11 Energetische Bewertung von Gebäuden, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN V 4108-6:2003-06: Deutsches Institut für Normung e. V, DIN V 4108 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN V 4701-10:2003-08: Deutsches Institut für Normung e. V, DIN V 4701 Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

EN 16247-1:2012-10: Deutsches Institut für Normung e. V, DIN EN 16247-1, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

enercity AG (2019): Industrielle Abwärme für Hamburger Stadtteile [online]. enercity AG, 26.08.2019 [abgerufen am: 18.03.2020], verfügbar unter: <https://www.enercity.de/presse/pressemeldungen/2019/2019-08-26-Abwaerme-fuer-Hamburg/index.html>

Erbstößer, A.-C. (2018): Smart Buildings im Internet der Dinge - Die digitale Zukunft von Gebäuden, Berlin [abgerufen am: 30.09.2019], verfügbar unter: https://www.technologiestiftung-berlin.de/fileadmin/user_upload/smart-building-im-internet-der-dinge-studie.pdf

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2010): Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - EU-Gebäuderichtlinie [abgerufen am: 27.09.2019], verfügbar unter: <http://data.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj>

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2012): Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG - EU-Energieeffizienzrichtlinie [abgerufen am: 27.09.2019], verfügbar unter: <http://data.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj>

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2014): Verordnung (EU) Nr. 651/2014 Der Kommission vom 17. Juni 2014 zur Feststellung der Vereinbarkeit bestimmter Gruppen von Beihilfen mit dem Binnenmarkt in Anwendung der Artikel 107 und 108 des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union Anhang I KMU Definition [abgerufen am:

17.10.2019], verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=OJ:L:2014:187:TOC>

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2018a): Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen.

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2018b): Richtlinie (EU) 2018/844 Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz - EU-Gebäuderichtlinie Änderung [abgerufen am: 27.09.2019], verfügbar unter: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj>

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (31.10.2009): Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte - Ökodesign-Richtlinie [abgerufen am: 08.01.2021], verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125&from=DE>

ewi Energy Research & Scenarios und ITG Dresden & FIW München (2017): Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor - Eine Studie der dena, der gea und weiterer Verbände aus dem Bereich Gebäudeenergieeffizienz. Deutsche Energie-Agentur GmbH, Berlin [abgerufen am: 07.02.2020], verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9220_Gebaeudestudie_Szenarien_Klima-_und_Ressourcenschutzpolitik_2050.pdf

Fachverband Automation + Management für Haus + Gebäude im VDMA e.V. (2018): IT-basierte Gebäudeautomation - Schlüsseltechnologie für Umwelt, Mensch und Wirtschaft, Frankfurt am Main [abgerufen am: 30.09.2019], verfügbar unter: https://www.vdma.org/documents/105680/793978/151472VDMA_Inhalt_IT_basierte_Gebaeudeautomation_komplett.pdf/77691931-756a-4839-8707-6a9a83079fe0

Franzke, U. (2019): CO₂-Vermeidung in der Gebäudetechnik - geringe Kosten mit hohen Effekten - ausgewählte Ergebnisse einer Studie. Vortrag beim TGA-Wirtschaftsforum November 2019.

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

(2014a): 30 Pilot Netzwerke [online] - 30 Pilot-Netzwerke steigern Energieeffizienz in Unternehmen. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI [abgerufen am: 07.12.2020], verfügbar unter: <http://www.30pilot-netzwerke.de/archiv/nw-de/content/Projekt.html>

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

(2014b): 30 Pilot Netzwerke [online] - Von 30 auf 100! Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI [abgerufen am: 07.12.2020], verfügbar unter: <http://www.30pilot-netzwerke.de/archiv/nw-de/index.html>

Groote, M. de und Lefever, M. (2016): Driving transformational Change in the Construction Value Chain - Reaching the untapped Potential. Buildings Performance Institute Europe, Brussels [abgerufen am: 30.09.2019], verfügbar unter: <http://bpie.eu/publication/construction-value-chain/>

Günther, J.; Lehmann, H.; Nuss, P. und Purr, K. (2019a): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität - Kurzfassung. Umweltbundesamt, ISSN 2363-832X [abgerufen am: 03.12.2019], verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_kurzfassung_dt_final_komp.pdf

Günther, J.; Lehmann, H.; Nuss, P. und Purr, K. (2019b): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität - Langfassung. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, ISSN 1862-4359, 36/2019 [abgerufen am: 06.02.2020], verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet.pdf

Hirzel, S.; Fleiter, T. und Rosende, D. (2010): Elevators and escalators in Germany from an energy perspective [online]. Fraunhofer ISI [abgerufen am: 04.07.2018], verfügbar unter: http://vg00.met.vgwort.de/na/9f50a18594042158769c28eecf7807c?l=http://publica.fraunhofer.de/e-prints/urn_nbn_de_0011-n-1331310.pdf

IEA (2020): Germany 2020 - Energy Policy Review. International Energy Agency [iea](http://www.iea.org) [abgerufen am: 25.02.2020], verfügbar unter: https://webstore.iea.org/download/direct/2955?fileName=Germany_2020_Energy_Policy_Review.pdf

Informationsportal Nachhaltiges Bauen des BMI (2018): Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) [online]. Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, 2018 [abgerufen am: 24.09.2019], verfügbar unter: <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/>

Initiative Energieeffizienznetzwerke (2020): Initiative Energieeffizienznetzwerke [online]. Deutsche Energie-Agentur GmbH [abgerufen am: 24.11.2020], verfügbar unter: <https://www.effizienznetzwerke.org/initiative/unsere-netzwerke/netzwerkkarte/>

International Energy Agency IEA (2019): Perspectives for the Clean Energy Transition - The Critical Role of Buildings. International Energy Agency IEA [abgerufen am: 21.11.2019], verfügbar unter: www.iea.org

Internet Engineering Task Force (2017): RFC 8200 (Internet Standard) also known as STD 86 [online]. Internet Engineering Task Force, 30.10.2017 [abgerufen am: 18.10.2019], verfügbar unter: <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc8200/>

ISO 25745-2:2015:2015-10: Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN ISO 25745-2 Energieeffizienz von Aufzügen, Fahrtreppen und Fahrsteigen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

ISO 50001:2018-12: Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN ISO 50001:2018-12, Beuth Verlag GmbH,

Jurkait, K. (2019): Guideline for Building Services Design. Arup Deutschland [abgerufen am: 04.12.2019], verfügbar unter: <https://www.arup.com/-/media/arup/files/publications/c/guideline-for-building-services-design-inspired-by-the-cradle-to-cradle-concept.pdf>

Juschkus, U. (2017): Fit für die Zukunft - Fit für Smart Home - Einstieg (shilfe) für die Bauwirtschaft. RWK Rationalisierungs- und Innovationszentrum der Deutschen Wirtschaft e.V.

Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2003): Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen.

Kräuchi, P.; Dahinden, C.; d. Jurt; v. Wouters; Menti, U.-P. und Steiger, O. (2017): SmartBuildings (Predictive & Neuro-Fuzzy Control) - Electricity

consumption of building automation. In: Energy Procedia, Volume 122, S. 295–300 [abgerufen am: 28.10.2019], verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.325>

Kräuchi, P.; Jurt, D. und Dahinden, C. (2016): Projekt „Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation“ (EEV-GA) – Ergebnisbericht. Bundesamt für Energie BFE.

Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW (2019): Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft [online] – Energiekosten durch hocheffiziente Technologien minimieren. Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW, 01.10.2019 [abgerufen am: 16.10.2019], verfügbar unter: [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000004389_M_295_EE_Prozessw%C3%A4rme.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000004389_M_295_EE_Prozessw%C3%A4rme.pdf)

Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW (2020a): KfW-Energieeffizienzprogramm – Energieeffizient Bauen und Sanieren [online] – Energiekosten im Gewerbegebäude senken. Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW, 24.01.2020 [abgerufen am: 18.03.2020], verfügbar unter: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/EE-Bauen-und-Sanieren-Unternehmen-276-277-278/>

Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW (2020b): Klimaschutzoffensive für den Mittelstand [online] – Förderung von klimafreundlichen Aktivitäten in Anlehnung an die EU-Taxonomie. Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW, 15.03.2020 [abgerufen am: 18.03.2020], verfügbar unter: [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Klimaschutzoffensive-f%C3%BCr-den-Mittelstand-\(293\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Klimaschutzoffensive-f%C3%BCr-den-Mittelstand-(293)/)

Krödel, M. (2017): Die EnEV und die gesetzlichen Anforderungen – Gesetzliche Anforderungen an den Automatisierungsgrad von Gebäuden aufgrund der EnEV. In: BUS Systeme, 24. Jahrgang (Heft 1), S. 19–20.

Krödel, M. (2020): Ressourceneffizienzpotenziale der Gebäudeautomation. Interview (telefonisch) mit VDI ZRE am 09.01.2020.

Lauf, T.; Memmler, M. und Schneider, S. (2019): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger – Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2018. Umweltbundesamt, D.-R., Dessau-Roßlau, Climate Change 37/2019,

ISSN 1862-4359 [abgerufen am: 18.02.2020], verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energetraeger>

Mahler, B.; Idler, S.; Nusser, T. und Gantner, J. (2019a): Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus - Abschlussbericht. Umweltbundesamt, ISSN 1862-4804 [abgerufen am: 03.12.2019], verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-10-29_texte_132-2019_energieaufwand-gebäudekonzepte.pdf

Mahler, B.; Idler, S.; Nusser, T. und Gantner, J. (2019b): Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus. UBA, Dessau-Roßlau, Forschungskennzahl 3715 41 111 0, ISSN 1862-4804.

Martens, H. und Goldmann, D. (2016): Recyclingtechnik - Fachbuch für Lehre und Praxis. 2. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, ISBN 9783658027858, verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-02786-5>

Meißner, R. und Moschke, D. (2018): MWE-Solarthermie-Anlage Senftenberg - Ergebnisse des ersten Betriebsjahres. In: planpause tga heizungsjournal-Special, **2018** (4-5), S. 83-89 [abgerufen am: 18.12.2019], verfügbar unter: https://www.heizungsjournal.de/mw-solarthermie-anlage-senftenberg_13355

Müller, Christian, et al. (2017): Rolle der Digitalisierung im Gebäudebereich - Eine Analyse von Potenzialen, Hemmnissen, Akteuren und Handlungsoptionen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi. Deutsche Energie-Agentur GmbH, Berlin [abgerufen am: 15.10.2019], verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/rolle-der-digitalisierung-im-gebäudebereich.pdf?__blob=publicationFile&v=8

Panten, N.; Strobel, N.; Sossenheimer, J. und Abele, E. (2018): Framework for an Energy Efficient and Flexible Automation Strategy and Control Optimization Approach of Supply Systems within a Thermally-Linked Factory. In: Procedia CIRP, 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems, Stockholm (Sweden), (Band 72,), S. 526-532.

Robinius, M.; Markewitz, P.; Lopion, P. und et al (2019): Wege für die Energiewende – Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050. Kurzfassung. Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich [abgerufen am: 12.02.2020], verfügbar unter: https://www.fz-juelich.de/iek/iek-3/DE/_Documents/Downloads/transformationStrategies2050_studySummary_2019-10-31.pdf.pdf?__blob=publicationFile

Rubner, P.; Gochermann, M. und Domann, C. (2019): Die Customer Journey im Wärmemarkt – Studie zu Vertriebschancen für Energieversorger. Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft [abgerufen am: 02.12.2019], verfügbar unter: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/de_de/topics/power-and-utilities/ey-studie-die-customer-journey-im-waermemarkt-doppelseite.pdf?download

Safarik, M. (2019a): Pumpfähiges Eis – effizient, leistungsfähig und flexibel, Berlin, WindNODE Jahrbuch 2018 Wer wir sind und was wir tun „Schaufenster intelligente Energie Digitale Agenda für die Energiewende“ (SINTEG), S. 96 – 97 [abgerufen am: 27.03.2020], verfügbar unter: https://www.windnode.de/fileadmin/Daten/Downloads/Jahrbuch/WindNODE_Jahrbuch_2018_Web.pdf

Safarik, M. (2019b): Wärmequelle Eisspeicher und Gewässer – Potentiale von Flüssigeis in regenerativen und effizienten Wärmekonzepten, Sächsisches Fachsymposium Energie 2019 [abgerufen am: 27.03.2020], verfügbar unter: https://crm.saena.de/sites/default/files/civicrm/persist/contribute/files/Waermequelle%20Eisspeicher%20und%20Gewasser_Mathias_Safarik%281%29.pdf

Schebek, L.; Abele, E.; Campitelli, A. und Becker, B. und Joshi, M. (2016): Praxisleitfaden: Ressourceneffizienz in der Produktion - Zerspanungsprozesse. Hessen Trade & Invest. GmbH, Wiesbaden, Band 17 der Schriftenreihe der Technologielinie Hessen-Umwelttech [abgerufen am: 30.09.2019], verfügbar unter: https://www.technologieland-hessen.de/mm/mm001/Brosch_Ressourceneffizienz_Zerspanungsprozesse_final_screen.pdf

Schebek, L.; Kannengießer, J.; Campitelli, A.; Fischer, J.; Abele, E.; Bauerdick, C.; Anderl, R.; Haag, S.; Sauer, A. und Mandel, J. (2017):

Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 22.05.2019], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/publikationen/studien/>

Schmelas, M. (2017): Entwicklung und Evaluierung eines adaptiv-prädiktiven Algorithmus' für thermoaktive Bauteilsysteme. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Technischen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, Freiburg im Breisgau [abgerufen am: 02.12.2019], verfügbar unter: <https://freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:13892/datastreams/FILE1/content>

Schmid, W. (2016): Teils auffällig hoher Stromverbrauch - Studie zum Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation. In: TGA Fachplaner, 2016 (11-2016), S. 6-10 [abgerufen am: 06.11.2019], verfügbar unter: <https://www.tga-fachplaner.de/>

Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe (2019): Förderrichtlinie der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe Berlin für Stromspeicher in Verbindung mit einer neu zu errichtenden Photovoltaikanlage im Rahmen des Berliner Energie- und Klimaschutzprogramms 2030 - Stromspeicher-Richtlinie Berlin [abgerufen am: 24.11.2019], verfügbar unter: https://www.berlin.de/sen/energie/energie/erneuerbare-energien/foerderprogramm-stromspeicher/20190822_richtlinie_speicherfoerderprogramm_final.pdf

Sievers, S. und Brumm, S. (2019): 85+X Wärmewende Meldorf - Saisonale (An)Wärmespeicherung für maximale CO₂-Einsparung [online] - In Meldorf wird sich was getraut. Gesellschaft für Energie und Klimaschutz Schleswig-Holstein GmbH [abgerufen am: 17.03.2020], verfügbar unter: <https://www.energieolympiade.de/projektdatenbank/2019-3-13/>

Solarserver (2019): Stadtwerke entdecken Solarthermie [abgerufen am: 09.12.2019], verfügbar unter: <https://www.solarserver.de/2019/11/26/stadtwerke-entdecken-solarthermie/>

Stadtwerke Düsseldorf (2016): Gaskraftwerk „Fortuna“ [online] - Strom und Wärme - hocheffizient und klimafreundlich. Stadtwerke Düsseldorf, 2020 [abgerufen am: 20.03.2020], verfügbar unter: <https://www.swd-ag.de/ueber-uns/erzeugung-standorte/heizkraftwerke/gaskraftwerk-lausward/>

Stadtwerke Ludwigsburg-Kornwestheim GmbH (2017): Wärmespeicher [online]. Stadtwerke Ludwigsburg-Kornwestheim GmbH [abgerufen am: 11.02.2020], verfügbar unter: <https://www.swlb.de/de/Energie/Nachhaltigkeit/SolarHeatGrid/Waermespeicher/Waermespeicher.html>

Sterchele, P.; Brandes, J.; Heilig, J.; Wrede, D.; Kost, C.; Schlegl, T.; Bett, A. und Henning, H.-M. (2020): Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem - Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg [abgerufen am: 14.02.2020], verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem.pdf>

Tegel Projekt GmbH: Der Energie-Marktplatz - [online] - das innovative Energiekonzept für Berlin TXL. Tegel Projekt GmbH [abgerufen am: 30.09.2020], verfügbar unter: https://www.berlintxl.de/fileadmin/01.4_Energiekonzept/20200928_Energiekonzept_Webseite_2020_Freigabe.pdf

The Boston Consulting Group und prognos (2018): Klimapfade für Deutschland. Bundesverband der Deutschen Industrie, Berlin [abgerufen am: 25.09.2019], verfügbar unter: <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland/>

Ulbrieg, A.; Müller, B.; Zeidler, O.; Geier, M.; Badura, A.; Müller, W. und Richter-Kowalewski, K. (2018): Leitfaden zur Gebäudeautomation in öffentlichen Gebäuden zur energetischen Optimierung und Effizienzsteigerung gebäudetechnischer Anlagen. Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen, Berlin.

Umweltbundesamt (2012): Glossar zum Ressourcenschutz, Dessau-Roßlau [abgerufen am: 01.08.2019], verfügbar unter: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4242.pdf

v. Horn, S.; Hirsch, T. und Schubert, J. (04.04.2019): Endbericht Energiemonitoring und Informationsaustausch bei Geräten und Anlagen - Zählerstudie. Projekt: BfEE 06-2017 Endbericht. BAFA, BMWi, UBA, Berlin [abgerufen am: 08.01.2021], verfügbar unter: https://www.bfee-online.de/SharedDocs/Downloads/BfEE/DE/Effizienzpolitik/zaehlerstudie.pdf;jsessionid=5964128D4341D5D95BC236C4BBD1CED8.1_cid362?__blob=publicationFile&v=2

VDI 2067:2012-09: Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI 2067 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung, Berlin.

VDI 3810 Blatt 1:2012-05: VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., Betreiben und Instandhalten von gebäudetechnischen Anlagen - Grundlagen.

VDI 3814 Blatt 1:2019-01 Gebäudeautomation (GA) - Grundlagen:2019-01: VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., Gebäudeautomation (GA) - Grundlagen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI 4640 Blatt 1:2010-06:2010-06: Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI 4640 Blatt 1:2010-06.

VDI 4650 Blatt 1:2019-03: Verein Deutscher Ingenieure e.V., Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI 4700:2015-10: Verein Deutscher Ingenieure e.V., Begriffe der Bau- und Gebäudetechnik, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI 4707 Blatt 1:2009-03: VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., Aufzüge, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI 4800 Blatt 1:2016-02: Verein Deutscher Ingenieure e.V., Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI 6022 Blatt 1:2018-01: Verein Deutscher Ingenieure e.V., Raumlufttechnik, Raumluftqualität, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI 6041:2017-07: Verein Deutscher Ingenieure e.V., Facility-Management, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2014a): Ein Netz aus Wärme. YouTube [abgerufen am: 22.05.2019], verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=kKouPTkOp74>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2014b): Energieeffiziente Aufzüge. YouTube [abgerufen am: 19.06.2020], verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=A8YqF_PPcJY

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2014c): LED-Leuchtmittel sparen Strom. YouTube [abgerufen am: 19.06.2020], verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=hUu8rV_FwFA

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2014d): Ressourceneffizienz im Uniklinikum Freiburg. YouTube [abgerufen am: 19.06.2020], verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=Vc0D2x9oR2s>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2014e): Weniger Strom im Büro. YouTube [abgerufen am: 19.06.2020], verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=xVee6R9VVD0>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2015): Ressourcencheck Aufzüge [online] [abgerufen am: 19.06.2020], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/instrumente/ressourcenchecks/gebaeudechecks/aufzuege/ressourcencheck-aufzuege>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017a): Prozesswärme. YouTube [abgerufen am: 03.07.2020], verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=MN1rmoMAbbk>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017b): Stromerzeugung aus industrieller Abwärme. YouTube [abgerufen am: 22.06.2020], verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=nV6w1hnIcWM>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019): Die CO₂-neutrale Fabrik - Green Factory. YouTube [abgerufen am: 19.06.2020], verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=2EVEi3w9o9w>

Verband Beratender Ingenieure VBI (2012): Oberflächennahe Geothermie - VBI-Leitfaden. 3. Auflage. Verband Beratender Ingenieure VBI, Berlin [abgerufen am: 15.10.2019], verfügbar unter: <https://www.vbi.de/shop/oberflaechennahe-geothermie-vbi-leitfaden/>

Verband Beratender Ingenieure VBI (2013): Tiefe Geothermie - VBI-Leitfaden. 2. Auflage. Verband Beratender Ingenieure VBI, Berlin [abgerufen am: 24.01.2012], verfügbar unter: <https://www.vbi.de/shop/tiefe-geothermie-vbi-leitfaden/>

Wirth, H. (2020): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg i. Br. [abgerufen am: 10.02.2020], verfügbar unter: www.pv-fakten.de

Zumtobel Lighting GmbH (2012a): Mehrwert durch Lichtmanagement - Nachhaltig, intelligent, vielseitig: Luxmate Systeme weisen dem Licht den Weg in die Zukunft. Zumtobel Lighting GmbH [abgerufen am: 28.10.2019], verfügbar unter: https://www.zumtobel.com/com-de/lightingmanagement.html?track=googlemini_clicked

Zumtobel Lighting GmbH (2012b): Studie über den Einfluss eines Lichtsteuerungs- und Sonnenschutz-Systems auf den Energieverbrauch eines Bürogebäudes. Zumtobel Lighting GmbH, ISBN 978-3-902940-00-1 [abgerufen am: 28.10.2019], verfügbar unter: https://www.zumtobel.com/com-de/lightingmanagement.html?track=googlemini_clicked

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Bülowstraße 78
10783 Berlin
Tel. +49 30-2759506-0
zre-info@vdi.de
www.ressource-deutschland.de

