

Anlagenmechaniker/in für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik

IZT - Institut für Zukunftsstudien und
Technologiebewertung gemeinnützige GmbH
Dr. Nona Bledow, n.bledow@izt.de
Dr. Michael Scharp, m.scharp@izt.de
Schopenhauerstraße 26, 14129 Berlin
Webseite: www.pa-bbne.de

GEFÖRDERT VOM



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
1.1 Ziele der Projektagentur PA-BBNE	5
1.2 Die Materialien der Projektagentur	5
1.3 Berufliche Bildung für Nachhaltige Entwicklung	6
1.3.1 Die Standardberufsbildposition “Umweltschutz und Nachhaltigkeit”	6
1.2.2 Bildung für nachhaltige Entwicklung	7
Quellenverzeichnis	8
2. Glossar	9
SDG 3: “Gesundheit und Wohlergehen”	10
Trinkwasserhygiene	10
Gesundheitsbelastung durch Mikroplastik	11
Die Quellen von Mikroplastik	12
Mikroplastik im Menschen	12
Quellenverzeichnis	13
SDG 4: “Hochwertige Bildung”	14
10 “Goldene Handlungsregeln” für eine BBNE	15
Schritt 1 - Richtig anfangen: Identifizierung von Anknüpfungspunkten für BBNE	15
Schritt 2 - Selbstwirksamkeit schaffen: Eröffnung von Nachhaltigkeitsorientierten Perspektiven	15
Schritt 3 - Ganzheitlichkeit: Gestaltung transformativer Lernprozesse	16
Schritt 4 - Lernort Betrieb: Entwicklung nachhaltiger Lernorte	17
Quellenverzeichnis	17
SDG 6: “Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen”	18
Effiziente Wassernutzung	19
Effizienz im Trinkwasserverbrauch	19
Nutzung von Grau- und Niederschlagswasser	20
Effiziente Nutzung von Warmwasser	20
Barrierefreier Zugang zu Sanitäreinrichtungen	21
Quellenverzeichnis	22
SDG 7: “Bezahlbare und saubere Energie”	23
Energieverbrauch in Deutschland	24
Erneuerbare Energien allgemein	25

Wärme	27
Erd- und Umgebungswärme	27
Wärmepumpen-Typen	28
Das Potential von Wärmepumpen	30
Solarwärme	31
Kollektortechnologien	31
Einbindung von Solarwärme	32
Speicherung von Solarwärme	33
Bioenergie	34
Wärmeerzeugung durch Wasserstoff	35
Strom	36
Photovoltaik	37
Technische Eignung der Dachfläche	39
Eigenerzeugung von Solarstrom	39
Technische Eignung	39
Rechtliche Eignung	39
Betriebsmodelle	39
Dachverpachtung und Contracting-Modelle	39
Eigenverbrauch mit Überschusseinspeisung	40
Volleinspeisung	40
Technologien	40
Solarzellen aus kristallinem Silizium	40
Dünnschicht-Solarmodule	41
Weitere Technologien mit hohem Potenzial	42
Anlagenarten	42
Aufdach Anlagen	42
Bodenmontierte Anlagen	43
Windkraft	43
Energiespeicherung	43
Rationelle Energienutzung	47
Energieeffizienz allgemein	47
Energiesparen	48
Effizienz durch Automation und Digitalisierung	49
Automation und intelligente Anlagensteuerung	49
Vernetzung und Sektorkopplung	50
Digitale Werkzeuge in der Gebäudeplanung	51
Effiziente Heizungsanlagen	52
Effiziente Klima- und Lüftungsanlagen	53

Smart Home-Technologien	55
Nachhaltige Bau- und Sanierungsplanung	57
Mobilität	59
Logistik	59
Geschäftsreisen	60
Geschäftsfahrzeuge und Antriebskonzepte	61
Kraftstoffe für die Mobilität	62
Nutzfahrzeuge: Elektrisch oder mit Brennstoffzellen?	63
Umweltschutz und Energie	65
Fracking	65
Feinstaub	65
Flächenkonkurrenz	66
Quellenverzeichnis	66
SDG 8 „Menschenwürdige Arbeit“	73
Menschenwürdige Arbeit	75
Saisonarbeit	75
DGB Index Gute Arbeit	76
BDA - Die Arbeitgeber	77
Prekäre Beschäftigungsverhältnisse	78
Kinderarbeit	78
Arbeitsschutz, Gesundheit und Gute Arbeit	79
Gender Pay Gap	79
Deutsches Sorgfaltspflichtengesetz	79
Quellenverzeichnis	80
SDG 12: “Nachhaltige/r Konsum und Produktion”	83
Ressourcenverbrauch	84
Nachhaltigkeit von Werkstoffen	85
Rohrwerkstoffe - Beispiel Kupfer	85
Dämmmaterialien	87
Rohstoffe Dämmmaterial	88
Lebenszyklusbetrachtung	88
Quellenverzeichnis	90
SDG 13: “Maßnahmen zum Klimaschutz”	91
Raumwärme, Warmwasser und Klimaschutz	93
Kältemittel und Klimaschutz	94
Klimaschutz in Gebäudeplanung und -bau	96
Quellenverzeichnis	96

1. Einleitung

1.1 Ziele der Projektagentur PA-BBNE

Das Ziel der „Projektagentur Berufliche Bildung für Nachhaltige Entwicklung“ (PA-BBNE) ist die Entwicklung von Materialien, die die um Nachhaltigkeit erweiterte neue Standardberufsbildposition „Umweltschutz und Nachhaltigkeit“ mit Leben füllen soll. Mit „Leben zu füllen“ deshalb, weil „Nachhaltigkeit“ ein Ziel ist und wir uns den Weg suchen müssen. Wir wissen beispielsweise, dass die Energieversorgung künftig klimaneutral sein muss. Mit welchen Technologien wir dies erreichen wollen und wie unsere moderne Gesellschaft und Ökonomie diese integriert, wie diese mit Naturschutz und Sichtweisen der Gesellschaft auszugestalten sind, ist noch offen.

Um sich mit diesen Fragen zu beschäftigen, entwickelt die PA-BBNE Materialien, die von unterschiedlichen Perspektiven betrachtet werden:

1. Zum einen widmen wir uns der beruflichen Ausbildung, denn die nachhaltige Entwicklung der nächsten Jahrzehnte wird durch die jungen Generationen bestimmt werden. Die duale berufliche Ausbildung orientiert sich spezifisch für jedes Berufsbild an den Ausbildungsordnungen (betrieblicher Teil der Ausbildung) und den Rahmenlehrplänen (schulischer Teil der Ausbildung). Hierzu haben wir dieses Impulspapier erstellt, das die Bezüge zur wissenschaftlichen Nachhaltigkeitsdiskussion praxisnah aufzeigt.
2. Zum anderen orientieren wir uns an der Agenda 2030. Die Agenda 2030 wurde im Jahr 2015 von der Weltgemeinschaft beschlossen und ist ein Fahrplan in die Zukunft (Bundesregierung o.J.). Sie umfasst die sogenannten 17 Sustainable Development Goals (SDGs), die jeweils spezifische Herausforderungen der Nachhaltigkeit benennen (vgl. Destatis 2022). Hierzu haben wir ein Hintergrundmaterial (HGM) im Sinne der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) erstellt, das spezifisch für unterschiedliche Berufe ist.

1.2 Die Materialien der Projektagentur

Die neue Standardberufsbildposition gibt aber nur den Rahmen vor. Selbst in novellierten Ausbildungsordnungen in Berufen mit großer Relevanz für wichtige Themen der Nachhaltigkeit wie z.B. dem Klimaschutz werden wichtige Fähigkeiten, Kenntnissen und Fertigkeiten in den berufsprofilgebenden Berufsbildpositionen nicht genannt – obwohl die Berufe deutliche Beiträge zum Klimaschutz leisten könnten. Deshalb haben wir uns das Ziel gesetzt, Auszubildenden und Lehrkräften Hinweise im Impulspapier zusammenzustellen im Sinne einer Operationalisierung der Nachhaltigkeit für die unterschiedlichen Berufsbilder. Zur Vertiefung der stichwortartigen

Operationalisierung wird jedes Impulspapier ergänzt durch eine umfassende Beschreibung derjenigen Themen, die für die berufliche Bildung wichtig sind. Dieses sogenannte Hintergrundmaterial orientiert sich im Sinne von BNE an den 17 SDGs, ist faktenorientiert und wurde nach wissenschaftlichen Kriterien erstellt. Ergänzt werden das Impulspapier und das Hintergrundmaterial durch einen Satz von Folien, die sich den Zielkonflikten widmen, da „*Nachhaltigkeit das Ziel ist, für das wir den Weg gemeinsam suchen müssen*“. Und dieser Weg ist nicht immer gleich für alle Branchen, Betriebe und beruflichen Handlungen, da unterschiedliche Rahmenbedingungen in den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – Ökonomie, Ökologie und Soziales – gelten können. Wir haben deshalb die folgenden Materialien entwickelt:

1. BBNE-Impulspapier (IP): Betrachtung der Schnittstellen von Ausbildungsordnung, Rahmenlehrplan und den Herausforderungen der Nachhaltigkeit in Anlehnung an die SDGs der Agenda 2030;
2. BBBNE-Hintergrundmaterial (HGM): Betrachtung der SDGs unter einer wissenschaftlichen Perspektive der Nachhaltigkeit im Hinblick auf das Tätigkeitsprofil eines Ausbildungsberufes bzw. auf eine Gruppe von Ausbildungsberufen, die ein ähnliches Tätigkeitsprofil aufweisen;
3. BBNE-Foliensammlung (FS) und Handreichung (HR): Folien mit wichtigen Zielkonflikten – dargestellt mit Hilfe von Grafiken, Bildern und Smart Arts für das jeweilige Berufsbild, die Anlass zur Diskussion der spezifischen Herausforderungen der Nachhaltigkeit bieten. Das Material liegt auch als Handreichung (HR) mit der Folie und Notizen vor.

1.3 Berufliche Bildung für Nachhaltige Entwicklung

1.3.1 Die Standardberufsbildposition “Umweltschutz und Nachhaltigkeit”

Seit August 2021 müssen auf Beschluss der Kultusministerkonferenz (KMK) bei einer Modernisierung von Ausbildungsordnungen die 4 neuen Positionen "Organisation des Ausbildungsbetriebs, Berufsbildung, Arbeits- und Tarifrecht", "Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit", "Umweltschutz und Nachhaltigkeit" sowie "Digitalisierte Arbeitswelt" aufgenommen werden (BIBB 2021). Insbesondere die letzten beiden Positionen unterscheiden sich deutlich von den alten Standardberufsbildpositionen.

Diese Positionen begründet das BIBB wie folgt (BIBB o.J.a): "Unabhängig vom anerkannten Ausbildungsberuf lassen sich Ausbildungsinhalte identifizieren, die einen grundlegenden Charakter besitzen und somit für jede qualifizierte Fachkraft ein unverzichtbares Fundament kompetenten Handelns darstellen" (ebd.).

Die Standardberufsbildpositionen sind allerdings allgemein gehalten, damit sie für alle Berufsbilder gelten (vgl. BMBF 2022). Eine konkrete Operationalisierung erfolgt üblicherweise durch Arbeitshilfen, die für alle Berufsausbildungen, die modernisiert werden, erstellt werden. Die Materialien der PA-BBNE ergänzen diese Arbeitshilfen mit einem Fokus auf Nachhaltigkeit und geben entsprechende Anregungen (vgl. BIBB o.J.b). Das Impulspapier zeigt vor allem in tabellarischen Übersichten, welche Themen der Nachhaltigkeit an die Ausbildungsberufe anschlussfähig sind.

Die neue Standardberufsbildposition „Umweltschutz und Nachhaltigkeit“ ist zentral für eine BBNE, sie umfasst die folgenden Positionen (BMBF 2022).

- a) *Möglichkeiten zur Vermeidung betriebsbedingter Belastungen für Umwelt und Gesellschaft im eigenen Aufgabenbereich erkennen und zu deren Weiterentwicklung beitragen*
- b) *bei Arbeitsprozessen und im Hinblick auf Produkte, Waren oder Dienstleistungen Materialien und Energie unter wirtschaftlichen, umweltverträglichen und sozialen Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit nutzen*
- c) *für den Ausbildungsbetrieb geltende Regelungen des Umweltschutzes einhalten*
- d) *Abfälle vermeiden sowie Stoffe und Materialien einer umweltschonenden Wiederverwertung oder Entsorgung zuführen*
- e) *Vorschläge für nachhaltiges Handeln für den eigenen Arbeitsbereich entwickeln*
- f) *unter Einhaltung betrieblicher Regelungen im Sinne einer ökonomischen, ökologischen und sozial nachhaltigen Entwicklung zusammenarbeiten und adressatengerecht kommunizieren*

Die Schnittstellen zwischen der neuen Standardberufsbildposition “Umweltschutz und Nachhaltigkeit” werden in dem Impulspapier behandelt.

1.2.2 Bildung für nachhaltige Entwicklung

Die Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) meint eine *Bildung, die Menschen zu zukunftsfähigem Denken und Handeln befähigt. Sie ermöglicht jedem Einzelnen, die Auswirkungen des eigenen Handelns auf die Welt zu verstehen* (BMBF o.J.). BBNE ist somit nur ein Teil von BNE, der an alle Bürger*innen adressiert ist. Eine Entwicklung ist dann nachhaltig, wenn *Menschen weltweit, gegenwärtig und in Zukunft würdig leben und ihre Bedürfnisse und Talente unter Berücksichtigung planetarer Grenzen entfalten können. ... BNE ermöglicht es allen Menschen, die Auswirkungen des eigenen Handelns auf die Welt zu verstehen und verantwortungsvolle, nachhaltige Entscheidungen zu treffen.* (ebd.).

Grundlage für BNE ist heutzutage die Agenda 2030 mit ihren 17 SDG Sustainable Development Goals. Die 17 Ziele bilden den Kern der Agenda und fassen zusammen, in welchen Bereichen nachhaltige Entwicklung gestärkt und verankert werden muss (ebd.). Die

Materialien der Projektagentur sollen Lehrkräften an Berufsschulen und Auszubildende dabei helfen, die Ideen der SDG in die Bildungspraxis einzubringen. Sie sind somit ein wichtiges Element insbesondere für das Ziel 4 “Hochwertige Bildung”: “Bis 2030 sicherstellen, dass alle Lernenden die notwendigen Kenntnisse und Qualifikationen zur Förderung nachhaltiger Entwicklung erwerben, unter anderem durch Bildung für nachhaltige Entwicklung und nachhaltige Lebensweisen, ...” (ebd.).

Während die Grundlage in den Impulspapieren die Ausbildungsordnungen und die Rahmenlehrpläne der beruflichen Bildung waren, die mit den SDG vernetzt wurden, geht das Hintergrundpapier den umgekehrten Weg: Wir betrachten die SDG im Hinblick auf ihre Bedeutung für die berufliche Bildung.

1.4 Quellenverzeichnis

- BIBB Bundesinstitut für Berufsbildung (2021): Vier sind die Zukunft. Online: www.bibb.de/dienst/veroeffentlichungen/de/publication/show/17281
- BIBB Bundesinstitut für Berufsbildung (o.J.a): FAQ zu den modernisierten Standardberufsbildpositionen. Online: <https://www.bibb.de/de/137874.php>
- BIBB Bundesinstitut für Berufsbildung (o.J.b): Ausbildung gestalten. Online: [BIBB / Reihen / Ausbildung gestalten](http://BIBB/Reihen/Ausbildung_gestalten)
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022): Digitalisierung und Nachhaltigkeit – was müssen alle Auszubildenden lernen? Online: <https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/berufliche-bildung/rahmenbedingungen-und-gesetzliche-grundlagen/gestaltung-von-aus-und-fortbildungsordnungen/digitalisierung-und-nachhaltigkeit/digitalisierung-und-nachhaltigkeit>
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (o.J.): Was ist BNE? Online: <https://www.bne-portal.de/bne/de/einstieg/was-ist-bne/was-ist-bne.html>
- Bundesregierung (o.J.): Globale Nachhaltigkeitsstrategie – Nachhaltigkeitsziele verständlich erklärt. Online: www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltigkeitsziele-verstaendlich-erklaert-232174
- Destatis Statistisches Bundesamt (2022): Indikatoren der UN-Nachhaltigkeitsziele. Online: <http://sdg-indikatoren.de/>

2. Glossar

Folgende Abkürzungen werden in diesem Dokument verwendet:

- AO: Ausbildungsordnung
- BBNE: Berufliche Bildung für nachhaltige Entwicklung
- BHKW: Blockheizkraftwerk
- BNE: Bildung für nachhaltige Entwicklung
- CO₂-Äq: Kohlendioxid-Äquivalente
- EE: Erneuerbare Energien
- FS: Foliensammlung mit Beispielen für Zielkonflikte
- GHD: Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
- GWP: Global Warming Potential (Erwärmungswirkung für den Klimawandel)
- HGM: Hintergrundmaterial (wissenschaftliches Begleitmaterial)
- IP: Impulspapier (didaktisches Begleitmaterial)
- kWh: Kilowattstunde
- kWh/m²a: Kilowattstunde pro Quadratmeter und Jahr
- kWh_{th}: Kilowattstunde thermische Energie
- KWK: Kraft-Wärme-Kopplung
- MW: Megawatt
- NAP: Nationaler Aktionsplan Wirtschaft und Menschenrechte
- PV: Photovoltaik
- RLP: Rahmenlehrplan
- SBBP: Standardberufsbildposition
- SDG: Sustainable Development Goals
- SHK: Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik
- THG: Treibhausgase bzw. CO₂-Äquivalente (CO₂-Äq)

SDG 3: “Gesundheit und Wohlergehen”

“Ein gesundes Leben für alle Menschen jeden Alters gewährleisten und ihr Wohlergehen fördern”

SDG 3 steht dafür, allen Menschen jeden Alters ein gesundes Leben zu gewährleisten und ihr Wohlergehen zu fördern. Für das Berufsbild

Anlagenmechaniker/Anlagenmechanikerin im Bereich SHK sind vor allem die Themen Bakterienbelastung in Wasser (Legionellen) und Mikroplastik durch die Nutzung von Kunststoffrohren relevant. Daraus ergibt sich ein Bezug zu den folgenden zwei Unterzielen:

- **3.3:** *“Bis 2030 die Aids-, Tuberkulose- und Malaria Epidemien und die vernachlässigten Tropenkrankheiten beseitigen und Hepatitis, durch Wasser übertragene Krankheiten und andere übertragbare Krankheiten bekämpfen”*
- **3.9:** *“Bis 2030 die Zahl der Todesfälle und Erkrankungen aufgrund gefährlicher Chemikalien und der Verschmutzung und Verunreinigung von Luft, Wasser und Boden erheblich verringern”*

Die Schnittmenge für das SDG 3 ergibt sich aus den Nummern a, b und e der Standardberufsbildposition (BMBF 2022):

- a) Möglichkeiten zur Vermeidung betriebsbedingter Belastungen für Umwelt und Gesellschaft im eigenen Aufgabenbereich erkennen und zu deren Weiterentwicklung beitragen*
- b) bei Arbeitsprozessen und im Hinblick auf Produkte, Waren oder Dienstleistungen Materialien und Energie unter wirtschaftlichen, umweltverträglichen und sozialen Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit nutzen*
- e) Vorschläge für nachhaltiges Handeln für den eigenen Arbeitsbereich entwickeln unter Einhaltung betrieblicher Regelungen im Sinne einer ökonomischen, ökologischen und sozial nachhaltigen Entwicklung zusammenarbeiten und adressatengerecht kommunizieren*

Trinkwasserhygiene

Bakterien können in Wasserleitungen und Trinkwasserinstallationen in Gebäuden ein geeignetes Umfeld zur Vermehrung finden. Dies gilt speziell für Legionellen, die bei Menschen die sogenannte Legionärskrankheit (eine Form von Lungenentzündung) sowie das Pontiac-Fieber auslösen können. Besonders gefährdet sind Menschen mit geschwächter Immunabwehr, wie Senioren (BzGA o.J.). Legionellen können sich bei Wassertemperaturen zwischen 25°C und 45°C besonders gut vermehren. Oberhalb von

60°C werden sie zum Großteil abgetötet, unterhalb von 20°C können sie sich schlecht vermehren. Legionellen sind, in geringer Anzahl, ein natürlicher Bestandteil von Oberflächengewässern und Grundwasser. Aber durch die Temperaturen in Wasserleitungen und Trinkwasserinstallationen und durch die Ablagerungen und Beläge im Rohrsystem besteht hier die Gefahr der verstärkten Vermehrung (BzGA o.J.). Auch in Kaltwasserleitungen können Legionellen sich vermehren, wenn das Wasser dort über längere Zeit steht und (beispielsweise von der Umgebungstemperatur oder daneben verlaufenden Leitungen) erwärmt wird (UBA 2020).

Aus der Gefahr von Legionellenvermehrung ergeben sich die folgenden hygienischen Anforderungen (UBA 2020):

- Warmwasser sollte im gesamten Leitungssystem eine Temperatur von mindestens 55°C und am Austritt des Erwärmers mindestens 60°C haben.
- Auch wenig genutzte Leitungsabschnitte sollten regelmäßig durchgespült werden
- Warm- und Kaltwasserleitungen sollten gut wärmeisoliert sein

Aus dem Kontext des Ziels von mehr Energieeffizienz (siehe SDG 7) ergeben sich auch Anforderungen an einen sparsamen Umgang mit Warmwasser und der Erwärmung von Wasser. Hierbei müssen jedoch die oben genannten hygienischen Anforderungen immer gewahrt bleiben.

Gesundheitsbelastung durch Mikroplastik

Mikroplastik sind Plastikstücke, die kleiner als 5mm und teilweise mit bloßem Auge schwer oder gar nicht zu erkennen sind (UBA 2020). Vermeidbare Einträge von Kunststoffen in die Umwelt sind unbedingt zu verhindern, da sich große Kunststoffteile im Laufe der Zeit zu Mikroplastik und Nanomaterial zersetzen und die Entfernung dieser Kleinteile aus der Umwelt kaum möglich ist (UBA o.J.c) Diese kleinsten Kunststoffteilchen werden vor allem mit Verpackungsabfall und mit der Kosmetik in Verbindung gebracht (z.B. in Peelings, Haarshampoo oder als Binde- und Füllmittel in flüssigen Waschmitteln). Auch Plastikflaschen mit (Mineral-) Wasser enthalten Mikroplastik (Schymanski 2018). Ein erheblicher Anteil an Mikroplastik entsteht auch durch Faserabrieb synthetischer Textilien beim Waschen (IUCN 2017). Allerdings gelangt auch durch Mikroplastikabrieb von Abwasserrohren Mikroplastik in die Umwelt (Fraunhofer UMSICHT 2021). Über das Abwasser gelangen diese Stoffe ins Meer. Dort ziehen sie Gifte an, werden von Tieren aufgenommen und gelangen so in die Nahrungskette. Inwieweit Mikroplastik z.B. von Pflanzen aufgenommen wird und durch Verzehr in den menschlichen Organismus gelangt, ist unklar. Bisher gibt es kaum gesicherte Daten über das Vorkommen von Mikroplastik in Lebensmitteln. Es wurden zwar Mikropartikel in einigen Fischarten nachgewiesen, allerdings beschränken sich

diese Befunde hauptsächlich auf Magen- und Darminhalte, die meistens nicht mitgegessen werden (Quarks 2022).

Die Quellen von Mikroplastik

Schätzungsweise gelangen 3,2 Millionen Tonnen Mikroplastik jedes Jahr in die Umwelt. Auch durch Kunststoffrohre im öffentlichen und privaten Kanalnetz kommt es zur Entstehung und teilweise zur Freisetzung von Mikroplastik. Eine Studie schätzt für das öffentliche Kanalnetz in Deutschland eine Abriebmenge von 120 Tonnen Mikroplastik pro Jahr, davon werden jedoch durch die Abwasserbehandlung mehr als die Hälfte zurückgehalten. Freigesetzt werden nach diesen Schätzungen ca. 46 Tonnen. Für den Privaten Bereich gestaltet sich die Abschätzung schwieriger, die Studie geht davon aus, dass zwar die Rohrdurchmesser kleiner sind, aber der Kunststoffanteil insgesamt höher ist. Die Schätzung für den Abrieb aus Abwasserkanälen auf privaten Grundstücken ist 500 Tonnen pro Jahr, von denen ca. 190 Tonnen freigesetzt werden. Die freigesetzten Abriebmengen sind im Vergleich mit anderen Quellen nicht sehr hoch, die freigesetzten Polymere PE und PVC gelten aber als besonders schwer abbaubar (Fraunhofer UMSICHT 2021). Das Bundesamt für Risikobewertung (BfR) und auch die WHO sehen die Aufnahme (der bisherigen Mengen) nicht als gesundheitsrelevant an. So sagt das BfR über die richtige Verwendung mit Kosmetikprodukten wie Cremes: “Bei dieser Partikelgröße ist bei vorhersehbarem Gebrauch der Produkte eine Aufnahme über die gesunde und intakte Haut nicht zu erwarten” (BfR zitiert nach Quarks 2022). Maria Neira von der WHO beschreibt das Risiko von Mikroplastik in Trinkwasser und in PET-Flaschen wie folgt: “Nach allen aktuell verfügbaren Informationen gehe von der derzeitigen Mikroplastik-Konzentration in Trinkwasser allerdings auch keine Gefahr aus”. Relevant aber unbeantwortet ist hierbei die Frage, wie es um die aerosolen Bestandteile des Mikroplastiks aus dem Reifenabrieb oder von Kunstrasenplätzen steht, die eine wesentliche Quelle für Mikroplastik sind (ADAC 2022, Fraunhofer UMSICHT 2021a). Alles in allem ist der Stand der Forschung zu den Risiken von Mikro- oder gar Nano-Plastik (kleinste Plastikteilchen) unbefriedigend, weshalb ein nachhaltiges Verhalten und ein nachhaltiger (Mikroplastik-freier) Konsum angeraten sind.

Mikroplastik im Menschen

Laut einer Studie der Medizinischen Universität Wien aus dem Jahr 2019 gelangen durchschnittlich pro Person und Woche 5 Gramm Plastik in den menschlichen Magen-Darm-Trakt (Schwabl et al. 2019). Dieses Gewicht entspricht in etwa dem Gewicht einer Kreditkarte. In die Nahrungskette gelangen Mikro- und Nanoplastikpartikel (MNP) unter anderem aus Verpackungsabfall. Plastikteilchen werden nicht nur über Lebensmittel, wie insbesondere Fisch und andere Meeresbewohner, sowie über Meersalz in den Körper geschleust. Auch Getränke in Plastikflaschen spielen eine Rolle. Deshalb empfiehlt es sich, auf Plastikflaschen zu

verzichten. "Wer die empfohlenen 1,5 bis zwei Liter Wasser pro Tag aus Plastikflaschen trinkt, nimmt [...] allein auf diese Weise rund 90.000 Plastikpartikel pro Jahr zu sich. Wer zu Leitungswasser greift, kann – je nach geografischer Lage – die Menge auf 40.000 reduzieren“ (DERSTANDARD 2022:1, Wright et al. 2019). Eine neue Studie hat erstmals Mikroplastik im menschlichen Blut nachgewiesen. Drei Viertel der Getesteten hatten laut der Studie der Freien Universität Amsterdam nachweislich Kunststoff im Blut. Die Untersuchungen waren der erste Beweis dafür, dass Kunststoffpartikel in den menschlichen Blutkreislauf gelangen können. Die Gesamtkonzentration von Kunststoffpartikeln im Blut der 22 Probandinnen und Probanden betrug durchschnittlich 1,6 µg/ml, was einem Teelöffel Kunststoff in 1.000 Litern Wasser (zehn große Badewannen) entspricht. Polyethylenterephthalat (PET), Polyethylen und Polymere von Styrol waren die häufigsten Kunststoffarten, gefolgt von Poly(methylmethacrylat), die in den Blutproben gefunden wurden. Auch Polypropylen wurde analysiert, aber die Konzentrationen waren zu gering für eine genaue Messung (Leslie et al 2022).

Quellenverzeichnis

- ADAC (2022): Dem Mikroplastik auf der Spur: Weniger Reifenabrieb ist möglich. Online: www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/reifen/reifenkauf/reifenabrieb-mikroplastik/
- BzGA (o.J.): Legionellen. Informationen über Krankheitserreger beim Menschen. Online: <https://www.infektionsschutz.de/erregersteckbriefe/legionellen/>
- DERSTANDARD (2022): Ein Mensch isst pro Woche eine Kreditkarte. Diese Menge an Mikro- und Nano-Kunststoffpartikeln nehmen wir laut Med-Uni Wien im Magen-Darm-Trakt auf. 24. März 2022. Online: www.derstandard.at/story/2000134377806/ein-mensch-isst-pro-woche-eine-kreditkarte
- Fraunhofer UMSICHT (2021): Mikroplastikabrieb von Abwasserrohren aus Kunststoff. Online: <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/pressemittelungen/2021/mikroplastikabrieb-kunststoffrohre.html>
- Fraunhofer Umsicht (2021a): Fraunhofer UMSICHT untersucht Nachhaltigkeit von Kunstrasenplätzen. Online: www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/pressemittelungen/2021/systemanalyse-kunstrasenplaetze.html
- IUCN International Union for Conservation of Nature (2017): Primary Microplastics in the Oceans. Online: portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2017-002-En.pdf
- Leslie et al (2022): Heather A. Leslie, Martin J.M.van Velzen, Sicco H.Brandsma, A. DickVethaak, Juan J.Garcia-Vallejo, Marja H.Lamoree: Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. Environment International Volume 163, May 2022.
- Quarks (2022): Wie gefährlich ist Mikroplastik? Online: <https://www.quarks.de/umwelt/muell/fakten-zu-mikroplastik/>
- Schwabl et al. (2019): Philipp Schwabl, Sebastian Köppel, Philipp Königshofer, Theresa Bucsics, Michael Trauner, Thomas Reiberger, and Bettina Liebmann: Detection of Various Microplastics in Human Stool. Annals of Internal Medicine. DOI: 10.7326/M19-0618i

- Schymanski, Dana (2018) / Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Münsterland-Emscher-Lippe: Untersuchung zu Mikroplastik in Lebensmitteln und Kosmetika. Zusammenfassung einer Studie der Universität Münster. Online: www.cvua-mel.de/index.php/aktuell/138-untersuchung-von-mikroplastik-in-lebensmitteln-und-kosmetika
- UBA Umweltbundesamt (2020): Warmwasser. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/haushalt-wohnen/warmwasser#hintergrund>
- UBA Umweltbundesamt (2020e): Was ist Mikroplastik? Online: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-mikroplastik>
- UBA Umweltbundesamt (o.J.c): Kunststoffe in Böden - Derzeitiger Kenntnisstand zu Einträgen und Wirkungen. Online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/factsheet_kunststoffe_in_boeden.pdf
- Wright S et al. (2019): Stephanie Wright, Ian Mudway The Ins and Outs of Microplastics. Editorial. Annals of Internal Medicine. DOI: 10.7326/M19-2474.

SDG 4: “Hochwertige Bildung”

“Inklusive, gleichberechtigte und hochwertige Bildung gewährleisten und Möglichkeiten lebenslangen Lernens für alle fördern”

Das SDG zielt primär auf die globale Entwicklung von guten Bildungssystemen ab. Im Berufsbildungssystem ist Deutschland weltweit führend – trotz einiger Defizite wie Personalausstattung, Digitalisierung oder knappe Investitionsbudgets – viele Länder versuchen ein ähnliches Berufsbildungssystem wie in Deutschland aufzubauen. Insofern ist vor allem das Unterziel 4.7 relevant:

- *Bis 2030 sicherstellen, dass alle Lernenden die notwendigen Kenntnisse und Qualifikationen zur Förderung nachhaltiger Entwicklung erwerben, unter anderem durch Bildung für nachhaltige Entwicklung und nachhaltige Lebensweisen, Menschenrechte, Geschlechtergleichstellung, eine Kultur des Friedens und der Gewaltlosigkeit, Weltbürgerschaft und die Wertschätzung kultureller Vielfalt und des Beitrags der Kultur zu nachhaltiger Entwicklung*

Das SDG 4 spiegelt sich in der fachlichen Unterrichtung der Stichpunkte der anderen SDG wieder, mündet aber in den Positionen e und f der neuen Standardberufsbildposition (BMBF 2022):

- e) *Vorschläge für nachhaltiges Handeln für den eigenen Arbeitsbereich entwickeln*

- f) *unter Einhaltung betrieblicher Regelungen im Sinne einer ökonomischen, ökologischen und sozial nachhaltigen Entwicklung zusammenarbeiten und adressatengerecht kommunizieren*

10 “Goldene Handlungsregeln” für eine BBNE

Die Nachhaltigkeitsforschung und die Bildungswissenschaften haben inzwischen umfassende Erkenntnisse gesammelt, wie eine berufliche Bildung für Nachhaltigkeit gefördert werden kann (vgl. u.a. vgl. Schütt-Sayed u.a. 2021; Kastrup u. a. 2012; Melzig u.a. 2021). Das Ergebnis sind die folgenden 10 didaktischen Handlungsregeln, die das Berufsbildungspersonal dabei unterstützen, Lehr-/Lernprozesse zielgruppengerecht und angemessen zu gestalten. Diese insgesamt 10 Handlungsregeln lassen sich in vier Schritten zuordnen.

Schritt 1 - Richtig anfangen:

Identifizierung von Anknüpfungspunkten für BBNE

1. **Ansatzpunkte:** Fordern Sie die Verantwortung im eigenen Wirkungsraum heraus, ohne die Berufsschüler und Berufsschülerinnen mit „Megaproblemen“ zu überfordern!
2. **Anknüpfungspunkte:** Die Curricula sind Grundlage der Lehr-/Lernprozesse – es kommt darauf an, sie im Sinne der Nachhaltigkeit neu zu interpretieren!
3. **Operationalisierung:** Nachhaltigkeit ist kein „Extra- Thema“, sondern ein integraler Bestandteil des beruflichen Handelns!

Um nachhaltigkeitsorientierte Lehr-/Lernarrangements zu entwickeln, sind zunächst Anknüpfungspunkte für Nachhaltigkeit in den betrieblichen Abläufen zu identifizieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Ausbildungsordnungen und Lehrpläne die rechtliche Grundlage der beruflichen Bildung sind. Es gilt diese im Sinne der Nachhaltigkeit zu interpretieren, sofern nicht bereits konkrete Nachhaltigkeitsbezüge enthalten sind.

Wichtig ist dabei, dass Auszubildende nicht mit den „Megaproblemen“ unserer Zeit überfordert werden, sondern zur Verantwortung im eigenen Wirkungsraum herausgefordert werden – sowohl im Betrieb als auch im Privaten. Denn Auszubildende sind selbst Konsument/-innen, die durch eine angeleitete Reflexion des eigenen Konsumverhaltens die Gelegenheit erhalten, ihre „Wirkungsmacht“ im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit in ihrer eigenen Branche zu verstehen.

Schritt 2 - Selbstwirksamkeit schaffen:

Eröffnung von Nachhaltigkeitsorientierten Perspektiven

4. **Handlungsfolgen:** Berufliches Handeln ist nie folgenlos: Machen Sie weitreichende und langfristige Wirkungen erkennbar!

5. **Selbstwirksamkeit:** Bleiben Sie nicht beim „business as usual“, sondern unterstützen Sie Schüler*innen dabei, Alternativen und Innovationen zu entdecken!
6. **Zielkonflikte:** Verstecken Sie Widersprüche nicht hinter vermeintlich einfachen Lösungen, sondern nutzen Sie sie als Lern- und Entwicklungschancen!!
7. **Kompetenzen:** Bildung für nachhaltige Entwicklung verbindet Wahrnehmen, Wissen, Werten und Wirken!

Im nächsten Schritt sind nachhaltigkeitsorientierte berufliche Perspektiven für die Auszubildenden zu eröffnen. Diese sollten an einer positiven Zukunftsvision und an Lösungen orientiert sein. Auszubildenden sind dabei die weitreichenden Wirkungen ihres Handelns vor Augen zu führen. Sie sollen verstehen können, warum ihr Handeln nicht folgenlos ist. Das bedeutet gleichzeitig, Auszubildenden die positiven Folgen eines nachhaltigen Handelns vor Augen zu führen. In diesem Zusammenhang ist die Selbstwirksamkeitserfahrung von großer Bedeutung. Sie ist eine der Voraussetzungen, um motiviert zu handeln. Auszubildende dabei zu unterstützen, Alternativen zum nicht-nachhaltigen Handeln zu erkennen und Innovationen für eine nachhaltige Entwicklung zu entdecken, sollte dabei für Lehrpersonen selbstverständlich sein. Dabei ist immer die individuelle Motivation der Auszubildenden entscheidend, denn zum nachhaltigen Handeln braucht es nicht nur Wissen (Kopf), sondern auch authentisches Wollen (Herz). Wesentlich ist hierbei die Gestaltung ganzheitlicher Lernprozesse, die sowohl den kognitiven als auch den affektiven und psychomotorischen Bereich einbeziehen (vgl. Költze, S.206).

Schritt 3 – Ganzheitlichkeit: Gestaltung transformativer Lernprozesse

8. **Lebendigkeit:** Ermöglichen Sie lebendiges Lernen mit kreativen und erfahrungsbasierten Methoden!
9. **Beispiele:** Nutzen Sie motivierende Beispiele: Sprechen Sie über Erfolgsgeschichten, positive Zukunftsvisionen und inspirierende Vorbilder!

Aber wie können Lernsituationen in der Praxis so gestaltet werden, dass sie ganzheitlich aktivierend für die Auszubildenden sind? Es sollte ein lebendiges Lernen mit Hilfe kreativer, erfahrungsbasierter Methoden ermöglicht werden. Dies ist ein grundlegender (kein neuer) didaktischer Ansatz für die Förderung einer nachhaltigkeitsorientierten Handlungskompetenz. Im Kern bedeutet dies: Lernen mit Lebensweltbezug, welches ausgerichtet ist auf individuelle Lebensentwürfe und das eigene (auch künftige) berufliche Handlungsfeld, z.B. indem Recherchen im eigenen Unternehmen zu Möglichkeiten der Energieeinsparung durchgeführt werden. Lernen soll vor diesem Hintergrund vor allem unter Berücksichtigung der Sinne stattfinden, d. h. mit Körper und Geist erfahrbar sowie sinnlich-stimulierend sein. Die Auszubildenden sollen sich

dabei zudem als Teil einer gestalterischen Erfahrungsgemeinschaft erleben. Dies kann durch gemeinsame Reflexionen über das eigene Verhalten und persönliche Erfahrungen gefördert werden, beispielsweise durch die Entwicklung und Verkostung eigener Lebensmittelkreationen unter Nachhaltigkeitsaspekten. Hierfür muss unbestritten immer auch der „Raum“ zur Verfügung stehen (siehe z.B. Hantke 2018
„‘Resonanzräume des Subpolitischen‘ als wirtschaftsdidaktische Antwort auf ökonomisierte (wirtschafts-)betriebliche Lebenssituationen“). Ebenso können motivierende Beispiele helfen – wie z.B. Erfolgsgeschichten und inspirierende Vorbilder.

Schritt 4 – Lernort Betrieb: Entwicklung nachhaltiger Lernorte

10. **Lernende Organisationen:** Auch Organisationen können „Nachhaltigkeit lernen“:
Entwickeln Sie Ihre Institution Schritt für Schritt zum nachhaltigen Lernort!

Schließlich geht es im vierten Schritt darum, den Lernort in den Blick zu nehmen und diesen als nachhaltigen Lernort zu gestalten. Den gesamten Betrieb nachhaltig auszurichten ist u. a. deshalb entscheidend, da andernfalls die an Nachhaltigkeit orientierten Inhalte der Ausbildung wenig glaubwürdig für Auszubildende sind. Der Betrieb als Institution sollte dafür an einem gemeinschaftlichen Leitbild ausgerichtet sein, welches neben den üblichen ökonomischen auch soziale und ökologische Ziele beinhaltet. So kann BBNE überzeugend in die Organisation integriert und vom betrieblichen Ausbildungspersonal umgesetzt werden.

Quellenverzeichnis

- ARD (2020): Ungenießbar. Online:
<https://programm.ard.de/TV/Themenschwerpunkte/Dokus--Reportagen/Alle-Dokumentationen/Sartseite/?sendung=287252703317494>
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022): Digitalisierung und Nachhaltigkeit – was müssen alle Auszubildenden lernen? Online:
<https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/berufliche-bildung/rahmenbedingungen-und-gesetzliche-grundlagen/gestaltung-von-aus-und-fortbildungsordnungen/digitalisierung-und-nachhaltigkeit/digitalisierung-und-nachhaltigkeit>
- Hantke, Harald (2018): „Resonanzräume des Subpolitischen“ als wirtschaftsdidaktische Antwort auf ökonomisierte (wirtschafts-)betriebliche Lebenssituationen – eine Forschungsheuristik vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeitsidee. In: bwp@Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (Nr. 35), 2018, S. 1-23.
- Kastrup, Julia; Kuhlmeier, Werner; Nölle-Krug, Marie (2022): Aus- und Weiterbildung des betrieblichen Bildungspersonals zur Verankerung einer Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung. In: Michaelis, Christian; Berding, Florian (Hrsg.): Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung. Umsetzungsbarrieren und interdisziplinäre Forschungsfragen. Bielefeld 2022, S. 173-189
- Kearney (2019): Was hilft wirklich – Persönliche Klimaschutzmaßnahmen und ihre Wirkung. Repräsentative Befragung von erwachsenen Deutschen. Online:

www.de.kearney.com/documents/1117166/5477168/CO2+Aufklärung.pdf/d5fba425-3aec-6a4e-fb2d-9b537c7dd20b?t=1583241728000

- Költze, Horst (1993): *Lehrerbildung im Wandel. Vom technokratischen zum humanen Ausbildungskonzept*. In Cohn, Ruth C.; Terfurth, Christina (Hrsg.): *Lebendiges Lehren und Lernen. TZI macht Schule*. Klett-Cotta. S. 192 - 212
- Melzig, Christian; Kuhlmeier, Werner; Kretschmer, Susanne (Hrsg. 2021): *Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung. Die Modellversuche 2015–2019 auf dem Weg vom Projekt zur Struktur*. Bonn 2021. Online: <https://www.bibb.de/dienst/veroeffentlichungen/de/publication/show/16974>
- Scharp, Michael (Hrsg. 2019): *Das KEEKS-Projekt – Eine klimafreundliche Schulküche*. Online: www.keeks-projekt.de (Materialien: <https://elearning.izt.de/course/view.php?id=118>)
- Schütt-Sayed, Sören; Casper, Marc; Vollmer, Thomas (2021): *Mitgestaltung lernbar machen – Didaktik der Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung*. In: Melzig, Christian; Kuhlmeier, Werner; Kretschmer, Susanne (Hrsg.): *Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung. Die Modellversuche 2015–2019 auf dem Weg vom Projekt zur Struktur*. S. 200–227. Online: <https://www.bibb.de/dienst/veroeffentlichungen/de/publication/show/16974>
- Statista; Pawlik, V. (2022): *Interesse der Bevölkerung in Deutschland an gesunder Ernährung und gesunder Lebensweise von 2018 bis 2022*. Online; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/170913/umfrage/interesse-an-gesunder-ernaehrung-und-lebensweise/>
- UBA Umweltbundesamt (2022l): *Umweltbewusstsein in Deutschland*. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/umweltbewusstsein-in-deutschland>

SDG 6: “Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen”

“Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten”

Das SDG 6 “Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten” verfolgt im Prinzip fünf Ziele:

- 6.1. Die Versorgung der Menschen mit Trinkwasser;
- 6.2. den Zugang zu Sanitärversorgung und Hygieneeinrichtungen;
- 6.3. die Verhinderung der Verschmutzung der Wasserressourcen;
- 6.4. eine effiziente Nutzung von Wasser und
- 6.5. den Schutz der Ökosysteme.

Die Schnittmenge für das SDG 6 ergibt sich aus den Nummern b und f der Standardberufsbildposition (BMBF 2022):

- b) *bei Arbeitsprozessen und im Hinblick auf Produkte, Waren oder Dienstleistungen Materialien und Energie unter wirtschaftlichen, umweltverträglichen und sozialen Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit nutzen*

- f) *unter Einhaltung betrieblicher Regelungen im Sinne einer ökonomischen, ökologischen und sozial nachhaltigen Entwicklung zusammenarbeiten und adressatengerecht kommunizieren*

Für Anlagenmechaniker/innen in Deutschland sind die Unterziele der effizienten Nutzung von Wasser und die Gewährleistung von Zugang zu Sanitärversorgung und Hygieneeinrichtungen besonders relevant.

Effiziente Wassernutzung

In Deutschland ist Wasserknappheit bisher nur regional ein größeres Problem, es gibt nur wenige Grundwasserkörper die übermäßig genutzt werden (UBA 2018, UBA 2014). In Zukunft kann es jedoch durch den Klimawandel in manchen Regionen vermehrt zu Wasserknappheit kommen. Der Klimawandel wird zu einer Veränderung der Niederschläge führen und einige Gebiete, wie z.B. die neuen Bundesländer, leiden seit 2019 unter zu geringen Niederschlägen (UBA 2022a, UFZ o.J.). Besonders vor dem Hintergrund der Zunahme von "Hitzesommer", ist eine effiziente Nutzung von Wasser wichtig (UBA 2022a, 2022b). Bei heißem Wetter kann es zu manchen Tageszeiten zu einer hohen Wassernutzung kommen (Spitzen Wasserbedarf), der die Verteilungssysteme an ihre Grenzen bringen kann (UBA 2022a).

Effizienz im Trinkwasserverbrauch

Private Haushalte in Deutschland haben durch wassersparende Maßnahmen dazu beigetragen, dass sich die Trinkwassernutzung zwischen 1991 und heute um 21 Liter auf 123 Liter pro Kopf/Tag (UBA 2022a) verringert hat - damit liegt Deutschland im europäischen Vergleich im unteren Drittel des Verbrauchs (UBA 2018). Es gibt jedoch große Unterschiede zwischen den Bundesländern (BMU/UBA 2017). Angesichts der sich abzeichnenden Veränderungen ist eine weiterhin sparsame Nutzung von Wasser wichtig, vor allem um auf mögliche regionale und saisonale Engpässe vorbereitet zu sein. In Situationen, in denen es zu Wasserknappheit kommt, sollte Entlastung zunächst durch sparsamen Verbrauch erreicht werden, bevor aufwändige technische Maßnahmen eingesetzt werden (UBA 2014). Während örtlich ein zu geringer Wasserdurchlauf zu Problemen in den Rohrleitungen führen kann, ist dies ein Problem, das Wasserversorger und Abwasserentsorger besser in der Lage sind zu lösen als private Verbraucher/innen (UBA 2014).

In privaten Haushalten machen Körperpflege (Baden, Duschen) und Toilettenspülung zusammen ca. 63% der Trinkwasserverwendung aus (BMU/UBA 2017). Auch in manchen Typen von Nichtwohngebäuden, beispielsweise in Krankenhäusern, Hotels und Pflegeeinrichtungen spielt Sanitärtechnik eine große Rolle. Wassersparende Armaturen und Duschköpfe, sowie Urinal mit geringem Wasserverbrauch können daher einen

substantiellen Beitrag zur effizienten Wassernutzung in Haushalten und ähnlichen Gebäudetypen beitragen, allerdings ist hierfür ein konsequenter Einbau und eine konsequente Anwendung solcher Techniken nötig (UBA 2014). In öffentlich und gewerblich genutzten Gebäuden sollten selbstschließende oder vollautomatische Armaturen verwendet werden; diese verhindern, dass Wasser ungenutzt weiterläuft (VDI Zentrum Ressourceneffizienz o.J.). Anlagenmechaniker/innen für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik können hierzu im Hinblick auf Auswahl von Armaturen etc., sowie im Hinblick auf die effiziente Nutzung durch gezielte Beratung beitragen.

Nutzung von Grau- und Niederschlagswasser

Die Erfassung und Mehrfachnutzung von Grauwasser (gering verschmutztes Abwasser aus Duschen und Badewannen) bietet sich an, da nicht nur Wasser gespart, sondern Wärme zurückgewonnen werden kann. Die Wärme im Grauwasser kann zur Vorwärmung von kaltem Trinkwasser genutzt werden, wodurch weniger Energie für Warmwasser benötigt wird. Auch der Abfluss von Handwaschbecken, Waschmaschinen und Geschirrspülmaschinen kann als Grauwasser genutzt werden. Durch diese Art Grauwasser kann allerdings nur der Trinkwasserverbrauch und das Abwasseraufkommen verringert werden, zur Wärmerückgewinnung eignet sich Grauwasser aus diesen Gebrauchsarten nicht. Bei der Nutzung von Geschirrspülabwasser ist mehr Vorbehandlung nötig, wegen stärkerer Verschmutzung (VDI Zentrum Ressourceneffizienz o.J.).

Eine Alternative zur Trinkwassernutzung stellt für manche Anwendungsbereiche die Nutzung von Niederschlagswasser dar. Allerdings ist der ökonomische und ökologische Vorteil von Regenwassernutzungsanlagen in privaten Haushalten nicht eindeutig. In Gebieten, in denen zunehmende Wasserknappheit droht, können Regenwassernutzungsanlagen sinnvoll sein (UBA 2022c). Regenwassernutzung bietet weitere ökologische Vorteile, beispielsweise können bis zu 20 Prozent Waschpulver eingespart werden, da Regenwasser weich ist. Faktoren wie bestimmte Dachmaterialien oder eine geschwächte natürliche Abwehr gegenüber Keimen können gegen die Nutzung sprechen.

Effiziente Nutzung von Warmwasser

Besonders wichtig ist die effiziente Nutzung von Warmwasser: Neben der Einsparung von Wasser können so auch erhebliche Mengen Energie gespart werden. Während die Bereitstellung von Trinkwasser (Förderung, Aufbereitung und Verteilung) mit einem durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauch von ca. 29 kWh/Jahr vergleichsweise wenig energieaufwändig ist, ist die Bereitstellung von Warmwasser deutlich energieintensiver (UBA 2014). Warmwasser gehört, nach Heizsystemen, zu einem der größten Energieverbraucher und Verursacher von CO₂-Emissionen in privaten Haushalten: die

Warmwasserbereitstellung entfallen in Deutschland im Durchschnitt 12% des gesamten Energieverbrauchs von privaten Haushalten (UBA 2020). Auf die Energieträger, die zur Warmwasserbereitstellung genutzt werden und deren Nachhaltigkeit wird im nachfolgenden Kapitel zu SDG 7 eingegangen.

Im Bereich Warmwasser kann aber auch durch effizientes Nutzungsverhalten Energieverbrauch und THG-Emissionen verringert werden. So kann beispielsweise die Nutzung von wassersparenden Armaturen (z.B. Wassersparbrausen, vgl. Öko-Institut 2011) sowie automatisierte Steuerung durch Vorschaltgeräte etc. zu deutlichen Einsparungen führen (UBA 2020). Label, die auf wassersparende Armaturen hinweisen, sind beispielsweise der "Blaue Engel" oder "WELL" (Water Efficiency Label) (ebd.). An Orten, an denen nicht unbedingt Warmwasser benötigt wird (z.B. Waschbecken in Gästetoiletten) kann von einem Warmwasseranschluss abgesehen werden (VDI Zentrum Ressourceneffizienz o.J.). Durch eine entsprechende Beratung zum Beispiel bei der Auswahl von wassersparenden Armaturen, zu entsprechenden Nachrüstungsmöglichkeiten, und zur effizienten Nutzung von Warmwasser können Anlagenmechaniker/innen dazu beitragen, einen effizienten Umgang mit Warmwasser voranzubringen.

Barrierefreier Zugang zu Sanitäreinrichtungen

Der grundsätzliche Zugang zu Sanitärversorgung und Hygiene Einrichtungen ist in Deutschland weitestgehend gegeben, dieses Unterziel gilt als erreicht (BMU/UBA 2017). Dennoch sollte im Kontext von SDG 6 eine weitere Verbesserung der Zugänglichkeit, z.B. durch verbesserte Barrierefreiheit, mitgedacht werden. Im Zuge der steigenden Lebenserwartung und dem steigenden Bedarf an ambulanten und stationären Pflegeleistungen wird es zunehmend wichtiger, auch in privaten Haushalten Sanitäreinrichtungen barrierefrei und pflegegerecht zu gestalten (ZVSHK 2019); dies ist auch im Rahmen von SDG 3 "Gesundheit und Wohlergehen" wichtig.

Anlagenmechaniker/innen für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik können durch entsprechende Anpassungen und Sanierungen einen Beitrag leisten. Darüber hinaus können sie die Konzipierung von Sanitäreinrichtungen, die von vornherein barrierefrei oder einfach anzupassen sind. Beispiele für die Barrierefreiheit sind stufenlose Duschtassen, Sitzgelegenheiten und Haltegriffe für die Dusche, schwenkbare Spiegel und Waschtische sowie eine mögliche Anordnung der Sanitäreinrichtungen, die einen Zugang mit einem Rollstuhl ermöglichen.

So werden neben der verbesserten Zugänglichkeit auch der Energie- und Materialbedarf von zukünftigen Umbauten reduziert nach Auffassung des ZVSHK (ebd. 2020) in dem Sinne, dass Bestandsgebäude länger zu nutzen sind. Allerdings führt ein barrierefreier

Umbau von Bädern zunächst meistens zu einem höheren Materialaufwand, insbesondere wenn dieser mit einem weitgehenden Umbau des Bades verbunden ist. Bei Neubauten hingegen gilt dies nicht, da sie von vornherein lange nutzbar sind, wenn sie barrierefrei sind: Der Wohnraum ist für die Nutzer auch in hohem Alter nutzbar. Alles und allem ist es schwierig zu sagen, ob ein barrierefreier Umbau Ressourcen verbraucht oder nicht. Sicher ist jedoch, dass die soziale Dimension der Nachhaltigkeit hier eine Rolle spielt: Ein Umbau ermöglicht den Nutzern, länger in ihrer gewohnten Umgebung zu leben. Sanitäreinrichtungen, die für Pflege wichtige Kriterien erfüllen, tragen auch dazu bei, die Arbeitsbedingungen von Pflegekräften und angehörigen Pflegenden zu verbessern (ZVSHK 2019), sie wirken sich also auch positive auf SDG 8 “Menschenwürdige Arbeit” aus.

Quellenverzeichnis

- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022): Digitalisierung und Nachhaltigkeit – was müssen alle Auszubildenden lernen? Online: <https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/berufliche-bildung/rahmenbedingungen-und-gesetzliche-grundlagen/gestaltung-von-aus-und-fortbildungsordnungen/digitalisierung-und-nachhaltigkeit/digitalisierung-und-nachhaltigkeit>
- BMU/ UBA (Hrsg.) (2017): Wasserwirtschaft in Deutschland. Grundlagen, Belastungen, Maßnahmen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/wasserwirtschaft-in-deutschland-grundlagen>
- Öko-Institut (2011): Energie- und wassersparende Hand- und Kopfbrausen. Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen. Online: <https://www.oeko.de/uploads/oeko/oekodoc/1427/2011-504-de.pdf>
- UBA Umweltbundesamt (2022a): Trockenheit in Deutschland – Fragen und Antworten. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/trockenheit-in-deutschland-fragen-antworten>
- UBA Umweltbundesamt (2022b): Wassersparen im Alltag. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wassersparen-im-alltag>
- UBA Umweltbundesamt (2022c): Regenwassernutzung: Tipps für nachhaltige Nutzung und Versickerung. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/garten-freizeit/regenwassernutzung#unsere-tipps>
- UBA Umweltbundesamt (2020): Warmwasser. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/haushalt-wohnen/warmwasser#hintergrund>
- UBA Umweltbundesamt (2018): Wassersparen. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasser-bewirtschaften/wassersparen>
- UBA Umweltbundesamt (2014): Wassersparen in Privathaushalten: sinnvoll, ausgereizt, übertrieben? Fakten, Hintergründe, Empfehlungen. Online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/hgp_wassersparen_in_privathaushalten_web.pdf
- UFZ Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (o.J.): Dürremonitor Deutschland. Online: <https://www.ufz.de/index.php?de=37937>
- VDI Zentrum Ressourceneffizienz (o.J.): Effiziente Gebäudeinfrastruktur. Online: <https://www.ressource-deutschland.de/werkzeuge/loesungsentwicklung/strategien-massnahmen/effiziente-gebaeudeinfrastruktur/>

- ZVSHK (2020): Nachhaltigkeit im SHK Handwerk – Argumentationspapier. Online: <https://www.zvshk.de/themen/nachhaltigkeit-im-shk-handwerk/>
- ZVSHK (2019): Pflegebad 2030 – Ein Forschungsprojekt des ZVSHK. Online: https://www.zvshk.de/index.php?eID=tx_securedownloads&p=428&u=0&g=0&t=1673548792&hash=03debb7affd5af1384ffe517cf6cccea99568828&file=uploads/media/Pflegebad_2030.pdf

SDG 7: “Bezahlbare und saubere Energie”

“Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle sichern”

Das SDG 7 beinhaltet soziale und ökologische Anforderungen an den Klimaschutz. Für die Anlagentechnik im Bereich Sanitär-, Heizungs- und Klima sind vor allem drei Unterziele wichtig:

- **SDG 7.1:** *“Bis 2030 den allgemeinen Zugang zu bezahlbaren, verlässlichen und modernen Energiedienstleistungen sichern.”*
- **SDG 7.2:** *“Bis 2030 den Anteil erneuerbarer Energie am globalen Energiemix deutlich erhöhen.”*
- **SDG 7.3:** *“Bis 2030 die weltweite Steigerungsrate der Energieeffizienz verdoppeln.”*

Beim SDG 7 “Bezahlbare und saubere Energie” geht es im wesentlichen um den *“allgemeinen Zugang zu bezahlbaren, verlässlichen und modernen Energiedienstleistungen”* sowie darum den *“Anteil erneuerbarer Energie zu erhöhen”* (Destatis o.J.), da ökologische und das Klima schützende Anforderungen schon durch andere SDGs (insbesondere 13, 14 und 15) abgedeckt werden.

“Saubere Energie”, wie dies in SDG 7 genannt wird, bedeutet heute für den Klimaschutz grundsätzlich der Umstieg auf erneuerbare Energien (EE) sowie eine höhere Energieeffizienz. Weitere Probleme der Energieerzeugung mit der Nachhaltigkeit betreffen

- Umweltschutz und Arbeitsbedingungen bei der Rohstoffgewinnung
- Ökologische und Gesundheitsfolgen der Energienutzung, insbesondere bei der Verbrennung
- Flächenkonkurrenzen bei dem Anbau von Energiepflanzen (Mais, Zuckerrohr u.a.)

Die Schnittmenge für das SDG 7 ergibt sich aus den Nummern a, b, e und f der Standardberufsbildposition (BMBF 2022):

- a) Möglichkeiten zur Vermeidung betriebsbedingter Belastungen für Umwelt und Gesellschaft im eigenen Aufgabenbereich erkennen und zu deren Weiterentwicklung beitragen*

- b) bei Arbeitsprozessen und im Hinblick auf Produkte, Waren oder Dienstleistungen Materialien und Energie unter wirtschaftlichen, umweltverträglichen und sozialen Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit nutzen*
- e) Vorschläge für nachhaltiges Handeln für den eigenen Arbeitsbereich entwickeln*
- f) unter Einhaltung betrieblicher Regelungen im Sinne einer ökonomischen, ökologischen und sozial nachhaltigen Entwicklung zusammenarbeiten und adressatengerecht kommunizieren*

Für den Bereich Anlagentechnik für SHK ist dieses SDG auf zwei Arten relevant.

- Zum einen müssen sich die Betriebe, wie andere Unternehmen und Handwerksbetriebe auch, mit dem im Betriebsalltag anfallenden Energieverbrauch auseinandersetzen.
- Zum anderen spielt die Anlagentechnik für SHK aber auch eine wesentliche Rolle in der Gestaltung der Energie- und speziell der Wärmewende. Ein erheblicher Verbrauch von Energie in Deutschland findet im Gebäudesektor durch Raumwärme und Warmwasser Verbrauch statt.

In Zusammenarbeit mit anderen Gewerken können Anlagemechaniker/innen für SHK hier einen entscheidenden Beitrag zur Umrüstung auf nachhaltige und effiziente Anlagen leisten, sowie die effiziente Nutzung von Anlagen unterstützen. Das nachfolgende Kapitel beschreibt zunächst die Nutzung der Ressource Energie in Deutschland mit einem Fokus auf den Gebäudesektor. Nachfolgend wird auf Hintergründe wie der Energieverbrauch in Deutschland, speziell zur Wärmeerzeugung, erneuerbare Energietechnologien, sowie effiziente Energienutzung eingegangen. Zum Ende des Kapitels werden das Themenfeld nicht-fossile Mobilität und Aspekte von Umweltschutz im Zusammenhang mit Energie skizziert.

Energieverbrauch in Deutschland

Nimmt man den gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland in den Blick, macht Wärme mehr als 50% aus. Allein Raumwärme hat einen Anteil von knapp 30% am Endenergieverbrauch, der Anteil, der auf Prozesswärme entfällt, ist ca. 20%. Der Endenergieverbrauch für Wärme findet vor allem in drei Sektoren statt: Industrie, private Haushalte, sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) (UBA 2022d). Im Sektor Industrie entfallen ca. zwei Drittel auf Prozesswärme, Raumwärme hat nur einen verhältnismäßig geringen Anteil. Bei privaten Haushalten macht Raumwärme dagegen heute ca. 80% des Endenergieverbrauchs in Gebäuden aus, gefolgt von Warmwasser (18%) (dena 2022). Auch beim Sektor GHD macht Raumwärme einen erheblichen Anteil, rund 50%, des Endenergieverbrauchs aus. Darüber hinaus ist in diesem Sektor der Stromanteil relativ am höchsten, was im Einsatz von Strom für Beleuchtung und

mechanische Energie (z.B. zum Betrieb von Maschinen) begründet ist (UBA 2022d, UBA 2022e). Schaut man den Verbrauch an Primärenergie an, also der Energie, die benötigt wird inklusive der Energie, die in die Umwandlung und Bereitstellung fließt, sind die Zahlen ähnlich. In Gebäuden entfallen 70% des Primärenergieverbrauchs auf Raumwärme, 14,5% auf Warmwasser, 13 % auf Beleuchtung und 2,5% auf Klimakälte (dena 2022). Sowohl die privaten Haushalte als auch der GHD Sektor setzen für die Bereitstellung von Raumwärme vor allem Erdgas ein (UBA 2022d). Raumwärme und Warmwasser machen nicht nur einen großen Anteil des Energieverbrauchs vor allem von Wohngebäuden aus, der Verbrauch ist in den letzten Jahren auch gestiegen, nachdem er zwischen 1996 und 2014 deutlich gesunken war (dena 2022).

Da Raumwärme und Warmwasserbereitstellung einen so großen Anteil des Energieverbrauchs vor allem bei privaten Haushalten ausmachen, liegt es nahe, dass hier erhebliche Einsparpotenziale bestehen. Dies ist auch der Fall: In Deutschland werden zu einem großen Anteil veraltete Technologien und alte Anlagen genutzt. Heizungen gelten nach 20 Jahren als am Ende ihrer Lebensdauer und veraltet - in Deutschland sind aber dennoch 50% der Ölheizungen und 36% der Gasheizungen älter als 20 Jahre (UBA 2019). Zusätzliche Einsparpotenziale liegen in einem effizienten und optimierten Betrieb der Anlagen und Geräte. Eine weitere große Stellschraube ist die Gebäudedämmung. Auf effiziente Energienutzung im Gebäudesektor wird in einem späteren Abschnitt detaillierter eingegangen (ebd.).

Durch den hohen Energiebedarf sowie durch die verbreiteten Arten der Energiebedarfsdeckung zur Wärmebereitstellung sorgt der Bereich Heizung und Warmwasserbereitstellung für den größten CO₂ -Ausstoß in privaten Haushalten. Über 70% der Wohnungen in Deutschland werden noch immer mit Gas oder Öl geheizt. Während der Anteil an Ölheizungen abnimmt, ist der Anteil an gasbeheizten Wohneinheiten seit 2018 konstant bei knapp 50% (inklusive Biogas und Flüssiggas) (dena 2022). Für die Bereitstellung von Warmwasser wird zu 56% Gas genutzt (dena 2022). Um Raumwärme und Warmwassererzeugung klimaneutral zu machen, muss nicht nur die Effizienz gesteigert werden, sondern es muss vollständig auf klimaneutrale Energieträger umgestellt werden.

Erneuerbare Energien allgemein

Die einfachste Maßnahme zur Transformation des Energiesystems ist der Umstieg auf erneuerbare Energien. Die Technologien sind mehr als ausgereift und der Energiegehalt der Sonneneinstrahlung übersteigt den menschlichen Energiebedarf um ein Vielfaches (vgl. DLR 2010). In der Praxis muss jedoch berücksichtigt werden, dass sich durch Drehung und Kugelgestalt der Erde der Einstrahlungswinkel ändert, ein Teil der

Sonnenenergie durch die Erdatmosphäre abgelenkt oder absorbiert wird und die Umwandlung in nutzbare Energie teilweise mit erheblichen Verlusten verbunden ist. In Deutschland schreitet der Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung zwar langsam, aber vor allem beim Strom, stetig voran. Zwar fehlen bisher zwei große Nutzungsgruppen: Raum- und Prozesswärme für Wohnungen, öffentliche Gebäude, Gewerbe und Industrie sowie Treibstoffe für Fahrzeuge. Während 2021 die erneuerbare Stromerzeugung bei ca. 41% der Gesamtstromerzeugung lag, betrug die erneuerbare Wärmeerzeugung lediglich 16,5% und der Anteil an erneuerbaren Kraftstoffen knapp 7% (UBA 2022e).

Wichtig sind hinsichtlich des Ziel "bezahlbarer Energie" vor allem die Kosten von Strom und Wärme. Die Stromgestehungskosten waren in 2021 wie folgt (ISE 2021, gerundet): Dachkleinanlagen 6-11 Cent/kWh, große Dachanlagen 5-10 Cent/kWh, Freiflächenanlagen 3-6 Cent/kWh. Die Stromgestehungskosten fossiler Stromerzeugung lagen in 2021 zwischen 8-13 Cent/kWh für Gas- und Dampfkraftwerke, zwischen 11-28 Cent/kWh bei Gaskraftwerken, 10-15 Cent/kWh Braunkohlekraftwerke sowie 11-20 Cent/kWh bei Steinkohlekraftwerken. Für Kernkraft, mit Rückbau und Endlagerung werden die Stromgestehungskosten auf 50 bis 100 Cent/kWh geschätzt (Siemens-Stiftung 2015). Die konkreten Stromgestehungskosten sind von einer Reihe von Faktoren abhängig. Dazu zählen der Standort (z.B. Entfernung zwischen Kraftwerk und Abbaugbiet), Größe und Alter der Anlagen, Subventionen, Wartung, Abschreibungen sowie die verbaute Erzeugungstechnologien.

Die Klimawirkung von unterschiedlichen Energieträgern für Wärmeerzeugung wird natürlich auch von der Art und Größe der Wohnfläche beeinflusst, darauf wird in späteren Kapiteln zu Energieeffizienz sowie im Abschnitt zu SDG 13 verstärkt eingegangen. In der nachfolgenden Tabelle findet sich ein Vergleich der CO₂-Emissionen einiger unterschiedlicher Heizungstypen.

Gebäudetyp	Heizung/Wärmequelle	CO ₂ -Äq/a
Haus A: 7,2 CO₂-Äq/a Einfamilienhaus, 3 Personen im Haushalt, unsaniert, 100 qm Wohnfläche, Nutzenergie/ Heizwärmebedarf ca. 190 kWh/m ² /a	Erdgas	4,6 t
	Wärmepumpe (mit Strommix)	2,2 t
	Solarthermie	0,4 t

Haus B: 3,4 t CO₂-Äq/a Einfamilienhaus, 3 Personen im Haushalt, energetisch vollsaniert, 100 qm Wohnfläche, Nutzenergie/Heizwärmebedarf 90 kWh/m ² /a	Erdgas	2,2 t
	Wärmepumpe (mit Strommix)	1,0 t
	Solarthermie	0,2 t

Quelle: eigene Berechnung auf Basis der Daten von LfU (2021). Die zugrunde liegenden Werte sind Anlagentechnologien (z.B. Luft-, Wasser- und Erdwärmepumpe) gemittelt. Sowohl direkte Aufgeschlüsselte Angaben zu den einzelnen Emissionsfaktoren sind in der Quelle zu finden. Der angegebene CO₂-Ausstoß beinhaltet Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger vor Ort (direkte Emissionen) sowie aus vorgelagerten Prozessen (indirekte Emissionen).

Ein häufiges Gegenargument zum Ausbau der Erneuerbaren ist, dass er mit Energie- und Ressourcenaufwand verbunden ist. Mit Hilfe von Ökobilanzen lässt sich dieser Aufwand und seine ökologischen Wirkungen jedoch bilanzieren (vgl. Quaschnig o.J.). Bei der Photovoltaik ist z.B. für die Herstellung des hochreinen Siliziums ein erheblicher Energieaufwand in Höhe von ca. 2.000 bis 19.000 kWh/kWp. und im Mittel von ca. 10.000 kWh/kWp notwendig. Hinzu kommen noch die Energiebedarfe für andere Materialien wie z.B. Aluminium für die Montage und Kupfer für die Leitungen sowie weitere notwendige Anlagenbestandteile (Wechselrichter, Zähler u.a.). Bei einer durchschnittlichen Lebensdauer einer PV-Anlage von ca. 25 Jahren (ebd.) liegt die energetische Amortisation, also die Zeit, in der die Anlage die zu ihrer Herstellung eingesetzte Energie wieder erzeugt hat, zwischen 1 und 3 Jahren. Im Folgenden werden die verschiedenen Systeme der erneuerbaren Energieerzeugung dargestellt.

Wärme

Erd- und Umgebungswärme

Eine Möglichkeit der Wärmeerzeugung ist die Nutzung von Temperaturunterschieden. Dazu werden Wärmepumpen eingesetzt, die den Temperaturunterschied zwischen Gebäuden und ihrer Umgebung oder dem Erdreich ausnutzen. Eine Wärmepumpe funktioniert wie ein Kühlschrank oder eine Klimaanlage (Tagesschau 2022). Die Pumpe entzieht der Umgebung (z.B. dem Erdreich) mit einem Kältemittel Wärme und kühlt sie dabei ab. Ein Kompressor verdichtet das Kältemittel und erhöht dabei dessen Temperatur, die dann zur Raumheizung genutzt wird. Das Kältemittel kondensiert dabei und gibt die Wärme frei. In einem Ventil verdampft das Kühlmittel wieder, kühlt sich dabei stark ab und kann aufs Neue der Umgebung Wärme entziehen. Als Wärmequellen für Wärmepumpen werden meist Umgebungsluft, Erdreich oder Grundwasser genutzt. Auch Abwärme (zum Beispiel aus Abwasser oder Abluft) kann durch Wärmepumpen

nutzbar gemacht werden (UBA 2022f). Zum Antrieb einer Wärmepumpe wird in der Regel elektrischer Strom benötigt. Dieser sollte dann aus Klimaschutzgründen aus erneuerbaren Energieträgern wie Sonne oder Wind erzeugt werden. Bei der Nutzung von Erdwärme wird zwischen Tiefengeothermie und oberflächennaher Geothermie unterschieden.

Die oberflächennahe Geothermie nutzt den Untergrund bis zu einer Tiefe von ca. 400 m und Temperaturen von bis zu 25 °C für das Beheizen und Kühlen von Gebäuden, technischen Anlagen oder Infrastruktureinrichtungen. Hierzu wird die Wärme oder Kühlenergie aus den oberen Erd- und Gesteinsschichten oder aus dem Grundwasser gewonnen. Neben klassischen Anwendungsformen zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser wird die oberflächennahe Geothermie auch zur Beheizung von Gewächshäusern sowie zur Enteisung von Weichen oder Parkplätzen eingesetzt. Als Tiefengeothermie bezeichnet man die Nutzung der Erdwärme in Tiefen zwischen 400 und 5.000 Metern. Im Vergleich zur oberflächennahen Geothermie sind dort die Temperaturen weitaus höher. Neben der Wärmeversorgung ist Tiefengeothermie auch für die Stromerzeugung nutzbar. Ab einer Temperatur von etwa 90 Grad Celsius ist eine wirtschaftliche Stromerzeugung möglich. Der Vorteil der Geothermie ist ihre ständige Verfügbarkeit. Die geothermische Stromerzeugung in Deutschland steht noch am Anfang. Bis heute sind nur wenige Anlagen, vor allem in Süd- und Südwestdeutschland, in Betrieb.

Umgebungswärme umfasst sowohl Umweltwärme als auch oberflächennahe Geothermie. Umweltwärme schließt die in bodennahen Luftschichten („aerothermische Umweltwärme“) und in Oberflächengewässern („hydrothermische Umweltwärme“) entnommene und technisch nutzbar gemachte Wärme ein. Für die Nutzung werden Sonden ins Erdreich eingeführt oder Matten benutzt, die weniger als 2 Meter unter der Erdoberfläche verlegt werden. Möglich sind auch Luftwärmepumpen, die der Umgebungsluft die Wärme entziehen. Die Nutzung von Umgebungswärme erfolgt überwiegend im Wohnungssektor und ist insbesondere bei Ein- und Zweifamilienhäusern verbreitet. Möglich sind aber auch größere Gebäude wie der Bundestag (Deutscher Bundestag o.J.).

Wärmepumpen-Typen

Es gibt verschiedene Typen von Wärmepumpen, die danach unterschieden werden, mit welchen Wärmeträgern sie arbeiten. Der erste Teil des Namens bezeichnet dabei die Wärmequelle (aus der die Wärmepumpe die Energie bezieht) und der zweite Teil die Wärmesenke (in die die Wärmepumpe die Wärme abgibt und nutzbar macht) (CO2 Online o.J.).

- **Luft-Wasser-Wärmepumpen:** Hier wird als Wärmequelle direkt die Umgebungsluft genutzt, was die Aufstellung und Installation dieser Art Anlage vergleichsweise einfach und günstig macht. Ein Nachteil von Luft-Wärmepumpen ist, dass die Umgebungsluft im Winter kalt ist und genau dann auch der Raumwärmebedarf am höchsten ist. Luft-Wärmepumpen haben daher eine niedrigere Jahresarbeitszahl als andere Wärmepumpen. Häufig wird daher ein zweiter Wärmeerzeuger integriert, der an kalten Wintertagen einspringen kann. Eine Luft-Wasser-Wärmepumpe kann entweder innen, z.B. in einem Heizungskeller, oder außerhalb des Gebäudes aufgestellt werden. Eine dritte Möglichkeit ist ein gesplitteter Aufbau, bei dem sich der Ventilator und der Verdampfer außen befinden, der Kompressor aber innerhalb des Gebäudes bleibt. Luftwasserwärmepumpen verursachen Lärmemissionen, was bei der Standortwahl berücksichtigt werden muss. Der Lärmemission kann außerdem durch Maßnahmen wie Schallschutzwände, Einhausungen oder (bei Innenaufstellung) durch elastische Lagerung entgegengewirkt werden (CO2 Online o.J.).
- **Luft-Luft Wärmepumpen:** Gebäude mit sehr niedrigem Energiebedarf (z.B. Passivhäuser) können zur Wärmeverteilung eine Lüftungsanlage mit eingebauter Luft-Luft-Wärmepumpe nutzen und so ganz ohne Heizkörper auskommen. Hier wird die Energie direkt an die Lüftungsanlage abgegeben, die die Wärmeverteilung übernimmt (CO2 Online o.J.).
- **Sole-Wasser-Wärmepumpen:** Dieser Typ Wärmepumpe, auch Erdwärmepumpe genannt, nutzt als Wärmequelle die Wärme im Erdboden unterhalb der Frostgrenze (ab 1,5 Meter Tiefe). Durch die im Boden verlegten Heizschlangen fließt Sole, eine frostgeschützte Flüssigkeit, die dem Boden die Wärme entzieht. Die Heizschlangen können als Flächenkollektoren verlegt werden. Hierfür ist genügend Fläche nötig, die nicht überbaut oder versiegelt werden darf. Platzsparender und effizienter sind Erdwärme-Sonden, für die aber tiefer gebohrt werden muss (meist 30 bis 200 Meter). Im Vergleich mit Luft-Wärmepumpen sind Sole-Wasser-Wärmepumpen deutlich aufwändiger und teurer in der Installation. Allerdings sind sie durch die konstanteren Temperaturen im Erdboden auch effizienter. Da sie weniger Strom verbrauchen, können sich Erdwärmepumpen für Altbauten mit höherem Wärmebedarf eignen (CO2 Online o.J.).
- **Wasser-Wasser-Wärmepumpen:** Als Wärmequelle für Wasser-Wasser-Wärmepumpen wird das Grundwasser genutzt. Hierzu werden zwei Brunnen von zwischen 10 und 50 Metern Tiefe gebohrt: der Förderbrunnen, durch den das Wasser gewonnen wird, und der Schluckbrunnen, durch den das Wasser wieder zurück in den Boden fließt. Ob eine Grundwasser-Wärmepumpe genutzt werden kann, hängt von den örtlichen Gegebenheiten ab und muss zudem

genehmigt werden. Die Installation ist aufwändig und ähnlich teuer wie für Erdwärme-Pumpen die Sonden nutzen. Da das Grundwasser auch im Winter eine Temperatur von 8 bis 10 Grad hat, haben Wasser-Wasser-Wärmepumpen allerdings auch den höchsten Wirkungsgrad. Sie können aus ökonomischer Perspektive besonders für Mehrfamilienhäuser und Altbauten mit Bedarf nach hohen Heizleistungen geeignet sein (CO2 Online o.J.).

Das Potential von Wärmepumpen

Wärmepumpen haben das Potential, sehr energieeffizient zu sein, allerdings schwankt die Effizienz stark je nach Art der Wärmepumpe sowie der Art des Gebäudes. Die mittleren Jahresarbeitszahlen von Luft-Wärmepumpen liegen zwischen 2,4 und 3,3 (unter günstigen Bedingungen können sie allerdings bis 4,3 erreichen).

Erd-Wärmepumpen sind im Vergleich effizienter, mit einer Jahresarbeitszahl von 3,2 bis 4,3 (gesamte Spannbreite: 2,0 bis 5,4). Wegen des Energieverbrauchs der Grundwasserpumpe sind die Arbeitszahlen von Grundwasser-Wärmepumpen etwas geringer. In Altbauten sind die mittleren Jahresarbeitszahlen bis zu 1 geringer. Allerdings zeigen Feldtests, dass Wärmepumpen auch in teilsanierten Altbauten ausreichend energieeffizient arbeiten können (UBA 2022f).

Was die benötigte Stromerzeugung betrifft, kann durch eine Kombination von Wärmepumpe und Photovoltaikanlage ein höherer Anteil an erneuerbarer Stromerzeugung (im Vergleich mit dem Strommix im Markt) erzielt werden. Allerdings kann eine Photovoltaikanlage den Strombedarf einer Wärmepumpe in der Regel nicht vollständig abdecken, da letztere im Winter am meisten Strom benötigt, während erstere im Winter am wenigsten Strom erzeugt (UBA 2022f).

Umgebungswärme kann im Sommer auch zum Kühlen genutzt werden (wenn das Gebäude über eine Flächen- oder Fußbodenheizung verfügt). Das geht besonders energieeffizient mit oberflächennaher Geothermie. Durch das Ableiten von Wärme aus dem Haus in das Erdreich kann auch das Wärmereservoir im Erdreich im Sommer regeneriert werden, was die Energieeffizienz der Wärmepumpe erhöht. Auch Luft-Wärmepumpen können kühlen, benötigen dafür allerdings mehr Energie (UBA 2022f).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Umgebungswärme und Wärmepumpen eine essentielle Rolle in den Veränderungen spielen, die in der Erzeugung von (Raum-)Wärme nötig sind, um die energie- und klimapolitischen Ziele umzusetzen. Wenn fossile Brennstoffe zunehmend teuer werden, werden Wärmepumpen zudem immer wirtschaftlicher (UBA 2022f). In den letzten Jahren, seit 2016, wächst der Markt für Wärmepumpen kontinuierlich. Der Gesamtbestand in Deutschland lag 2020 bei über einer Mio. Im Jahr 2021 stieg der Verkauf von Heizungswärmepumpen um 28%,

gegenüber dem Verkauf von Warmwasser-Wärmepumpen, der um 15% gestiegen ist. Luftwärmepumpen machen dabei den größten Anteil aus. In den ersten beiden Quartalen von 2022 hat dieser Trend weiter zugenommen (dena 2022); für das Jahr 2023 werden rund 350.000 neu installierte Wärmepumpen erwartet (Tagesschau 2022a). Die Bundesregierung hat das Ziel, Wärmepumpen als führendes Heizungssystem in Deutschland zu etablieren (tagesschau 2022). 2030 sollen 6 Millionen Geräte in Deutschland im Einsatz sein. Während der individuellen Gebäude Kontext (Dämmung, aber auch andere Faktoren, wie Gartenfläche oder Abstand zu Nachbargrundstücken) berücksichtigt werden muss, scheinen sich prinzipiell bis zu 75% der Wohngebäude in Deutschland für mindestens eine Wärmepumpenart zu eignen (FfE 2022). Für einen THG-neutralen Gebäudebestand muss die Zahl der energieeffizienten Wärmepumpen in möglichst gut gedämmten Häusern weiter stark zunehmen (UBA 2022f). Auf die THG-Emissionen von Wärmepumpen wird im Kapitel zu SDG 13 stärker eingegangen.

Solarwärme

Für die Bereitstellung und Nutzung von Solarwärme bzw. Solarthermie kommen verschiedene Techniken bis hin zu Solarkraftwerken (BINE 2013) in Frage. In der mitteleuropäischen Strahlungszone mit $700-900 \text{ W/m}^2$ werden zur Erzeugung solarer Wärme Kollektoranlagen genutzt. Sie wandeln die Strahlungsenergie des Sonnenlichts in Wärme um, die wiederum an ein flüssiges Medium abgegeben wird. (vgl. Viessmann o.J.). Es gibt Flachkollektoren mit Kupferschlangen als Absorber und Vakuum-Röhrenkollektoren mit Kupferbändern als Absorber. Kleine Anlagen dienen zur Warmwassererzeugung und Heizungsunterstützung für Wohnungen (insbesondere Eigenheime), große Anlagen können auch ausreichende Wärme für gewerbliche Objekte bereitstellen. Die wichtigsten Komponenten einer Kollektoranlage sind die eigentlichen Kollektoren, das Speichergefäß und die Einbindung.

Kollektortechnologien

Je nachdem, wofür Solarwärme genutzt werden soll und bei welchem Temperaturniveau dies erfolgt, können unterschiedliche Kollektoren genutzt werden. Zusammen mit einem Wärmespeicher kann dann insbesondere in den Sommermonaten ein erheblicher Teil des Wärmebedarfs mit Solarenergie CO_2 -frei bereitgestellt werden.

- **Niedertemperatur-Absorber:** Bei der einfachsten Kollektorart, dem Niedertemperatur-Absorber, werden Absorbermatten aus speziellen organischen Materialien (Kunststoffe, EPDM) genutzt, um das Solarfluid zu erwärmen. Der Temperaturbereich, bei dem diese Kollektoren sinnvoll eingesetzt werden können, geht bis etwa $40 \text{ }^\circ\text{C}$ und ist demnach gut zur Vorwärmung kalter Flüssigkeiten bis auf Umgebungstemperatur oder als Wärmequelle in Kombination mit Wärmepumpen geeignet.

- **Flachkollektoren:** Bei Flachkollektoren ist der metallische Solarabsorber zwischen einer transparenten Abdeckung und einer Wärmedämmung eingefasst. Dies minimiert die Wärmeverluste des Kollektors, wodurch in Abhängigkeit der Bauart Nutztemperaturen bis 100 °C effizient bereitgestellt werden können. Das Spektrum reicht von kompakten Kollektormodulen mit ca. 2 m² bis hin zu Großflächenkollektoren mit 10..12 m²
- **Vakuurröhrenkollektoren:** Bei Vakuurröhrenkollektoren können die Wärmeverluste durch Konvektion und Wärmeleitung deutlich reduziert werden, wodurch bei höheren Temperaturen teils deutlich höhere Erträge erzielt werden können. Je nachdem ob diese Kollektorbauart mit einem rückseitigen Spiegel versehen ist (CPC-Kollektor) oder nicht, liegt der sinnvolle Einsatzbereich dieser Kollektoren zwischen 80 und 130 °C. Vakuurröhrenkollektoren können direkt durchströmt sein oder nach dem Heatpipe-Prinzip funktionieren.
- **Luftkollektoren:** Luftkollektoren verzichten auf ein flüssiges Wärmeträgermedium und eignen sich daher besonders für Trocknungsanwendungen. Luftkollektoren sind als Röhrenkollektoren (beidseitig offene Sydney-Röhren) oder Flachkollektoren mit offenen Stirnseiten erhältlich.
- **Konzentrierende Kollektoren:** Für Regionen mit hoher Direktstrahlung können konzentrierende Kollektoren verwendet werden, die mittels Spiegel) oder Linsen die eintreffende Sonnenstrahlung auf einen Absorber konzentrieren. Hierzu müssen die Spiegelflächen kontinuierlich der Sonne nachgeführt werden. Der Temperaturbereich dieser Kollektorbauart liegt typischerweise bei 150-400 °C.

Einbindung von Solarwärme

Die Nutzung von Solarwärme in (Wohn-)Gebäuden erfolgt auf zwei Arten: einerseits können Solarthermieanlagen ausschließlich für Warmwasserbereitstellung genutzt werden, oder sie unterstützen zusätzlich zur Warmwasserbereitstellung die Heizung. Die erforderliche Dimension der Kollektorfläche und die am besten geeignete Kollektortechnologie unterscheiden sich. Für die kombinierte Solarthermieanlage für Warmwasser und Heizung ist eine größere Kollektorfläche nötig, daher werden hier häufig die effizienteren Röhrenkollektoren statt Flächenkollektoren genutzt. Eine Solarthermieanlage zur Warmwassererzeugung kann einen solaren Deckungsgrad von rund 60% erreichen, 60% der Energie für Wassererwärmung kommen also von der Sonne. Anlagen für Warmwasser und Heizung erreichen (im Jahresmittel) einen solaren Deckungsgrad von ca. 30% (CO₂ Online o.J.a).

Beide Anlagentypen werden in der Regel mit anderen Heizsystemen kombiniert und dienen zur Unterstützung (CO₂ Online o.J.a). Die Größe der Anlage sowohl der Kollektoren als auch des Speichers hängt von vielen Faktoren ab: dem angestrebten Deckungsgrad, Anzahl der Personen im Haushalt, Dämmung, Art der Kollektoren u.A.

Ein grober Richtwert zur Dimensionierung ist für Trinkwassererwärmung bei einer vierköpfigen Familie ca. 5 m² Kollektorfläche und ein Speicher mit ca. 300 Litern Fassungsvermögen. Für Trinkwassererwärmung und Heizung werden grob zwischen 10 und 12 m² benötigt und es kommen 60 – 80 Liter zusätzliches Speichervolumen pro Quadratmeter dazu (Solaranlage Ratgeber o.J.).

Um im Winter, wenn der Wärmebedarf hoch und die Sonneneinstrahlung gering ist, genug Wärme bereitstellen zu können, wird, wie oben erwähnt, Solarthermie meist mit einer weiteren Heizquelle kombiniert. Solarthermieanlagen sind gut mit anderen Heizungsanlagen kombinierbar, prinzipiell mit allen Typen. Die Kombination mit Systemen, die auch auf erneuerbaren Energien basieren, sind besonders geeignet, um die Umstellung auf klimaneutrale Gebäude voranzubringen. Bei einigen Kombinationsmöglichkeiten, wie z.B. mit einer Pelletheizung, ist die Nutzung eines gemeinsamen (bivalenten) Speichers möglich. Für Warmwasser kann eine Solarthermieanlage mit elektronischen Durchlauferhitzern kombiniert werden (CO₂ Online o.J.a).

Speicherung von Solarwärme

Der Energieertrag von Solarthermieanlagen hängt von der Sonneneinstrahlung und daher nicht nur von der Jahreszeit, sondern auch vom Wetter und der Tageszeit ab. Daher braucht es Speicher, die die Wärme für einige Tage speichern, um sie bei Bedarf bereitzustellen. Soll die Solarthermie nur für Warmwasser genutzt werden, reicht ein Trinkwasserspeicher aus. Bei Solarthermie für Heizung ist ein größerer Pufferspeicher notwendig, der mit Heizwasser gefüllt ist. Ein Kombispeicher erfüllt beide Funktionen, entweder durch einen integrierten Trinkwassertank im Heizwassertank oder durch das Durchlauferhitzer-Prinzip. Durch Temperaturschichtung im Speicher kann eine besonders effiziente Nutzung erreicht werden (CO₂ Online o.J.a).

Je nach Kollektorfläche und spezifischen Rahmenbedingungen der Wärmesenke können für einen effizienten Anlagenbetrieb unterschiedlich große Speichervolumina erforderlich sein. Es sollte stets angestrebt werden, das erforderliche Volumen mit einem einzelnen Speicher innerhalb des Gebäudes zu realisieren. Neben der optimalen Be- und Entladung, einer verbesserten Temperaturschichtung und geringen Wärmeverlusten, ist diese Variante im Regelfall auch kostengünstig.

Bei sogenannten Sonnenhäusern werden Langzeitspeicher verbaut, die Wärme über mehrere Monate speichern und so auch im Winter bereitstellen können. Eine Möglichkeit ist es, große, über mehrere Etagen reichende Speicher aus Stahl, Kunststoff oder Beton im Gebäude zu integrieren. Eine weitere Möglichkeit ist es, unterirdische Erd- oder Eisspeicher zu nutzen, bei denen die gespeicherte Energie aus der

Solarthermieanlage mit Hilfe einer Wärmepumpe im Winter nutzbar gemacht wird (CO₂ Online o.J.a).

Bioenergie

Unter Bioenergie wird die energetische Nutzung biogener Energieträger verstanden. Biogene Energieträger sind pflanzlicher oder tierischer Herkunft. Zu den typischen biogenen Energieträgern zählen Holz und Stroh sowie ihre Derivate wie Holzschnittel- oder -pellets aber auch Biogas aus der Vergärung von Bioabfällen, Ernterückständen oder von tierischen Abfällen wie Mist und Gülle Exkrementen. Obwohl bei der Verbrennung von Biomasse oder Biogas CO₂ freigesetzt wird, ist die Erzeugung und Nutzung von Bioenergie klimaneutral, denn das freigesetzte CO₂ wurde während des Pflanzenwachstums der Atmosphäre entzogen. Allerdings verursacht die Verbrennung von Biomasse auch Emissionen weiterer Luftschadstoffe wie NO_x und insbesondere von Feinstaub.

Zur Wärmeversorgung im Haushalt können Holz oder Holzprodukte eingesetzt werden. Vergleichsweise effiziente und schadstoffarme Varianten von Holzheizungen sind Pellet- und Holzhackschnitzelheizungen. Sie werden (häufig automatisch) je nach Leistungsbedarf kontinuierlich mit Brennstoff (Pellets oder Holzhackschnitzel) versorgt, durch den ein zentraler Heizungskessel befeuert wird. Pellets verbrennen schadstoffärmer als andere Holzbrennstoffe. Der Wirkungsgrad von Holzbrennstoffen ist höher wenn ein Holzbrennwertgerät genutzt wird, welches die Nutzung von Kondensationsenergie ermöglicht (UBA 2020c).

Der typische Einsatz von Biogas zur Energieerzeugung erfolgt über Blockheizkraftwerke (BHKW), die sowohl Wärme als auch Strom erzeugen. Problematisch ist der Anbau von Energiepflanzen wie z.B. Mais, Raps, Futterrüben, Hanf, Chinaschilf, schnellwachsende Bäume (Pappeln, Weiden), Zuckerrohr und Algen. In der Regel erfolgt deren Anbau in schnell wachsenden Monokulturen und haben damit einen erheblichen Einfluss auf Landschaft und Boden. Zudem kann der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zum Verlust von Biodiversität, die Düngung zur Belastung des Grundwassers und der Verbrauch von Trinkwasser zur regionalen Verknappung von Wasser führen (vgl. BUND o.J. sowie BIZL o.J.). Des Weiteren ist der energetische Wirkungsgrad der Biomassenproduktion mit 0,5 - 1,5% (Pflanzenforschung 2020) wesentlich geringer als der von Photovoltaik, der in der Regel 15 - 22% beträgt (Eigen Sonne o.J.).

- Entsprechend vertritt das Umweltbundesamt die Auffassung, dass die Verbrennung von Biomasse kein Wachstumspotenzial mehr besitzt, sondern vielmehr auf ein „naturverträgliches Maß“ begrenzt werden muss (UBA 2021).

- Hingegen kann die Erzeugung von Biogas aus Gülle und Mist, solange diese aufgrund der hohen Nachfrage nach tierischem Protein in großen Mengen anfallen, einen wichtigen Beitrag vor allem zur Wärmeerzeugung leisten.
- Insgesamt ergeben sich jedoch erhebliche Zielkonflikte zwischen Energiegewinnung, Futtermittelanbau und Produktion von Nahrungsmitteln hinsichtlich der begrenzten Ressource "Fläche" (UBA 2022i).

Damit steht die Energiegewinnung durch den Anbau von Energiepflanzen im Konflikt zum SDG 1 "Kein Hunger". Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Ausbau der energetischen Biomassenutzung aus Agrarpflanzen, die auch der Ernährung dienen können (Mais, Getreide), eine nicht verantwortbare Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion darstellt und damit im direkten Konflikt zum SDG 1 "Kein Hunger" steht. Wenn der Bezug von EE-Strom besonders nachhaltig sein soll, ist daher darauf zu achten, dass er aus möglichst aktuell neuen effizienten Wind- oder Solaranlagen stammt. Dieser Strom wird von verschiedenen Einrichtungen wie dem TÜV oder dem Grüner Strom Label e.V. zertifiziert (Ökostromanbieter o.J.)

Wärmeerzeugung durch Wasserstoff

Wasserstoff spielt eine wichtige Rolle für nachhaltige Mobilität (vor allem Straßengüterfernverkehr, Flug- und Seeverkehr), Industrie und für Stromspeicherung, kann aber auch für Gebäudeheizungen genutzt werden. Allerdings ist es entscheidend, dass sogenannter grüner Wasserstoff genutzt wird, der mittels Elektrolyse von Wasser mit Strom aus erneuerbaren Quellen gewonnen wird. Andere Typen von Wasserstoff, die aus Erdgas oder Methan gewonnen werden, sind nicht nachhaltig, da bei diesen Verfahren CO₂ entsteht oder Methan entweicht (UBA 2022g).

Die Nutzung von Wasserstoff zum Heizen von Gebäuden erfolgt in Brennstoffzellenheizungen. In Brennstoffzellen reagiert ein Brennstoff zusammen mit Sauerstoff. Brennstoffe können neben Wasserstoff auch Methanol oder Methan sein. In einer Brennstoffzelle findet eine Reaktion statt, die als umgekehrte Elektrolyse verstanden werden kann: der Wasserstoff reagiert mit Sauerstoff (aus der Luft) wieder zu Wasser. Dabei entsteht Strom und Wärme. Die Wärme kann zum Heizen, Strom für den eigenen Verbrauch genutzt oder ins Netz eingespeist werden.

Brennstoffzellenheizungen haben einen hohen Wirkungsgrad: der elektrische Wirkungsgrad liegt bei über 30 Prozent, der Gesamtwirkungsgrad erreicht fast 100 Prozent. Brennstoffzellenheizungen verfügen in der Regel zusätzlich über einen Gas-Brennwertkessel, da Brennstoffzellen nur den Grundbedarf an Wärme abdecken können – Spitzenlasten, zum Beispiel an sehr kalten Tagen, müssen anders abgedeckt werden (CO₂ Online 2021).

Wenn grüner Wasserstoff verwendet wird, sind Brennstoffzellenheizungen nicht nur sehr energieeffizient, sondern auch klima- und umweltfreundlich, da sie schadstoffarm arbeiten und keine THG ausstoßen. Allerdings ist die Nutzung von grünem Wasserstoff zu Heizzwecken insgesamt ineffizient: Zur Herstellung bedarf es Strom aus erneuerbaren Energien, der zunächst in Wasserstoff umgewandelt und dann zum Heizen genutzt wird. Stattdessen könnte der erneuerbare Strom auch direkt in Heizungen fließen, beispielsweise in Wärmepumpen. Studienergebnisse zeigen, dass die benötigte erneuerbare Energiemenge zur Bereitstellung von Raumwärme mit Wasserstoff um ein 5- bis 6-faches höher ist, als wenn der Strom durch Wärmepumpen genutzt wird (Fraunhofer IEE 2020). Die Kosten für die Erzeugung und den Transport von grünem Wasserstoff sind hoch und werden, auch wenn der Preis deutlich fällt, voraussichtlich teurer als Erdgas bleiben (Quaschnig und Quaschnig 2022, S.127 ff.).

Zudem ist grüner Wasserstoff heute schwer verfügbar, es gibt (noch) keine ausgebaute Wasserstoffwirtschaft. Die existierende Erdgasinfrastruktur kann nicht ohne weiteres für Wasserstoff genutzt werden. Bisher ist man davon ausgegangen, dass Wasserstoff die Stahlrohre verspröden kann (scinexx 2021). Deshalb gibt es eine Norm, die den maximalen Gehalt von Wasserstoff auf 10% begrenzt. Neuere Untersuchungen zeigen, dass zumindest der Anteil des Wasserstoffs deutlich höher gesetzt werden kann (ebd.). Zudem laufen Versuche, um zu erproben, welche Anteile von Wasserstoff im bestehenden Erdgasnetz zugemischt werden können (BR o.J.). Allerdings werden bei einem Wasserstofftransport höhere Anforderungen an die Dichtheit z.B. von Ventilen gestellt: Wasserstoff und Luft bilden eine explosive Knallgasmischung, die wesentlich gefährlicher ist, als wenn Erdgas und Luft sich mischen. Das gleiche gilt für die Endverbrauchgeräte - alle müssten auf Wasserstoff umgerüstet werden. Bestehende Systeme ließen sich schneller nutzen, wenn man auf grünes Methan umsteigen würde. Grüner Wasserstoff lässt sich durch Methanisierung in grünen Wasserstoff umwandeln. Allerdings bedeutet dieser weitere Prozessschritt zusätzlichen Aufwand und zusätzliche Kosten (Quaschnig und Quaschnig 2022, S.133 f.).

Auch langfristig scheint das Potential Wasserstoff für Gebäudeheizungen zu nutzen begrenzt: Andere brennstoff-freie Alternativen zur Wärmeerzeugung wie Erd- und Umgebungswärme, Solarthermie und Abwärme sind insgesamt energieeffizienter und mittel- bis langfristig günstiger als Wasserstoff oder synthetisches Methan (UBA 2022g). Zudem kommt es bei der Nutzung von teurem grünem Wasserstoff für Gebäudeheizung zu Zielkonflikten mit anderen Einsatzfeldern, wie der Stahl-, Zement- und chemischen Industrie, im Flug- und Seeverkehr sowie zum Antrieb von LKWs. Gibt es für diese Anwendungsfelder weniger gute Alternativen, erscheint es sinnvoller Wasserstoff dort einzusetzen als für Gebäudeheizung (Quaschnig und Quaschnig 2022, S.133 f., UBA 2022g).

Strom

Die einfachste Maßnahme zum Umstieg auf erneuerbare Energien ist der Bezug von Ökostrom. Der Wechsel des Stromanbieters zu einem Versorger mit Ökostrom im Angebot ist mit einem geringen Aufwand verbunden und kann in wenigen Minuten vollzogen werden. Der Strom wird dabei nicht aus fossilen Energieträgern wie Kohle, Öl, Gas oder Uran erzeugt, sondern aus regenerativen Energieträgern wie Sonne, Wind, Wasser oder Biomasse.

Im ersten Halbjahr 2022 lag der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen bei ca. 52% des ins Netz eingespeisten Stroms. Da die Stromproduktion aus verschiedenen Quellen schwankend ist, zeigt erst die Jahresendbilanz, wie die Verteilung sein wird. In 2021 stammten 23% der gesamten Stromproduktion aus Windkraft, 9,8% aus der Photovoltaik, 8,8% aus Biomasse und 4% aus Wasserkraft. Braun- und Steinkohle lieferten 20,7% des Stroms, Erdgas 10,5% und die Kernenergie gut 13,3% (Stromreport 2022).

Die Kosten pro Kilowattstunde erzeugten Strom sind je nach Anlagentyp unterschiedlich (ISE 2021). Sie liegen etwa zwischen 3 (PV-Freiflächenanlagen) und 12 Cent (Wind Offshore). Zum Vergleich: Braunkohle Kraftwerke erzeugen Strom für 10 bis 15 Cent/kWh, modernste Gaskraftwerke haben Kosten von 8 bis 13 Cent/kWh. Mit anderen Worten: Die Erneuerbaren Energien sind großtechnisch kostengünstiger als fossile Kraftwerke zumal deren Stromgestehungskosten aufgrund steigender CO₂ Preise in der Zukunft noch zunehmen werden, während die Stromgestehungskosten von regenerativ erzeugten Strom durch technologische Verbesserung z.B. beim Wirkungsgrad und aufgrund von Massenfertigung weiter sinken.

Aus heutiger Sicht ist in Deutschland der weitere Ausbau nur bei Sonnen- und Windenergie nachhaltig. Wasserkraft ist im Wesentlichen erschöpft, weitere Stauseen sollten aus Landschaftsschutzgründen nicht angelegt werden. Allerdings bedingt die Fluktuation der erneuerbaren Energieträger auch die Herausforderung, Energiespeicher zu bauen. Die kostengünstigste Möglichkeit wären Pumpspeicherkraftwerke. Nachteilig sind der Flächenbedarf und der Landschaftsverbrauch und auch die notwendigen geomorphologischen Voraussetzungen wie Höhenunterschied und Kessellage für das Speicherbecken, sowie der Zugang zu Fließgewässern. Inzwischen gibt es jedoch erste Ansätze, als Alternativen sehr groß dimensionierte Batteriesysteme mit einer Leistung von 100 (Australien - Power and Storage 2019) bis 200 MW Leistung (China - Erneuerbare Energie 2021) zu errichten (vgl. unten im Abschnitt Speicherung).

Photovoltaik

Die Photovoltaik wandelt die Strahlungsenergie des Sonnenlichts direkt in elektrischen Strom um. Dazu werden einzelne oder mehrere Solarzellen aus elektrischen Halbleitern in Modulen eingekapselt und je nach verfügbarer Fläche und gewünschter Leistung zusammengeschaltet und mit dem Stromnetz verbunden.

Die Photovoltaik ist mit einem Anteil von gut 21% an der erneuerbaren Stromproduktion (Stromreport 2022) seit 2007 stark ausgebaut worden und damit die jüngste breit genutzte Stromquelle (vgl. die Graphik auf Wikimedia 2020). Ab 2013 stagnierte der Zuwachs von Photovoltaik, weil die Konditionen der Einspeisung verschlechtert wurden. Der Anteil der Photovoltaik an der gesamten Stromerzeugung ist jedoch gestiegen: Lag er im 1. Quartal 2018 noch bei 3,5% betrug er im Vergleichsquartal 2021 bereits bei 4,7% und im ersten Quartal 2022 bei 6,5% (Destatis 2022a). Aus heutiger Sicht ist die Photovoltaik neben der Windenergie und der Erdwärme eine der drei Technologien, die zukünftig die Energieversorgung sicherstellen.

Stromgestehungskosten (ISE 2021, gerundet): Dachkleinanlagen 6–11 Cent/kWh, große Dachanlagen 5–10 Cent/kWh, Freiflächenanlagen 3–6 Cent. Die Stromgestehungskosten fossiler Stromerzeugung liegen aktuell zwischen 4 und 15 Cent/kWh. Diese werden jedoch, im Gegensatz zur erneuerbaren Stromerzeugung, aufgrund steigender CO₂-Preise zukünftig steigen. Für Braunkohle wird für das Jahr 2040 ein Stromgestehungspreis von mehr als 20 Cent/kWh prognostiziert (ISE 2022). Die Kosten der PV-Technologie sinken zunehmend, denn neben den Kosten der Anlagenerrichtung ist auch der Flächenbedarf deutlich gesunken. Jetzt können auch auf kleineren Dächern nennenswerte Anlagengrößen erreicht werden. Ausnahmslos jede gut dimensionierte Eigenverbrauchsanlage lohnt sich wirtschaftlich. Das gesetzliche Förderregime, etablierte Technik und Branchenstandards sorgen dafür, dass diese Investition risikoarm ist. So können sich Unternehmen gegen hohe Strompreise absichern.

Kunden, Geschäftspartner, Mitarbeiter und auch Geschäftsführer legen zudem immer mehr Wert auf Nachhaltigkeit und darauf, einen echten Beitrag zur Energiewende zu leisten. Eine PV-Anlage ist eine einfache und effektive Maßnahme, die auch über Pressemitteilungen und die PR-Abteilung hinaus eine Wirkung entfaltet. PV-Anlagen nutzen bislang brachliegende Ressourcen und sichern durch die Erzeugung von Solarstrom ein zukünftiges Betriebseinkommen. Schon seit einiger Zeit haben sich die relevanten Rahmenbedingungen hin zu einer Stärkung der Photovoltaik entwickelt, denn durch die deutlich gesunkenen Errichtungskosten ist Photovoltaik die günstigste Energieform in beinahe jedem Markt der Welt; auch in Deutschland. Hieraus ergeben sich neue Chancen und Geschäftsmodelle für Immobilienbesitzer und Gewerbetreibende. Zudem kommt die Solardach Pflicht. In einigen Bundesländern ist sie bereits geregelt –

für die Bundesebene hat sie der Bundeswirtschaftsminister am 11. Januar 2022 ebenfalls angekündigt.

Technische Eignung der Dachfläche

Eigenerzeugung von Solarstrom

Da Betriebsgebäude in der Regel über große Dachflächen verfügen, besitzen sie ein hohes Potential zur Eigenerzeugung von Solarenergie. Laut der Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) sind bisher lediglich 13,2 Prozent der installierten Anlagenleistung aus erneuerbaren Energien in Besitz von Gewerbetreibenden (AEE 2021) In Frage kommen dabei sowohl thermische Solaranlagen zur Erzeugung von Warmwasser, aber auch für Prozesswärme im Niedertemperaturbereich als auch photovoltaische Anlagen zur Erzeugung von elektrischen Strom. Neben den Dachflächen können auch Fassadenflächen zur Erzeugung sowohl von thermischer als auch elektrischer Solarenergie genutzt werden.

Technische Eignung

Bei der Prüfung der technischen Eignung ist sicherzustellen, dass Statik (inklusive Schneelast) und Brandschutz einer Anlagenerrichtung nicht entgegenstehen. Zudem ist eine sog. Netzverträglichkeitsprüfung durchzuführen. Dabei prüft der zuständige Netzbetreiber, ob im lokalen Verteilnetz genug Kapazität für die avisierte PV-Anlage vorhanden ist oder ob das Verteilnetz neue Einspeiselasen nicht verträgt und zunächst ausgebaut werden muss.

Rechtliche Eignung

Die rechtliche Eignung der Dachfläche richtet sich nach dem öffentlichen Baurecht. Aufdach-PV-Anlagen sind bauliche Anlagen im Sinne des Bauordnungsrechts und bedürfen daher einer Baugenehmigung. Allerdings haben fast alle Bundesländer diese Genehmigungspflicht in ihren Bauordnungen bereits abgeschafft. Relevanz kann auch das Bauplanungsrecht nach dem Baugesetzbuch haben, falls die Anlage einem Bebauungsplan z.B. hinsichtlich der Gebäudehöhe widerspricht. Neben dem Bauplanungsrecht kann auch der Denkmalschutz der Errichtung einer PV-Anlage entgegenstehen und die rechtliche Eignung der Dachfläche ausschließen.

Betriebsmodelle

Dachverpachtung und Contracting-Modelle

Die einfachste Möglichkeit, von einem geeigneten Dach zu profitieren, ist die Verpachtung der Dachfläche an Dritte. Diese sind dann an Stelle des Immobilieneigentümers Betreiber der Anlage. Stadtwerke, Energieversorgungsunternehmen und Projektentwickler bieten bereits

„schlüsselfertige“ Dachpacht Lösungen an. Dabei baut der Betreiber auf seine Kosten die Anlage, bewirtschaftet sie und übernimmt das unternehmerische Risiko. Nachdem der Pachtvertrag abgelaufen ist, wird die Anlage rückgebaut und das Dach in seinen Ursprungszustand zurückgegeben. Vorteil dieser Lösung ist, dass keine Kapitalinvestitionen des Gebäudeeigentümers nötig sind. Sofern der Gebäudeeigentümer seinen Eigenverbrauch mit der PV-Anlage abdecken will, zugleich aber nicht weiter in den Anlagenbetrieb involviert werden möchte, bietet sich eine Dachverpachtung mit Contracting-Modell an. Dabei kann gegen eine monatliche Gebühr eine Eigenverbrauchslösung realisiert werden.

Eigenverbrauch mit Überschusseinspeisung

Besonders attraktiv ist die Gestaltung des Eigenverbrauchs. Hintergrund ist, dass der Strommarkt sich in einer anhaltenden Hochpreisphase mit nie dagewesenen Letztverbraucherpreisen befindet. Dies wird sich auf absehbare Zeit voraussichtlich nicht ändern. Demgegenüber sind die PV-Gestehungskosten auf einem Allzeittief und im Leistungsbereich über 30 kWp sogar niedriger als die statistischen mittleren Gewerbe- und Industriekundentarife. Die betrachteten Stromgestehungskosten aus PV-Anlagen sind teilweise sogar niedriger als die Stromgroßhandelspreise. Jede selbst verbrauchte Kilowattstunde Solarstrom verdrängt teureren Strombezug aus dem Netz. Häufig ist die Einsparung je kWh hierbei höher als die Einspeisevergütung bei einer Volleinspeisung, weshalb die Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils die Wirtschaftlichkeit erhöht. Der Eigenverbrauch wird deshalb vom Gesetzgeber gefördert, indem bestimmte Kosten wie Netzentgelte, Konzessionsabgabe, Stromsteuer sowie die Netzumlagen ganz oder teilweise entfallen. Falls mehr Strom erzeugt als selbst verbraucht wird, kann dieser Anteil in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist werden (Überschusseinspeisung). Dafür erhält der Anlagenbetreiber eine Einspeisevergütung.

Volleinspeisung

In diesem Fall ist der Dacheigentümer auch Betreiber der PV-Anlage. Der gesamte erzeugte Strom wird in das Netz der Allgemeinen Versorgung eingespeist und der Anlagenbetreiber erhält für jede eingespeiste kWh die sog. Einspeisevergütung. Allerdings sinkt diese garantierte Vergütung mit zunehmender Größe der Anlage, denn mit steigender Anlagengröße sinken die Systemkosten. Anlagen ab 100 kWp sind im Regelfall zur Direktvermarktung verpflichtet. Der erzeugte Strom wird hierbei direkt an der Strombörse verkauft und der Betreiber erhält die erzielten Erlöse abzüglich eines Vermarktungsentgelts (Sokianos et al 2022, Uhland et al 2021, ERLP 2017).

Technologien

Solarzellen aus kristallinem Silizium

Solarzellen aus kristallinem Silizium werden mit über 90% am häufigsten verbaut. Als Ausgangsmaterial für ihre Herstellung dient Siliziumdioxid (SiO_2), das als Quarzsand oder Quarzkristall abgebaut wird.

Aus SiO_2 wird in einem mehrstufigen und sehr energieaufwendigen Verfahren hochreines, polykristallines Silizium (poly-Si) mit einer Reinheit von 99,99999% hergestellt. Die Herstellung erfolgt in einem Lichtbogenofen bei Temperaturen von etwa 2.000 °C. Entsprechend ist die Errichtung von Anlagen zur Herstellung von hochreinem Solarsilizium besonders kapitalintensiv. In Blöcke gegossen dient das Solarsilizium als Ausgangsmaterial für poly-Si-Solarzellen. Aus eingeschmolzenen poly-Si können in einem weiteren Schritt Silizium-Einkristalle (mono-Si) gezogen werden. Die gewonnenen poly-Si-Blöcke oder mono-Si-Blöcke (Si-Einkristalle) werden in etwa 0,2 mm dicke Scheiben («Wafer») gesägt und in einer Abfolge von mehreren Prozessschritten zu Solarzellen weiterverarbeitet. Solarmodule aus monokristallinem bzw. polykristallinem Silizium haben als bereits lang bewährte Technologie die höchsten Marktanteile. Ihre Vorteile sind die hohen Wirkungsgrade und die gute Verfügbarkeit des Ausgangsmaterials. Nachteilig ist ihr hohes Gewicht und Einschränkungen hinsichtlich der Modulgeometrie.

Dünnschicht-Solarmodule

Der Herstellungsprozess der Dünnschicht-Solarmodule unterscheidet sich grundsätzlich von dem der Solarmodule aus kristallinem Silizium. Zwar bestehen die Solarzellen ebenfalls aus elektrischen Kontakten und einem absorbierenden Material, in dem im Zusammenspiel mit weiteren Schichten auch die Trennung der Ladungsträger stattfindet. Diese Schichtstapel werden aber direkt aus einem Trägermaterial hergestellt. Die Dicke der Schichtstapel liegt in der Regel unter 5 μm , wobei die -lichtabsorbierende Schicht nur 1-3 μm einnimmt, also etwa hundertmal weniger als bei den Solarzellen aus kristallinem Silizium. Damit sinkt nicht nur der Materialaufwand deutlich, sondern auch die für die Herstellung benötigte Energie. Dadurch lassen sich auch Dünnschichtmodule deutlich einfacher und kostengünstiger produzieren als ein übliches kristallines Photovoltaikmodul.

Als Trägermaterial können, je nach Technologie, Glas, Metall- oder Kunststofffolien eingesetzt werden. Werden flexible Trägermaterialien verwendet, lassen sich schnelle Rolle-zu-Rolle-Verfahren für die Herstellung der Schichten in der Fertigung nutzen. Als Schichtmaterialien kommen insbesondere Halbleitermaterialien wie Galliumarsenid (GaAs), Cadmiumtellurid (CdTe) oder Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) zum Einsatz. Vorteile der Dünnschichtzellen sind ihr geringes Gewicht, ihre guten Erträge bei

diffusem und schlechtem Licht sowie die schnelle energetische Amortisation aufgrund des geringen Energieeinsatzes bei ihrer Herstellung. Ein weiterer Vorteil ist ihre Flexibilität, welche bei entsprechenden Substraten flexible sowie weitgehend beliebige Modulformen erlauben, was sie besonders für die Fassadenintegration geeignet macht. Nachteilig ist der im Vergleich zu kristallinen Zellen geringere Wirkungsgrad, der wiederum einen erhöhten Flächenbedarf bedingt. Zudem ist der alterungsbedingte Leistungsabfall höher. Nachteilig sind ferner die teilweise nur begrenzten Rohstoffe wie z.B. Indium sowie die eingeschränkte Recyclierbarkeit des Schichtmaterials.

Weitere Technologien mit hohem Potenzial

Andere Technologien, die auf dem PV-Markt noch nicht messbar sind, aber ein hohes Potenzial haben, sind Farbstoffsolarzellen (auch Grätzel-Solarzellen genannt), organische Solarzellen, Hybridkollektoren und hocheffiziente Solarzellen in Kombination mit einer Optik, die das Sonnenlicht auf die Solarzellen bündelt (Konzentrator-Solarzellen).

Anlagenarten

Hauptsächlich gibt es zwei Arten für Photovoltaikanlagen:

- Aufdachmontage
- Bodenmontage (Freiflächenmontage)

Als dritte Art kann die gebäudeintegrierte Photovoltaik genannt werden, bei der die Module direkt in ein Gebäude z. B. als Fassade integriert sind.

Aufdach Anlagen

Aufdach-Photovoltaikanlagen sind eine weit verbreitete Möglichkeit für Eigenheime, Unternehmen und öffentliche Gebäude ihren eigenen Strom zu erzeugen. Inzwischen sind PV-Anlagen nicht nur weit verbreitet, sondern auch zu einer Art Symbol für grüne Energie, zukunftsorientiertes Denken und Energiebewusstsein geworden. Nicht zuletzt steigert eine Photovoltaikanlage auf dem Hausdach auch den Wert eines Gebäudes. Vorteilhaft ist insbesondere

- Das vorhandene Dach kann optimal genutzt werden.
- Das Dach wird vor eventuellen Umwelteinwirkungen zusätzlich geschützt.
- Aufdachmontierte Anlagen sind meist schnell und einfach zu installieren
- Geringer Wartungsaufwand

Nachteilig ist demgegenüber

- Erst-Installationskosten

- Mögliche Dachmodifikationen, bevor die Installation überhaupt durchgeführt werden kann.
- Platzbeschränkungen, abhängig von der Größe und Beschaffenheit des Daches
- Der unveränderbare Winkel und die Ausrichtung der Dachebenen

Bodenmontierte Anlagen

Bodenmontierte Photovoltaikanlagen sind inzwischen ebenfalls weit verbreitet, werden aber vorwiegend von großen Unternehmen bzw. Energieanbietern genutzt. Diese Anlagen arbeiten oftmals mit einer Nachführung. Diese sorgt dafür, dass die Ausrichtung der Solarmodule dem Lauf der Sonne folgt. Somit kann mehr Sonnenlicht erfasst werden, als mit herkömmlichen und fest installierten Photovoltaikanlagen. Vorteile bodenmontierter Anlagen sind (Wirth, 2022; Ritter et al, 2021):

- Aufgrund ihrer Größe ist auch eine größer dimensionierte Stromerzeugung möglich.
- Bodenmontierte Anlagen haben die Möglichkeit die festen Winkelbeschränkungen – wie sie bei der Aufdachmontage gegeben sind – zu umgehen
- Einfache Wartung aufgrund des leichteren Zuganges

Nachteilig ist demgegenüber:

- Bodenmontierte Anlagen nehmen sehr viel Fläche ein, die möglicherweise umgewidmet werden muss.
- Riesige Freiflächenanlagen sind optisch auffällig, was zu Konflikten mit dem gewünschten Landschaftsbild führen kann.

Windkraft

Unter Windkraft wird die großtechnische Nutzung der Bewegungsenergie des Windes verstanden. Unterschieden wird zwischen der Offshore (auf dem Meer) und der Onshore (an Land) Nutzung der Windenergie. Die typischen Komponenten einer Windkraftanlage sind der Turm, die Rotoren und die Gondel, in der die Bewegungsenergie der Rotoren mit Hilfe eines Generators in elektrischen Strom umgewandelt wird. Im Jahr 2021 betrug der Anteil der Windkraft ca. 50 % am gesamten in Deutschland erzeugten erneuerbaren Strom (Stromreport 2022). Der Ausbau hat wesentlich in den Jahren von 2000 bis 2017 stattgefunden. Seitdem ist der Zuwachs geringer, weil sich lokal viele Menschen gegen Windkraftanlagen wehren. Seit Ausbruch des Ukraine-Krieges und dem damit verbundenen Gaslieferstopp Rußlands, sowie seit den deutlichen Auswirkungen der Klimakrise (Waldbrände, Flut), werden wieder höhere Ausbauziele der Windenergie genannt.

Energiespeicherung

Eine zentrale Herausforderung bei der Nutzung erneuerbarer Energien ist ihre Fluktuation, denn Solarstrahlung steht nachts nicht zur Verfügung und auch der Wind weht nicht kontinuierlich. Eine ausgeglichene Balance von Stromerzeugung und Stromnachfrage ist aber unabdingbar für die Versorgungssicherheit sowie die Netzstabilität. Um eine gleichmäßige Frequenz im Stromnetz aufrechtzuerhalten, müssen Erzeugung und Nutzung aufeinander abgestimmt werden. Andernfalls muss die Differenz und mögliche Frequenzschwankungen durch die sogenannte Regelenergie ausgeglichen werden. Möglichkeiten dazu sind:

- Abschaltung von EE-Anlagen (geringere Einspeisung)
- Zuschaltung von Speicherkraftwerken (höhere Einspeisung)
- Abschaltung großer Verbraucher (geringere Entnahme)

Die Abschaltung ist aber meist unökologisch und zudem unwirtschaftlich. Ferner muss benötigte Regelenergie kostenintensiv im nationalen oder europäischen Verbundnetz eingekauft werden. Um dies zu vermeiden, bieten sich Energiespeicher an, die bei Bedarf zugeschaltet werden, wenn nicht genug erneuerbarer Strom zur Verfügung steht. Diese sind:

- Pumpspeicherkraftwerke: Kostengünstig, nur für gebirgige dünn besiedelte Regionen (z.B. Norwegen, Öst. Alpen), benötigen einen Netzanschluss z.B. durch sehr lange und teure DC-Leitungen durch die Ost- und Nordsee
- Druckluft: einfache Technologie, gut nutzbar bei Anbindung an WKA, aber nur begrenztes Speicherpotential und bisher eher ein Forschungsgegenstand
- Schwungräder: einfache Technologie, aber hohe Masse des Rades und noch in der Entwicklung
- chemisch als Wasserstoff: Elektrolyse von Wasser zur Stromerzeugung, gut erforscht für Kleinanlagen, derzeit erfolgt ein großtechnischer Aufbau, wichtiger Zielkonflikt: Wasserstoff ist auch relevant für die Stahl-, Zement- und chemische Industrie sowie zum Antrieb von LKWs (evt. Flugzeuge), teure Technologie
- chemisch als Methan: Elektrolyse von Wasser zur Stromerzeugung, dann Reduktion von CO₂ zu Methan (CH₄), relevant für Gebäudeheizungen, teure Technologie

Allen obigen Technologien ist gemeinsam, dass die Umwandlung von Kraft oder innerer Energie immer mit hohen Verlusten, aufgrund der Thermodynamik (Wärmeverluste) verbunden ist. Bekannt ist dies auch aus dem geringen Wirkungsgrad von Verbrennungskraftmaschinen (Motoren). Nach derzeitigem Stand der Technik bieten sich als Stromspeicher nur unterschiedliche Batterietypen an. Im Folgenden werden die

verschiedenen Technologien besprochen und auf Probleme der Nachhaltigkeit eingegangen:

- **Lithium-Ionen-Batterien** (GRS o.J., ISE o.J.): Dieser Batterietyp ist derzeit der wichtigste, sowohl für die Versorgung von Kleingeräten (Mobiltelefone, Tablet, Notebooks, Werkzeuge) als auch für Fahrzeuge und Fahrräder sowie als Hausspeicher (s.a.u.). Batterien im Kleinstbereich und für die Elektromobilität müssen ein geringes Gewicht beim höchsten Energiegehalt haben. Weitere Faktoren sind die Kosten, die Brandsicherheit, die Ladefähigkeit und die Lebensdauer. Bei dieser Batterie übernehmen Lithium-Ionen den Stromtransport, es erfolgt keine chemische Reaktion sondern nur eine Ionen-Einlagerung. Die Kathode enthält Kobalt-Oxid (CoO), die Anode besteht aus Graphit. Als Elektrolyt dienen Li-organische Verbindungen. Die Vorteile sind die höchste Energiedichte aller im großen Maßstab produzierten Batterien, kein Memory Effekt und eine gute Zyklenfestigkeit. Die Nachteile sind ein hoher Preis, ein aufwändiges Zellmanagement aufgrund der geringen Größe und damit verbunden mit einer hohen Anzahl von Zellen. Aus Sicht der Nachhaltigkeit ist insbesondere die Gewinnung von Cobalt in Sambia und der Demokratischen Republik Kongo, dem wichtigsten aller Lieferländer, sehr gewichtig, da dies meist illegal (FAZ-net 2022, Save the Children 2022) und unter Zerstörung der Natur abgebaut wird. Lithium hingegen ist ein Salz, welches in verschiedenen Ländern in Salzseen vorkommt. Der größte Produzent ist Australien (51.000 t) vor Chile (13.000 t; VW o.J.). Hierbei spielt insbesondere die Bereitstellung von Wasser und die Abwasserbehandlung eine wichtige Rolle, da die Gewinnung meist in ariden Regionen stattfindet. Die bekannten Reserven übersteigen derzeit die Bedarfe um ein Vielfaches, weshalb diskutiert wird, ob Lithium ein "knappes" Metall ist oder nicht (ebd.). Bei dem derzeitigen Verbrauch reichen die Lithiumreserven von 12 Mio.t bei einer jährlichen Produktion von 90.000 t Raffinade mehr als 100 Jahre (BGR 2022). Diese Reichweite ist jedoch von verschiedenen Entwicklungen abhängig.
 - Zum einen, ob durch verbesserte Bergbautechnologien die bekannten Ressourcen von ca. 46 Mio. t teilweise zu abbaubaren Reserven werden (ebd.).
 - Weiterhin bestimmt die Nachfrage und ein steigender Preis, ob es sich lohnt, neue Technologien zu entwickeln oder auch Vorkommen mit geringeren Konzentrationen abzubauen.
 - Zum anderen kommt es darauf an, wie sich der Verbrauch entwickeln wird, da Lithium-Ionen-Batterie vielfältige Nutzungen haben: Für Elektrofahrzeuge, als Hausspeicher für die eigene PV-Anlage, als Notstromversorgung in der Industrie und dem Gewerbe sowie als

Netzspeicher. In welchem Umfang Lithium in diesen Anwendungen genutzt wird, hängt einerseits von den Preisen der Batterien und andererseits von den den Preisen der möglichen alternativen Batterien ab (vgl. capital 2022)

- **Lithium-Eisenphosphat-Batterien** (Energieexperten 2019; Pylontech o.J.; Chemie-Schule o.J. und RCT Power o.J.): Diese Batterien befinden sich derzeit in einer intensiven Phase der Weiterentwicklung und werden vermutlich ein Ersatz für die Lithium-Ionen-Batterien in vielen Bereichen (Wohnungen, LKW, gewerblichen Anlagen mit geringeren Stromverbräuchen) sein. Anstelle von Cobalt wird Eisen in der Kathode verwendet, die Anode besteht aus Graphit. Sie benötigen nur 80 g Li (4,5 Gewichts-%, LiCo-Batterien 160 g Li) für 1.000 Wh und haben ein geringes Brandrisiko aufgrund der geringen Energiedichte (<90 Wh/kg) sowie keinen freien Sauerstoff in der Redoxreaktion. Der Memory-Effekt ist vernachlässigbar, der Wirkungsgrad beträgt 93-98%. Sie haben zudem eine hohe Zyklenfestigkeit (mehr als 6.000) bei geringem Kapazitätsverlust (5%). Zum Vergleich: Ein Blei Akku hält rund 600 Ladezyklen. Lithium-Phosphat-Batterien werden sowohl für mobile als auch stationäre Anwendungen verwendet, sowohl im Eigenheim Bereich als Speicher für PV-Strom bis hin zu Großanlagen. Tesla ist hierbei einer der Vorreiter. Das Unternehmen hat 2017 in Australien den (damaligen) größten Energiespeicher mit Lithium-Batterien errichtet: 100 MW Leistung und 125 MWh Speicherkapazität (Erneuerbare Energien 2021). Inzwischen gibt es Speichersysteme mit einer Kapazität bis zu 300 MWh (Ingenieur.de 2021).
- **Lithium-Mangandioxid** (GRS o.J.): Dieser Batterietyp ist besonders wichtig in der Elektronik, da Lithium die größte Kapazität hat (ca. 4 Ah/g). Lithium ist aber auch sehr wasserempfindlich (auch Feuchte), weshalb die Batterien wasserdicht verkapselt werden müssen. Die Kathode besteht aus Mangandioxid, die Anode aus Lithium, der Elektrolyt ist organisch. Die Vorteile sind eine hohe Energiedichte, sie sind lagerfähig, es findet nur eine geringe Selbstentladung statt und es sind extrem dünne Batterien möglich (0,4 mm). Die Nutzung erfolgt vor allem für Langzeit-Anwendungen in der Elektronik, bei IKT, in der Messtechnik und der Fotografie. Aus Sicht der Nachhaltigkeit ist anzumerken, dass es Einweg-Batterien sind. Ein Recycling ist prinzipiell möglich, aber die Rückführung ist schwierig, weil z.B. Batterien vor allem über Verkaufsstellen gesammelt werden. Mangan ist ein häufiges Metall ohne besonders gefährliche Eigenschaften, es spielt eine wichtige Rolle in der Photosynthese bei Pflanzen (ISE o.J.). Es wird aus Erzen gewonnen. Aus der Nachhaltigkeitsperspektive sind derzeit keine besonderen Bedenken vorhanden.
- **Redox-Flow-Batterien** (RF-Batterie, Batterieforum o.J.; Wikipedia o.J.; Batterieforum o.J.): Die Basis dieser Batterie ist eine redox-aktive Flüssigkeit in einem Tank, die mit einer zweiten Flüssigkeit in dem anderen Tank (reversibel)

reagiert. Ein Beispiel ist eine Vanadium-Salz-Batterie, bei der Vanadium unterschiedliche Oxidationszustände einnimmt. Die Leistung ist unabhängig von der Kapazität von Anolyt und Katholyt, sie ist skalierbar durch das Volumen und den Salzgehalt. Zentral ist eine Ionenselektive Membran, die den ganzen Prozess erst möglich macht (im Unterschied zu obigen Batterietypen). Der Wirkungsgrad erster Großanlagen soll bei größer 60% liegen, die Zyklenfestigkeit bei größer 10.000 Ladezyklen. Vorteile sind die Millisekunden-Ansprechbarkeit, keine Selbstentladung, und der geringe Wartungsaufwand. Der Nachteil ist die geringe Energiedichte (10 - 25 Wh/l). Anwendungsmöglichkeiten sind das Lastmanagement und die Möglichkeit für "Back-up-Power", d.h. die Stabilisierung des Stromnetzes. Die bisher größte Batterie dieses Typs wurde 2013 in China errichtet aus zehn Einheiten a 20 MW und einer Speicherkapazität von 800 MWh (Erneuerbare Energien 2021). Zum Vergleich: Das größte Pumpspeicherkraftwerk in Deutschland (Markersbach) hat eine Speicherkapazität von 4.000 MWh und eine Leistung von 1.050 MW (Vattenfall o.J.). Vanadium ist ein häufiges Metall ohne besonders gefährliche Eigenschaften, es spielt eine wichtige Rolle in der Phosphorylierung in allen Lebewesen (ISE o.J.). Es wird aus Erzen und Erdöl Rückständen gewonnen. Aus der Nachhaltigkeitsperspektive sind derzeit keine besonderen Bedenken vorhanden.

Rationelle Energienutzung

Neben dem Einsatz erneuerbarer Energien zählt auch die rationelle Energienutzung zu den Maßnahmen, um das Energiesystem in Richtung Nachhaltigkeit zu transformieren. Für den Gebäudesektor bedeutet dies, dass der immense Energieverbrauch, der (bei Wohngebäuden) vor allem durch Raumwärme und Warmwasser entsteht, durch unterschiedliche Maßnahmen reduziert werden soll. Ein wichtiger Aspekt sind bauliche Maßnahmen, wie beispielsweise Dämmung. Darüber hinaus lässt sich aber auch in der Versorgungstechnik selbst durch effiziente Anlagen, effiziente Anlagensteuerung und geeignetes Nutzungsverhalten viel Energie einsparen. Im Folgenden werden zunächst zwei eng verknüpfte Handlungsfelder der rationellen Energienutzung beschrieben: die Energieeffizienz und das Energiesparen. Nachfolgend wird Energieeffizienz im Gebäudesektor beschrieben, dabei wird auf Automatisierung, effiziente Heizungsanlagen und effiziente Klima- und Lüftungsanlagen fokussiert. Abschließend wird Effizienz in Gebäudebau- und Planung kurz umrissen.

Energieeffizienz allgemein

Bei der Energieeffizienz geht es darum, Geräte, Anlagen, Technologien und Verfahren zu nutzen, die bei gleicher Funktionserfüllung einen geringeren Energiebedarf haben. Effizienz ist dabei eine relationale Größe, die sich auf mindestens zwei vergleichbare

Arten bezieht, Energie zu nutzen. Dann kann bestimmt werden, welche Art effizienter ist. Unter Energieeffizienz wird somit also die rationelle Verwendung von Energie verstanden. Durch optimierte Prozesse sollen „die quantitativen und qualitativen Verluste, die im Einzelnen bei der Umwandlung, dem Transport und der Speicherung von Energie“ entstehen, minimiert werden, „um einen vorgegebenen (energetischen) Nutzen bei sinkendem Primär- bzw. Endenergieeinsatz zu erreichen“. Nützliche Orientierung, um die Energieeffizienz zu überprüfen, können dabei Kennzeichnungen geben. Im Europäischen Wirtschaftsraum gibt die Energieeffizienzkenzeichnung gemäß Verordnung (EU) 2017/1369 Auskunft über die Energieeffizienz von Elektrogeräten und weiteren Energieverbrauchern. Die Kennzeichnung des Energieverbrauchs erfolgt für verschiedene Gerätegruppen in der EU in Form von Etiketten auf den Geräten und in den Werbematerialien für diese. Ab dem Jahr 2021 erfolgt die Kennzeichnung der Energieeffizienz in Form von Effizienzklassen. Deren Skala reicht von „A“ bis „G“, wobei Geräte mit der höchsten Effizienz mit der Kennzeichnung „A“ ausgezeichnet werden.

Daneben gibt es zahlreiche weitere Kennzeichen, die auch Auskunft über die Energieeffizienz geben können. Bekannt ist der Energy Star, ein US-amerikanisches Umweltzeichen für energiesparende Geräte, Baustoffe, öffentliche/gewerbliche Gebäude oder Wohnbauten. Der Energy Star bescheinigt z. B. elektrischen Geräten, dass sie die Stromspar Kriterien der US-Umweltschutzbehörde EPA und des US-Energieministeriums erfüllen (www.energystar.gov). Auch nationale Umweltzeichen wie der Blaue Engel können, je nach ausgezeichnetem Produkt, aufgrund vergleichsweiser besonders hoher Energieeffizienz, vergeben werden (www.blauer-engel.de).

Neben der Kennzeichnung von Geräten gibt es noch weitere Kennzeichnungen, die sich an diese anlehnen, so zum Beispiel die Pkw-Energieverbrauchskennzeichnung welche die Bewertung und Kennzeichnung der Energieeffizienz neuer Personenkraftwagen hinsichtlich Kraftstoff- und Stromverbrauch regelt (Pkw-EnVKV 2020).

Energiesparen

Eine weitere Art Energie rationell zu nutzen ist das Energiesparen. Die Abgrenzung des Energiesparens zur Energieeffizienz ist allerdings nicht immer eindeutig, denn die Nutzung eines energieeffizienten Gerätes oder Verfahrens stellt immer auch eine Energieeinsparung gegenüber einem weniger effizienten Gerät dar. Eine typische Maßnahme, um Energie zu sparen, ist der Verzicht auf den „Stand-by-Betrieb“ von Elektrogeräten. Damit wird vermieden, dass Geräte durchgängig „unter Strom“ stehen und das spart gleichzeitig jährlich mehrere Kilowattstunden ein. Allein in Deutschland kostet der Stromverbrauch durch Leerlaufverluste mehrere Milliarden Euro pro Jahr.

EU-weit werden die Leerlaufverluste auf jährlich 51 Mrd. Kilowattstunden geschätzt. Dies entspricht einer Energiemenge, die etwa 14 Großkraftwerke mit jeweils 800 Megawatt Leistung pro Jahr erzeugt und dabei etwa 20 Mio. t CO₂ in die Atmosphäre emittieren. Insbesondere elektrische Geräte der Informations- und Kommunikationstechnik, wie sie für die betriebseigene Verwaltung zum Einsatz kommen, aber auch Elektromotoren, Transformatoren, Netzteile und Steckerleisten haben im "Stand-By-Betrieb" erhebliche Leerlaufverluste die zwischen 8 und bis zu 20% der elektrischen Nennleistung ausmachen können (UBA o.J.).

Effizienz durch Automation und Digitalisierung

Zur Reduktion des Energieverbrauchs im Gebäudesektor kann, neben der Nutzung effizienter Anlagen und individuellen effizienten Einstellungen und Nutzungsverhalten, auch Gebäudeautomation und Digitalisierung beitragen. Die Gebäudeautomation basiert auf Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), die gebäudetechnische Anlagen und Systeme steuert und regelt, sowie die unterschiedlichen Komponenten miteinander vernetzt (VDI Zentrum Ressourceneffizienz 2021). Während Techniken zur Gebäudeautomation bereits seit einigen Jahrzehnten existieren, haben sich die Möglichkeiten und Leistungsumfang durch Entwicklungen in der Soft- und Hardwarearchitektur, sowie Ansätze der Künstlichen Intelligenz (KI), deutlich vergrößert, beispielsweise kann mit Hilfe von selbstlernender Software, die Wetterdaten aus vergangenen Jahren und die Wetterprognose analysiert, eine smarte Heizung den Wärmebedarf im Voraus einschätzen und die Zieltemperatur entsprechend vorausschauend regulieren. Dies macht eine kontinuierliche Überwachung, Analyse und Optimierung von sowohl individuellen Komponenten als auch des ganzen Systems möglich. Gebäudeautomationssysteme können heute auch komplexe Energiemanagement Aufgaben steuern (Bitkom 2021). Automation beinhaltet Sensorik, also passives Erfassen, z.B. von Temperaturen, und Aktorik, z.B. die Regulierung von Temperaturen (VDI Zentrum Ressourceneffizienz 2021).

Automation und intelligente Anlagensteuerung

Einen maßgeblichen Beitrag zu Energieeffizienz und Energieeinsparungen können Automation und Digitalisierung durch intelligente Steuerung von Anlagen leisten, durch die der Energiebedarf für Heizung und Warmwasser gesenkt werden kann. Da in den meisten Bestandsanlagen wenig Messdaten zum Beispiel zu Vor- und Rücklauftemperatur oder Durchflussmengen erhoben werden, ist eine kontinuierliche Überwachung der Effizienz häufig nicht möglich und Fehleinstellungen fallen oft lange nicht auf. Gerade bei Hausbesitzern ist dies der Fall, da die Verbrauchsabrechnungen nur jährlich Informationen über den Verbrauch geben. Während es eine Pflicht zur regelmäßigen Wartung von Anlagen gibt, gibt es keine Pflicht, die Anlagen-Einstellungen in Bezug auf Angemessenheit der Leistung und insgesamt auf

Effizienz regelmäßig zu überprüfen (Bitkom 2021). Daher kann Gebäudeautomation, die regelmäßig Betriebsparameter erfasst und so eine kontinuierliche Überwachung möglich machen, zu deutlichen Energieeinsparungen führen. Die Transparenz des Energieverbrauchs wird erhöht, Ineffizienzen sowie Fehlfunktionen können frühzeitig erkannt und behoben werden (ebd.).

Während bei Nicht-Wohngebäuden und in größeren Mehrfamilienhäusern Gebäudeautomation schon vermehrt Einsatz findet, sind diese Technologien in Ein- und Zweifamilienhäusern noch nicht stark genutzt. Kleinere Heizungs- und Klimatisierungsanlagen sind oft nicht unbedingt mit entsprechender Mess- und Steuerungstechnik ausgerüstet (Bitkom 2021). Hier besteht Nachholbedarf, da gerade auch in Ein- und Zweifamilienhäusern, die die häufigste Art von Wohngebäude in Deutschland darstellen und im Schnitt größere Quadratmeter bezogene Energieverbräuche haben (dena 2021), ein großes Energiesparpotential vorhanden ist.

Berechnungen des Borderstep Institutes (im Auftrag von Bitkom) haben ergeben, dass im Falle eines ambitionierten Ausbaus von Gebäudeautomation in den kommenden Jahren, allein durch die Reduktion der Energiebedarfs für Wärme und Strom im Jahr 2030 bis zu 10,1 Millionen Tonnen weniger CO₂ im Gebäudesektor ausgestoßen werden kann. Das entspricht 8,5% des gesamten CO₂-Emissionen im Gebäudesektor im Jahr 2020 (Bitkom 2021). Damit die Nutzung von Gebäudeautomation und digitalen Technologien eine positive Auswirkung auf den Energie- und Ressourcenverbrauch insgesamt hat, ist es allerdings entscheidend, dass die genutzten Technologien auf Langlebigkeit ausgelegt sind und selbst keinen hohen Energieverbrauch in der Nutzungsphase haben. Vor allem wenn nicht Energieeffizienz, sondern Komfort das Hauptziel einer Technologie ist, besteht hier die Gefahr eines Zielkonflikts (ebd.).

Vernetzung und Sektorkopplung

Gebäudeautomation kann außerdem dazu beitragen in Zukunft mehrere Gebäude miteinander zu vernetzen, sowie Sektorkopplung, d.h. die Vernetzung von dem Gebäudesektor (smart building) mit dem Energiesektor (smart grid) und dem Mobilitätssektor (smart mobility), möglich zu machen (Bitkom 2021). Zum Beispiel können E-Autos bei Bedarf als Batterien genutzt werden: nachts, wenn es wenig Energieverbrauch gibt oder in Zeiten, in denen durch erneuerbare Energien ein Überschuss an Energie zur Verfügung steht, werden sie aufgeladen. In Zeiten von hohem Energieverbrauch kann das aufgeladene Auto Strom liefern. Mit der vermehrten Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien, dessen Erzeugung dezentraler stattfindet als aus fossilen Quellen, werden Versorgungsstrukturen zunehmend dezentral. Gebäude werden selbst zum Ort von Stromerzeugung (z.B. über PV-Anlagen) sowie von Wandlung und Speicherung von Energie (z.B. die Nutzung von Überschussstrom zur Erwärmung von Wasser (Power-to-heat), oder Elektromobile als Batterien) (ebd.). Dadurch ändern sich

auch die möglichen Rollen von Gebäudeeigentümer*innen und Anlage Betreibenden, die Energie nicht nur konsumieren, sondern auch einspeisen und anbieten (sie werden zu 'Prosumenten', mehr dazu im Abschnitt 'Vom Konsument zum Prosument') (Dena 2022b).

Ein weiterer Faktor, der in einem Energiesystem, das auf erneuerbaren Energien basiert, wichtig wird, ist Flexibilität. Da viele erneuerbare Quellen nicht konstant Energie erzeugen, ist es wichtig, Überschüsse flexibel nutzen und speichern zu können, sowie in Zeiten von wenig Energie durch beispielsweise PV-Anlagen Energie aus anderen Quellen nutzen zu können. Dies kann in Gebäuden z.B. durch den flexiblen Betrieb von Anlagen wie Wärmepumpen geschehen. Diese Entwicklungen machen das Energiemanagement in Gebäuden und die Optimierung verschiedener Energiequellen eine noch wichtigere Aufgabe (Bitkom 2021).

Der Energiebedarf unterschiedlicher Abnehmern muss mit dem Energieangebot von unterschiedlichen Quellen abgeglichen werden, wobei sich die Rollen, wie oben beschrieben, sich je nach Situation unterscheiden können. Dies führt zu komplexen dynamischen Optimierungsproblemen in Gebäuden und im Energienetz als Ganzes. Um die Sektoren kurzfristig und bedarfsgerecht aufeinander abzustimmen, ist eine intelligente Messung und Steuerung essentiell. Digitale Technologien gelten daher als Voraussetzung für ein gut funktionierendes, dezentrales Energiesystem.

Gebäudeautomation, mit Elementen wie beispielsweise einer Smart-Meter-Infrastruktur, stellt einen wichtigen Bestandteil solcher Technologien dar (BMWK o.J, Bitkom 2021). Der Smart-Meter-Rollout ist beschlossen (BMWK o.J). Im Ausbau der Smart-Meter-Infrastruktur hinkt Deutschland aber noch hinterher (Handelsblatt 2023). Die durch intelligente Sektoren Kopplungen mögliche Energieeffizienz und Energieeinsparung können, nach Berechnungen des Borderstep Institutes (im Auftrag von Bitkom), zu Einsparungen von 4,6 Millionen Tonnen an CO₂-Emissionen führen (ebd.).

Digitale Werkzeuge in der Gebäudeplanung

Über die Einsparungen an Energieverbrauch in der Nutzungsphase eines Gebäudes hinaus können digitale Werkzeuge und Methoden, wie beispielsweise Building-Information-Modeling-Systeme (BIM), bei der Planung von Gebäuden helfen. Dies kann den Energie- und Ressourcenbedarf über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes bis hin zur Rückbauphase senken. Gebäude verbrauchen nicht nur in der Nutzungsphase, sondern auch in der Bau- und Entsorgungsphase viel Energie. Zudem bestimmen Faktoren wie die Auslegung eines Gebäudes und Materialauswahl den Energieverbrauch in der Nutzungsphase maßgeblich mit (Bitkom 2021).

Während Systeme wie BIM früher vor allem für Visualisierung und Entwerfen von Gebäudeplänen genutzt wurden, besteht heute auch die Möglichkeit viele bauwerksrelevante Daten (z.B. zu Baumaterialien) und Daten der Versorgungstechnik (Elektrizität, Wasser, etc.) zu sammeln. Dadurch entsteht eine Datenbank, die mit einem digitalen Zwilling vergleichbar ist. Der Vergleich unterschiedlicher Szenarien und die effiziente Planung können damit unterstützt werden, was große Potentiale zur Energie- und Ressourceneinsparung über den ganzen Lebenszyklus eines Gebäudes bietet (ebd.).

Effiziente Heizungsanlagen

Ein zentraler Faktor, der zur nachhaltigen Energienutzung beiträgt, ist, wie oben beschrieben, die Auswahl einer nicht auf fossilen Brennstoffen basierenden Technologie zur Erzeugung von Raumwärme. Darüber hinaus sollte der Energiebedarf aber auch durch eine möglichst effiziente Nutzung der gewählten Anlage reduziert werden. Wie am Anfang dieses Kapitels beschrieben, macht Raumwärme, zusammen mit Warmwassererzeugung, einen Großteil des Energiebedarfs in Haushalten aus. Solange nicht flächendeckend erneuerbare Energien zu Heizzwecken genutzt werden, ist es daher besonders wichtig, auf effiziente Anlagennutzung zu achten. Jedoch sollte in jedem Fall, auch bei Anlagen, die auf erneuerbaren Energien basieren, auf effiziente und energiesparende Einstellungen und Betrieb geachtet werden. Hohe Energieeffizienz ist bei Anlagen, die mit Strom genutzt werden, unter anderem wichtig, um bei stark steigender Anlagenzahl das Stromnetz nicht zu sehr zu belasten. Wärmepumpen sollten beispielsweise eine möglichst hohe Jahresarbeitszahl erreichen, was unter anderem durch folgende Faktoren erreicht wird:

- ein Wärmepumpenaggregat mit hohen Leistungszahlen, dessen Wärmeleistung gleitend an die momentane Wärmenachfrage angepasst wird
- eine möglichst konstante Temperaturen liefernde Wärmequellen (Abwärme und geothermische Wärme sind besser als Umgebungsluft)
- ein Heizsystem, das mit niedrigen Vorlauftemperaturen auskommt (gut gedämmte Häuser, großzügige Fußbodenheizungen, etc.)
- eine optimale Dimensionierung aller Bauteile der Wärmepumpenanlage sowie die Abstimmung der Teile aufeinander (UBA 2022f).

Generell trägt zu einer effizienten Nutzung und Energieeinsparung zum einen die Optimierung von bestehenden Anlagen bei. Hier sind regelmäßige Wartung, optimierte Einstellungen, und gegebenenfalls Austausch von Anlagenteilen durch modernere Bestandteile wichtig (VDI Zentrum Ressourceneffizienz o.J.). Folgende Maßnahmen können den Anlagenwirkungsgrad erhöhen:

- eine regelmäßige Kontrolle der Umwälzpumpen und gegebenenfalls ein Nachrüsten durch moderne Pumpen. Bei älteren Umwälzpumpen ist die Pumpstufe häufig zu hoch eingestellt und sie sind oft nicht effektiv geregelt.
- eine regelmäßige Überprüfung der Isolierung von Rohrleitung und Heizkessel, die Isolierung sollte immer einwandfrei sein.
- Gegebenenfalls Nachrüstungen und Modernisierung von Anlagen Elementen, beispielsweise durch zusätzliche Dämmung.
- eine regelmäßige Reinigung und Wartung von Filtern und eine Dichtigkeitskontrolle und Reparatur von Rohrleitungen und Behältern.
- eine Überprüfung der Vorlauftemperatur. Wurde z.B. zusätzliche Gebäudedämmung vorgenommen, kann diese gesenkt werden.
- eine regelmäßige Kontrolle und Optimierung des hydraulischen Abgleichs.
- eine Überprüfung zu Beginn der Heizperiode, ob die Heizung entlüftet werden muss (VDI Zentrum Ressourceneffizienz o.J.).

Sind die bestehenden Anlagen älter, liegt im Austausch häufig ein großes Einsparpotential (VDI Zentrum Ressourceneffizienz o.J.). Wie zu Anfang des Kapitels beschrieben, trifft das auf einen großen Anteil der derzeit genutzten Heizungen in Deutschland zu, vor allem bei Heizungen die noch fossile Brennstoffe nutzen: mehr als ein Drittel der Gas- und rund die Hälfte der Ölheizungen in Deutschland sind älter als 20 Jahre. Hier liegt also ein großes Potential zur Einsparung von Energie und zur Verminderung von CO₂ Emissionen. Sowohl für den Einbau von neuen Heizungsanlagen als auch die Optimierung bestehender Anlagen gibt es die Möglichkeit zur finanziellen Unterstützung durch Bundesförderprogramme (BAFA o.J.).

Effiziente Klima- und Lüftungsanlagen

Der Energiebedarf zur Belüftung und Kühlung von Gebäuden, der als Klimakälte bezeichnete Teil der Kältetechnik, macht einen sehr viel geringeren Anteil als der Energiebedarf für Heizsysteme aus. Daher wurde er auch im obigen Abschnitt zum Energieverbrauch in Deutschland nicht erwähnt. Jedoch wird sich das perspektivisch verändern und unterscheidet sich schon jetzt von Gebäudeart zu Gebäudeart. In Büros, öffentlichen Gebäuden und Unternehmen können Klima- und Lüftungsanlagen bis zu 50% der Energiekosten ausmachen (UBA 2022). Zudem nimmt die Ausstattung von Gebäuden mit Klimaanlage zur Raumkühlung derzeit zu (Energieforschung 2022). Der Verbrauch von Endenergie für Klimakälte ist seit 2018 von 1% auf 3% gestiegen (dena 2022). Es ist ferner zu erwarten, dass die Nachfrage nach Gebäudekühlung in Zukunft weiter zunehmen wird. Gründe hierfür sind gestiegene Komfortansprüche, aber auch der Klimawandel und die Bildung von Hitzeinseln in Städten (Energieforschung 2022, idw 2021, UBA 2011). Eine Studie aus der Schweiz geht im extremen Szenario davon aus, dass bis 2050 Gebäudekühlung beinahe so viel Energie wie Heizen benötigen wird (idw 2021).

Eine steigende Nachfrage nach Raumkühlung macht zum einen passive Maßnahmen (wie Verschattung oder bauliche Maßnahmen) zunehmend wichtig (Energieforschung 2022, UBA 2011). Durch solche Maßnahmen wird der Bedarf von Kühlenergie vermieden oder reduziert. Da diese Maßnahmen aber voraussichtlich nicht ausreichen werden, erhöht sich andererseits auch die Wichtigkeit der Effizienz von Klimaanlage und deren Nutzung. Neben der Sanierung, regelmäßigen Wartung und Nachbesserung bei bestehenden Anlagen, gilt es regenerative Techniken zur Raumkühlung weiter zu entwickeln und zu nutzen. Beispiele hierfür sind adiabate Kühlung (UBA 2011, nutzt Verdunstungskühlung) oder reversiblen Wärmepumpen (Effizienzhaus-online o.J.). Bei der Nutzung strombasierter Systeme, wie beispielsweise Wärmepumpen, bietet sich eine Kombination mit einer PV-Anlage an. Gerade bei der Nutzung zur Raumkühlung besteht der Vorteil, dass Bedarfsspitzen nach Kühlung an sonnenreichen Tagen mit einer starken Leistung von PV-Anlagen einhergehen (idw 2021). Darüber hinaus hat die angestrebte Raumtemperatur eine große Auswirkung auf den Energiebedarf. Die Anzahl der Kühlstunden ist bei einer angestrebten Temperatur von 24° deutlich höher als bei 26° (Energieforschung 2022). Wenn möglich, sollten Räume nicht unter 25° gekühlt werden (VDI Zentrum Ressourceneffizienz o.J.).

Während Nichtwohngebäude, wie z.B. Produktionsstätten, häufig über eine Lüftungsanlage oder eine raumluftechnische Anlage verfügen (VDI Zentrum Ressourceneffizienz o.J.), ist deren Nutzung in Wohngebäuden in Deutschland noch nicht weit verbreitet (UBA 2020a). Während solche Anlagen auch in Wohngebäuden erheblich zu besserer Innenraumluft beitragen können, kann ihre Nutzung auch zur Energieeffizienz beitragen. Bei manuellem Lüften durch Fenster kann es (neben ungenügendem Lüften) zu Lüftungswärmeverlusten kommen, die gerade bei Häusern, die über eine energetisch optimierte Dämmung verfügen, besonders ins Gewicht fallen. Durch geeignete Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung Systemen kann 80 bis 90% der Lüftungswärmeverluste zurückgewonnen und wieder der Wohnraumluft zugeführt werden. Gute Anlagen haben eine Arbeitszahl von 15- 20. Bei einer solchen Anlage entstehen Lüftungswärmeverluste von 4 bis 8 kWh/(m²a). Im Vergleich: bei Fensterlüften und Abluftanlagen kommt es (bei ausreichender Lüftung) zu Verlusten von 30 bis 50 kWh/(m²a) (UBA 2020a).

Für eine energieeffiziente Nutzung sollten Klima- und Lüftungsanlagen bedarfsgerecht ausgelegt und nicht überdimensioniert sein. Eine Klimaanlage sollte den Temperaturverlauf über das Jahr berücksichtigen, um eine Überdimensionierung durch die Auslegung auf Spitzentemperaturen im Sommer zu vermeiden (UBA 2011). Zu hohe Luftwechsel werden zwar von Gebäudenutzer/innen kaum wahrgenommen, erhöhen aber den Energieverbrauch der Anlage, da der geförderte Luftvolumenstrom den Energiebedarf der Anlage maßgeblich bestimmt (UBA 2020b, SAENA o.J.). Zudem müssen Anlagen effizient betrieben und laufend an die Nutzung des Gebäudes angepasst

werden (UBA 2020b). Beispielsweise können bei der Erstellung der Sollwerte von Lüftungsanlagen Betriebszeiten in unterschiedlichen Raumbereichen unterschiedlich eingestellt werden (Absenkung oder Abschaltung bei Nichtnutzung), es können Toleranzbereiche für Raumlufftemperaturen und ggf. Raumlufffeuchten eingestellt werden, und die Raumluff- und Zulufttemperaturen können für unterschiedliche Jahreszeiten variabel vorgegeben werden (SAENA o.J.). Bei vorhandenen Anlagen sollte geprüft werden, ob diese noch effizient und ob sie optimal eingestellt sind – dies ist häufig nicht der Fall. In der Optimierung von Einstellungen und dem Austausch von alten und ineffizienten Anlagen liegen erhebliche Einsparpotenziale (UBA 2022a, VDI Zentrum Ressourceneffizienz o.J.). Zudem stellt die Sanierung alter Klimaanlage, z.B. durch den Austausch besonders ineffizienter Anlagenteile oder die Dämmung von Kälteleitungen eine Möglichkeit zur Steigerung der Energieeffizienz dar (UBA 2011). Eine weiterer zentraler Faktor zur Verringerung des Kühlungsbedarfs und für einen effizienten Anlagenbetrieb ist die Information der Nutzer*innen über ein optimales Nutzungsverhalten (UBA 2011).

Smart Home-Technologien

Mit der Digitalisierung verschwinden auch Grenzen der Berufsbilder. Kaum ein Beruf kann die Digitalisierung ignorieren. Dies betrifft insbesondere den SHK-Anlagenmechaniker und -mechanikerinnen, für die bisher die Automatisierung, die digitale Wartung und das Monitoring von Heizungsanlagen ein wesentlicher Teil des Berufs war. Hierbei wird jedoch häufig vergessen, dass im Bereich der Elektronik und der IT-Kommunikation es noch wesentlich deutlichere Veränderungen gibt: Die Smart-Home-Technologie mit der dazugehörigen Steuerung über Apps der Smartphones und die KI-gestützte Kommunikation über smarte Lautsprecher. Hierbei werden häufig der Benutzer und die Benutzerin vergessen, die neben der Effizienz der Heizungsanlage vor allem den Komfort bevorzugen. Hierzu drei Beispiele auf Basis von Informationen, wie Nutzerverhalten zum Energiesparen führen kann:

- Automatische Heizungssteuerung bzw. programmierbare Thermostate vereinfachen die optimale Temperatureinstellung. Beispielsweise kann bei der Einstellung der Solltemperaturen zwischen Raumarten, sowie Tageszeiten u.Ä. unterschieden werden. Mit programmierbaren Thermostaten lassen sich rund 10% Energie sparen (UBA 2022h).
- Anlagennutzer*innen haben durch ihr Nutzungsverhalten eine erhebliche Auswirkung auf die effiziente Nutzung. Nutzer*innen über ein geeignetes Nutzungsverhalten zu informieren und zu beraten ist daher auch ein wichtiger Beitrag zur Energieeffizienz. Von zentraler Bedeutung ist die angestrebte Raumtemperatur: Mit jedem Grad weniger verringert sich der Energiebedarf. Wegen Schimmelbildung durch Feuchtigkeit, die durch Wohnraumnutzung

zwangsläufig entsteht, müssen genutzte Wohnräume jedoch auch ausreichend beheizt werden (UBA 2022h). Das Umweltbundesamt empfiehlt als Richtwert im Wohnbereich 20°C, für die Küche 18°C und im Schlafzimmer 17°C. Nachtsüber, oder wenn einige Stunden niemand die Räume nutzt, sollte die Temperatur abgesenkt werden. Bei Abwesenheit von wenigen Tagen ist es sinnvoll, die Temperatur auf 15°C, bei längeren Abwesenheiten noch etwas weiter abzusenken (ebd.).

- Über die richtige Temperatureinstellung hinaus ist das Lüftungsverhalten der Nutzer*innen wichtig. Ist keine Lüftungsanlage vorhanden, muss ausreichend gelüftet werden, um Schimmelbildung vorzubeugen. Kurzes Stoßlüften bei ganz geöffnetem Fenster ist wirksamer und führt zu weniger Wärmeverlust als die Fenster über längere Zeit gekippt zu halten. Je kühler die Zimmertemperatur, desto häufiger muss gelüftet werden, um Schimmelbildung zu vermeiden (UBA 2022h). Auch die Abdichtung von Fenstern und Türen, das Freihalten von Heizkörpern, sowie geschlossene Rollläden und/oder Vorhänge können helfen, Wärmeverluste zu vermeiden (UBA ebd).

Im Grunde ist dies genauso “Old-School” wie eine KNX-Steuerung, die noch auf verkabelten Stromverbrauchern basiert, denn mit der Einführung von WiFi mit hoher Bandbreite und smarten Technologien erübrigen sich manuelle Nutzereingriffe. Eine Digitalisierung der Heizungstechnik, bzw. intelligente Steuerung, ermöglicht durch die Optimierung zahlreicher Faktoren weitere Energieersparnisse (siehe auch Abschnitt zur Automatisierung). Eine digitale Heizung macht unter anderem eine Steuerung aus der Ferne möglich, bietet eine direkte Visualisierung wichtiger Parameter, kann Wetterprognosen einbinden und automatisch erkennen, ob jemand zuhause ist (Wasser Wärme Luft o.J.). Heutzutage kann mehr Energieeffizienz entweder vollkommen automatisiert oder mit Sprachbefehlen erfolgen:

- **Smarte Thermostate:** Mit diesen Thermostaten können alle Funktionen herkömmlicher Thermostate wie z.B. Räume einzeln steuern, Heizung drosseln beim Lüften, oder sparsam Heizen ausgeführt werden. Im Unterschied zu konventionellen Thermostaten werden sie über eine App programmiert und über einen Hub gesteuert (vgl. tado o.J.).
- **Steuerung über smarte Lautsprecher:** Es gibt aber einen Unterschied: Sie funktionieren mittels Sprachsteuerung, wenn Sie über die herkömmlichen Systeme von Apple (Siri), Google (Hey Google) oder Amazon (Alexa) verbunden werden. Notwendig ist hier immer ein Hub, der die Thermostate vernetzt und steuert sowie eine Schnittstelle zu den smarten Lautsprechern (Zigbee, Z-Wave, TCP-IP, KNX-RF, Dritz! DECT, HomeKit oder Nest Weave, vgl. haus-automatisierung o.J.). Alle smarten Lautsprecher haben diverse

Schnittstellen, allerdings noch nicht alle – zu vielfältig ist die Technologie, denn alle Funksysteme haben unterschiedliche Vor- und Nachteile (Reichweiten, Energieverbrauch, Sicherheit u.a.). Die Nutzervorteile sind ganz offensichtlich: Mit “Alexa stelle den Kellerraum auf Stufe 4” in 2 Sekunden vorprogrammiert.

- **Steuerung über Geofencing:** Smarte Thermostate können aber auch automatisch über Geofencing das Temperaturprofil steuern (Home&Smart 2019). Moderne Heizungssysteme mit geringen Vorlauftemperaturen für die üblichen Lamellenheizkörper können Räume schnell aufheizen (Fußbodenheizungen hingegen sind sehr träge). Geofencing nutzt die Standortdaten des Nutzers, d.h. das Smartphone weiß immer, wo der Nutzer sich zum Zeitpunkt x befindet. Dieses Prinzip wird bei den smarten Thermostaten sich nutzbar gemacht. Wenn der Nutzer oder die Nutzerin die Wohnung verlässt, stellen sich Thermostate automatisch auf eine von ihnen vorgegebene reduzierte Raumtemperatur ein. Begeben sie sich von der Arbeit nach Hause, erkennt das Smart Home-System die Annäherung und fährt die Heizung wieder hoch. Alle Systeme, die mit Geofencing arbeiten, sind Multi-User-fähig, d.h. die Heizung fährt nur runter, wenn alle Bewohner das Haus verlassen haben.
- **Fensterkontakte:** Diverse Hersteller wie z.B. Homematic IP haben optische und magnetische Fenstersensoren oder Fenstergriff Sensoren, die mit dem smarten Thermostat kommunizieren (Contronics o.J.; Homematic IP o.J.). Beim Öffnen der Fenster fährt der Thermostat herunter, beim Schließen wieder hoch. Dies ist sinnvoll, wenn vergessen wird, ein Fenster nach Verlassens des Raumes wieder zu schließen – ansonsten würde die Heizung gegen die einströmende kalte Luft anheizen. Fensterkontakte haben einen weiteren Pluspunkt: Sie können für mehr Sicherheit des Wohneigentums dienen, denn im Falle eines Einbruchs alarmieren Sie den Nutzer genauso wie eine Alarmanlage.

Nachhaltige Bau- und Sanierungsplanung

Eine umfassende Planung kann viel zur Energieeffizienz und Energieeinsparung von Gebäuden beitragen. Für nachhaltige Gebäude, sowohl Nachhaltigkeit im Bau als auch im Betrieb, ist eine ganzheitliche und gewerkeübergreifende Planung essentiell. In allen Planungs-, Bau- und Bewirtschaftungs Tätigkeiten sollten Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigt werden, um die Nachhaltigkeitsqualität eines Gebäudes herzustellen (Neubau), aufrechtzuerhalten (Betrieb) und zu verbessern (Bauen im Bestand).

Die Bedeutung bereits in der frühen Planungsphase, Nachhaltigkeit, auch in der Betriebsphase, zu berücksichtigen wird klar, wenn man die durchschnittliche Lebensdauer von Haustechnik betrachtet. Das Umweltbundesamt (UBA) quantifiziert in der Studie “Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus” für Wohngebäude beispielsweise eine Lebensdauer für die Wärmeerzeugung mit Gas und

Solar von 18 Jahren und für die Wärmeerzeugung mit BHKW von 20 Jahren (UBA 2019 a). Damit legen Entscheidungen über Wärmeerzeuger auf zwei Jahrzehnte fest, welche Art genutzt wird. Mit jeder Entscheidung für eine bestimmte Variante wird die Art eines angeschafften Systems also auf zwei Jahrzehnte festgelegt. Daher ist eine frühe, umfassende Planung 'Phase Null' wichtig. In dieser Phase werden die Weichen gestellt, dies gilt sowohl im Neubau als auch im Bestandsbau (Leichtbau BW 2022). Möglichst alle am Bau beteiligten Gruppen und deren Perspektiven (Architektur, Haustechnik, Nutzer*innen) sollten in diese Phase mit einbezogen werden. Beispielsweise muss die Lüftungsplanung in Wohngebäuden in der Vorentwurfsphase beginnen und interdisziplinär geplant werden (UBA 2020a).

Für ein ganzheitlich geplantes Gebäude sind Konzepte erforderlich, mit denen verschiedene geeignete Maßnahmen von der planerischen bis zur Ausführungsebene ausgewählt werden. Nicht nur Energieeffizienz, sondern auch weitere Faktoren müssen hierbei berücksichtigt werden. Im Zentrum eines umweltschonenden und energieeffizienten Entwurfs stehen folgende Planungskonzepte mit den jeweiligen wesentlichen Punkten (BMWSB o.J.):

- Energiekonzept
 - Minimierung des Energiebedarfs durch angemessene Nutzervorgaben
 - bauliche Maßnahmen (z.B. Wärmeschutz und Lüftung)
 - effiziente Energiesysteme und Betrieb (z.B. Wärmerückgewinnung und Nutzung regenerierbarer Kühlquellen)
 - Nutzung erneuerbarer Energie, die idealerweise vorwiegend am Gebäude erzeugt wird
- Baustoffkonzept
 - Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Baustoffe und der Konstruktion
 - Ökobilanz / Wirkungen für die globale Umwelt
 - Wirkungen für die lokale Umwelt (u.a. Schadstoffarmut)
 - Rückbau-, Trennungs- und Verwertungsmöglichkeiten der verwendeten Bauprodukte
- Wasserkonzept
 - Vermeidung von Trinkwasserverbrauch
 - Verwendung von Regenwasser und Grauwasser
 - Regenrückhaltung und -versickerung

Effiziente Planung, die umfassend diverse Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigt, ist heute bei allen Gebäuden, vor allem bei allen Neubauten, schon aus den gesetzlichen Rahmenbedingungen zentral: gemäß der EU-Gebäuderichtlinie müssen alle Neubauten Niedrigenergiestandards erfüllen. Darüber hinaus gibt es die KfW-Effizienzhaus

Standards: je nachdem wie viel weniger Energie ein Haus im Bezug auf einen definierten Referenzstandard verbraucht, desto höher die Förderung für die sich der Bauherr/die Bauherrin qualifiziert. Zusammen mit den Einsparungen durch reduzierten Energieverbrauch im Betrieb sollen die Förderungen Anreize schaffen, möglichst energieeffizient zu bauen (Effizienzhaus-online o.J.b). Noch weitere Schritte in Energieeinsparung bzw. darüber hinaus in eine positive Energiebilanz gehen das Passivhaus und das Plus-Energiehaus.

Beim Passivhaus benötigt die Heizung keinen Eintrag von Primärenergie. Wichtig sind hierbei sehr gute Gebäudedämmung und eine kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung (Effizienzhaus-online o.J.b). Wie gut Passivhäuser im Vergleich mit sehr effizienten Niedrigenergiehäusern abschneiden ist umstritten: die Kosten für den Bau von Niedrigenergiehäusern sind beispielsweise geringer, unter Umständen kann ein solches Haus mit geringeren Mitteln eine höhere Effizienz erreichen (ebd.).

Das Plus-Energiehaus erzeugt, wie der Name schon sagt, mehr Energie als es für Wärme und Strom im Jahresmittel verbraucht. Der Energieüberschuss kann beispielsweise für Elektromobilität genutzt werden oder wird ins Netz eingespeist. So wird einerseits die Haushaltskasse aufgebessert und andererseits ein Beitrag zum Energieversorgungssystem, das in Zukunft vermehrt auch auf dezentrale Produktion setzen muss (Effizienzhaus-online o.J.c). Eine zentrale Möglichkeit zur Energieerzeugung ist Solarenergie, eine weitere Option ist mittels Kraft-Wärme-Kopplung, bei der die Erzeugung von Heizwärme mit der Erzeugung von Strom verbunden ist. Die zweite Option ist allerdings nicht immer effizient möglich, gerade bei gut gedämmten Einfamilienhäusern ist der Wärmebedarf so gering, dass auch die elektrische Leistung begrenzt ist. Dies kann aber durch Wärmeverbundnetze ausgeglichen werden (ebd.).

Mobilität

Im Rahmen der sogenannten Verkehrswende spielt die Dekarbonisierung der Antriebe eine zentrale Rolle, denn die Treibhausgasemissionen der Mobilität sind, mit rund 149 Mio. t CO₂-Äq bzw. fast 20% aller CO₂-Emissionen allein in Deutschland im Jahr 2021, maßgeblich für den Klimawandel verantwortlich (UBA 2022e). Differenziert nach verschiedenen Verkehrsarten zeigt sich, dass der Straßengüterverkehr 2020 rund 46 Mio. t CO₂-Äq bzw. 30% der Verkehrsemissionen verursacht (ebd.) hat. Es sind somit zwei Trends wirksam: Zum einen eine Minderung der Emissionen (insbesondere der Schadstoffe), die aber bei LKWs deutlich größer sind (-32%) als bei PKWs (-5%). Zum anderen stieg für beide die Zahl der gefahrenen Kilometer - die PKW-Fahrleistung hat sich seit 1995 verdoppelt, die des Güterverkehrs per LKW ist um 74% gestiegen (ebd.).

Logistik

Die Wahl der Transportmittel hat einen unmittelbaren Einfluss auf die Treibhausgasemissionen, wie folgende Tabelle zeigt (Statista 2022b, UBA 2021b, FIS 2012, carboncare o.J.):

Transportmittel	Durchschnittliche CO ₂ -Emissionen pro Tonnenkilometer in Gramm
Hochsee-Massengutfrachter (UBA bzw. carboncare)	17 bzw. 6-7
LKW (alle Quellen)	105 bis 118
Binnenschiff (FIS 2012, Statista 2022b und UBA 2021b)	30 - 33
Güterzug (UBA 2021b und Statista 2022b)	16 bis 17

Geschäftsreisen

Bei Geschäftsreisen besteht vielfach die Wahl zwischen Bahn und Pkw-Nutzung, wobei die PKW-Nutzung im Mittel zum Vier- bis Fünffachen an CO₂-Emissionen führt (Mein Klimaschutz o.J.). Bei innerdeutschen Flügen ist man oder Frau aufgrund der langen Check-In-Zeiten im Prinzip kaum schneller als mit der Bahn. Hier kann der UmweltMobilCheck der Deutschen Bahn eine Orientierung geben (Deutsche Bahn o.J.). Eine Fahrt von Berlin nach Hamburg führt bei Pkw-Nutzung zu etwa 54 kg CO₂-Äq, bei Bahnnutzung zu 0,03 kg CO₂-Äq.

Sollten Geschäftsreisen mit dem Flugzeug gelegentlich unvermeidbar sein, bieten sich Kompensationsmodelle zum Ausgleich der Klimawirkung an, bei denen eine Klimakompensation erfolgt. Hierbei wird ein Geldbetrag entsprechend der verursachten Emissionen überwiesen und dieser wird in Klimaschutzprojekte investiert z.B. in den Moorschutz oder Wiederaufforstung (vgl. atmosfair o.J.). Bei einem Hin- und Rückflug von Berlin nach Shanghai entstehen ca. 4.800 kg CO₂ Emissionen. Diese können durch 111 € Ausgleichszahlung kompensiert werden.

Fuhrpark für den motorisierten Individualverkehr

Der motorisierte Individualverkehr (MIV) wird mit PKW's durchgeführt. Alle Unternehmen besitzen zumindest ein Fahrzeug für den Geschäftsführer, größere Unternehmen stellen Dienstfahrzeuge, große Unternehmen haben ganze Fahrzeugflotten. Laut Statista gab es 2020 mehr als 5 Millionen PKW's mit einem gewerblichen Fahrzeughalter (ca. 11% des Fahrzeugbestandes, Statista 2022b). Um die Emissionen im Verkehr deutlich zu reduzieren - dies ist unbedingt notwendig, um die international vereinbarten Klimaziele zu erreichen - muss der Fuhrpark auf emissionsarme Fahrzeuge umgestellt werden. Bei der Umstellung des betrieblichen Fuhrparks von Fahrzeugen mit (fossilen) Verbrennungsmotoren auf alternative

Antriebskonzepte stehen derzeit Elektrofahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebskonzepten, Wasserstofffahrzeuge mit Brennstoffzellen sowie die Nutzung biogener Kraftstoffe in der Diskussion:

Geschäftsfahrzeuge und Antriebskonzepte

Darüber hinaus stellt sich die Frage nach den "Kraftstoffen" für die Mobilität der Zukunft. In der Diskussion stehen Elektrofahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebskonzepten, Wasserstofffahrzeuge mit Brennstoffzellen sowie biogene Kraftstoffe.

- **Hybrid-Fahrzeuge:** Es gibt verschiedene Typen wie Mild-Hybrid, Vollhybrid, Plug-in-Hybrid oder Range Extender, die einen mehr oder weniger starken Verbrenner mit einem Elektroantrieb kombinieren. Solange die Reichweite reiner E-Autos noch begrenzt ist, wird es auch diese Fahrzeuge geben.
- **Elektroauto mit Batterie:** Ein vollelektrisches Fahrzeug (BEV) wird ausschließlich von einem batteriebetriebenen Elektromotor angetrieben. Der wird über das Stromnetz aufgeladen, das heißt: er benötigt keinen fossilen Kraftstoff. Dadurch fährt das Fahrzeug zu 100% emissionsfrei. Allerdings ist hier der Strommix von Bedeutung: Der Anteil von Gas und Kohle führt zu Emissionen bei der Stromerzeugung.
- **Elektroauto mit Brennstoffzelle:** Ein Brennstoffzellenauto (FCEV) wird ausschließlich von einem Elektromotor angetrieben. Der Strom wird in einer Wasserstoff-Brennstoffzelle erzeugt. Bei der Nutzung von Wasserstoff in Fahrzeugen ist von entscheidender Bedeutung, dass dieser mit elektrischem Strom aus erneuerbaren Energien hergestellt wird, ein sogenannter grüner Wasserstoff - denn nur dann ist sein Einsatz in Fahrzeugen CO₂-frei und damit klimaneutral. Die Herstellung von grünem Wasserstoff erfolgt mittels Elektrolyse von Wasser.
- **Biogene Kraftstoffe:** Hier wird der Kraftstoff aus Pflanzen erzeugt. Dies können Öl-Pflanzen wie Raps sein, aus denen Biodiesel, oder Zuckerrohr, aus dem Ethanol erzeugt wird. Letzteres ist z.B. in Brasilien eine wichtige Kraftstoffquelle. Die Antriebstechnik ist vergleichbar mit konventionellen Verbrennungsmotoren mit der Ausnahme, dass das bei der Verbrennung entstehende CO₂ klimaneutral ist, denn die bei der Verbrennung freigesetzte CO₂-Menge entspricht in etwa derjenigen Menge, die die Pflanze während ihres Wachstums mittels Photosynthese der Atmosphäre entzogen hatte.

Wie wird sich die individuelle und die gewerbliche Mobilität der Zukunft gestalten? Vermutlich wird es die Elektromobilität mit Batterien für PKW und kleine Nutzfahrzeuge bis 3,5 Tonnen sein. Von entscheidender Bedeutung ist, dass der elektrische Strom zur Ladung der Fahrzeugbatterie mit erneuerbaren Energien erzeugt wird. Bei LKW in der

Klasse ab 7,5 t ist die Frage noch nicht beantwortet – hier konkurrieren Elektromobilität mit Batterien und Fahrzeuge mit Brennstoffzellen noch miteinander.

Kraftstoffe für die Mobilität

Wie oben dargestellt, ist die Frage nach den Kraftstoffen noch nicht abschließend geklärt, denn alle Energieträger haben Vor- und Nachteile sowie benötigen unterschiedliche Infrastrukturen, die bis heute noch nicht annähernd so ausgebaut sind, dass eine klimafreundliche Mobilität möglich ist:

- **Elektromobilität:** Als Elektromobilität wird die Nutzung von elektrischem Strom zum Antrieb von Fahrzeugen bezeichnet. Dabei wird elektrischer Strom in Batterien geladen, die im Fahrbetrieb ihre Energie wiederum an einen Elektromotor abgeben. Von entscheidender Bedeutung ist, dass der elektrische Strom zur Ladung der Fahrzeugbatterie mit erneuerbaren Energien erzeugt wird.
- **Biogene Kraftstoffe:** Bei biogenen Kraftstoffen handelt es sich um flüssige Energieträger, die aus Pflanzen, Pflanzenresten und -abfällen oder Gülle statt aus Erdöl gewonnen werden. Die Antriebstechnik ist vergleichbar mit konventionellen Verbrennungsmotoren mit der Ausnahme, dass das bei der Verbrennung entstehende CO₂ klimaneutral ist, denn die bei der Verbrennung freigesetzte CO₂-Menge entspricht in etwa derjenigen Menge, die die Pflanze während ihres Wachstums mittels Photosynthese der Atmosphäre entzogen hatte.
- **Wasserstoff:** Bei der Nutzung von Wasserstoff in Fahrzeugen ist von entscheidender Bedeutung, dass dieser mit elektrischem Strom aus erneuerbaren Energien hergestellt wird, ein sogenannter grüner Wasserstoff- denn nur dann ist sein Einsatz in Fahrzeugen CO₂-frei und damit klimaneutral. Die Herstellung von grünem Wasserstoff erfolgt mittels Elektrolyse von Wasser. Bei dem dazu eingesetzten elektrischen Strom handelt es sich oftmals um Strom aus Offshore-Windkraftanlagen, bei dem Wasserstoff als Speicher genutzt wird und auf diese Weise eine zeitliche und örtliche Entkopplung zwischen Erzeugung und Verbrauch erreicht wird. Kostenintensive Übertragungsleitungen werden somit überflüssig. Die Nutzung von grünem Wasserstoff in Fahrzeugen erfolgt in Brennstoffzellen. Diese kann als umgekehrte Elektrolyse aufgefasst werden, bei der der Wasserstoff wieder mit Sauerstoff zu Wasser reagiert und dabei elektrischer Strom entsteht.
- **Synthetische Kraftstoffe:** E-Fuels, wie synthetisch erzeugte Kraftstoffe auch genannt werden, werden durch Power-to-Liquid-Verfahren aus Strom, Wasser und Kohlenstoffdioxid hergestellt. Zunächst wird Wasserstoff erzeugt. Unter Hinzugabe von Kohlendioxid entsteht ein Synthesegas, das dann unter hohem Druck und hohen Temperaturen synthetisiert wird. Durch Aufbereitung in Raffinerien erhält man das E-Fuel. Die Technologie wird zusammenfassend als

PtL “Power-to-Liquid”-Technologie bezeichnet. Damit synthetische Kraftstoffe nachhaltig sein können, ist es essentiell, dass grüner Wasserstoff genutzt wird und dass auch der darüber hinausgehende Energiebedarf mit erneuerbaren Energien gedeckt wird. Da die bei der Verbrennung freigesetzte CO₂-Menge in etwa derjenigen Menge, die bei der Herstellung gebunden wird, entspricht, sind synthetische Kraftstoffe CO₂-Neutral (BDI 2023). Jedoch werden weiterhin Wasserdampf, Partikel, Schwefel- und Stickoxide ausgestoßen, die auch zur Erderwärmung beitragen (UBA 2022m). Zudem ist das Verfahren insgesamt sehr energieintensiv und entsprechend teuer - derzeit um ein Vielfaches teurer als fossile Kraftstoffe (BDI 2023). Für PKWs sind synthetische Treibstoffe daher ineffizient (Quaschnig und Quaschnig 2022, UBA 2022n). Die Nutzung im Flugverkehr, sowie möglicherweise beim Antrieb von LKWs und Schiffen können synthetische Kraftstoffe dagegen eine wichtigere Rolle spielen (UBA 2022n). Vorteile von synthetischen Kraftstoffen gegenüber anderen nachhaltigen Kraftstoffen sind, dass die bestehenden Infrastrukturen und Raffinerien zum Großteil genutzt werden können (BDI 2023).

Nutzungsverhalten

Neben der Umrüstung der Dienstwagen auf elektrische Antriebe sollte auch der individuelle Umgang mit Mobilität überdacht werden. Es können beispielsweise THG-Emissionen eingespart werden, wenn die Mitarbeitenden zu Fuß oder mit dem Rad zum Arbeitsplatz im Handel kommen, sofern aus gesundheitlichen Gründen oder einer zu großen Distanz zum Arbeitsort nichts dagegen spricht. Zudem kann der Betrieb die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel z.B. durch ein Jobticket attraktiver gestalten. Auch die Förderung von Dienstfahrrädern ist in einigen Städten und Kommunen möglich. Zusätzlich ist die Bildung von Fahrgemeinschaften denkbar, wenn es sich von den Arbeitszeiten und den Wegen anbietet. Strecken, die mit dem Auto gefahren werden müssen, sollten optimiert werden (Routenoptimierung), insbesondere gilt dies für den Transport von Waren. Außerdem hat die Fahrgeschwindigkeit einen erheblichen Einfluss auf die ausgestoßenen THG-Emissionen. Laut Umweltbundesamt verursachten im Jahr 2020 Pkw und leichte Nutzfahrzeuge auf Bundesautobahnen in Deutschland THG-Emissionen in Höhe von rund 30,5 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten. Durch die Einführung eines generellen Tempolimits von 120 km/h auf Bundesautobahnen würden die Emissionen um jährlich 2,0 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente reduziert und ein Tempolimit von 100 km/h würde sie um 4,3 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr mindern (UBA 2022b). Auch ohne generelles Tempolimit kann jede*r die Fahrgeschwindigkeit reduzieren, das spart nicht nur THG-Emissionen sondern auch Kosten ein (mobile.de 2020). Denn bei hohen Geschwindigkeiten verbrauchen Fahrzeuge überdurchschnittlich viel Kraftstoff. Nach Angaben des ADAC verbraucht ein

Mittelklasseauto um bis zu zwei Drittel mehr Kraftstoff, wenn es statt 100 km/h mit 160 km/h fährt (ebd.).

Nutzfahrzeuge: Elektrisch oder mit Brennstoffzellen?

In der gewerblichen Wirtschaft sind die mit fossilen Treibstoffen wie Diesel betriebenen Verbrennungsmotoren ab 3,5 t bis hin zu den üblichen 40 Tonnen und auch die schweren Nutzfahrzeuge (z.B. Abfall-Sammelfahrzeuge, Schwertransporter, Zementmischer) von besonderer Relevanz. Maßgeblich angeschoben wird die Verkehrswende im Schwerlastverkehr durch die EU-Klimaziele, den CO₂-Ausstoß von neuen Pkw's bis 2030 um 37,5 Prozent zu senken und dies bereits in fünf Jahren auch auf schwere Nutzfahrzeuge auszudehnen. Während es im PKW-Bereich fast ausschließlich batteriebetriebene Konzepte sind, kommen im Bereich der Nutzfahrzeuge möglicherweise neben Batterie-angetriebenen Fahrzeugen auch Brennstoffzellen in Betracht. Wie sich dies entwickeln wird, ist noch nicht klar.

Batteriefahrzeuge haben zwei Nachteile. Zum einen den schweren und teils voluminösen Elektrostrang. Zum anderen fehlt bisher gänzlich eine Ladeinfrastruktur für Elektro-LKW's, so dass diese Langstreckenfahrzeuge nur zwischen zwei definierten Stationen pendeln können, um z.B. beim Abladen erneut geladen zu werden. Alternativ sind jedoch die kleineren Modelle ("7,5-Tonner"), die besonders gut für den innerstädtischen Lieferverkehr geeignet sind. Volvo z.B. bietet seit Mitte 2022 Elektro-LKWs unterschiedlicher Größe an (vgl. Volvo o.J.). Die Volvo-Modelle sind alle für den regionalen Verkehr konstruiert. Der FM Electric hat ein Gesamtzuggewicht von 44 t, eine Leistung von 490 kW, eine Batterieleistung von bis zu 540 kWh (zum Vergleich: Der Hyundai Kona / Midi-SUV hat eine Leistung von 64 kWh) und eine Reichweite von bis zu 390 km (im Sommer). Die Zuladung des Volvo-LKWs beträgt 23 t. Die Vorteile sind der niedrige Geräuschpegel (Anlieferung auch in Nachtstunden) und die Emissionsfreiheit (keine Fahreinschränkungen in städtischen Gebieten mit Emissionsbeschränkungen). Bei Gleichstromladung mit 250 kW ist eine Vollladung in 2,5 h möglich.

Alternativ zum E-LKW gibt es viele Hersteller von Nutzfahrzeugen mit Brennstoffzellen. Um bis zum Jahr 2025 bei schweren Nutzfahrzeugen 15 Prozent CO₂-Emissionen und bis 2030 sogar 30 Prozent einzusparen, erscheint die Brennstoffzellentechnologie daher besonders vielversprechend. Denn einerseits sind konventionelle Lkw-Antriebsstränge mit Dieselaggregaten bereits in hohem Maße optimiert und bieten daher nur noch wenig Einsparpotenzial. Andererseits lassen sich bestehende Lösungen zum batterieelektrischen Antrieb von Pkw nicht direkt von Pkw's auf Lkw's übertragen, da die benötigte Batterie zu schwer und die Ladezeiten zu lang wären.

Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge sind leiser, wartungsärmer und – bei Herstellung des Wasserstoffs aus regenerativen Quellen – CO₂-neutral. Umweltzonen und

emissionsbedingte Durchfahrtsverbote stellen keine Probleme mehr dar. Zwar sind erste Fahrzeuge bereits auf dem Markt verfügbar, jedoch muss die Brennstoffzellenentwicklung bei einer Einführung bis 2025 deutlich beschleunigt werden (KIT 2020).

Gleichwohl ist die Entwicklung von Lkw-Antrieben auf Wasserstoffbasis branchenweit auf einem nie dagewesenen Höchststand. Etablierte Unternehmen, darunter Hersteller wie Hyundai oder Daimler Trucks, aber auch völlig neue Anbieter wie die US-amerikanische Firma Nikola, die in Kooperation mit IVECO und Bosch an der Marktreife von Brennstoffzellen-Lkws feilt, überbieten sich im Rennen um Effizienz, Reichweite und Fortschrittlichkeit (Volvo o.J.; heise 2022; Bosch o.J.; autor motor sport 2022; Handelsblatt 2022). Verwunderlich ist diese Entwicklung angesichts der Vorteile von grünem Wasserstoff nicht: Große Tanks ermöglichen hohe Reichweiten mit einer Tankfüllung. Verschiedene Hersteller arbeiten mit Konzepten, die Reichweiten zwischen 400 und über 1000 Kilometern versprechen. Der Tankprozess ähnelt dabei dem bisherigen Ablauf. Ein Umstellen ganzer Prozesse auf längere Lade- und Standzeiten ist daher nicht nötig. Und Innenstädte, die lärm- und feinstaubbelastet sind, können schon in wenigen Jahren deutlich entlastet werden.

Zwischen Pkw und schweren Nutzfahrzeugen liegen leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5 t. Genau die nehmen immer mehr Hersteller als Versuchsballon für den Wasserstoffantrieb mit Brennstoffzelle, meist in Verbindung mit einer Plug-in-Ladelösung. So lässt Stellantis, der Mutterkonzern von Opel, Peugeot und Citroën, in den kommenden zwei Jahren in Rüsselsheim eine Kleinflotte von 2000 Fahrzeugen von Elektro auf Wasserstoff, jeweils mit einer Reichweite von 400 Kilometern (bfp 2022) umrüsten. Die Brennstoffzellentechnologie wird sich vermutlich nicht im PKW-Segment durchsetzen. Eine Studie des österreichischen Umweltbundesamtes kam schon 2014 mit einer Ökobilanz zum Schluss, dass Elektroantriebe die klimafreundlichsten Antriebe noch vor der Brennstoffzellentechnologie sind (Umweltbundesamt 2014). Neuere Untersuchungen zeigen aber, dass die Brennstoffzellentechnologie mit zunehmender Verbesserung der Herstellung von Wasserstoff sich durchaus im Lastverkehr durchsetzen könnte (Reichweite, Tankzeiten, Temperaturstabilität u.a., vgl. Unwerth 2020).

Umweltschutz und Energie

Ohne Frage führt die Nutzung fossiler Energieträger aufgrund des verursachten Klimawandels aber auch der Atomkraft aufgrund der ungelösten Endlagerfrage zu wesentlich größeren Problemen als die Nutzung erneuerbarer Energieträger. Darüber hinaus haben vor allem fossile Energieträger weitere negative Effekte auf Ökologie und Gesundheit. Aber auch bei erneuerbaren Energien gibt es z.T. Zielkonflikte und für die

Umwelt relevante Faktoren, die bedacht werden müssen. Beispielhaft sollen einige wichtige Themen kurz vorgestellt werden.

Fracking

Fracking wird bei der Erdgas- und Erdölgewinnung und zur Erschließung von Tiefengeothermie eingesetzt. Unter hohem Druck wird Wasser mit Zusatzstoffen in das Speichergestein gepumpt, da es von sich aus nicht durchlässig genug ist. Es können Verunreinigungen von Grund- und Trinkwasser sowie Luftemissionen auftreten und es besteht ein hoher Flächen- und Wasserverbrauch. Kritisch sind besonders die eingesetzten Chemikalien, die deshalb in Deutschland stark reglementiert sind. Besonders problematisch ist der Prozess bei der Erdgasförderung, weshalb "die Erdgasgewinnung in Schiefer-, Ton-, Mergel- und Kohleflöz-Gestein (sogenannte unkonventionelle Fracking-Vorhaben) aufgrund der fehlenden Erfahrungen und Kenntnisse in Deutschland grundsätzlich verboten ist." (UBA, 2017).

Feinstaub

Bis Ende des letzten Jahrhunderts waren Smog und saurer Regen mit ihren gesundheitlichen Folgen (Atemwegserkrankungen) bzw. Umweltfolgen (Baumsterben und Versauerung von Gewässern) eine offensichtliche Wirkung der Nutzung fossiler Brennstoffe. Durch Rußfilter, Verwendung schwefelarmer Brennstoffe und der Entschwefelung von Rauchgasen wurden diese Probleme in der EU weitgehend gelöst. Geblieben sind Gesundheitsfolgen durch Feinstaub und Stickoxiden, denen mit neuen Filteranlagen, Katalysatoren, AdBlue und strengen Abgasnormen begegnet wird. Seit 1995 haben sich die als besonders gefährlich geltenden Feinstaubemissionen fast halbiert, von ca. 345.000 t auf 180.000 t (Statista 2022). Eine wirksame Alternative gegen Feinstaub ist vor allem der Umstieg auf E-Mobilität, da diese in Elektromotoren nicht entstehen. Allerdings gibt es eine neue konterkariierende Entwicklung: Es werden immer mehr Kaminöfen in Betrieb genommen: Mehr als 11 Millionen (Tagesschau 2022). Das Umweltbundesamt sieht diesen Trend sehr kritisch (ebd.): "Die Kaminöfen, die sich immer stärkerer Beliebtheit erfreuen, belasten die Luftqualität beachtlich ...Die Feinstaubemissionen aus der Holzverbrennung übersteigen in Deutschland die Auspuff Emissionen von Lkw und Pkw bei weitem".

Flächenkonkurrenz

Flächenkonkurrenz gibt es grundsätzlich für alle Einrichtungen und Aktivitäten. Wo ein Auto parkt, kann kein Fahrrad stehen, wo eine Schule gebaut wird, finden keine Wohngebäude mehr Platz. Bei fossilen Energien ist die im Tagebau gewonnene Braunkohle das offensichtliche Beispiel für Flächenverbrauch und damit Konkurrenz zu anderen Nutzungsformen über Jahrzehnte hinweg. Erneuerbare Energien haben eine

geringere Energiedichte als (abgebaute) fossile Brennstoffe. d.h. es wird mehr Fläche benötigt, um (pro Jahr) eine bestimmte Menge an Energie zu gewinnen. Deshalb muss beim Umstieg auf EE besonders auf eine Minimierung des Flächenverbrauchs geachtet werden. Dies geschieht insbesondere durch Doppelnutzung von Flächen, wo immer dies möglich ist (Solaranlagen auf Hausdächern) und durch Nutzung biogener Abfallstoffe zur Biogasgewinnung, die nicht extra angebaut werden müssen. Innerhalb der EE ist Bioenergie besonders flächenintensiv. Ihr Energieertrag liegt zwischen 1,5 und 7 kWh_{th}/m²/a (Kilowattstunden thermisch pro Quadratmeter und Jahr). Für andere EE liegen die Werte z.B. für die bodennahe Geothermie bei 30 - 40 kWh_{th}/m²/a und für Solarwärme bei 100 bis 230 kWh_{th}/m²/a (Dumke, 2017). PV liegt mit der Energiedichte in der Nähe von Solarwärme und für Wind ist der Wert noch höher. Hier hängt die Angabe aber davon ab, wie der "Flächenverbrauch" definiert wird. Die Fläche wird zwar bis auf wenige Meter um die Anlage nicht verbraucht, kommt aber bspw. für Wohnnutzung in einem wesentlich größeren Bereich nicht mehr infrage.

Quellenverzeichnis

- atmosfair gGmbH (o.J.): Flüge kompensieren. Online: <https://www.atmosfair.de/de/kompensieren/flug/>
- auto motor sport (2022): Wasserstoff-Lkw kommt auch nach Deutschland. Online: <https://www.auto-motor-und-sport.de/elektroauto/hyundai-xcient-fuel-cell-fcev-brennstoffzelle-lkw-wasserstoff/>
- BAFA Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (o.J.): Bundesförderung für effiziente Gebäude. Sanierung Wohngebäude. Online: https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/Sanierung_Wohngebaeude/sanierung_wohngebaeude_node.html;jsessionid=4749ABEB17FD41EFDC5EAB9DC87E3B9C.internet281
- Batterieforum (o.J.): Lexikon. Online: <https://www.batterieforum-deutschland.de/infportal/lexikon/redox-flow-batterien/>
- BDI Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (2023): E-Fuels: CO₂-neutrale Kraftstoffe der Zukunft. Online: <https://bdi.eu/artikel/news/e-fuels-co2-neutrale-kraftstoffe-der-zukunft>
- bfp (2022): Online: Der Nutzfahrzeugbereich wird hydrogen. www.fuhrpark.de/der-nutzfahrzeugbereich-wird-hydrogen
- BGBl (2021): Erstes Gesetz zur Änderung des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes vom 20. Mai 2021. Online: <https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?>
- BGBl (2021): Verordnung zur Neuordnung der Ausbildung in handwerklichen Elektroberufen. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2021 Teil I Nr. 15, ausgegeben zu Bonn am 9. April 2021. Online: <https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?>
- BGR (2022): Rohstoffsteckbriefe - Lithium. Online: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohstoffsteckbrief_li.pdf
- BIBB Bundesinstitut für Berufsbildung (2020): Empfehlung des Hauptausschusses des Bundesinstituts für Berufsbildung vom 17. November 2020 zur „Anwendung der Standardberufsbildpositionen in der Ausbildungspraxis“. BAnz AT 22.12.2020 S4. Online: <https://www.bibb.de/dokumente/pdf/HA172.pdf>
- BINE (2013): Solarthermische Kraftwerke Konzentriertes Sonnenlicht zur Energieerzeugung nutzen BINE-Themeninfo II/2013 Herausgeber FIZ Karlsruhe GmbH · Leibniz-Institut für

Informationsinfrastruktur Online:

<https://api.deutsche-digitale-bibliothek.de/binary/d12a1876-e90c-4de4-aa5d-6f53b153096d.pdf>

- Bitkom (Hrsg.) (2021): Klimaschutz und Energieeffizienz durch digitale Gebäudetechnologien https://www.bitkom.org/sites/main/files/2021-11/211111_st_klimaschutz-und-energieeffizienz.pdf
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022): Digitalisierung und Nachhaltigkeit – was müssen alle Auszubildenden lernen? Online: <https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/berufliche-bildung/rahmenbedingungen-und-gesetzliche-grundlagen/gestaltung-von-aus-und-fortbildungsordnungen/digitalisierung-und-nachhaltigkeit/digitalisierung-und-nachhaltigkeit>
- BMWK (o.J.): Smart Meter: Intelligente Messsysteme für die Energiewende. Online: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Energie/smart-meter.html>
- BMWSB (o.J.): Nachhaltiges Bauen – Umweltschonend und Energieeffizienz. Online: <https://www.nachhaltigesbauen.de/themen/umweltschonendund-energieeffizient/>
- Bosch (o.J.): Truck Yeah! Online: <https://www.bosch.com/de/stories/brennstoffzellen-lkw-nikola-two/>
- BR Bayerischer Rundfunk (o.J.): Erdgasleitung wird zu 100 % auf Wasserstoff umgestellt. Online: <https://3r-rohre.de/industrie-wirtschaft/17-11-2020-erdgasleitung-wird-zu-100-auf-wasserstoff-umgestellt/>
- Buchert, Matthias und Sutter, Jürgen (2020): Stand und Perspektiven des Recyclings von Lithium-Ionen-Batterien aus der Elektromobilität. Online: <https://www.erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/2020-09/Strategiepapier-Mercator-Recycling-Batterien.pdf>
- Bundestag (o.J.): Strom, Wärme, Kälte: Das Energiekonzept des deutschen Bundestages. Online: <https://www.bundestag.de/besuche/architektur/energie>
- Capital (2022): Lithium-Reserven – eine Frage der Prognose. Online: <https://www.capital.de/wirtschaft-politik/lithium-reserven-eine-frage-der-prognose>
- Chemie Technik (2021): BASF besiegelt Beteiligung am größten Windpark der Welt. Online: <https://www.chemietechnik.de/energie-utilities/basf-besiegelt-beteiligung-am-groessten-windpark-der-welt-332.html>
- CO₂ Online (2021): Funktionsweise der Brennstoffzellenheizung: neue Technik, alte Idee, viele Vorteile. Online: <https://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen/brennstoffzellen-heizung/brennstoffzellen-heizung-technik-funktionsweise/>
- CO₂ Online (o.J.): Wärmepumpen-Vergleich: Heizen mit Luft, Wasser oder Erdwärme? Online: <https://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen/waermepumpe/waermepumpe-arten-im-vergleich>
- CO₂ Online (o.J.a): Solarthermie: Funktionsweise, Systeme, Kosten und Förderung. Online: <https://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen/solarthermie/>
- contronics (o.J.): Die Tür-Fensterkontakte von Homematic IP. Online: <https://www.contronics.de/newsletter/2021/2103-homematic-ip-tuer-fensterkontakte.html>
- DEKSOR Deutsche Kontrollstelle EU-Sorgfaltspflichten in Rohstofflieferketten (2022): Orientierungshilfe für betroffene Unternehmen bei Kontrollen nach Art. 11 VO (EU) 2017/821 (2022) (PDF, 3 MB)
- Destatis Statistisches Bundesamt (2022): Indikatoren der UN-Nachhaltigkeitsziele. Online: <http://sdg-indikatoren.de/>
- Destatis Statistisches Bundesamt (2022a): 2,2 Millionen Photovoltaik-Anlagen in Deutschland installiert. Pressemitteilung Nr. N 037 vom 21. Juni 2022. Online: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/06/PD22_N037_43.html

- Deutsche Bahn (o.J.): Der Mobilitätscheck der Deutschen Bundesbahn. Online: <https://www.umweltmobilcheck.de>
- Deutsche Energie-Agentur (dena, 2021): dena-Gebäudereport 2021 – Fokusthemen zum Klimaschutz im Gebäudebereich. Online: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/dena-GEBAEUDEREPORT_2021_Fokusthemen_zum_Klimaschutz_im_Gebaeudebereich.pdf
- Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2022): dena-Gebäudereport 2023. Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand. Online: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/dena_Gebaeudereport_2023.pdf
- Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2022b): Energy Communities: Beschleuniger der dezentralen Energiewende https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/dena-ANALYSE_Energy_Communities_Beschleuniger_der_dezentralen_Energiewende.pdf
- Deutscher Bundestag (o.J.): Strom, Wärme, Kälte: das Energiekonzept des Deutschen Bundestages. Online: <https://www.bundestag.de/besuche/architektur/energie>
- DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (2010): Frage der Woche: Wie viel Energie schickt uns die Sonne jeden Tag? <https://www.dlr.de/blogs/home/energie/frage-der-woche-wie-viel-energie-schickt-uns-die-sonne-jeden-tag.aspx>
- Dumke (2017): Erneuerbare Energien für Regionen – Flächenbedarfe und Flächenkonkurrenzen. Online: repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/8290
- DW Deutsche Welle (2022): Biogasboom in Dänemark. Online: <https://www.dw.com/de/biogas-boom-in-d%C3%A4nemark-und-deutschland/a-62741950>
- EcoTransIT (o.J.): Emissionsrechner für Treibhausgase und Luftschadstoffe. Online: <https://www.ecotransit.org/de/emissionsrechner/>
- Effizienzhaus-online (o.J.) Reversible Wärmepumpe. <https://www.effizienzhaus-online.de/lexikon/reversible-waermepumpe/>
- Effizienzhaus-online (o.J.b): Niedrigenergiehaus: Aktuelle Energiestandards im Überblick. Online: <https://www.effizienzhaus-online.de/niedrigenergiehaus/>
- Effizienzhaus-online (o.J.c): Energie-Plus-Haus: Das Gebäude als Energieproduzent.. Online: <https://www.effizienzhaus-online.de/energie-plus-haus/>
- Eigensonne (o.J.): Der Wirkungsgrad moderner Solarzellen – einfach und verständlich erklärt. Online: <https://www.eigensonne.de/wirkungsgrad-solarzelle/>
- Energieexperten (2019): Wie gut sind Lithium-Eisen-Phosphat-Stromspeicher? Online <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/stromspeicher/lithium-eisen-phosphat>
- Energieexperten (o.J.): Ratgeber: Kennwerte für den Stromverbrauch von Beleuchtungen. Online: <https://www.energie-experten.org/energie-sparen/energieverbrauch/stromverbrauch-berechnen/stromverbrauch-beleuchtung>
- Energieforschung/Klima- und Energiefonds Österreich (2022): Zukünftige Entwicklung der Raumkühlung durch Klimawandel bis 2050. <https://energieforschung.at/projekt/zukuenftige-entwicklung-der-raumkuehlung-durch-klimawandel-bis-2050/>
- Enterga (o.J.): Stromverbrauch von Licht: Leuchten im Vergleich. Online: <https://www.entega.de/blog/stromverbrauch-licht/>
- ERLP (2017) Attraktive Geschäftsmodelle mit PV-Anlagen. Studie im Auftrag der Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH in Zusammenarbeit mit BET – Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH. Stand: Mai 2017. Online:

- https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/user_upload/broschueren/Energieagentur/Attraktive_Geschaeftsmodelle_mit_PV-Anlagen_201705.pdf
- Erneuerbare Energien / Nicole Weinhold (2021): Redox-Flow-Batterie – Größte Batterie ohne Lithium. Online:
<https://www.erneuerbareenergien.de/transformation/speicher/redox-flow-batterie-groesste-batterie-ohne-lithium>
 - Erneuerbare Energien (2021): Redox-Flo-Batterie soll mit einer Leistung von 800 MWh Lastspitzen puffern. Online:
<https://www.erneuerbareenergien.de/transformation/speicher/redox-flow-batterie-groesste-batterie-ohne-lithium>
 - FAZ-Net Frankfurter Allgemeine Zeitung (2022): Die dunkle Seite der Verkehrswende. Online:
<https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/schneller-schlau/kobalt-aus-kongo-der-dunkle-preis-der-verkehrswende-17731386.html>
 - FfE Forschungsstelle für Energiewirtschaft (2022): Grünes Licht für Wärmepumpen. Online:
<https://www.ffe.de/news/gruenes-licht-fuer-waermepumpen-waermepumpen-ampel-zeigt-potenziale-fuer-wohngebaeude-in-deutschland/>
 - Fraunhofer IEE (2020): “Grüner” Wasserstoff oder “grüner” Strom für die Gebäudewärme? Online:
https://www.iee.fraunhofer.de/de/presse-infothek/Presse-Medien/Pressemitteilungen/2020/Wasserstoff_Fokus_Gebaedewaerme.html
 - Fraunhofer ISE (2021): Christoph Kost, Shivenes Shammugam, Verena Fluri, Dominik Peper, Aschkan Davoodi Memar, Thomas Schlegl. Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien: Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme – ise: Online:
https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf
 - GRS o.J. – Stiftung GRS Batterien (o.J.): Die Welt der Batterien – Funktion, Systeme, Entsorgung. Home&Smart (2019): Geofencing-fähige Thermostate – die schlaue Art zu heizen. Online:
<https://www.homeandsmart.de/geofencing-heizen>
 - Handelsblatt (2022): Daimler Truck plant Wasserstoff-Lkw mit 1000 Kilometern Reichweite. Online:
<https://www.handelsblatt.com/unternehmen/flottenmanagement/brennstoffzellen-daimler-truck-plant-wasserstoff-lkw-mit-1000-kilometern-reichweite/28458930.html>
 - Handelsblatt (2023): Habeck: Deutschland muss bei digitalen Stromzählern aufholen. Online:
<https://www.handelsblatt.com/dpa/habeck-deutschland-muss-bei-digitalen-stromzaehlern-aufholen/28976028.html>
 - haus-automatisierung (o.J.): Smart-Home Guide (Schnittstellen). Online
<https://haus-automatisierung.com/guide/schnittstellen/>
 - heise (2022): Wasserstoff: Erster Brennstoffzellen-Lkw kommt in Deutschland in den Verkehr. Online:
<https://www.heise.de/news/Wasserstoff-Erster-Brennstoffzellen-Lkw-kommt-in-Deutschland-in-den-Verkehr-7367983.html>
 - homematic IP (o.J.): Fenster- und Türkontakt – optisch. Online:
<https://homematic-ip.com/de/produkt/fenster-und-tuerkontakt-optisch> Online:
<https://www.grs-batterien.de/newsroom/bibliothek/>;
 - idw Informationsdienst Wissenschaft (2021): Immer mehr Energie für die Kühlung.
<https://idw-online.de/de/news769020>
 - Ingenieur (2021): Ranking: Batteriespeicher. Online:
<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/batterie-die-groessten-energiespeicher-der-welt/>
 - ISE o.J. ISE – Institute für seltene Erden und Metalle AG: Vanadium, V, Ordnungszahl 23 Online:
Online: <https://institut-seltene-erden.de/vanadium-v-ordnungszahl-23/>

- KIT - Karlsruher Institut für Technologie (2020): Neue Produktionstechnologie für schwere Nutzfahrzeuge. Online:
https://www.kit.edu/kit/pi_2020_108_neue-produktionstechnologie-fur-schwere-nutzfahrzeuge.php-9b537c7dd20b?t=1583241728000
- Kruse, Barbara (2008): Schlanke Giganten Vision Aufwindkraftwerk. Wissenschaftsmagazin RUBIN der Ruhr-Universität Bochum / Frühjahr 2008. Online:
https://www.scinexx.de/service/dossier_print_all.php?dossierID=91571
- LEDONLINE (o.J.): Was sind die Vor- und Nachteile einer LED-Beleuchtung?. Online:
<https://ledonline.de/blog/alle-vor-und-nachteile-einer-led-beleuchtung/>
- Leichtbau BW (2022): Weichen stellen für mehr Nachhaltigkeit: Warum Phase 0 so wichtig ist (Gastbeitrag). Online: <https://live.leichtbau-bw.de/gastbeitrag-nachhaltiger-bauplanungsprozess>
- LfU Bayerisches Landesamt für Umwelt (2021): Berechnung der Treibhausgasemissionen. Online:
https://www.umweltpakt.bayern.de/energie_klima/fachwissen/217/berechnen-sie-ihre-treibhausgasemissionen-mit-co2-rechner
- Mein Klimaschutz (o.J.) CO2 durch Verkehrsmittel im Vergleich
<https://www.mein-klimaschutz.de/unterwegs/a/einkauf/welches-verkehrsmittel-verursacht-im-vergleich-mehr-co2/>
- Mein Klimaschutz (o.J.) CO2 durch Verkehrsmittel im Vergleich
<https://www.mein-klimaschutz.de/unterwegs/a/einkauf/welches-verkehrsmittel-verursacht-im-vergleich-mehr-co2/>
- Ökostromanbieter (o.J.): Ökostrom Zertifizierung. Online:
<https://www.oekostrom-anbieter.info/oekostrom-zertifizierung.html>
- Pflanzenforschung.de/ Anabel Mechela (2020): Photosynthese 2.0 Von der Jagd nach mehr Effizienz bis zum künstlichen Blatt
<https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/journal/photosynthese-20#>
- Pflanzenforschung 2020 Annabel Mechela (2020): Photosynthese 2.0 - Von der Jagd nach mehr Effizienz bis zum künstlichen Blatt. In: Pflanzenforschung.de - Genius GmbH. Darmstadt 03.07.2020. Online:
<https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/journal/photosynthese-20>
- Pkw-EnVKV (2004): Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung vom 28. Mai 2004 (BGBl. I S. 1037), Online: <https://www.gesetze-im-internet.de/pkw-envkv/BjNR103700004.html> Zuletzt geändert am 14. Juni 2022. Online: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/suchergebnis?12>
- Power and Storage (2019): Weltgrößter Tesla-Batteriespeicher in Australien wird erweitert. Online:
<https://www.power-and-storage.de/tesla-batteriespeicher-in-australien-wird-erweitert>
- Quaschnig, Volker (o.J.) Energieaufwand zur Herstellung von Photovoltaikanlagen. Online:
<https://www.volker-quaschnig.de/datserv/kev/index.php>
- Quaschnig, Volker und Cornelia Quaschnig (2022): Energierevolution jetzt!: Mobilität, Wohnen, grüner Strom und Wasserstoff: Was führt uns aus der Klimakrise – und was nicht? Carl Hanser Verlag GmbH & Co KG.
- Ritter, David; Bauknecht, Dierk und Krieger, Susanne (2021): Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik-Dachanlagen - Eine differenzierte Betrachtung von Volleinspeise und Eigenverbrauchsanlagen. Umweltbundesamt (Hrsg.) Climate Change 66/2021. Dessau-Roßlau, Oktober 2021. Online:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_66-2021_wirtschaftlichkeit_von_photovoltaik-dachanlagen.pdf
- SAENA Landesenergieagentur Sachsen (o.J.): Energieeffizienz von Lüftungsanlagen in Verwaltungsgebäuden.
https://www.saena.de/download/broschueren/BB_Energieeffizienz_von_Lueftungsanlagen_in_Verwaltungsgebaeuden.pdf

- Save the Children e.V. (2021): Kinderrechte in der Kobaltlieferkette. Online: https://www.savethechildren.de/fileadmin/user_upload/Downloads_Dokumente/Berichte_Studien/2022/kinderrechte-in-der-kobaltlieferkette-drc-save-the-children.pdf
- Schulz, Sven Christian (2020): Lithium-Abbau: Das solltest du darüber wissen. Online: <https://utopia.de/ratgeber/lithium-abbau-das-solltest-du-darueber-wissen/>
- scinexx (2021): Wasserstoff unschädlich für Erdgas-Leitungen? Online: www.scinexx.de/news/energie/wasserstoff-unschaedlich-fuer-erdgas-leitungen/ AEE (2021): Agentur für Erneuerbare Energien (AEE): Eigentümerstruktur der Erneuerbaren Energien. Online: https://www.unendlich-viel-energie.de/media/image/56121.AEE_EE_in_Buergerhand_2019_mr_z_21.jpg
- Siemens AG (2011): LED-Licht im Gewächshaus spart Strom und Dünger. Online: https://www.k-online.de/de/News/Archiv_Science/LED-Licht_im_Gew%C3%A4chshaus_spart_Strom_und_D%C3%BCnger
- Sokianos, Janis; Wengert, Christian (2022): Gewerbliche Dachflächen-Photovoltaik: Überblick, Rechtsrahmen, Gestaltungsvarianten. LEGAL UPDATE. Energierecht 3.3.2022 Görg Wirtschaftskanzlei Berlin. Online: www.goerg.de/sites/default/files/2022-03/20220303_G%C3%96RG_Legal%20Update_Gewerbliche%20Dachfl%C3%A4chen-Photovoltaik.pdf
- Solaranlagen Ratgeber (o.J.): Potential von Solarthermieranlagen berechnen <https://www.solaranlage-ratgeber.de/solarthermie/solarthermie-planung/potential-berechnen>
- Statista (2022): Feinstaubemissionen in Deutschland bis 2020. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1090854/umfrage/feinstaub-emissionen-in-deutschland/>
- Stromrechner (o.J.): Wie viel Strom produziert ein Atomkraftwerk? Online: <https://stromrechner.com/wie-viel-strom-produziert-ein-atomkraftwerk/>
- Stromreport (2022) Deutscher Strommix - Stromerzeugung Deutschland bis 2022. Online: <https://strom-report.de/strom/#>
- tado (o.J.): Heize smart mit tado. Online: <https://www.tado.com/de-de/produkte>
- Tagesschau (2022): Gehört Wärmepumpen die Zukunft? Online: www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/waermepumpe-klimaschutz-ukraine-energiepreise-viessmann-heizung-101.html
- Tagesschau (2022a): 350.000 neue Wärmepumpen erwartet <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/technologie/waermepumpen-energie-heizen-101.html>
- UBA Umweltbundesamt (2011): Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschutz-durch-reduzierung-des-energiebedarfs>
- UBA Umweltbundesamt (2017): Fracking - Risiken für die Umwelt. Online: www.bmu.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/binnengewasser/grundwasser/grundwasserrisiken-hydraulic-fracturing
- UBA Umweltbundesamt (2019): Mehr Klimaschutz mit einer neuen Heizung. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/mehr-klimaschutz-einer-neuen-heizung>
- UBA Umweltbundesamt (2019a): Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus. Online: <https://www.re-source.com/wp-content/uploads/2019/11/UBA-2019-Energieaufwand-Gebäudekonzepte.pdf>
- UBA Umweltbundesamt (2020a): Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden. Online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/fb_anforderungen_an_lueftungskonzeptionen_in_wohngebaeuden_bf.pdf

- UBA Umweltbundesamt (2020b): Handbuch. Das Qualitätssiegel Raumluftechnik. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/handbuch-qualitaetssiegel-raumluftechnik.pdf>
- UBA Umweltbundesamt (2020c): Heizen mit Holz. Online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020_heizen_mit_holz_bf.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2021): Naturschutz und Bioenergie. Online: www.bmu.de/themen/naturschutz-artenvielfalt/naturschutz-biologische-vielfalt/naturschutz-und-energie/naturschutz-und-bioenergie
- UBA Umweltbundesamt (2021): Wie hoch sind die Treibhausgasemissionen pro Person in Deutschland durchschnittlich? Online: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-hoch-sind-die-treibhausgasemissionen-pro-person>
- UBA Umweltbundesamt (2022): Energiesparende Gebäude. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energiesparende-gebäude>
- UBA Umweltbundesamt (2022b): Tempolimit. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/tempolimit#t>
- UBA Umweltbundesamt (2022d): Energieverbrauch für fossile und erneuerbare Wärme. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme>
- UBA Umweltbundesamt (2022e): Erneuerbare Energien in Zahlen. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen>
- UBA Umweltbundesamt (2022f): Umgebungswärme und Wärmepumpen: Online <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/umgebungswaerme-waermepumpen#funktion>
- UBA Umweltbundesamt (2022g): Wasserstoff – Schlüssel im künftigen Energiesystem. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/wasserstoff-schluesel-im-kuenftigen-energiesystem>
- UBA Umweltbundesamt (2022h): Richtiges Heizen schützt das Klima und den Geldbeutel. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/heizen-raumtemperatur#unsere-tipps>
- UBA Umweltbundesamt (2022i): Bioenergie. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/bioenergie#bioenergie-ein-weites-und-komplexes-feld->
- UBA Umweltbundesamt (2022m): „Power-to-Liquids“ – nachhaltige Kraftstoffe für den Luftverkehr. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/power-to-liquids-nachhaltige-kraftstoffe-fuer-den-luftverkehr>
- UBA Umweltbundesamt (2022n): Wasserstoff im Verkehr: Häufig gestellte Fragen (FAQs). Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/kraftstoffe/wasserstoff-im-verkehr-haeufig-gestellte-fragen>
- UBA Umweltbundesamt (o. J.): Leerlaufverluste. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/leerlaufverluste>
- Uhland et al (2021): Thomas Uhland, Nicolas Fuchs, Verena Fluri, Christoph Kost: Photovoltaik in Gewerbe und Industrie – Solarenergie erfolgreich einsetzen. Solar Cluster Baden-Württemberg e.V. (Hrsg.) Stuttgart 2021. Online: https://solarcluster-bw.de/fileadmin/Dokumente/Downloads/2021_12_Solar_Cluster_BW_PV-Netzwerk_Leitfaden_Photovoltaik_in_Gewerbe_und_Industrie.pdf

- Universität Kassel-Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik (2022) : Solare Prozesswärme. Online: <https://www.xn--solare-prozesswrme-ztb.info/technik/#:~:text=Um%20vor%20allem%20bei%20ogr%C3%B6%C3%9Feren,vorhandenen%20W%C3%A4rmenenken%20gegen%C3%BCberstellen%20und%20vergleichen>
- Unwerth, Thomas; Weckbrodt, Heiko (2020) : Turbo für Brennstoffzellen <https://oiger.de/2022/03/28/turbo-fuer-brennstoffzellen/182601>
- Vattenfall (o.J. online): Pumpspeicherkraftwerk Markersbach – eines der größten Wasserkraftwerke Europas. Online: <https://powerplants.vattenfall.com/de/markersbach/>
- VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2021): Potenziale der Technischen Gebäudeausrüstung und ihrer Automation zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Online: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/1_Themen/h_Publikationen/Kurzanalysen/VDI-ZRE_KA28_TGA_Web_bf.pdf
- VDI Zentrum Ressourceneffizienz (o.J.): Effiziente Gebäudeinfrastruktur. Online: <https://www.ressource-deutschland.de/werkzeuge/loesungsentwicklung/strategien-massnahmen/effiziente-gebaeudeinfrastruktur/>
- Viessmann (o.J.): Solarthermie. Online: <https://www.viessmann.de/de/wissen/technik-und-systeme/solarthermie/funktion.html>
- Volvo (o.J.): Elektro-Lkw von Volvo Trucks. <https://www.volvotrucks.de/de-de/trucks/alternative-antriebe/elektro-lkw.html>
- VW (o.J.): Glossar Batterie. Online: <https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2019/09/battery-glossary--assembly--research-and-strategy.html>
- Wasser Wärme Luft (o.J.): Smarte Heizungstechnik hilft Energie zu sparen. Online: <https://www.wasserwaermeluft.de/heizung/energie-sparen/details/smarte-heizungstechnik-hilft-energie-zu-sparen/>
- Wasser Wärme Luft (o.J.): Smarte Heizungstechnik hilft Energie zu sparen. Online: <https://www.wasserwaermeluft.de/heizung/energie-sparen/details/smarte-heizungstechnik-hilft-energie-zu-sparen/>
- Weinhold, Nicole (2021): Redox-Flow-Batterie Größte Batterie ohne Lithium. In: Erneuerbare Energie. TFV Technischer Fachverlag GmbH Stuttgart 07.10.2021. Online: <https://www.erneuerbareenergien.de/transformation/speicher/redox-flow-batterie-groesste-batterie-ohne-lithium>
- Wikimedia (2020): Installierte PV-Leistung in Deutschland. Online: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=90477752>
- Wikimedia (2020): Installierte PV-Leistung in Deutschland. online: www.commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=90477752
- Wikipedia o.J.: Vanadium-Redox-Akkumulator. Online: <https://de.wikipedia.org/wiki/Vanadium-Redox-Akkumulator>
- Wirth, Harry (2022): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fraunhofer ISE. Freiburg 30.10.2022. Online: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>

SDG 8 „Menschenwürdige Arbeit“

„Dauerhaftes, inklusives und nachhaltiges Wirtschaftswachstum, produktive Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeit für alle fördern“

In der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie wird zum SDG 8 auf das Leitbild „Soziale Marktwirtschaft“ verwiesen (Bundesregierung 2021: 2214):

„Soziales Ziel ist es, unternehmerische Freiheit und funktionierenden Wettbewerb mit sozialem Ausgleich und sozialer Sicherheit zu verbinden. Mit Hilfe der Prinzipien der Sozialen Marktwirtschaft, wie fairer Wettbewerb, Unternehmensverantwortung, Sozialpartnerschaft, Mitbestimmung und gerechte Verteilung des erwirtschafteten Wohlstands, werden die Voraussetzungen dafür geschaffen, dass wir auch in Zukunft noch Wachstum, Wohlstand und Beschäftigung haben.“

Hinsichtlich des SDG 8 sind zwei Ebenen zu betrachten: Eine nationale Ebene und die globale Ebene.

Auf der nationalen Ebene steht Deutschland laut der "European Working Survey" hinsichtlich der Arbeitsbedingungen sehr gut da - 89% der Befragten geben an, mit ihrem Job zufrieden zu sein und 91% bestätigen einen fairen Umgang mit ihnen als Arbeitnehmer*innen (Eurofound 2021). Jedoch zeigt der Index "Gute Arbeit" des Deutschen Gewerkschaftsbundes (DGB 2022) detailliert, dass es in manchen Branchen, wie dem Gesundheitssektor und bei Beschäftigten in Leiharbeitsverhältnissen noch große Defizite gibt (DGB 2022). Besonders negativ sind hierbei die Kriterien "Arbeitsintensität" und "Einkommen" aufgefallen, die notwendigen Handlungsbedarf in Berufsbildern aufzeigen.

Auch wenn Kinderarbeit und Sklaverei in Deutschland keine Rolle spielen, so ist die Umsetzung der verschiedenen Unterziele des SDG 8 eine dauerhafte Aufgabe im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung der Arbeitsbedingungen. Noch ein zweites gilt: Aufgrund der komplexen Lieferketten müssen Unternehmen Verantwortung für ihre Produkte auch in den Ländern, wo diese hergestellt werden, übernehmen. An dieser Stelle sollen folgende Unterziele betrachtet werden:

- 8.5 Bis 2030 produktive Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeit für alle Frauen und Männer, einschließlich junger Menschen und Menschen mit Behinderungen, sowie gleiches Entgelt für gleichwertige Arbeit erreichen

- 8.6 Bis 2020 den Anteil junger Menschen, die ohne Beschäftigung sind und keine Schul- oder Berufsausbildung durchlaufen, erheblich verringern
- 8.b Bis 2020 eine globale Strategie für Jugendbeschäftigung erarbeiten und auf den Weg bringen und den **GLOBALEN BESCHÄFTIGUNGSPAKT DER INTERNATIONALEN ARBEITSORGANISATION** umsetzen (ILO o.J.; Destatis o.J.)
- 8.7 Sofortige und wirksame Maßnahmen ergreifen, um Zwangsarbeit abzuschaffen, moderne Sklaverei und Menschenhandel zu beenden und das Verbot und die Beseitigung der schlimmsten Formen der Kinderarbeit, einschließlich der Einziehung und des Einsatzes von Kindersoldaten, sicherstellen und bis 2025 jede Form von Kinderarbeit ein Ende setzen
- 8.8 Die Arbeitsrechte schützen und sichere Arbeitsumgebungen für alle Arbeitnehmer, einschließlich der Wanderarbeitnehmer, insbesondere der Wanderarbeitnehmerinnen, und der Menschen in prekären Beschäftigungsverhältnissen, fördern.

Die Schnittstellen zur neuen Standardberufsbildposition „Umweltschutz und Nachhaltigkeit“ ergibt sich über die Beachtung der gesellschaftlichen Folgen des beruflichen sowie der zu entwickelnden Beiträge für ein nachhaltiges Handeln (BMBF 2022)

- a. Möglichkeiten zur Vermeidung betriebsbedingter Belastungen für Umwelt und **Gesellschaft** im eigenen Aufgabenbereich erkennen und zu deren Weiterentwicklung beitragen
- b. bei Arbeitsprozessen und im Hinblick auf Produkte, Waren oder Dienstleistungen Materialien und Energie unter wirtschaftlichen, umweltverträglichen und **sozialen Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit** nutzen
- e. Vorschläge für nachhaltiges Handeln für den eigenen Arbeitsbereich entwickeln
- f. unter Einhaltung betrieblicher Regelungen im Sinne einer ökonomischen, ökologischen und **sozial nachhaltigen Entwicklung zusammenarbeiten und adressatengerecht kommunizieren**

Menschenwürdige Arbeit

Menschenwürdige Arbeit in Deutschland bedeutet vor allem Arbeit, die sich zumindest an internationalen Standards orientiert. Formuliert sind diese in der allgemeinen Erklärung der Menschenrechte (Vereinte Nationen 1948; UN-Charta, Artikel 23 und 24). Als “menschenunwürdige Arbeit” werden Kinderarbeit, Sklavenarbeit und teilweise Leiharbeit bezeichnet sowie Merkmale bei den Beschäftigungsverhältnissen, die sich nicht an den o.g. Regelwerken orientieren, wie “fehlende soziale Sicherheit”, “mangelnder Arbeitsschutz”, “Ausnutzung von Scheinselbstständigen” und “Ungleichbehandlung von Frauen”.

Saisonarbeit

Alle bei einem in Deutschland ansässigen Unternehmen befristet angestellte Arbeitnehmer: innen aus anderen Ländern werden als Saisonarbeiter bezeichnet. Laut Definition in den relevanten Vorschriften üben sie eine Tätigkeit aus die *„aufgrund eines immer wiederkehrenden saisonbedingten Ereignisses oder einer immer wiederkehrenden Abfolge saisonbedingter Ereignisse an eine Jahreszeit gebunden sind, während der Bedarf an Arbeitskräften den für gewöhnlich durchgeführte Tätigkeiten erforderlichen Bedarf in erheblichem Maße übersteigt“* (Zoll 2022). Folgende Bereiche setzen Saisonarbeitskräfte ein:

- Tourismus: Gaststätten, Hotels für Kellner: innen, Küchenpersonal, Zimmerservice und in Betrieben, die nicht ganzjährig geöffnet sind, wie Biergärten und Skihütten, oder auch zur Abdeckung von Arbeitsspitzen in Ausflugslokalen.
- Schaustellergewerbe auf Volksfesten, Jahrmärkten etc.
- In der Land- und Forstwirtschaft sowie im Gartenbau (Erntehilfen in Sonderkulturbetrieben wie Obst-, Gemüse- oder Weinbau).

DGB Index Gute Arbeit

Die Qualität von Arbeitsbedingungen wird seit 2012 aufgrund von 42 standardisierten Fragen in einer bundesweiten repräsentativen Erhebung ermittelt (DGB 2022). Elf Kriterien der Arbeitsqualität werden abgefragt. Im November 2022 wurde der DGB-Index Gute Arbeit 2022 veröffentlicht. Wie schon in den vorangegangenen Jahren gibt es zu den Kriterien „Arbeitsintensität“ und „Einkommen“ erhebliche kritische Bewertungen.

Der Index 2022 zeigt z. B. für die Branchen „Metallerzeugung und –bearbeitung“ (64), „Ver- und Entsorgung“ (69), „Baugewerbe“ (66), „Gastgewerbe“ (62), „Information und Kommunikation“ (69), „Finanz- und Versicherungsdienstleistungen“ (68) und „Gesundheitswesen“ (62) auf, dass die Arbeitsbedingungen noch weit entfernt sind vom Anspruch „Gute Arbeit“.

In der ausführlichen Debatte über die Detailergebnisse für 2022 sticht hervor, dass Beschäftigte in Leiharbeitsverhältnissen ihre Situation auffällig schlecht bewerten (ebd.).

„Auf Branchenebene kommen Beschäftigte aus dem Gastgewerbe und dem Gesundheitswesen auf die niedrigsten Indexwerte (jeweils 62 Punkte). In der Informations- und Kommunikationsbranche (IuK) liegt der Wert dagegen bei 69 Punkten. Auch in den Branchen treten auf Ebene der Teilindizes zum Teil sehr

*große Unterschiede zutage. Beim Teilindex „Ressourcen“ kommen IuK-Beschäftigte auf 75 Indexpunkte, Arbeitnehmer*innen aus der Metallherstellung und -bearbeitung dagegen lediglich auf 68 Punkte. Die höchsten Belastungen finden sich im Bereich Erziehung und Unterricht (54 Punkte) sowie im Gesundheitswesen (56 Punkte), wo häufig sowohl physische als auch psychische Belastungsfaktoren auftreten. Die größte Diskrepanz auf Branchenebene zeigt sich bei der Bewertung von „Einkommen und Sicherheit“. Hier liegen die Befragten aus dem Gastgewerbe mit 54 Punkten um 16 Punkte unter dem Wert der Beschäftigten aus der öffentlichen Verwaltung (70 Punkte).“ (a.a.O., S. 13)*

Darüber hinaus zeigt der Blick in einzelne Branchen und Berufsgruppen, dass noch immer körperliche Belastungen in vielen Bereichen sehr verbreitet sind (ebd.:S. 19).

Einen wesentlichen Einfluss auf die Bewertung der eigenen Arbeitsbedingungen haben die Einfluss- und Gestaltungsmöglichkeiten im Arbeitskontext. Im Zusammenhang mit nachhaltiger Entwicklung ist das Kriterium „Sinn der Arbeit“ eine wesentliche Ressource zur Beurteilung der eigenen Arbeitsbedingungen. Dazu führt der Bericht „Index Gute Arbeit 2022“ aus: „Der Sinngehalt von Arbeit ist eine Ressource, die sich aus unterschiedlichen Quellen speisen kann. Dazu gehört, dass die Produkte bzw. Dienstleistungen, die produziert oder erbracht werden, als nützlich erachtet werden. Häufig ist dies mit der Einschätzung verbunden, ob die Arbeit einen gesellschaftlichen Mehrwert erzeugt. Sinnhaftigkeit kann dadurch entstehen, dass die Arbeit einen Nutzen für Andere hat. Und wichtig für Sinnempfinden ist auch, dass die eigenen, ganz konkreten Arbeitsaufgaben und -merkmale nicht sinnlos erscheinen. Wird Arbeit als sinnvoll empfunden, wirkt sich das positiv auf die Motivation und das Wohlbefinden der Beschäftigten aus. Dauerhaft einer als sinnlos erachteten Arbeit nachzugehen, stellt dagegen eine mögliche psychische Belastung und damit ein gesundheitliches Risiko dar.“

BDA - Die Arbeitgeber

Die Arbeitgeber argumentieren mit positiven Statistiken, dass die Arbeitsbedingungen in Deutschland sehr gut sind (BDA o.J.). So sind laut der European Working survey 89% der in Deutschland Beschäftigten mit ihrem Job zufrieden, 74% gaben in der Befragung an, dass ihnen ihr Job Spaß macht und 91% bestätigen einen fairen Umgang am Arbeitsplatz (Eurofond 2021, BDA o.J.). Auch hinsichtlich der Arbeitssicherheit ist die Entwicklung positiv: Sowohl die Arbeitsunfälle, als auch die Unfallquote hat sich seit 1991 halbiert (BDA o.J.). Diese befinden sich seit 2004 unter 1 Mio. und bewegen sich seitdem zwischen 954.000 und 760.000 gemeldeten Fällen (Statista 2021).

Außerdem wird auf die Prävention und den Gesundheitsschutz hingewiesen, für den 2016 ca. 5 Mrd. € ausgegeben wurden, was 40% der gesamten Ausgaben von 11,7 Mrd. € ausmacht (BDA o.J.). Die betriebliche Gesundheitsförderung, wie Stressmanagement,

gesundheitsgerechte Mitarbeiterführung oder Reduktion der körperlichen Belastung kommt dabei sowohl den Beschäftigten als auch den Arbeitgebern zugute. Zuletzt wird noch auf die Eigenverantwortung hingewiesen, die aus selbstverantwortlichen Entscheidungen und flexibleren Arbeitszeiten resultiert.

Prekäre Beschäftigungsverhältnisse

Menschen arbeiten auch in Deutschland teilweise in prekären Beschäftigungsverhältnissen und die "Bedeutung des sogenannten Normalarbeitsverhältnisses nimmt ab, während atypische Formen von Arbeit an Bedeutung zunehmen" (Jakob 2016). Dazu zählen befristete Arbeitsverträge, geringfügige Beschäftigung, Zeitarbeit, (Ketten-)Werkverträge und verschiedene Formen der (Schein-)Selbstständigkeit oder auch Praktika. Durch die Agenda 2010 wurde das Sicherungsniveau für von Arbeitslosigkeit Betroffene deutlich gesenkt (Arbeitslosengeld I in der Regel nur für ein Jahr, danach Arbeitslosengeld II). Menschen sehen sich eher gezwungen, "jede Arbeit zu fast jedem Preis und zu jeder Bedingung anzunehmen. Das hat dazu geführt, dass die Löhne im unteren Einkommensbereich stark gesunken sind" (Jakob 2016). 2015 wurde mit der Einführung des Mindestlohns dagegen gesteuert.

Das Thema betrifft auch das SDG 10 "Ungleichheit", denn jeder Mensch hat das Recht auf faire und gute Arbeitsverhältnisse, dies ist vielen Menschen jedoch verwehrt. Prekäre Beschäftigung widerspricht dem Leitbild von "Guter Arbeit", verbaut Entwicklungsmöglichkeiten von Beschäftigten und verstärkt nachweislich den Trend zu psychischen Belastungen und Erkrankungen sowie deren Folgewirkungen (Jakob 2016) (siehe auch SDG "Gesundheit").

Kinderarbeit

Zur Definition und Umsetzung von menschenwürdigen Arbeitsbedingungen sind global große Unterschiede zu verzeichnen. Ein Beispiel hierfür ist die Kinderarbeit, die weltweit noch immer verbreitet ist. 79 Millionen Kinder arbeiten unter ausbeuterischen Bedingungen, vor allem in Fabriken, die wenig qualifiziertes Personal benötigen oder in der Landwirtschaft sowie im Bergbau (BMZ 2021 und 2022). Nach Angaben der ILO müssen weltweit rund 152 Millionen Kinder zwischen fünf und siebzehn Jahren arbeiten, vor allem in der Landwirtschaft, als Hausangestellte oder in Minen. Viele dieser Tätigkeiten sind gesundheitsgefährdend. Die ILO setzt sich schon lange für die Abschaffung von Kinderarbeit ein, sie ist Partnerorganisation in der „Allianz 8.7“, einer globalen Partnerschaft, die sich zum Ziel gesetzt hat, Zwangsarbeit, moderne Sklaverei, Menschenhandel und Kinderarbeit weltweit zu beseitigen, wie es in den Zielen für nachhaltige Entwicklung 2030 formuliert wurde. (ILO 2021) Unter Mitwirkung der deutschen Bundesregierung wird seit 1992 ein von der ILO betriebenes Internationales

Programm zur Abschaffung der Kinderarbeit umgesetzt (International Programme on the Elimination of Child Labour, IPEC, BMZ 2022)

Arbeitsschutz, Gesundheit und Gute Arbeit

Im Bereich “Gesundheit” und “Gute Arbeit” sind durch die Folgen des Klimawandels wesentliche neue Herausforderungen sowohl für die Arbeitskräfte als auch für die Gesellschaft festzustellen. Bei Bauarbeiten im Freien sind alle Arbeitenden durch Extremwetterereignisse wie hohe Temperaturen und lang anhaltende Hitzewellen, oder auch Starkregenereignisse, mit diesen neuen Herausforderungen direkt konfrontiert.

Gender Pay Gap

Unterschiedliche Entlohnung für vergleichbare Tätigkeiten und Qualifikation für Frauen und Männer lassen sich durch die statistischen Erhebungen des Statistischen Bundesamtes aufzeigen. In einer Pressemitteilung vom März 2022 wird betont, dass Frauen pro Stunde noch immer 18% weniger verdienen als Männer: „Frauen haben im Jahr 2021 in Deutschland pro Stunde durchschnittlich 18 % weniger verdient als Männer. Damit blieb der Verdienstunterschied zwischen Frauen und Männern – der unbereinigte Gender Pay Gap– im Vergleich zum Vorjahr unverändert. Wie das Statistische Bundesamt (Destatis 2022b) anlässlich des Equal Pay Day am 7. März 2022 weiter mitteilt, erhielten Frauen mit durchschnittlich 19,12 Euro einen um 4,08 Euro geringeren Bruttostundenverdienst als Männer (23,20 Euro). Nach einem Urteil des Bundesarbeitsgerichtes vom 16.02.2023 müssen Frauen bei gleicher Arbeit auch gleich bezahlt werden, eine individuelle Aushandlung der Lohn- oder Gehaltshöhe ist damit nicht wirksam (Zeit Online 2023).

Deutsches Sorgfaltspflichtengesetz

Um ihrer Verantwortung zum Schutz der Menschenrechte gerecht zu werden, setzt die Bundesregierung die Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte der Vereinten Nationen mit dem Nationalen Aktionsplan für Wirtschaft und Menschenrechte von 2016 (Nationaler Aktionsplan, Bundesregierung 2017; 2021; 2022) in der Bundesrepublik Deutschland mit einem Gesetz um. Das Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten ist besser unter dem Namen Lieferkettengesetz oder auch Sorgfaltspflichtengesetz bekannt (BMAS 2022, o.a. “Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz”). Dort ist die Erwartung an Unternehmen formuliert, mit Bezug auf ihre Größe, Branche und Position in der Lieferkette in angemessener Weise die menschenrechtlichen Risiken in ihren Liefer- und Wertschöpfungsketten zu ermitteln, ihnen zu begegnen, darüber zu berichten und Beschwerdeverfahren zu ermöglichen.

Das Lieferkettengesetz tritt 2023 in Kraft und gilt dann zunächst für Unternehmen mit mehr als 3.000, ab 2024 mit mehr als 1.000 Angestellten. Es verpflichtet die Unternehmen, in ihren Lieferketten menschenrechtliche und umweltbezogene Sorgfaltspflichten in angemessener Weise zu beachten. Kleine und mittlere Unternehmen werden nicht direkt belastet. Allerdings können diese dann betroffen sein, wenn sie Teil der Lieferkette großer Unternehmen sind.

Unabhängig ob betroffen oder nicht: Es lohnt sich auch für kleinere Unternehmen, sich mit dem Gesetz adressierten Nachhaltigkeitsthemen auseinanderzusetzen, um das eigene Handeln entlang dieser Leitplanken zu überprüfen. Der Nachhaltigkeitsbezug ist unter anderem durch den Nationalen Aktionsplan Wirtschaft und Menschenrechte (NAP) gegeben, er gab einen wichtigen Impuls für das Gesetz. Der NAP wurde gemeinsam von Politik und Unternehmen verabschiedet, um zu einer sozial gerechteren Globalisierung beizutragen (Bundesregierung 2017). Ergebnisse einer 2020 im Rahmen des Nationalen Aktionsplans durchgeführten repräsentativen Untersuchungen zeigten jedoch, dass lediglich zwischen 13 und 17 Prozent der befragten Unternehmen die Anforderungen des Nationalen Aktionsplans erfüllen (VENRO 2021). Der gesetzgeberische Impuls war also erforderlich, um die Einhaltung der Menschenrechte zu fördern und damit auch zu einem fairen Wettbewerb zwischen konkurrierenden Unternehmen beizutragen.

Das Lieferkettengesetz rückt internationale Menschenrechtsabkommen und lieferkettentypische Risiken in den Blick: Dazu zählen bspw. das Verbot von Kinderarbeit, der Schutz vor Sklaverei und Zwangsarbeit, die Vorenthaltung eines gerechten Lohns, der Schutz vor widerrechtlichem Landentzug oder der Arbeitsschutz und damit zusammenhängende Gesundheitsgefahren. Es werden zudem internationale Umweltabkommen benannt. Sie adressieren die Problembereiche Quecksilber, persistente organische Schadstoffe und die grenzüberschreitende Verbringung gefährlicher Abfälle und ihre Entsorgung. Zu den jetzt gesetzlich geregelten Sorgfaltspflichten der Unternehmen gehören Aufgaben wie die Durchführung einer Risikoanalyse, die Verankerung von Präventionsmaßnahmen und das sofortige Ergreifen von Abhilfemaßnahmen bei festgestellten Rechtsverstößen. Die neuen Pflichten der Unternehmen sind nach den tatsächlichen Einflussmöglichkeiten abgestuft, je nachdem, ob es sich um den eigenen Geschäftsbereich, einen direkten Vertragspartner oder einen mittelbaren Zulieferer handelt. Bei Verstößen kann die zuständige Aufsichtsbehörde Bußgelder verhängen. Unternehmen können von öffentlichen Ausschreibungen ausgeschlossen werden.

Quellenverzeichnis

- Agenda 2030: siehe Vereinte Nationen 2015. Online: <https://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf>

- BDA Bundesvereinigung der Deutschen Arbeitgeberverbände (o.J.): Arbeitsbedingungen in Deutschland mit Spitzenwerten. Online: https://arbeitsgeber.de/wp-content/uploads/2021/01/bda-arbeitgeber-argumente-arbeitsbedingungen-in-deutschland-mit-spitzenwerten-2020_04.pdf
- BGBl Bundesgesetzblatt Jahrgang 2021 Teil I Nr. 46, ausgegeben zu Bonn am 22. Juli 2021, Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten in Lieferketten. Online: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl121s2959.pdf
- BMAS Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2022): Sorgfaltspflichtengesetz – Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten. Online: <https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze-und-Gesetzesvorhaben/gesetz-unternehmerische-sorgfaltspflichten-lieferketten.html>
- BMAS Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2020) Eckpunkte "Arbeitsschutzprogramm für die Fleischwirtschaft". Online: www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Pressemitteilungen/2020/eckpunkte-arbeitsschutzprogramm-fleischwirtschaft.pdf
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022): Digitalisierung und Nachhaltigkeit – was müssen alle Auszubildenden lernen? Online: <https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/berufliche-bildung/rahmenbedingungen-und-gesetzliche-grundlagen/gestaltung-von-aus-und-fortbildungsordnungen/digitalisierung-und-nachhaltigkeit/digitalisierung-und-nachhaltigkeit>
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2017): Nachhaltigkeit im Personalmanagement. Online: nachhaltig-forschen.de/fileadmin/user_upload/FactSheets_LeNa_Personal.pdf
- BMZ Bundesministerium für Wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit (BMZ) 2021: Das Lieferkettengesetz. Online: <https://www.bmz.de/de/entwicklungspolitik/lieferkettengesetz>
- BMZ Bundesministerium für Wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit (BMZ) 2022: Gemeinsam gegen Kinderarbeit. Online: <https://www.bmz.de/de/themen/kinderarbeit>
- Bundesregierung (2017): Online: Nationaler Aktionsplan Umsetzung der VN-Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte. Online: <https://india.diplo.de/blob/2213082/a20dc627e64be2cbc6d2d4de8858e6af/nap-data.pdf>
- Bundesregierung (2021): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2021. Online: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/archiv/nachhaltigkeitsstrategie-2021-1873560>
- Bundesregierung (2022): Grundsatzbeschluss 2022 zur Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. Online: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/992814/2146150/16d54e524cf79a6b8e690d2107226458/2022-11-30-dns-grundsatzbeschluss-data.pdf?download=1>
- Destatis (o.J.): Internationale Arbeitsorganisation (ILO)-Arbeitsmarktstatistik. Online: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Erwerbstaetigkeit/Methoden/Erlaeuterungen/erlaeuterungen-arbeitsmarktstatistik-ilo.html>
- Destatis Statistisches Bundesamt (2022b): Gender Pay Gap. Online: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Qualitaet-Arbeit/Dimension-1/gender-pay-gap.html>
- Deutsche UNESCO-Kommission (DUK) 2021: Bildung für nachhaltige Entwicklung – Eine Roadmap. BNE / EDS 2030. Online: https://www.unesco.de/sites/default/files/2021-10/BNE_2030_Roadmap_DE_web-PDF_nicht-bf.pdf
- Eurofound (2021): Working conditions in the time of Covid-19: Implications for the future. Online: https://www.eurofound.europa.eu/sites/default/files/ef_publication/field_ef_document/ef22012en.pdf

- DGB Deutscher Gewerkschaftsbund (2022): Saisonarbeit in der Landwirtschaft: Miserable Bedingungen für Saisonarbeitnehmer*innen beenden. Online: www.dgb.de/themen/++co++9ae2a64a-728c-11eb-be71-001a4a160123
- DGB Deutscher Gewerkschaftsbund (o.J.): Decent work – menschenwürdige Arbeit. Online: www.dgb.de/themen/++co++6157a9a0-2961-11df-48e5-001ec9b03e44
- DGB Deutscher Gewerkschaftsbund (2022): Index Gute Arbeit – Jahresbericht 2022, Ergebnisse der Beschäftigtenbefragung. Online: <https://index-gute-arbeit.dgb.de/++co++b20b2d92-507f-11ed-b251-001a4a160123>
- Ferber Personalberatung (o.J.): Was Mitarbeiterführung mit Nachhaltigkeit zu tun hat ... Online: ferber-personalberatung.de/mitarbeiterfuhrung-nachhaltigkeit/
- Günther, Edeltraud; Ruter, Rudolf (Hrsg. 2015): Grundsätze nachhaltiger Unternehmensführung. Online: <https://beckassets.blob.core.windows.net/product/other/15238332/9783503163151.pdf>
- Handelsblatt Research Institut (2021): Sorgfaltspflicht entlang globaler Lieferketten. Online: www.bmz.de/resource/blob/92544/18fbb046bf85f95c5b07731ff69c4600/studie-handelsblatt-research-institute-data.pdf
- ILO Internationale Arbeitsorganisation (2021): UN startet Internationales Jahr zur Abschaffung der Kinderarbeit 2021. Online: https://www.ilo.org/berlin/presseinformationen/WCMS_766477/lang--de/index.htm
- ILO Internationale Arbeitsorganisation (o.J.): Erholung von der Krise: Ein Globaler Beschäftigungspakt. Online; https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_norm/---relconf/documents/publication/wcms_820295.pdf
- Jakob, Johannes (2016) in: Forum Menschenrechte et al.(2019): Bericht Deutschland und die UN-Nachhaltigkeitsagenda 2016. Noch lange nicht nachhaltig, II.11. Gute und menschenwürdige Arbeit auch in Deutschland. Online: www.2030report.de/de/bericht/317/kapitel/ii11-gute-und-menschenwuerdige-arbeit-auch-deutschland
- Öko-Institut (o.J.): Nachhaltige Unternehmensführung: Verantwortung für Gesellschaft und Umwelt. Online: www.oeko.de/forschung-beratung/themen/konsum-und-unternehmen/nachhaltige-unternehmensfuehrung-verantwortung-fuer-gesellschaft-und-umwelt
- Schulzen, Thorsten; Specht, Johannes (2021): Ein Jahr Arbeitsschutzkontrollgesetz – Grundlegender Wandel in der Fleischindustrie? Online: www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/fleisch-2021/344835/ein-jahr-arbeitsschutzkontrollgesetz/
- Springer Gabler (o.J.): Gabler Wirtschaftslexikon: Definition Nachhaltiges Personalmanagement. Online: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/nachhaltiges-personalmanagement-53887>
- Statista (2021): Arbeitsunfälle in Deutschland. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/6051/umfrage/gemeldete-arbeitsunfaelle-in-deutschland-seit-1986/>
- VENRO Verband Entwicklungspolitik und Humanitäre Hilfe (2021): Vier Jahre Nationaler Aktionsplan Wirtschaft und Menschenrechte (NAP). Online: <https://venro.org/publikationen/detail/vier-jahre-nationaler-aktionsplan-wirtschaft-und-menschenrechte-nap>
- Vereinte Nationen (1948): Resolution der Generalversammlung 217 A (III). Allgemeine Erklärung der Menschenrechte. Online: <https://www.un.org/depts/german/menschenrechte/aemr.pdf>
- Vereinte Nationen (2015): Resolution der Generalversammlung „Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“. Online: <https://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf>

- Welthungerhilfe (2020): Indien hält bei der Kinderarbeit den traurigen Spitzenplatz. Online: www.welthungerhilfe.de/welternahrung/rubriken/wirtschaft-menschenrechte/indien-haelt-bei-kinderarbeit-den-traurigen-spitzenplatz
- Zeit Online (2023): Lohnunterschiede bei gleicher Arbeit rechtswidrig. Online: www.zeit.de/arbeit/2023-02/lohngleichheit-bundesarbeitsgericht-frauen-urteil-diskriminierung?
- Zoll (2022): Verpflegung und Unterkunft für Saisonarbeitskräfte. Online: https://www.zoll.de/DE/Fachthemen/Arbeit/Mindestarbeitsbedingungen/Mindestlohn-Mindestlohngesetz/Berechnung-Zahlung-Mindestlohns/Verpflegung-Unterkunft-Saisonarbeitskraefte/verpflegung-unterkunft-saisonarbeitskraefte_node.html

SDG 12: “Nachhaltige/r Konsum und Produktion”

“Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen”

Das SDG 12 “Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen”, fordert im Kern zu nachhaltigem Konsum und nachhaltigen Produktionsmustern auf (“Ensure sustainable consumption and production patterns”). Es bezieht sich also sowohl auf den individuellen Konsum als auch auf die Umgestaltung der Wertschöpfungsmuster, die unserer Produktion zugrunde liegen. Das SDG 12 zielt auf die nachhaltige und effiziente Ressourcennutzung ab. Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Lieferketten sind dabei ebenso angesprochen wie die Vermeidung beziehungsweise die verantwortungsvolle Entsorgung von Abfällen. Für Anlagenmechanik im Bereich SHK sind folgende Unterziele besonders relevant:

- **SDG 12.2:** *“Bis 2030 die nachhaltige Bewirtschaftung und effiziente Nutzung der natürlichen Ressourcen erreichen.”*
- **SDG 12.4:** *“Bis 2020 einen umweltverträglichen Umgang mit Chemikalien und allen Abfällen während ihres gesamten Lebenszyklus in Übereinstimmung mit den vereinbarten internationalen Rahmenregelungen erreichen und ihre Freisetzung in Luft, Wasser und Boden erheblich verringern, um ihre nachteiligen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt auf ein Mindestmaß zu beschränken.”*
- **SDG 12.5:** *“Bis 2030 das Abfallaufkommen durch Vermeidung, Verminderung, Wiederverwertung und Wiederverwendung deutlich verringern.”*

Darüber hinaus sind erwähnenswert:

- **SDG 12.1:** *“Die Umsetzung des Zehnjahresprogramms für nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster der UNO.”*
- **SDG 12.8:** *Bis 2030 sicherstellen, dass die Menschen überall über einschlägige Informationen und das Bewusstsein für nachhaltige Entwicklung und eine Lebensweise in Harmonie mit der Natur verfügen.*
- **SDG 12.6:** *“Unternehmen zu einer nachhaltigen Unternehmensführung ermutigen.”*

- **SDG 12.c:** *“Die ineffiziente Subventionierung fossiler Brennstoffe abschaffen.”*

Die Schnittmenge für das SDG 12 ergibt sich aus den Nummern a und b der Standardberufsbildposition (BMBF 2022):

- a) Möglichkeiten zur Vermeidung betriebsbedingter Belastungen für Umwelt und Gesellschaft im eigenen Aufgabenbereich erkennen und zu deren Weiterentwicklung beitragen*
- b) bei Arbeitsprozessen und im Hinblick auf Produkte, Waren oder Dienstleistungen Materialien und Energie unter wirtschaftlichen, umweltverträglichen und sozialen Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit nutzen*

SDG 12 zielt im Kern auf die nachhaltige und effiziente Nutzung der Ressourcen ab. Ressourcen sind alle Stoffe der Natur (Mineralien und Metalle, biotische Ressourcen wie Holz oder Baumwolle), aber auch Luft, Wasser und Boden (vgl. ProgRess 2020). Von zentraler Bedeutung für Anlagenmechaniker im Bereich SHK sind die Ressourcen Wasser und diverse Energieträger (z.B. fossile Brennstoffe). Die nachhaltige und effiziente Nutzung von Wasser und Energieträgern ist allerdings auch in den Zielen von SDG 6 und SDG 7 abgebildet und wird in den entsprechenden Kapiteln diskutiert. Auch nachhaltige Nutzung und Planung von Gebäuden ist für Ressourcenschonung zentral, auch weil so Energie und THG-Emissionen eingespart werden können; dazu wird im Kapitel zu SDG 13 eingegangen. Im vorliegenden Kapitel liegt der Fokus auf über diese Ressourcen hinausgehende Themen der nachhaltigen Produktion, die für Anlagenmechanik relevant sind; dies sind die nachhaltige Nutzung von Werkstoffen, Geräten, und Anlagenteilen und die Verringerung von Materialrest- und Abfallentstehung sowie nachhaltige Beschaffung (vgl. dazu auch SDG 13).

Ressourcenverbrauch

Gegenwärtig steigen sowohl der weltweite Ressourcenverbrauch als auch das globale Abfallaufkommen unvermindert an. Die Gewinnung und Verarbeitung von Ressourcen führen dabei zu hohen Treibhausgasemissionen sowie zu enormen Umweltbelastungen und Biodiversitätsverlusten. Laut Schätzungen des International Resource Panels der Vereinten Nationen gehen etwa 50 % der globalen Treibhausgasemissionen direkt oder indirekt auf die Gewinnung und Verarbeitung von fossilen Rohstoffen, Biomasse, Erzen und Mineralien zurück. Deshalb ist es dringend geboten, den Ressourcenverbrauch auf ein zukunftsverträgliches Ausmaß zu reduzieren und das Wirtschaftswachstum mit der Begrenztheit der Ressourcen in Einklang zu bringen. Das erfordert eine Abkehr vom derzeit dominierenden linearen hin zu einem zirkulären Wirtschaftssystem. Auch Deutschland muss sich dieser Herausforderung stellen und den entsprechenden Transformationsprozess durchlaufen (Global Resources Outlook 2019).

Ziel der Transformation ist es, durch Innovation, Technologie und die Betrachtung des gesamten Systems die Basis für eine zirkuläre Wirtschaftsweise bereitzustellen. Das erfordert die Entwicklung neuer und die Verbesserung bestehender Technologien, Systeme und Prozesse. Im Fokus stehen dabei die Beschaffung und Nutzung recycelbarer, unbedenklicher und möglichst biobasierter Materialien, sämtliche Aspekte des Designs (Materialauswahl, Zerlegbarkeit, Reparierbarkeit, Re-Use) sowie die ressourceneffiziente und emissionsarme Herstellung wiederverwendbarer Produkte (Circular Futures o.J.).

Weitere zentrale Handlungsfelder sind die Rohstoffrückgewinnung (Aufbereitung) und sämtliche Aspekte des Recyclings. Überlegungen zu einem entsprechend angepassten Verhalten der Verbraucher und Verbraucherinnen wie Leasing, Sharing, Re-Use, Refurbishment und Repair sind dabei ebenso von entscheidender Bedeutung wie eine durchgängige Erfassung, Nutzung und Bereitstellung von Daten über den gesamten Lebenszyklus (BMWK 2022).

Bei der Nutzung von Hilfs- und Betriebsstoffen ist es, erstens, zentral die Mengen konsequent auf die minimale notwendige Menge zu reduzieren. Zweitens sollte bei der Auswahl auf möglichst nachhaltige Alternativen zurückgegriffen werden. Zertifikate, wie der Blaue Engel helfen bei der Auswahl. Der Blaue Engel hat eine Vielzahl von Produkten zertifiziert (Blauer Engel o.J.). Ein Beispiel sind biologisch abbaubare Schmierstoffe und Hydraulikflüssigkeiten (DE-UZ 178). Das Umweltzeichen für biologisch abbaubare Schmierstoffe und Hydraulikflüssigkeiten gibt dem Anwender die Möglichkeit, diejenigen Produkte auszuwählen, die z. B. überwiegend aus nachwachsenden Rohstoffen (pflanzliche oder tierische Öle) bestehen und die sich insbesondere durch eine gute biologische Abbaubarkeit auszeichnen.

Nachhaltigkeit von Werkstoffen

Im Folgenden sind beispielhaft einige Aspekte von wichtigen Werkstoffen geschildert. Ähnliche Überlegungen und Abwägungen können und sollten für alle verwendeten Werkstoffe, von weiteren Rohrwerkstoffen bis zu Materialien, aus denen Badmobiliar hergestellt werden kann, angestellt werden.

Rohrwerkstoffe - Beispiel Kupfer

Im Bereich SHK sind Rohrsysteme naturgemäß von großer Bedeutung. Die Vielfalt an möglichen Werkstoffen ist groß und unterscheidet sich stark je nach Anwendungsbereich. Die Eignung der unterschiedlichen Werkstoffe hängt auch stark von der Anwendung und den benötigten Eigenschaften ab. Im Folgenden soll von diesen Faktoren abgesehen werden. Stattdessen werden, am Beispiel von Kupfer im Vergleich mit Kunststoff als Werkstoff für Rohre, Nachhaltigkeitsaspekte diskutiert.

Im Bezug auf THG findet eine Studie, die vom Kupfer Verband International Copper Alliance in Auftrag gegeben wurde, über den Lebenszyklus geringere THG Emissionen von Kupfer-Trinkwasserrohrsystemen im Vergleich mit solchen aus Kunststoff-Mehrschichtverbundrohre (PEX-Al) und kunststoffvernetztes Polyethylen (PEX) (IKZ 2023). Gleichzeitig ist das Versauerungspotential sowie der Wasserverbrauch für die Rohmaterialgewinnung und die Produktherstellung bei Kupfer höher als bei den Kunststoff Systemen. Auch aus diesem Grund ist die Rückgewinnung von Kupfer am Ende der Lebensdauer wichtig, um den Ressourcenverbrauch durch Wiederverwendung zu verringern (ebd.). Wie im Kapitel zu SDG 3 diskutiert, tragen Kunststoff (Abwasser-)Rohrsysteme auch zu Mikroplastikvorkommen in der Umwelt bei. Zusammen mit den Resultaten der genannten Studie scheint also einiges für die Verwendung von Kupferrohren zu sprechen. Jedoch ist die Frage nach der Nachhaltigkeit von Werkstoffen komplex - weitere Faktoren müssen mit berücksichtigt werden.

Die Kupferherstellung, vom Bergbau einer Mine bis zur Verhüttung benötigt sehr viel Wasser. Die Minen liegen aber häufig in trockenen Gebieten wie z.B. in Chile oder Australien, hier muss Oberflächenwasser über Pumpsysteme oder Tanklaster herbeigeschafft oder durch Eingriffe in das tiefe Grundwasser gewonnen werden (UBA 2013, BGR 2020). Beides verschärft die Wasserknappheit in den ariden Regionen, es ergeben sich Nutzungskonkurrenzen sowohl für das Trinkwasser der Menschen als auch für die Landwirtschaft. Liegt die Mine hingegen in Gebieten mit periodisch hohen Niederschlägen und zugleich im Tagebau wie z.B. in Sambia, so laufen die Gruben voll und das Wasser muss abgepumpt, aufgrund der Schwermetallbelastung aus der Grube aufbereitet und dann abgeleitet werden (BGR 2020).

Zudem können durch das im Prozess genutzte Wasser Schadstoffe in die Umwelt gelangen. Der Kupferbergbau, die Verhüttung und die Herstellung von Halbzeugen verursacht Reststoffe. In Abhängigkeit von den lagerstätten-spezifischen mineralogischen und geochemischen Eigenschaften der Mineralien, der Art der Aufbereitung sowie den lokalen Bedingungen geht immer Gefahr für die Umwelt aus. Nur Platin, Gold und Silber sind als Edelmetalle "metallisch" im Gestein, alle anderen sind Oxide oder Sulfide mit vielen assoziierten Schwermetallen (z. B. Zink, Blei, Arsen, Antimon). Fast alle Aufbereitungstechnologien, vom Erz zu einem verhüttungsfähigen Zwischenmaterial, nutzen Wasser, entweder als Transportmedium oder als Medium für anschließende chemische Prozesse in Lösungen. Wasser ist häufig für etwa 70 % des Schadstoffaustrags verantwortlich (BGR 2020). Aufgrund der häufig sulfidischen Mineralogie von Kupferlagerstätten ist die Bildung saurer Grubenwässer eine besondere Herausforderung. Die oxidative Verwitterung (eisen)-sulfidischer Minerale führt zur Bildung von Schwefelsäure und daraufhin zur Freisetzung von teilweise toxischen Elementen, die neben Kupfer im Gestein vorhanden sind und von der Schwefelsäure

gelöst werden. Viele dieser Elemente sind unter den sauren Bedingungen sehr mobil und können so in die Umwelt gelangen (ebd. 2020).

Neben den wässrigen Abfällen sind die typischen Brenn- und Schmelzprozesse eine zweite Quelle für Umweltgefährdungen. Abgasemissionen sind bei der Verhüttung und Rösten von Kupfer ein besonders kritischer Punkt, vor allem Schwefeldioxid, welches beim Rösten von sulfidischen Erzen entsteht, muss aus der Abluft abgeschieden werden. Probleme wurden vor allem bei veralteten Kupferhütten, z.B. in Sambia und in Russland, beobachtet. Diese führten zu gesundheitlichen Problemen der Beschäftigten und der örtlichen Bevölkerung. Moderne Abluftfilter filtern bis zu 99% des Schwefeldioxids aus der Abluft und nutzen diese für die Herstellung von Schwefelsäure. Allerdings finden sich die meisten Minen - außer in den USA und Australien - in Ländern mit niedrigeren Umweltstandards oder in Ländern mit weniger strengen Kontrollen. Rusal - der größte Aluminiumhersteller der Welt - verwendete noch 2011 eine Technologie der Aluminiumschmelze, die aufgrund der Umweltbelastung in Deutschland seit den 80er-Jahren nicht verwendet wurde (HBS 2011). In Europa hingegen steht dessen größte Kupferhütte im Hamburger Hafen, quasi mitten in der Stadt und in Rotterdam hat Umicor die größten europäischen Aufbereitungsanlagen für Elektroschrott. Diese Beispiele zeigen, dass Verhüttungstechnik mit moderner Aufbereitungstechnik für Abwasser und Luft auch mitten in unserer Gesellschaft möglich ist.

Der Bergbau von Kupfer findet vor allem im globalen Süden statt. Bei der Extraktion im Tagebau entstehen Luftbelastungen durch Schwermetalle in Stäuben, vorwiegend Arsen (Ingenieur 2014), wie am Beispiel der Chuquicamata Mine in Chile kürzlich nachgewiesen werden konnte (NDR 2022). Dort lagen bei Messungen im Jahr 2021 an zwei ausgewählten Orten, einer Schule und einem Sportplatz, die Arsenwerte 200% über dem nationalen Grenzwert, dieser liegt derzeit 115% höher als die europäischen Grenzwerte. Solche Schwermetallbelastungen in der Luft können das Risiko, beispielsweise an Krebs, zu erkranken erhöhen (ebd.).

Dämmmaterialien

Komponenten von Wasserversorgungssystemen und Heizungen, wie Rohrleitungen, sollten (und müssen gemäß GEG - Gebäudeenergiegesetz) aus Gründen der Energieeffizienz und der damit verbundenen Einsparung an THG-Emissionen, des Komforts sowie der Vermeidung von Legionellenvermehrung stets gut gedämmt sein. Klima und Umwelt. Dazu gehören der Energie- und Rohstoffaufwand bei der Herstellung und beim Einbau ebenso wie eine spätere stoffliche Wiederverwertungsmöglichkeit oder Entsorgung. Die Nachhaltigkeit der Dämmstoffe gelangt immer mehr in den Fokus bei der Materialauswahl (effizienzhaus online o.J.a).

Die gängigsten Dämmstoffe für Rohrisolierung sind Kunststoff (Polyethylen PE oder Polyurethan PUR), Kautschuk oder Kunstkautschuk und Mineralwolle (CO₂ online 2022). Für Dämmung unter Fußbodenheizungen wird beispielsweise Polystyrol verwendet. Betrachtet man Dämmstoffe insgesamt wurden in Deutschland 2021 ca. 824.000 t Dämmstoff produziert (Statista 2022a). Dieser war vor allem erdölbasiert, circa 160.000 t waren Mineralwolle. Ca. 50 Prozent der in Deutschland verwendeten Dämmstoffe sind mineralischen Ursprungs wie Stein- und Glaswolle (Stand: 2022). Neben der sogenannten Mineralwolle finden Polystyrol (EPS), Polyurethan und Dämmschäume Verwendung, die als synthetische Dämmstoffe meist aus Erdöl produziert werden. Diese konventionellen Dämmstoffe haben insgesamt einen Marktanteil von ca. 90 Prozent. Alternative Dämmstoffe wie Schafwolle, Hanf, Zellulose/ Papier oder Holzwolle-Dämmplatten kommen auf einen Marktanteil von weniger als 10 Prozent. Konventionelle Dämmstoffe sind auch aufgrund ihres Produktionsvolumens meist kostengünstiger als ökologische aus nachwachsenden Rohstoffen. Betrachtet man den Kosten-Nutzen-Effekt, so ergeben sich bei Dämmstoffen schon nach mehreren Monaten erhebliche Einsparungen von Ressourcen (Energie) sowie eine Verringerung der THG-Emissionen (z.B. CO₂). In diesem Punkt unterscheiden sich alle gängigen Dämmstoffe nicht.

Rohstoffe Dämmmaterial

Dämmstoffe werden aus verschiedenen Rohstoffen wie Erdöl, Gestein, Glas, Holz, pflanzlichen und tierischen Fasern hergestellt. Sie werden weiterverarbeitet, z.B. zu Flocken, Matten, Schächten, Platten oder Schüttungen. Die wichtigsten Eigenschaften in Bezug auf die Nutzung konventioneller, d.h. mineralischer und synthetischer Dämmstoffe (CO₂online o.J.b):

- Sie verfügen über gute bis sehr gute Dämmeigenschaften
- Sie sind in der Regel preiswerter als ökologische Dämmstoffe
- Sie verbrauchen endliche fossile (Öl) und mineralische Ressourcen
- An Recycling / Wiederverwendung wird noch geforscht
- Deponierung / thermische Verwertung teuer

Dämmstoffe auf organischer (natürlicher) Basis besitzen demgegenüber folgende Eigenschaften (CO₂online o.J.b):

- ökologische Dämmstoffe sind gut für Umwelt
- besonders guter Schutz vor sommerlicher Hitze
- sehr gutes Wohnklima durch Naturdämmstoffe
- Schonung fossiler und mineralischer Ressourcen
- Herstellung und Recycling meist mit wenig Energieaufwand

- natürliche Dämmstoffe sind meist teurer als konventionelle Dämmstoffe
- Für eine stärkere Bindung sowie einen erhöhten Brandschutz werden sie imprägniert oder mit künstlichen Fasern versehen, sie sind meistens auch nicht vollkommen nachhaltig und naturbelassen sind

Lebenszyklusbetrachtung

Wichtig ist die Betrachtung des Herstellungsprozesses und der Rohstoffe, aus denen der Dämmstoff hergestellt wird, sowie deren Möglichkeit zu einer weiteren stofflichen (Wieder-)Verwertung (Recyclingfähigkeit) bei einem Rückbau oder einer Sanierung. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen können hier punkten, da sie praktisch unbegrenzt zur Verfügung stehen und weiterverwendet werden können (Effizienzhaus-online o.J.). Hierzu zählen z.B. Holzfaser, Hanf, Flachs, Kokosfaser, Stroh und Schafwolle. Der Vorteil dieser Dämmstoffe liegt auch darin, dass sie zu ihrer Herstellung keine fossilen Rohstoffe (wie z.B. Erdöl für Polystyrol) und keinen energieintensiver Produktionsprozess benötigen (wie z.B. bei Mineralfasern) und häufig ohne chemische Behandlung auskommen. Ein weiterer nachhaltiger Dämmstoff, der Zellulosedämmstoff, entspringt einer Nachnutzungskaskade: Zellulosedämmstoff wird aus vorhandenem Altpapier (gehäckseltem Zeitungspapier) hergestellt.

Die Ergebnisse einer Studie zur ganzheitlichen Bewertung verschiedener Dämmstoffalternativen belegen die grundsätzliche Sinnhaftigkeit von Dämmmaßnahmen von Gebäuden auch aus ökologischer Sicht. Es gibt aber auch bei der Dämmstoffproduktion noch viel Potenzial hin zu mehr Nachhaltigkeit (ifeu 2019). Zentrale Erkenntnisse dieser Studie bei einer übergreifenden Betrachtung:

- Die Dämmstoffauswahl für den Einsatz in den unterschiedlichen Bauteilen sollte zukünftig auch unter dem Aspekt der Umweltfreundlichkeit erfolgen (ebd.).
- Die Dämmstoffproduktion muss umweltfreundlicher werden. Es gilt den spezifischen Betriebsmittel- und Energieeinsatz sowie die Emissionen zu minimieren (ebd.).
- Spezifische Umweltlasten lassen sich bei allen Dämmstoffen durch eine Optimierung der stofflichen Verwertung (Weiterverwendung) stark vermindern. Daher sind alle Beteiligten im Rahmen des Verarbeitungsprozesses aufgerufen, den Materialkreislauf zu fördern und die Abfallmengen weiter zu verringern (ebd.).

Bei einer Bewertung von Dämmmaterialien sollten daher vor allem folgende Kriterien beachtet werden:

- Eine Lebenszyklusbetrachtung des Materials (Nachhaltigkeitsaspekte)

- die spezifischen Einsatzbereiche unterschiedlicher Materialien
- die bauphysikalischen Eigenschaften bezogen auf den Einsatzzweck
- mögliche Dämmstärken aufgrund konstruktiver Vorgaben (in Abhängigkeit von der Dämmwirkung) sowie
- die Demontierbarkeit und die Weiterverwendbarkeit bzw. die Entsorgung

Die verschiedenen Dämmstoffe haben bei gleicher Dämmstärke unterschiedliche Dämmwirkungen und Kosten. Aufgrund der jeweiligen Marktsituation des Bausektors können nicht nur die Baustoffpreise, sondern auch die Dämmstoffpreise stark schwanken. Grundsätzlich sind Dämmstoffe auf mineralischer und fossiler Rohstoffbasis jedoch kostengünstiger als Dämmstoffe auf Naturbasis.

Im Gebäude-Energie-Gesetz ist festgelegt, wie viel Wärmeenergie die jeweiligen Gebäudeteile nach einer Dämmmaßnahme noch durchlassen dürfen. Das bedeutet, dass der vorgesehene Dämmstoff, der eingesetzt werden soll, die gesetzlichen Vorgaben erfüllen muss und in einer entsprechenden Dämmstärke eingesetzt werden muss. (EnEV-online o.J.).

Quellenverzeichnis

- BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2020): Kupfer - Informationen zur Nachhaltigkeit. Online: https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/kupfer.pdf
- Blauer Engel (o.J.): Das deutsche Umweltzeichen. Online: <https://www.blauer-engel.de/de>
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022): Digitalisierung und Nachhaltigkeit – was müssen alle Auszubildenden lernen? Online: <https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/berufliche-bildung/rahmenbedingungen-und-gesetzliche-grundlagen/gestaltung-von-aus-und-fortbildungsordnungen/digitalisierung-und-nachhaltigkeit/digitalisierung-und-nachhaltigkeit>
- BMWK (2022): Österreichisches Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMWK): FTI-Initiative Kreislaufwirtschaft – Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft. Online: <https://fdoc.ffg.at/s/vdb/public/node/content/8nKEL-hcRnqkwYOL8MHgxg/1.0?a=true>
- Circular Futures (o.J.): Plattform Kreislaufwirtschaft Österreich: SDGs & Kreislaufwirtschaft. Online: <https://www.circularfutures.at/themen/kreislaufwirtschaftspolitik/sdgs-and-kreislaufwirtschaft/>
- CO₂ Online (2022): Rohrisolierung: Kosten, Ersparnis und Material. Online: <https://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen/sanierung-modernisierung/rohrisolierung-kosten-ersparnis-und-material/#c116659>
- CO₂ Online (o.J.b): Alle konventionellen Dämmstoffe im direkten Vergleich. Online: <https://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen/daemmung/konventionelle-daemmstoffe/>
- Effizienzhaus-online (o.J.a): Dacheindeckung aus Kunststoff – ein Material mit vielfältigen Überdachungsvariationen <https://www.effizienzhaus-online.de/materialien-zur-dacheindeckung/>
- Global Resources Outlook (2019): UN-Ressourcenrat (International Resource Panel): Global Resources Outlook 2019. Online: resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook

- HBS Hans-Böckler-Stiftung / Cornelia Grindt (2011): Hier beginnt Rusal. Online: <https://www.boeckler.de/de/magazin-mitbestimmung-2744-hier-beginnt-rusal-5571.htm>
- Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung (2019): Ganzheitliche Bewertung von verschiedenen Dämmstoffalternativen. Online: https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Bericht-D%C3%A4mmstoffe_23032020.pdf
- IKZ (2023): Kupferwerkstoffe in Gebäuden. Online: <https://www.ikz.de/medien/ikz-fachplaner/heftarchiv/jahrgang-2023/ausgabe-01/news/detail/kupferwerkstoffe-in-gebaeuden/>
- Ingenieur (2014): Bergbauunternehmen stürzen sich auf arsenverseuchte Kupferquellen. Online: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/werkstoffe/bergbauunternehmen-stuerzen-arsenverseuchte-kupferquellen/>
- NDR Norddeutscher Rundfunk (2022): Schmutziges Kupfer - Die dunkle Seite der Energiewende, Film von Michael Höft, Ausstrahlungsdatum 25.10.2022. Online: <https://www.ardmediathek.de/video/45-min/schmutziges-kupfer-die-dunkle-seite-der-energiewende/ndr/>
- ProgRes (2020) Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III - 2020 bis 2023: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz: Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen vom 01.06.2020. Online: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/ressourceneffizienz_programm_2020_2023.pdf
- Statista (2022a): Dämmstoffproduktion 2021. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/589622/umfrage/produktion-von-daemmstoffen-in-deutschland/>
- UBA Umweltbundesamt (2013): Fallstudie Kupfer in Chile. Online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/umsouress_fallstudie_kupfer_chile.pdf

SDG 13: “Maßnahmen zum Klimaschutz”

“Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen”

Das SDG 13, gehört zu den besonders zentralen Nachhaltigkeitszielen und zielt darauf ab den Klimawandel als globale Bedrohung, die bereits heute jedes Land auf allen Kontinenten betrifft und sich negativ auf die Volkswirtschaften und das Leben jedes Einzelnen auswirkt, zu begrenzen.

Für die Handlungsfelder der Anlagenmechanik im Bereich SHK ist besonders das folgenden Unterziel von Relevanz (Destatis 2022):

- *SDG 13.3: “Die Aufklärung und Sensibilisierung sowie die personellen und institutionellen Kapazitäten im Bereich der Abschwächung des Klimawandels, der Klimaanpassung, der Reduzierung der Klimaauswirkungen sowie der Frühwarnung verbessern”*

Die Schnittmengen mit der Standardberufsbildposition liegen erstens in der Reduzierung der direkten und indirekten Emissionen (Belastung der Umwelt) sowie der nachhaltigen Nutzung von Energie (vgl.: BMBF 2022). Zweitens liegt die Schnittmenge in dem Kontakt mit und der Beratung von Kunden bezüglich unterschiedlicher SHK-Anlagen und deren Emissionen.

- a) *Möglichkeiten zur Vermeidung betriebsbedingter Belastungen für Umwelt und Gesellschaft im eigenen Aufgabenbereich erkennen und zu deren Weiterentwicklung beitragen*
- b) *bei Arbeitsprozessen und im Hinblick auf Produkte, Waren oder Dienstleistungen Materialien und Energie unter wirtschaftlichen, umweltverträglichen und sozialen Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit nutzen*
- e) *Vorschläge für nachhaltiges Handeln für den eigenen Arbeitsbereich entwickeln*
- f) *unter Einhaltung betrieblicher Regelungen im Sinne einer ökonomischen, ökologischen und sozial nachhaltigen Entwicklung zusammenarbeiten und adressatengerecht kommunizieren*

Die Auswirkungen des Klimawandels sind bereits heute Realität: Die Wetterverhältnisse ändern sich, der Meeresspiegel steigt, die Wetterereignisse werden immer extremer und die THG-Emissionen erreichen heute die höchsten Werte in der Geschichte. Ohne entsprechende Maßnahmen dürfte der durchschnittliche Anstieg der Oberflächentemperatur der Welt in diesem Jahrhundert 3 Grad Celsius überschreiten. Am stärksten betroffen sind die Ärmsten und die Schwächsten. Doch erschwingliche und ausbaufähige Lösungen sind bereits jetzt verfügbar, denn immer mehr Menschen greifen auf erneuerbare Energien und eine Reihe anderer Maßnahmen zurück, welche die Emissionen von THG reduzieren und die Anpassung an den Klimawandel stärken. Der Klimawandel ist jedoch eine globale Herausforderung, die keine nationalen Grenzen kennt. Für die Lösung dieses globalen Problems ist daher eine Koordination auf internationaler Ebene unverzichtbar (UNRIC o. J.)

Der Klimawandel wird durch die Emission von THG verursacht. Zahlreiche Gase sind verantwortlich für den Klimawandel. Ihnen gemeinsam ist ihre Undurchlässigkeit für die (Infrarot-)Wärmestrahlung der Erde. Dies führt bekanntermaßen zum Klimawandel. Jedes dieser Gase trägt in unterschiedlichem Maße zum Klimawandel bei. Die Stoffe bleiben zudem unterschiedlich lange in der Atmosphäre, weshalb sie unterschiedlich zum Treibhauseffekt beitragen. Das IPCC (International Panel for Climate Change) definiert deshalb ein GWP Global Warming Potential (Erwärmungswirkung für den Klimawandel) eines Stoffes in hundert Jahren im Vergleich zu Kohlendioxid CO₂, wie folgt (vgl. My Climate o.J.):

- Kohlendioxid CO₂: 1 (Bezugswert)
- Methan CH₄: 28

- Stickstoffdioxid N₂O: 265
- FCKW (verboten) > 12.000

Um die unterschiedlichen THG in einer Einheit auszudrücken, werden CO₂-Äquivalente genutzt, die berechnet werden, indem die Menge des jeweiligen Stoffes mit dem GWP multipliziert wird.

In Deutschland sind die THG-Emissionen zwischen 1990 und 2021 um etwas weniger als 39% gesunken. Die gesamten Emissionen betragen 2021 ca. 762 Millionen Tonnen; 480 Millionen Tonnen weniger wurden im Vergleich zu 1990 ausgestoßen. Damit wurde das Ziel von 40% nicht erreicht. Bis 2030 sollen die Emissionen (relativ zu den Emissionen von 1990) um 65% sinken. 2045 soll das Ziel vollständiger THG-Neutralität erreicht werden (UBA 2022 j).

Raumwärme, Warmwasser und Klimaschutz

Der größte Anteil von THG-Emissionen (84%) wird durch die Nutzung fossiler Energieträger freigesetzt (UBA 2022 k). Darüber hinaus entstehen aber auch Emissionen bei industriellen Prozessen und in der Land- und Abfallwirtschaft. Wie im Kapitel zu SDG 7 "Bezahlbare und saubere Energie" beschrieben, entfällt auf Wärmeerzeugung mehr als 50% des gesamten Endenergiebedarfs in Deutschland, 30% davon auf Raumwärme (UBA 2022d). In privaten Haushalten macht Raumwärme zusammen mit Warmwasser ca. 98% des Energiebedarfs aus (dena 2022). Dies bringt, da in Deutschland zur Wärmeerzeugung nach wie vor überwiegend fossile Energieträger genutzt werden (UBA 2022d), sehr hohe THG-Emissionen mit sich, auch wenn der Trend abwärts geht. Im Jahr 2021 kam es im Sektor Gebäude in Deutschland zu THG-Emissionen von ca. 115 Millionen Tonnen. Die Emissionen wurden zwar gegenüber dem Vorjahr verringert, verfehlten aber die (gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz) erlaubte Emissionsmenge von 113 Millionen Tonnen (UBA 2022 k). In diesen Zahlen werden nur die Emissionen, die direkt in räumlichem Zusammenhang mit einem Gebäude stehen, erfasst (z.B. Verbrennung von Gas für Raumheizung). Erweitert man die Perspektive, müssen noch THG-Emissionen, die beispielsweise bei der Stromversorgung oder dem Transport und der Herstellung von Baumaterialien berücksichtigt werden (dena 2022).

Was aus diesen Zahlen hervorgeht, ist die große Bedeutung von der Umstellung auf erneuerbare Energien und eine Steigerung der Energieeffizienz bei Raumwärme- und Warmwasserversorgung (die sogenannte Wärmewende). Die Bedeutung beider Aspekte, das Ersetzen von fossilen Energieträgern mit erneuerbaren zur Wärmeerzeugung sowie Effizienz werden im Abschnitt zu SDG 7 beschrieben. Im Folgenden werden sie in Bezug gesetzt zur Begrenzung des Klimawandels durch Verminderung der THG-Emissionen.

In den vergangenen Jahrzehnten sind die erneuerbaren Energien in Deutschland stark ausgebaut worden. Im Jahr 2021 sind durch die Nutzung von erneuerbaren Energien statt fossiler Energieträger 217 Millionen Tonnen THG weniger freigesetzt worden. Der Großteil der Einsparungen ist auf Strom aus erneuerbaren Energien zurückzuführen (75%). Der Wärmebereich ist für etwa 20% verantwortlich und die Nutzung von erneuerbaren Energien im Verkehr für etwa 5% (UBA 2022 k). Erneuerbarer Strom ist auch für Technologien wie Wärmepumpen und deren THG-Emissionen essentiell und wird möglicherweise in Zukunft auch für Klimatisierung in Wohngebäuden eine stärkere Rolle spielen, da eine stärkere Nachfrage nach Klimaanlagen erwartet wird (s.o.).

Bei der Beurteilung der Klimafolgen von Bioenergie ist es wichtig, nicht nur den Prozess der Energieerzeugung sondern auch den Kontext zu berücksichtigen. Wie oben erwähnt kann der Anbau von Pflanzen, die als Biomasse zur Biogaserzeugung dienen, im Konflikt mit Zielen wie Lebensmittelversorgung stehen. Bei der Verbrennung von Holz (beispielsweise in Pelletheizungen) wird, neben Luftschadstoffen, zwar nur die Menge CO₂ freigesetzt, die während des Wachstums im Holz gebunden wurde. Jedoch wäre das CO₂ durch eine andere Nutzung der Ressource Holz (z.B. Häuser, Möbel) deutlich länger gebunden (UBA 2020c). Zudem leiden die Wälder in Deutschland derzeit unter Dürre und anderen Faktoren. Da Wälder aber eine zentrale Rolle als CO₂ Speicher spielen und ihr Nachwachsen, bzw. der Neuaufbau von Wäldern als CO₂ Speicher, Jahrzehnte dauert, sollten sie nicht übermäßig zu Heizzwecken genutzt werden, selbst wenn die Ressource Holz prinzipiell erneuerbar ist (nabu o.j.). Wälder sind, neben ihrer Rolle als Kohlenstoffspeicher, auch für weitere wichtige Zwecke zentral, wie beispielsweise für Artenvielfalt. Darüber hinaus müssen auch indirekte THG-Emissionen von Holzheizsystemen, wie beispielsweise Transport, beachtet werden (UBA 2020c).

Eine zentrale Rolle bei erneuerbarer Wärmeerzeugung spielt Umgebungswärme, speziell Wärmepumpen. Im Jahr 2020 konnten durch die 1,3 Millionen Wärmepumpen, die zu diesem Zeitpunkt in Deutschland in Betrieb waren, 2 Millionen Tonnen THG vermieden werden. Die THG-Emissionen, die durch den Betrieb von Wärmepumpen (wie z.B. ein nicht rein nachhaltiger Strommix) verursacht wurden, sind hier bereits abgezogen. Eine Kombination von Wärmepumpe und PV-Anlage kann die THG-Emissionen weiter senken (UBA 2022f).

Energieeffizienz birgt, solange nicht flächendeckend erneuerbare Energien zu Heizzwecken genutzt werden, weitere Potenziale zur Minderung von THG-Emissionen. Auch darüber hinaus ist es aber nicht nur aus Kostengründen, sondern auch zur Begrenzung des Klimawandels und einer umfassend nachhaltigen Nutzung sinnvoll, auf hohe Anlageneffizienz zu achten. Beispielsweise besteht für Anlagen, die Strom für den Betrieb benötigen, sonst die Gefahr, dass bei steigenden Anlagenzahlen das Stromnetz überlastet wird.

Kältemittel und Klimaschutz

Sowohl Wärmepumpen als auch Klimaanlage, die nach dem Kompressionsprinzip funktionieren, benötigen Kältemittel. In den letzten Jahrzehnten wurden hierfür treibhausgaswirksame teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) genutzt, die über ein sehr großes GWP verfügen, das das Potential von CO₂ um das bis zu 4000-fache übersteigt (UBA 2022f), also im Vergleich zur entsprechenden Menge CO₂ ein Vielfaches mehr zur globalen Erwärmung beiträgt. In Klimaanlage werden in rund 95 % nach wie vor sehr klimaschädliche Kältemittel genutzt. Während das Kältemittel eigentlich in einem geschlossenen Kreislauf zirkuliert, besteht das Risiko von Leckagen. Im Jahr 2010 kam es in Deutschland zu HFKW-Emissionen von rund 400 Tonnen durch stationäre Klimatisierung, was rund 717.000 Tonnen CO₂-Äquivalenten entspricht.

Je nach Anlagentyp und Kältemittelfüllmenge ist die Neigung zu Leckagen sowie die potentiell austretende Menge unterschiedlich. Weitverzweigte Anlagen mit vielen Anschlüssen (Multisplitanlagen) sind im Vergleich mit anderen Anlagen relativ hoch. Während die Verordnung über fluorierte Treibhausgase (F-Gas-Verordnung) Dichtheitsprüfungen vorsieht, sind diese häufig nicht angemessen durchführbar, da Kältemittelleitungen im Gebäude verlegt und damit schwer zugänglich sind (UBA 2020d). Die Verordnung regelt außerdem eine schrittweise Reduktion der verfügbaren Menge teilfluorierter Kohlenwasserstoffe in der EU und die Zulässigkeit von bestimmten Anwendungen mit hohem GWP, die teils schon verboten sind oder in den kommenden Jahren verboten werden (UBA 2022f).

Je nach Anlage sind unterschiedliche Kältemittel geeignet und bestimmen die Wirkung und den Energieverbrauch einer Anlage mit. Es gibt aber für beinahe jeden Anlagentyp nicht-fluorierte (bzw. halogenierte) Kältemittel Alternativen. Dazu gehören z.B.: CO₂, Ammoniak, Kohlenwasserstoffe, Wasser und Luft. Viele dieser Kältemittel sind schon über Jahrzehnte erprobt und haben sich bewährt, so z.B. Ammoniak und CO₂. Während diese anderen Kältemittel auch Nachteile mit sich bringen (z.B. ist Ammoniak giftig und Kohlenwasserstoffe sind brennbar), sind die Sicherheitsanforderungen durch geltende Normen hoch (UBA o.j.b). Für Hauswärmepumpen lassen sich Wasser und Luft nur schwer als Kältemittel nutzen, beispielsweise Propan wird aber bereits in verfügbaren Wärmepumpen-Modellen genutzt (UBA 2022f). Auch in anderen Bereichen der Kältetechnik, z.B. Kältetechnik im Einzelhandel, werden zunehmend Kältemittel Alternativen wie CO₂ oder Propan umgestellt.

Neben der Nutzung von natürlichen Kältemitteln, ist eine Alternative für Klimatisierung die Verwendung von Kältemaschinen, die auf anderen Technologien basieren, beispielsweise Ab- und Adsorptionskältemaschinen. Statt mit elektrischer Energie werden solche Anlagen mit Wärmeenergie angetrieben, als Kältemittel dient Wasser. Die Temperatur der Wärmequelle muss dabei nicht sehr hoch sein (65 Grad reichen aus). Als

Wärmequelle eignet sich beispielsweise die Abwärme eines Blockheizkraftwerks, Solarwärme, oder Fernwärme. Wird Solarwärme oder eine Abwärmequelle genutzt, sind Absorptionskälteanlagen im Vergleich mit anderen Kälteanlagen besonders energieeffizient und führen zu den geringsten THG-Emissionen (UBA 2020d).

Klimaschutz in Gebäudeplanung und -bau

Wie im Kapitel zu SDG 7 beschrieben, spielt auch eine nachhaltigkeitsorientierte Bauplanung bei Energieeffizienz und Energiesparen eine große Rolle und wird durch rechtliche Rahmenbedingungen geregelt. Die Bauphase bestimmt aber nicht nur, wie effizient in der Nutzungsphase beispielsweise geheizt werden kann, auch in den Bau selbst fließt viel Energie und entsprechend sind auch die THG-Emissionen hoch. Betrachtet man neben der Nutzungsphase auch den Bau und Rückbau von Gebäuden, macht der Sektor Gebäude rund ein Drittel der gesamten THG-Emissionen aus. Im Bau spielt vor allem graue Energie, das heißt die Primärenergie, die in einem Gebäude steckt, also für den Gebäudebau (z.B. die Produktion von Materialien und der Transport) notwendig ist, sowie die Energie, die es für den Rückbau (inklusive Entsorgung) braucht, eine große Rolle (WWF 2022). Durch zunehmenden Raumbedarf in Deutschland wird das Problem des Klimaschutzes im Gebäudesektor noch akuter: zwischen 1991 und 2020 ist die durchschnittliche Wohnfläche pro Kopf von 34,9 auf 47,7 m² gestiegen (ebd.). Dies bedeutet einerseits einen höheren Energiebedarf für Raumwärme u.Ä. in der Nutzungsphase und bedeutet andererseits mehr benötigter Wohnraum insgesamt.

Gemäß des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) soll der Gebäudesektor seine THG-Emissionen bis 2030 halbieren, auf jährlich 67 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Daher muss auch die graue Energie, die neu in Gebäuden fließt, reduziert werden. Dies geschieht, indem Ressourcen möglichst nachhaltig bezogen und genutzt werden und eine zirkuläre Wirtschaftsweise (siehe im Abschnitt zu SDG 12) etabliert wird.

Eine Verringerung der THG-Emissionen im Gebäudebau und eine zirkuläre Wirtschaftsweise bedeuten vor allem, dass Gebäude möglichst lange genutzt werden, dass Gebäudebestand erhalten und saniert und Neubau reduziert wird. Dafür ist einerseits eine deutliche Erhöhung der Sanierungsquote, inklusive energetischer Sanierungen durch Dämmungen und den Einbau effizientere klimafreundliche Heizungssysteme, nötig (WWF 2022). Ferner ist eine vorausschauende Planung wichtig, die Gebäude so gestaltet, dass sie von Anfang an auf Langlebigkeit ausgelegt, reparierbar und für unterschiedliche Nutzungsformen (z.B. unterschiedliche Wohnkonstellationen) nutzbar sind. Nachhaltige Gebäudeplanung sollte darüber hinaus auch den Rückbau mit einbeziehen und einen möglichst sortenreinen Abbau von Stoffen ermöglichen, um Wiederverwendung und fachgerechte Entsorgung möglich zu machen (ebd.).

Quellenverzeichnis

- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022): Digitalisierung und Nachhaltigkeit – was müssen alle Auszubildenden lernen? Online: <https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/berufliche-bildung/rahmenbedingungen-und-gesetzliche-grundlagen/gestaltung-von-aus-und-fortbildungsordnungen/digitalisierung-und-nachhaltigkeit/digitalisierung-und-nachhaltigkeit>
- Destatis Statistisches Bundesamt (2022): Indikatoren der UN-Nachhaltigkeitsziele. Online: <http://sdg-indikatoren.de/>
- My Climate (o.J.): Was sind CO₂-Äquivalente. Online: <https://www.myclimate.org/de/informieren/faq/faq-detail/was-sind-co2-aequivalente/>
- UBA Umweltbundesamt (2020c): Heizen mit Holz. Online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020_heizen_mit_holz_bf.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2020d): Gebäudeklimatisierung. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/gebaeudeklimatisierung>
- UBA Umweltbundesamt (2022j): Indikator: Emission von Treibhausgasen. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-emission-von-treibhausgasen#die-wichtigsten-fakten>
- UBA Umweltbundesamt (2022k): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung>
- UBA Umweltbundesamt (2022d): Energieverbrauch für fossile und erneuerbare Wärme. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme>
- UBA Umweltbundesamt (2022f): Umgebungswärme und Wärmepumpen: Online <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/umgebungswaerme-waermepumpen#funktion>
- UBA Umweltbundesamt (2022h): Richtiges Heizen schützt das Klima und den Geldbeutel. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/heizen-raumtemperatur#unsere-tipps>
- UBA Umweltbundesamt (o.j,b): Kältemittel. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/natuerliche-kaeltemittel-in-stationaeren-anlagen/kaeltemittel-start>
- UNRIC (o. J.) Regionales Informationszentrum der Vereinten Nationen: SDG 13 Maßnahmen zum Klimaschutz. Online: <https://unric.org/de/17ziele/sdg-13/>
- WWF (2022): Hintergrundpapier Circular Economy im Gebäudesektor. Zirkuläre Maßnahmen im Bestand und Neubau zum Schutz von Klima- und Ökosystemen ergreifen. Online: <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publicationen-PDF/Unternehmen/Hintergrundpapier-Circular-Economy-im-Gebaeudesektor.pdf>

Die Projektagentur Berufliche Bildung für nachhaltige Entwicklung (PA-BBNE) des Partnernetzwerkes Berufliche Bildung am IZT erstellt für eine Vielzahl von Ausbildungsberufen umfangreiche Materialien, um die neue Standardberufsbildposition „Umweltschutz und Nachhaltigkeit“ konkret auszugestalten. Dabei werden in den Hintergrundmaterialien die 17 Sustainable Goals (SDG) der Agenda 2030 und ihre Unterziele aus einer wissenschaftlichen Perspektive der Nachhaltigkeit im Hinblick auf das jeweilige Berufsbild betrachtet. In den sogenannten Impulspapieren werden ausgehend von den Ausbildungsordnungen und Rahmenlehrplänen die Standardberufsbildposition „Umweltschutz und Nachhaltigkeit“ sowie die jeweiligen Berufsbildpositionen beleuchtet und die Möglichkeiten der integrativen Vermittlung der Nachhaltigkeitsthemen aufgezeigt. Darüber hinaus werden wichtige Zielkonflikte sowie die spezifischen Herausforderungen der Nachhaltigkeit mittels Grafiken zur Diskussion gestellt. <https://www.pa-bbne.de>

Das IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH ist eine unabhängige Forschungseinrichtung in Berlin und adressiert seit mehr als 40 Jahren die großen gesellschaftlichen Herausforderungen mit Blick auf die notwendige tiefgreifende Transformation der Gesellschaft. Es ist der Nachhaltigkeit und der Gestaltbarkeit von Zukünften verpflichtet. Als gemeinwohlorientierte inter- und transdisziplinäre Forschungseinrichtung integriert das IZT die wissenschaftlichen Möglichkeiten der Zukunftsforschung, gesellschafts- und naturwissenschaftliche Expertise sowie Praxiswissen. Gesellschaftlich relevante Themen werden frühzeitig erkannt, in den wissenschaftlichen und öffentlichen Diskurs eingebracht und in strategische Forschungsprojekte umgesetzt sowie auch in Bildungsangebote für Allgemeinbildung, berufliche Aus- und Weiterbildung sowie Hochschulbildung übersetzt. <https://www.izt.de>

Impressum

Herausgeber

IZT - Institut für Zukunftsstudien und
Technologiebewertung gemeinnützige GmbH

Schopenhauerstr. 26, 14129 Berlin
www.izt.de

Projektleitung

Dr. Michael Scharp
Forschungsleiter Bildung und Digitale Medien am IZT

m.scharp@izt.de | T 030 80 30 88 - 14

Förderhinweis

Dieser Bericht wurde im Rahmen des Projekts
„Projektagentur Berufliche Bildung für Nachhaltige
Entwicklung“ (PA-BBNE) des Partnernetzwerkes
Berufliche Bildung (PNBB) am IZT“ erstellt und mit
Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und
Forschung unter dem Förderkennzeichen 01J02204
gefördert. Die Verantwortung der Veröffentlichung
liegt bei den Autorinnen und Autoren.

*Dieses Bildungsmaterial berücksichtigt die Gütekriterien
für digitale BNE-Materialien gemäß Beschluss der
Nationalen Plattform BNE vom 09. Dezember 2022.*

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Lizenzhinweis



Diese Texte unterliegen der Creative Commons Lizenz
„Namensnennung – Weitergabe unter gleichen
Bedingungen 4.0 International (CC BY-NC)“