

Holzmechaniker und Holzmechanikerin

IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH
Dirk Schröder-Brandi, d.schroeder-brandi@izt.de
Schopenhauerstraße 26, 14129 Berlin
Webseite: www.izt.de

IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH
Dr. Michael Scharp, m.scharp@izt.de
Schopenhauerstraße 26, 14129 Berlin
Webseite: www.izt.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
1.3.2 Bildung für nachhaltige Entwicklung	7
1.3.3 Beitrag des Holzbearbeitungsmechanikers und der Holzbearbeitungsmechanikerin zu den SDGs	8
1.4 Glossar	9
1.5 Quellenverzeichnis	10
SDG 4: “Hochwertige Bildung ”	11
10 “Goldene Handlungsregeln” für eine BBNE	12
Schritt 1 - Richtig anfangen: Identifizierung von Anknüpfungspunkten für BBNE	12
Schritt 2 - Selbstwirksamkeit schaffen: Eröffnung von Nachhaltigkeitsorientierten Perspektiven	13
Schritt 3 - Ganzheitlichkeit: Gestaltung transformativer Lernprozesse	13
Schritt 4 - Lernort Betrieb: Entwicklung nachhaltiger Lernorte	14
Weiterführende Bildungs- und Unterstützungsangebote	14
Quellenverzeichnis	15
SDG 7: “Bezahlbare und saubere Energie”	16
Saubere Energie - Holzmechaniker und Holzmechanikerin	17
Erneuerbare Energien (EE)	18
Photovoltaik (PV)	19
Solarwärme	21
Bioenergie	22
Erd- und Umgebungswärme	23
Beleuchtung	23
Rationelle Energienutzung und Energiesparen	24
Mobilität	25
Nutzfahrzeuge: Elektrisch oder mit Brennstoffzellen?	26
Geschäftsreisen und Dienstfahrzeuge	27
Logistik	29
Ferntransporte versus “Regionalität”	29
Basisdaten:	30

Transport von Teakholzstühlen	30
Transport von Eichenholzstühlen	31
Energiespeicherung	31
Rohstoffe für Akkus	33
Folgen der Energienutzung für Ökologie und Gesundheit	33
Energieeinsparung in Holz verarbeitenden Betrieben	33
Einleitung	33
Möbel- und Bauelementebau	35
Maßnahmen	37
Heizung	37
Einsparpotentiale	37
Maßnahmen	38
Druckluft	40
Einsparpotentiale	40
Maßnahmen	40
Staub- und Späneabsaugung	42
Einsparpotentiale	42
Maßnahmen	43
Lackierung	43
Einsparpotentiale	43
Maßnahmen	44
Quellenverzeichnis	44
SDG 8 „Menschenwürdige Arbeit“	47
Menschenwürdige Arbeit	49
Fachkräftemangel und ungelernte Kräfte	49
DGB Index Gute Arbeit	50
BDA - Die Arbeitgeber	50
Prekäre Beschäftigungsverhältnisse	51
Gender (Pay) Gap	51
Deutsches Sorgfaltspflichtengesetz	52
Europäisches Lieferkettengesetz	53
Quellenverzeichnis	54
SDG 12: “Nachhaltige/r Konsum und Produktion”	57
Nachhaltige Produktion	58
Nachhaltiges Bauen	58
Energetische Gebäudesanierung	59
Fenster	59
Wärmeschutzstandard	59

Graue Energie	60
Nutzungszeit	61
Recycling/ Entsorgung	61
Holz	61
Aluminium	62
Polyvinylchlorid (PVC)	62
Leistungen von Holzmechanikern und Holzmechnikerinnen	62
Ökobilanzierung Werkstoffe	63
Umweltzertifikate und Testlabel	64
Umwelt- und Nachhaltigkeits- Zertifizierungen für Holz	64
Umweltzertifizierungen für Produktgruppen	66
Der Blaue Engel	66
RAL-Gütezeichen	66
Quelle: Umweltbundesamt. Umwelt- und gesundheitsverträglich Baustoffe; Ratgeber für Architekten, Bauherren und Planer, 2015	67
Emicode	67
Testlabel	68
Stiftung Warentest	68
Ökotest	68
Hilfsstoffe für Holzprodukte	68
Klebstoffe und Leime	69
Kasein	69
Gluten	69
Polyvinylacetat	70
Formaldehyd	70
Melamin	70
Phenol	70
Harnstoff	70
Polyharnstoff	71
Melamin-Urea-Phenol-Formaldehyd (MUPF)	71
Polyurethan	71
Holzwerkstoffe	72
Vollholzprodukte	72
Brettsperr- und Brettschichtholz	73
Plattenwerkstoffe aus Massivholz	73
Sperrholz	73
Spanplatten	73
OSB-Platten	74

Holzfaserplatten	74
Laminat/ Schichtstoff	74
Mineralwerkstoff	75
Weitere Werkstoffe für Oberflächen	75
Oberflächenbehandlung	75
Öle und Wachse	76
Lasuren	77
Naturharzlacke und Ölfarben	77
Klarlack	77
Acrylharzlack Farben	78
Dispersionslackfarben	78
Epoxidharzfarben	79
Polyurethanharze	79
Ökobilanzierung von Holz	80
Einsatz von Tropenholz	80
Fugendichtungen	81
Verpackungen	81
Papier/ Karton/ Wellpappe	81
Kunststoffe	82
Polyethylen (PE)	82
Herstellung	82
Nachhaltigkeit	82
Expandiertes Polystyrol (EPS)	83
Herstellung	83
Nachhaltigkeit	83
Verwertungsquote Verpackungen	84
Quellenverzeichnis	84
SDG 13: “Maßnahmen zum Klimaschutz”	89
Treibhausgaspotenzial	89
Holznutzung	90
Ressourcen und Energieeffizienz	90
Möglichkeiten der Substitution von fossilen Rohstoffen	91
Schutz des Waldes	91
Quellenverzeichnis	92
SDG 15: “Leben an Land”	93
Ökosysteme	93
Holzhandel	94
Literaturliste	97

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.): "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.). 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*

1.3.2 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, die 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.

1.3.3 Beitrag des Holzbearbeitungsmechanikers und der Holzbearbeitungsmechanikerin zu den SDGs

Im Jahr 2021 wurden im Holzgewerbe 20.319 Lehrlinge ausgebildet. Im Vergleich zu anderen Gewerbegruppen war die Zahl der Auszubildenden drei Jahre in Folge fast gleichbleibend (Statista 2022). Die Arbeitsfelder und Spezialisierungen von Holzmechaniker*innen sind vielfältig. Die Fachrichtungen untergliedern sich in die

- Herstellung von Möbeln und Innenausbauteilen
- Herstellung von Bauelementen, Holzpackmitteln und Rahmen
- Montage von Innenausbauten (Einbau-Möbeln) und Bauelementen.

Sie arbeiten dabei vorrangig in Werks- und Produktionshallen unterschiedlicher Größe, in Arbeits- und Lagerräumen.

Diese Vielfältigkeit spiegelt sich auch in den folgenden Ausführungen wider, die alle für relevanten Arbeitsbereiche in den Blick nehmen, die für eine wirkungsvolle Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele von Belang sind (Planet Beruf 2023).

Die Fertigungsstruktur von Holz verteilt sich auf verschiedene Sektoren, wobei der Innenausbau mit 49,3% fast die Hälfte aller Tätigkeiten ausmacht, gefolgt von Bauen mit Holz mit 11,7%, Möbelfertigung mit 8,0% und Handel/ Bestattung mit 2,2%. Alle sonstigen Tätigkeiten umfassen 17,3% (Thürmer 2020).

Auch für die Holz und Holzwerkstoffe verarbeitenden Betriebe sind Umwelt- und Klimaschutz ein zunehmend wichtiges Thema. 65 Prozent der Deutschen (und damit der potenziellen Kundschaft) halten trotz Corona den Umwelt- und Klimaschutz für ein sehr wichtiges Thema (UBA 2022). Besonders der Klimaschutz blieb während der Pandemie für 70 Prozent weiterhin genauso wichtig, für 16 Prozent ist er sogar wichtiger geworden. In Deutschland entfallen von den gesamten jährlichen 11,2 Tonnen THG-Emissionen pro Person im Durchschnitt rund 24 Prozent der THG-Emissionen auf Wohnen und Strom, 19 Prozent auf Mobilität und 15 Prozent auf Ernährung (UBA 2021). Der Holzmechaniker, die Holzmechanikerin können je nach Arbeitsfeld auf verschiedenen Ebenen im Sinne der SDGs wirken, angefangen bei der Beratung von

Kunden in Bezug auf verschiedene Varianten bei der Gestaltung von z.B. Möbeln und Ausbauelementen über die Qualität der Leistungen bis hin zu der Ausführung und der damit verbundenen Material- und Oberflächenwahl. Dabei spielt der Einsatz von möglichst umweltschonenden und nachhaltigen Materialien und Produkten eine zentrale Rolle wie auch die Langlebigkeit der handwerklichen Ausführungen. Nicht zuletzt stellt sich die Frage, wie mit den Bauelementen (z.B. Fenster, Türen, Böden, Laden- und Messebauelementen) und den Restmaterialien umgegangen wird, die bei einer Neuanschaffung, einem Umbau nicht mehr benötigt werden. Können diese anderweitig wiederverwendet, stofflich recycelt oder müssen sie entsorgt werden?

Aufgrund verschiedener Faktoren wie z.B. Klimakrise, politischen Krisen, Probleme bei den internationalen Lieferketten von Rohstoffen oder Produkten sind Konjunkturlagen dynamisch und wirken sich teilweise massiv auf die Auftragslage im Holz verarbeitenden Gewerbe aus.

Für das Holz und Holzwerkstoffe verarbeitende Gewerbe lassen sich bei einer Ausrichtung auf die Nachhaltigkeitsziele folgende zentrale Kriterien zusammenfassen:

- Beratung der Kundschaft in Bezug auf Nachhaltigkeitsaspekte bei der Auswahl der Materialien
- Ressourceneffizienter Einkauf und Verarbeitung -> wenig Materialreste und -verschnitt (z.B. durch digitalisierte Mengen- oder Flächenberechnungen für den optimierten Zuschnitt)
- Stoffliches Recycling von Werkstücken - weitere Verwendbarkeit des Materials, von Reststoffen aus der Produktion
- Mögliche Vermeidung der Nutzung von Verbundwerkstoffen (Verklebungen unterschiedlicher Materialien), um eine sortenreine Trennung und Wiederverwendbarkeit der Materialien zu ermöglichen
- Durchführung qualitätssichernder Maßnahmen

Ausgehend davon stellt sich nun für den Holzmechaniker, die Holzmechanikerin die Frage, welche der sich aus der bisherigen Darstellung ergebenden Kriterien für die innerbetrieblichen Entscheidungen sowie für die individuelle Entscheidung der Kundschaft bei einer Beauftragung von Belang sind.

1.4 Glossar

Folgende Abkürzungen werden in diesem Dokument verwendet:

- AO Ausbildungsordnung
- Äq Äquivalent

- BBNE Berufliche Bildung für nachhaltige Entwicklung
- BHKW Blockheizkraftwerk
- BIBB Bundesinstitut für Berufliche Bildung
- BImSchV Bundes Immissionsschutz-Verordnung
- BNE Bildung für nachhaltige Entwicklung
- CO₂-Äq Kohlendioxid-Äquivalente
- DFSZ Deutsche Forstservice-Zertifikat
- EE Erneuerbare Energien
- EnVKV Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung
- EPD Environmental Product Declarations
- FCEV Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge
- FSC Forest Stewardship Council
- FS Foliensammlung mit Beispielen für Zielkonflikte
- HGM Hintergrundmaterial (wissenschaftliches Begleitmaterial)
- IP Impulspapier (didaktisches Begleitmaterial)
- KMU Kleine und mittlere Unternehmen
- KUQS Kompetenznachweis in Umwelt-, Qualitäts- und Sicherheitsmanagement
- PEFC Programme for the Endorsement of Forest Certification
- PV Photovoltaik
- RLP Rahmenlehrplan
- SBBP Standardberufsbildposition
- SDG Sustainable Development Goals
- THG Treibhausgase bzw. CO₂-Äquivalente (CO₂-Äq)
- ZVDH Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks

1.5 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](#)
- 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

- Das Deutsche Baugewerbe (2021): Konjunkturprognose. Online: <https://www.zdb.de/baukonjunktur/konjunkturprognose-2021>
- Destatis Statistisches Bundesamt (2020): Umweltökonomische Gesamtrechnung. Online: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Publicationen/Downloads/rechnung-energieverbrauch-5851318209004.pdf?__blob=publicationFile
- Destatis (o.J.): Indikatoren der UN- Nachhaltigkeitsziele. Online: <http://sdg-indikatoren.de/>
- Destatis Statistisches Bundesamt (2022): Beschäftigtenverhältnisse Tischlerberuf. Online: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1678093337179&code=53111#abreadcrumb>
- Destatis Statistisches Bundesamt (2022): Indikatoren der UN-Nachhaltigkeitsziele. Online: <http://sdg-indikatoren.de/>
- Planet-Beruf, Bundesagentur für Arbeit (2023): Steckbrief Holzbearbeitungsmechaniker. Online: <https://planet-beruf.de/fileadmin/assets/PDF/BKB/29057.pdf>
- Statista (2022): Entwicklung Holzverbrauch von Sägewerken. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/152317/umfrage/entwicklung-des-holzverbrauchs-von-saegewerken-nach-holzarten/>
- Statista (2022): Lehrlingsbestand im Handwerk. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/30500/umfrage/lehrlingsbestand-im-handwerk-nach-gewerbegruppen/>
- Thürmer, Michael (2020): Zahlen zum Tischler- und Schreinerhandwerk. Online: <https://www.dds-online.de/allgemein/zahlen-daten-und-fakten-zum-tischler-schreinerhandwerk/#slider-intro-1>
- UBA Umweltbundesamt (2016): Wärmedämmung – Fragen und Antworten. Online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/waermedaemmung_fragen_und_antworten_web.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2021b): Konsum und Umwelt: Zentrale Handlungsfelder. Online: www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/konsum-umwelt-zentrale-handlungsfelder#bedarfsfelder
- UBA Umweltbundesamt (2022a): Umweltbewusstsein in Deutschland. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/umweltbewusstsein-in-deutschland>

SDG 4: “Hochwertige Bildung”

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 eigener Produktkreationen 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.

Weiterführende Bildungs- und Unterstützungsangebote

Für alle Berufsschulen und Unternehmen sowie deren Mitarbeiter*innen und Auszubildenden gibt es viele Möglichkeiten, sich über die in diesem Dokument gegebenen Anregungen hinaus zu informieren und in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung aktiv zu werden. Im Folgenden sind beispielhafte Beratungs- und Unterstützungsangebote aufgeführt, die motivieren und aufzeigen sollen, wie

Unternehmen sich in eine nachhaltige Richtung entwickeln können. Entsprechende Beratungs- und Unterstützungsangebote gibt es auf unterschiedlichen Ebenen:

- Unternehmensverbände wie B.A.U.M e.V., [klima-allianz](#), die sich für ein nachhaltiges Unternehmensmanagement einsetzen.
- Darüber hinaus gibt es in verschiedenen Bundesländern eigene Initiativen, die ihren Mitgliedsunternehmen Foren und Qualifizierungsangebote anbieten. Stellvertretend seien hier z.B. das Netzwerk Umweltunternehmen in Bremen [umwelt-unternehmen.bremen](#) oder die Transformationsberatung für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) der Klimaschutz- und Energieagentur in Niedersachsen genannt [klimaschutz-niedersachsen](#), die von einer Kooperation zwischen niedersächsischen Landesregierung, Wirtschaftsverbänden, Gewerkschaften und Kammern unterstützt wird.
- Auch die Handwerkskammern sowie Industrie- und Handelskammern bieten konkrete Maßnahmenkataloge für Unternehmen an, so z.B. die IHK Berlin mit konkreten Checklisten für eine Analyse des Unternehmens [ihk.de/berlin](#)
- Konkrete kostenpflichtige Beratungsangebote zur Begleitung von KMUs in Richtung Nachhaltigkeit gibt es z.B. von [Ökoprofit](#) oder auch staatlich unterstützt wie in NRW mit der Transformationsberatung für KMU [greendealnrv](#).
- Leitfäden und Broschüren helfen Unternehmen dabei, Strategien und Maßnahmen auf dem Weg hin zur Nachhaltigkeit zu entwickeln [renn-netzwerk](#).

Die hier vorgestellten Tipps erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, mögen Sie als Leser*in jedoch anregen, sich eigenverantwortlich und im Sinne einer zukunftsfähigen Entwicklung eines Unternehmens auf den Weg zu machen. Wir wünschen Ihnen viel Erfolg dabei!

Quellenverzeichnis

- ARD (2020): Ungenießbar. Online: <https://programm.ard.de/TV/Themenschwerpunkte/Dokus--Reportagen/Alle-Dokumentationen/Startseite/?sendung=287252703317494>
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022): Digitalisierung und Nachhaltigkeit – was müssen alle Auszubildenden lernen? Online: www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/berufliche-bildung/rahmenbedingungen-und-gesetzliche-grundlagen/gestaltung-von-aus-und-fortbildungsordnungen/digitalisierung-und-nachhaltigkeit/digitalisierung-und-nachhaltigkeit
- 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
- Handke, 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.
- 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 (2022): Trotz Corona, Umwelt- und Klimaschutz bleibt für die Deutschen ein Top-Thema. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/trotz-corona-umwelt-klimaschutz-bleibt-fuer-die>

SDG 7: “Bezahlbare und saubere Energie”

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

Das SDG 7 “Bezahlbare und saubere Energie” beinhaltet soziale und ökologische Anforderungen an den Klimaschutz. Im wesentlichen geht es um den *“allgemeinen Zugang zu bezahlbaren, verlässlichen und modernen Energiedienstleistungen”* (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 (Verkehrsflächen/ Bebauung/ Landwirtschaft versus Wald)

Die Schnittmenge für das SDG 7 ergibt sich aus den Nummern a und b der Standardberufsbildposition unter Kapitel 3. "Umweltschutz und Nachhaltigkeit"

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

ökologischen und sozial nachhaltigen Entwicklung zusammenarbeiten und adressatengerecht kommunizieren

Saubere Energie - Holzmechaniker und Holzmechanikerin

Die Energienutzung spielt in den Holz verarbeitenden Betrieben eine zentrale Rolle. Neben den allgemeinen Möglichkeiten einer alternativen Energieproduktion durch regenerative Energieformen geht die Nutzung von Energie über die innerbetriebliche Nutzung bis hin zur Mobilität. Nach einer allgemeinen Einführung zu den übergreifenden Themenschwerpunkten wird im Kapitel "Energieeinsparung in Holz verarbeitenden Betrieben" auf spezifische Maßnahmen eingegangen, die in einem Holz verarbeitenden Betrieb umgesetzt werden können.

Die Holzmechaniker und Holzmechanikerinnen nutzen nicht nur Energie für alle ihre handwerklichen Tätigkeiten, z.B. durch Nutzung von IT und für Transporte mit verschiedenen Verkehrsmitteln, sondern auch für die betriebliche Infrastruktur mit Maschinen in den Betriebshallen mit größeren Dachflächen, die für die Nutzung von solarer Energie zur Verfügung stehen:

- Auf Dachflächen des Betriebs können PV-Anlagen montiert werden.
- Solarthermische Anlagen brauchen nur wenig Dachfläche - sie erzeugen viel warmes Wasser für die Hygiene und Reinigungsprozesse.
- Erdwärme-Anlagen lassen sich problemlos in die Freiflächen integrieren.

Darüber hinaus gibt es viele Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz für alle Betriebe:

- Die Beleuchtung kann auf LED umgestellt werden - dies reduziert die Kosten drastisch.

- Dienstfahrzeuge sollten elektrisch sein - hiermit werden sehr viele THG-Emissionen eingespart. Mit der eigenen PV-Anlage fahren die Fahrzeuge fast zum Nulltarif (wenn die Anlagen abgeschrieben sind)
- Auch kleine Nutzfahrzeuge werden heute im großen Umfange als Elektrofahrzeuge angeboten. Bei täglichen Strecken von 400 km ergeben sich keine Mobilitätsprobleme (und die Fahrzeuge können nach der Rückkehr wieder aufgeladen werden).

Bei all diesem stellt sich die Frage: Wie kann die Energie klimaschonend erzeugt werden, wie kann sie energiesparend genutzt werden? Dieses Kapitel beschreibt die Grundlagen der verwendeten Energieformen und eingesetzten Verfahren, soweit sie den Hintergrund der Einrichtungen und Arbeiten von Holzmechanikern und Holzmechanikerinnen betreffen können.

Erneuerbare Energien (EE)

Für die Entwicklung hin zu einer klimaneutralen Energieversorgung spielt der Einsatz erneuerbarer Energien sowie ein Umstieg der Versorgung auf Ökostrom auch in Holzbearbeitungsbetrieben eine zentrale Rolle. Die einfachste Maßnahme zum Umstieg auf EE ist dabei der Bezug von Ökostrom für den Einsatz der elektrisch betriebenen Geräte, Maschinen und der Beleuchtung. Dafür brauchen keine weiteren technischen Maßnahmen umgesetzt werden. Für die Produktion von EE wird in der Regel Strom aus Wind, Sonne, Biomasse und Wasserkraft eingesetzt. Im ersten Halbjahr 2022 lag der Anteil der EE bei 51,6%. Da die Stromproduktion aus den 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). 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 auch die Herausforderung, Energiespeicher zu bauen für Zeiten, wo die Sonne nicht ausreichend scheint oder der Wind zu schwach ist. Die kostengünstigste Möglichkeit wären Pumpspeicherkraftwerke. Die Verbrennung von naturbelassenem Holz (Restholz) als nachwachsendem Rohstoff z.B. zur Wärmeerzeugung in Betriebsräumen ist aufgrund der dadurch entstehenden Gesundheits- und Umweltbelastungen (Entstehung von Methan, Lachgas und Ruß) nur unter bestimmten Bedingungen akzeptabel. Die Verbrennung von Holz ist nicht Treibhausgas neutral (UBA 2020). 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 Grünen Strom Label e.V. zertifiziert (Ökostromanbieter o.J.).

Hinsichtlich des Ziels “bezahlbarer Energie” sind vor allem die Kosten von Strom und Wärme wichtig. 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.

Im folgenden werden hier kurz die verschiedenen Energieträger vorgestellt:

- **Solarstrom:** Solarenergie mit gut 21% der EE-Stromproduktion (Stromreport 2022) ist seit 2007 stark ausgebaut worden und damit die jüngste breit genutzte Stromquelle (vgl. die Graphik auf Wikimedia 2020). Ab 2013 stagnierte der Zuwachs von Solarenergie, weil die Konditionen der Einspeisung verschlechtert wurden. Insbesondere die Energiekrise im Zuge des Ukraine Krieges zeigt, dass der Ausbau jetzt stark beschleunigt werden muss.
- **Windenergie:** 50 % des EE-Stromes in Deutschland wurden 2021 aus Windenergie erzeugt (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 in 2022 und dem damit verbundenen Gaslieferstopp Rußlands, sowie seit den deutlichen Auswirkungen der Klimakrise (Waldbrände, Überschwemmungen), werden wieder höhere Ausbauziele der Windenergie genannt.
- **Wärmeerzeugung:** Neben dem Einsatz von Solarthermieanlagen kann Wärme in Form von Bioenergie (insbesondere Festbrennstoffe wie Holz) und Umgebungs- bzw. bodennahe Erdwärme erzeugt werden. Für die Verbrennung von Biomasse gibt es kein Wachstumspotenzial mehr, es muss auf “ein naturverträgliches Maß begrenzt” werden (UBA 2021). Im Gegensatz dazu setzt die Bundesregierung auf den Ausbau der Nutzung von Umgebungswärme, wozu auch die bodennahe Erdwärme gehört (Tagesschau 2022). Die Nutzung erfolgt wie bei einem Kühlschrank oder einer Klimaanlage mittels einer Wärmepumpe. Hier wird die “warme Seite” der Wärmepumpe benutzt. Die Pumpe entzieht der Umgebung (z.B. dem Erdreich) mit einem Kältemittel Wärme und kühlt sie dabei ab. Ein

Kompressor verdichtet das Kühlgas und erhöht dabei dessen Temperatur, sodass die Heizung versorgt werden kann. 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. Für diesen Prozess wird elektrischer Strom benötigt. Dieser muss aus Klimaschutzgründen sinnvollerweise aus Sonnen- oder Windenergie gewonnen werden. Auch ist bei dem Einsatz einer Wärmepumpentechnik darauf zu achten, dass die sog. "Arbeitszahl", das ist das Verhältnis der gewonnenen Wärmeenergie in Bezug auf den damit verbundenen Einsatz von elektrischer Energie, möglichst optimal ist (energieexperten o.J.).

Photovoltaik (PV)

- **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. Anschließend werden Silizium-Einkristalle (mono-Si) gezogen. Die gewonnenen Einkristalle werden in etwa 0,2 mm dicke Scheiben («Wafer») gesägt und in einer Abfolge von mehreren Prozessschritten zu Solarzellen und dann zu PV-Modulen weiterverarbeitet.
- **Dünnschicht-Solarmodule:** Die Module bestehen wie die obigen PV-Module ebenfalls aus elektrischen Kontakten und einem absorbierenden Material, allerdings werden auf dem Trägermaterial verschiedene Schichten von Metallen aufgetragen. Die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht liegt in der Regel bei 1-3 μm , also etwa hundertmal weniger als bei den Solarzellen aus kristallinem Silizium. Als Trägermaterial können, je nach Technologie, Glas, Metall- oder Kunststofffolien eingesetzt werden. 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 Sonnenlicht und schlechtem Wetter sowie die schnelle energetische Amortisation aufgrund des geringen Energieeinsatzes bei Photovoltaik ist die Umwandlung von Sonnenlicht in Strom. Dies geschieht mit Hilfe von PV-Modulen, in denen die Solarstrahlung Strom erzeugt. Der Strom wird über Leitungen zu einem Wechselrichter geführt, der den Gleichstrom aus den PV-Modulen in Wechselstrom umwandelt. Die Kosten der PV-Technologie sind bei höherer Leistung - trotz Preissteigerungen aufgrund des Krieges - deutlich günstiger als

vor 20 Jahren. Für den Betrieb von Photovoltaik-Anlagen gibt es drei Betriebsmodelle:

- **Dachverpachtung:** Die einfachste Möglichkeit, von einem geeigneten Dach zu profitieren, ist die Verpachtung der Dachfläche an Dritte. Diese sind dann Betreiber der Anlage. Stadtwerke, Energieversorgungsunternehmen und Projektentwickler bieten bereits „schlüsselfertige“ Dachpachtlösungen an. Dabei baut der Betreiber auf seine Kosten die Anlage, bewirtschaftet sie und übernimmt das unternehmerische Risiko.
- **Eigenverbrauch mit Überschusseinspeisung:** Besonders attraktiv ist die Gestaltung des Eigenverbrauchs. Der Eigentümer errichtet die Anlage auf eigene Kosten und versucht, seine Stromnutzung so zu gestalten, dass bei Sonnenschein Strom entweder verbraucht oder in Batterien gespeichert wird.
- **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.

Im Folgenden werden kurz die wichtigsten Technologien zur Solarstromerzeugung vorgestellt:

- **Solarzellen aus kristalliner Herstellung.**

Hauptsächlich gibt es drei Arten für die Installation von Photovoltaikanlagen:

- **Aufdachmontage:** Aufdach-Photovoltaikanlagen sind eine weit verbreitete Möglichkeit für Eigenheime, Unternehmen und öffentliche Gebäude um ihren eigenen Strom zu erzeugen. Vorteile sind: Das vorhandene Dach kann optimal genutzt werden; das Dach wird vor eventuellen Umwelteinwirkungen zusätzlich geschützt; aufdach-montierte Anlagen sind meist schnell und einfach sowie mit geringem Wartungsaufwand zu installieren. . Nachteile sind höhere Kosten der Montage, mögliche Probleme bei der Befestigung und Tragfähigkeit, Platzbeschränkungen durch die Dachfläche sowie der unveränderliche Winkel des Daches (der nicht immer optimal zur Nutzung der Solarstrahlung ist).
- **Indachmontage:** Sie bietet sich bei einer Neueindeckung des Daches an, da bei dieser dann die für diese Fläche sonst notwendigen Eindeckmaterialien eingespart werden können. Das ist ggf. optisch attraktiver und kostengünstiger.
- **Bodenmontage (Freiflächenmontage):** Bodenmontierte Photovoltaikanlagen sind inzwischen ebenfalls weit verbreitet, werden aber vorwiegend von großen Unternehmen, professionellen Investoren bzw. Energieanbietern genutzt. Vorteile sind: Aufgrund ihrer Größe ist auch eine größer dimensionierte Stromerzeugung

möglich; bodenmontierte Anlagen haben die Möglichkeit die festen Winkelbeschränkungen zu umgehen und sie haben einfache Wartungsmöglichkeiten. Nachteilig sind die Flächenbedarfe (“ganze Äcker”) und ihre optische Auffälligkeit (Landschaftsbild).

Solarwärme

Solarthermie erzeugt warmes oder heißes Wasser, zusammen mit einem Wärmespeicher kann dann insbesondere in den Sommermonaten ein erheblicher Teil des Wärmebedarfs mit Solarenergie CO₂-frei bereitgestellt werden. Im folgenden werden die beiden wichtigsten Kollektortypen sowie die Wärmespeicherung und die Einbindung der Solarwärme vorgestellt:

- **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 bis 12 m².
- **Vakuurröhrenkollektoren:** Bei Vakuurröhrenkollektoren können die Wärmeverluste durch Konvektion und Wärmeleitung deutlich reduziert und somit mehr Wärme erzeugt werden. Der sinnvolle Einsatzbereich dieser Kollektoren bei 80 bis 130 °C, der höhere Wert wird mit Spiegeln auf der Rückseite erzeugt.
- **Speicherung:** In der Regel ist ein Pufferspeicher zentraler Bestandteil einer solaren Prozesswärmanlage, da das Solarangebot nicht immer mit dem Wärmebedarf der zu versorgenden Verbrauchsstellen zeitlich übereinstimmt. Zur Einbindung des Speichers gibt es mehrere Möglichkeiten: Typischerweise wird der mit einem Wasser-Glykol-Gemisch betriebene Solarkreis durch einen Wärmeübertrager vom Speicherkreis getrennt.
- **Einbindung von Solarwärme:** Bei der Einbindung von Solarwärme lässt sich grundsätzlich die Versorgungs- von der Prozessebene unterscheiden. Viele Industrie- oder Gewerbebetriebe haben ein zentrales Kesselhaus zur Erzeugung von Wärme und ein Rohrnetz zur Verteilung der Wärme an die Verbrauchsstellen. Je nach Nutztemperatur wird die Wärme über Dampf (140–200 °C), Heißwasser (90–160 °C) oder Warmwasser (<100 °C) verteilt und direkt oder indirekt über einen Wärmeübertrager an die Wärmesenke abgegeben.

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 Holzschnitzel- oder -pellets. Aber auch Biogas aus der Vergärung von Bioabfällen, Ernterückständen oder von tierischen Abfällen wie Mist und Gülle-Exkrememente. Obwohl bei der Verbrennung von Biomasse oder Biogas Kohlendioxid freigesetzt wird, wird die Erzeugung und Nutzung von Bioenergie als klimaneutral angesehen, denn das freigesetzte CO₂ wurde während des Pflanzenwachstums der Atmosphäre entzogen. Allerdings verursacht die Verbrennung von Biomasse weitere Luftschadstoffe wie NO_x und insbesondere Feinstaub (Kamine im Eigenheimbereich).

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 UBA 2021a). 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 (Eigensonne o.J.). Zudem gibt es eine Flächenkonkurrenz - anstelle von Energiepflanzen könnten auch Feldfrüchte oder Getreide angebaut werden - im Sinne des SDG 2 "Kein Hunger".

Erd- und Umgebungswärme

Eine Möglichkeit der Wärmeerzeugung ist die Nutzung von Temperaturunterschieden zwischen Gebäuden und ihrer Umgebung oder dem Erdreich mit Wärmepumpen. Eine Wärmepumpe funktioniert wie ein Kühltisch 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 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. Zum Antrieb einer Wärmepumpe wird elektrischer Strom benötigt, der allerdings aus erneuerbaren Quellen stammen sollte. 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. 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. Der Vorteil der Geothermie ist ihre ständige Verfügbarkeit. Die geothermische Stromerzeugung in Deutschland steht noch am Anfang und ist noch ausbaufähig

Beleuchtung

Beleuchtung ist in allen Berufen ein Handlungsfeld, bei dem viel Energie eingespart werden kann. Der Standard für Energieeffizienz in der Beleuchtung sind LED-Lampen und LED-Röhren. In 2009 wurde die "Glühbirne" aus Initiative der EU vom Markt genommen, anstelle dessen wurde im breiten Umfange die Energiesparlampe bzw. Leuchtstofflampe (Fachbegriff: Kompaktleuchtstofflampen) verwendet, die bei gleicher Lichtstärke wie eine 75 Watt Glühbirne nur rund 10 Watt verbraucht. Die technische Entwicklung ging jedoch weiter hin zu LED-Lampen, die wiederum im Vergleich zur Glühlampe rund 70% bis 90% der Energie einsparen (enterga o.J., energieexperten o.J.). In Haushalten und kleinen Gewerbebetrieben ohne eigene Produktion fallen rund 10% des Stromverbrauchs für die Beleuchtung an - dies sind zwischen 350 und 600 kWh/a.

Die Bedeutung des technischen Wandel weg von der Glühbirne (und auch der Halogenbirne) hin zu LED-Technik lässt sich im Rückblick zeigen. In 2003 wurden ca. 71 TWh/a (Terawattstunden pro Jahr) Strom für die Beleuchtung verwendet. Dies waren 71.000 Gigawattstunden. Ein Atomkraftwerk erzeugt zwischen 9.000 und 13.000 GWh Strom, rein rechnerisch mussten fast 9 Atomkraftwerke nur die Beleuchtung laufen (in 2003, stromrechner.com o.J.).

Für Gewerbetreibende mit Büro und Werkstatt sowie die industrielle Produktion sind die LED-Leuchtstoffröhren besonders interessant, da bisher immer Leuchtstofflampen installiert wurden. Heutzutage gibt es LED-Röhren, die ohne Umbau in die vorhandenen Lichtkästen eingebaut werden können. Nur das Vorschaltgerät muss ggf. ausgewechselt werden. Die Einsparung liegt bei 50% des bisher genutzten Stroms (LEDONLINE o.J.). Die Vorteile neben der Energieeinsparung sind offensichtlich: Die Röhren zerbrechen nicht, sie enthalten kein Quecksilber, sie flimmern nicht, haben einen hohen Leistungsfaktor und eine längere Lebensdauer (ebd.).

Eine weitere mögliche Stellschraube bei der Beleuchtung ist die Verwendung von Strom aus regenerativen Energiequellen. Eine eigene PV-Anlage auf dem Bürogebäude oder auf dem Betriebsgelände in Verbindung mit einem Batteriespeicher kann erheblich Strom aus Sonnenlicht bereitstellen. Allerdings ist die Solarstrahlung in den Wintermonaten - gerade dann, wenn die Anzucht stattfindet, nur gering. In diesem Falle sollte zumindest der Strom aus erneuerbaren Energien - im Winter fast ausschließlich aus Windenergie - bezogen werden.

Rationelle Energienutzung und Energiesparen

Neben dem Einsatz erneuerbarer Energien zählt auch die rationelle Energienutzung zu den Maßnahmen, um das Energiesystem in Richtung Nachhaltigkeit zu transformieren. Typische Handlungsfelder der rationellen Energienutzung sind die Energieeffizienz und das Energiesparen, die beide eng miteinander verknüpft sind.

- **Energieeffizienz:** Bei der Energieeffizienz geht es darum, Geräte und Maschinen 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. 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.
- **Energieeffizienzkenzeichnung:** In der EU gibt die Energieeffizienzkenzeichnung gemäß Verordnung (EU) 2017/1369 Auskunft über die Energieeffizienz von Elektrogeräten und weiteren Energieverbrauchern. Die Kennzeichnung erfolgt für verschiedene Gerätegruppen in Form von Etiketten auf den Geräten und in Werbematerialien. 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. Bekannt ist der amerikanische Energy Star für energiesparende Geräte, Baustoffe, öffentliche/gewerbliche Gebäude oder Wohnbauten. Der Energy Star bescheinigt die jeweiligen Stromsparkriterien der US-Umweltschutzbehörde EPA und des US-Energieministeriums (www.energystar.gov). Auch nationale Umweltzeichen wie der Blaue Engel können, je nach ausgezeichnetem Produkt, aufgrund vergleichsweise hoher Energieeffizienz vergeben werden (www.blauer-engel.de). Für PKW's gibt es ein eigenes Kennzeichen, welches die Bewertung und Kennzeichnung der Energieeffizienz neuer Personenkraftwagen hinsichtlich Kraftstoff- und Stromverbrauch regelt (Pkw-EnVKV 2020).
- **Stromsparen:** Die Abgrenzung des Energiesparens zur Energieeffizienz ist allerdings nicht immer eindeutig, denn die Nutzung eines energieeffizienten Gerätes stellt immer auch eine Energieeinsparung gegenüber einem weniger effizienten Gerät dar. Die wichtigsten Stromsparmaßnahmen im Haushalt sind energieeffiziente Geräte (Kühl- und Gefriergeräte, Bildschirme u.a.m.) sowie LED-Beleuchtung. Eine Vielzahl von Energiespartipps sind z.B. bei CO₂-Online zu finden (ebd. o.J.). Selbst kleine Maßnahmen wie Reduzierung des Standby-Verbrauchs summieren sich im Großen (UBA 2015). 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 (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 2022). 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.).

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. Allerdings gibt es für den Bereich der bisher meist mit Verbrennungsmotoren betriebenen Rundholzbagger in Sägewerken elektrisch betriebene Alternativen.

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 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 Diesellaggregaten 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. 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).

Geschäftsreisen und Dienstfahrzeuge

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.

Mit zunehmender Verantwortung im Unternehmen kommen auch Privilegien wie ein eigener Dienstwagen oder die Abrechnung der Fahrtkosten durch den Arbeitnehmer oder die Arbeitnehmerin mit einem eigenen Wagen. Deshalb stellt sich auch hierbei die Frage: Welchen Wagen sollte ich unter dem Aspekt der Emissionen fahren:

- **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.

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:

- **Hybrid-Fahrzeuge:** Es gibt verschiedene Typen wie Mild-Hybrid, Voll-Hybrid, 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.

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.).

Logistik

Die Wahl der Verkehrsmittel entlang der Wertschöpfungskette ist von besonderer Relevanz. Die Emissionen aus der Logistik können leicht mit Hilfe kostenloser Online Tools ermittelt werden, wie z.B. mit carboncare (ebd. o.J.). Hier ist auch der Emissionsanteil für die Erzeugung des Kraftstoffes enthalten. Die folgende Tabelle stellt beispielhaft die CO₂- Emissionen unterschiedlicher Transportmittel dar, die bei einem Transport von einer Tonne Gewicht von Shanghai nach Berlin freigesetzt werden.

Tabelle: Emissionen für einen Langstreckentransport - Shanghai nach Berlin.

Transportmittel	Strecke (km, gerundet)	WTW-CO ₂ -Äq
Schiff LKW	19.900 km (Schiff) 200 km (LKW) 20.100 km (gesamt)	73 kg (nur Schiff) 15 kg (LKW) 88 kg (gesamt)
Bahn (im Bau)	10.400 km	120 kg
Flugzeug	8.500 km	6.900 kg

Quelle: Eigene Berechnungen mit carboncare (ebd. o.J.).

Ferntransporte versus “Regionalität”

Die Bedeutung des Prinzips Regionalität kann anhand des vergleichenden Beispiels der Holznutzung von Eiche (Umland) und Teak (Asien) illustriert werden. Die folgende Berechnung der THG-Emissionen bezieht sich nur auf die reinen Transportdistanzen und Transportmittel. Bei dieser Betrachtung werden nicht die möglichen ökologischen Auswirkungen durch die Anbau - und Erntemethoden und die damit verbundenen Folgen für die Umwelt betrachtet (z.B. werden auch bei der Zertifizierung von Holz die THG-Emissionen des Transportes nicht berücksichtigt). Bei dieser Modellierung wird davon ausgegangen, dass die Teakholzmöbel (Klappstühle) in den Herkunftsländern des Holzes produziert und in 40 Fuß-Containern nach Deutschland transportiert werden. Damit ergeben sich bei dem Container-Raumvolumen eine theoretische Menge von maximal 400 Stk. Teakholz-Klappstühlen sowie analog etwa 400 Stk. Eichenholz-Klappstühlen gleicher Bauart pro Container.

Basisdaten:

Erklärung Einheiten:

- Tkm: pro Tonne pro Kilometer
- kg CO₂-Äq.: Menge kg an Kohlendioxid-Emissionen

Eiche Gewicht	770 kg/m ³
Teak Gewicht	660 kg/m ³
Eichenholz Klappstuhl Transportdistanz mit LKW	250 km mit LKW
Teakholz Klappstuhl Transportdistanz mit Schiff (Myanmar-Hamburg) und LKW	15.900 km Schiff 900 km LKW
TGH-Emissionen Container Schiff	17 g/Tkm (UBA 2019)
TGH-Emissionen LKW	68 g/Tkm (UBA 2019)
Gewicht Möbelstück Teakholz Klappstuhl	7 kg
Gewicht Möbelstück Eichenholz Klappstuhl	8 kg
Leergewicht 40 Fuß-Container	3,7 t
Gewicht LKW-Sattelaufleger	17,0 t
Ladung des 40 Fuß Containers Teakholz-Klappstühle	2,8 t
Ladung des 40 Fuß Containers Eichenholz-Klappstühle	3,2 t
Gewicht (400 Stk. Teakholz Klappstühle + Container)	6,5 t
Gewicht (400 Stk. Eichenholz Klappstühle + Container)	6,9 t

Gewicht (400 Stk. Teakholz Klappstühle + Container + LKW-Sattelaufleger)	23,5 t
Gewicht (400 Stk. Eichenholzklappstühle + Container + LKW-Sattelaufleger)	23,9 t

Transport von Teakholzstühlen

- Seeschiff-Containertransport
 $17 \text{ g/Tkm} * 15.900 \text{ km} * 6,5 \text{ t} = 1.757 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./ 400 Stk.}$
 $1.757 \text{ kg CO}_2\text{-Äq. / 400 Stk.} = 4,39 \text{ kg CO}_2\text{-Äq. pro Teakholz-Klappstuhl}$
- LKW Anfahrt Seehafen Myanmar: 200 km
- LKW Distribution Deutschland: 300 km
- Summe: 500 km
- THG-Emissionen LKW: 68 g /Tkm (UBA 2021)
- $68\text{g/Tkm} * 500 \text{ km} * 23,5 \text{ T} = 799 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/ 400 Stk.}$
 $799 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/ 400 Stk.} = 2,0 \text{ kg CO}_2\text{-Äq. pro Möbelstück}$
- Gesamtemissionen für den Transport: $4,39 \text{ kg} + 2,0 \text{ kg} = 6,39 \text{ kg CO}_2\text{-Äq.}$

Das Möbelstück aus tropischem Teak erzeugt bzgl. des Transportes **6,39 kg CO₂-Äq.**

Transport von Eichenholzstühlen

- Inländische LKW-Distribution
- $68\text{g/Tkm} * 250 \text{ km} * 23,9 \text{ T} = 406 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/ 400 Stk.}$
- $406 \text{ kg CO}_2\text{-Äq/ 400 Stk.} = 1,01 \text{ kg CO}_2\text{-Äq. pro Möbelstück}$

Das Möbelstück aus regionaler Eiche erzeugt bzgl. des Transportes **1,01 kg CO₂-Äq.**

Diese beispielhafte Rechnung verdeutlicht, wie hoch der Anteil an THG-Emissionen durch den Transport in der Gesamtbilanz des Produktes ist. Er liegt bei Teakholz um den Faktor 6,4 höher als bei dem regional genutzten Eichenholz. Auffällig ist, dass der Transport per LKW pro Kilometer wesentlich höhere THG-Emissionen erzeugt als der Schiffstransport pro Kilometer. Er liegt bei diesem Beispiel um den Faktor 14 höher als beim Seeschiffstransport. Das verdeutlicht, dass der Straßentransport auch bei der Distribution bis hin zum Endkunden oder der Abholung des Produktes durch den Endkunden z.B. im Möbelhaus oder Baumarkt, erheblich zu den spezifischen THG-Emissionen beiträgt!

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 Regelernergie 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 unökologisch und unwirtschaftlich. Um dies zu vermeiden, bieten sich Energiespeicher an, die bei Bedarf zugeschaltet werden. 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 z.B. durch die Ost- und Nordsee bei norwegischen Speichern.
- Druckluft: Einfache Technologie, gut nutzbar bei Anbindung an Windkraftanlagen, 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 CO_2 zu Methan (CH_4), 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. Die wichtigste Batterie ist derzeit die Lithium-Ionen-Batterie. (GRS o.J., ISE 2021): Dieser Batterietyp dient 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. 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 hier u.a. ein illegaler und umweltzerstörender Abbaus stattfindet (FAZ-net 2022, Safe the Children 2022). Lithium ist ein Salz, das 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.).

Rohstoffe für Akkus

Neben dem Direktbezug von elektrischer Energie über das Stromnetz zum Betrieb von Maschinen und Geräten ist der Einsatz von Akkus z.B. für handwerkliche Kleingeräte (z.B. Elektr. Sägen/ Akkuschauber) üblich. Darüber hinaus sind Akkus auch bei E-Fahrzeugen als Speichermedium notwendig, um mobil unabhängig zu sein. Bisher erfolgt der Abbau des hierfür meist genutzten Lithiums häufig weder sozial noch umweltverträglich, z.B. in Lateinamerika. Eingesetzte Chemikalien und Schwermetalle werden freigesetzt. Kinderarbeit kommt immer noch vor. Dies muss aber nicht sein. Wie auch in anderen Bereichen des Bergbaus kann Verbot von Kinderarbeit, eine ökologische und soziale Zertifizierung (Fairtrade) zu "besserem" Lithium führen (Schulz, 2020). Unabhängig davon ist es wichtig, möglichst wenig Lithium zu verbrauchen, was nur durch eine hohe Recyclingrate gewährleistet werden kann. Hierzu wurden bereits unterschiedliche Verfahren entwickelt, die in den nächsten Jahrzehnten einen wachsenden Anteil des weltweiten Lithiumbedarfs decken können (Buchert, Matthias und Sutter, Jürgen, 2020).

Folgen der Energienutzung für Ökologie und Gesundheit

Bis Ende des letzten Jahrhunderts waren Smog und Saurer Regen mit ihren gesundheitlichen (Atemwegserkrankungen) bzw. Umweltfolgen (Baumsterben und Versauerung von Gewässern) die offensichtlichen Folgen der Nutzung fossiler Brennstoffe. Durch Rußfilter, Verwendung schwefelarmer Brennstoffe und Entschwefelungsanlagen wurden diese Probleme jedenfalls in der EU weitgehend gelöst. Geblieben sind Gesundheitsfolgen durch Feinstaub (z.B. aufgrund der Wärmegewinnung durch Holz) und Stickoxiden, denen mit Filteranlagen, Katalysatoren, AdBlue und strengen Abgasnormen begegnet wird. Auch der Umstieg auf E-Mobilität trägt zur Reduktion dieser Schadstoffe bei, da diese in Elektromotoren nicht entstehen. Neben den gesundheitlichen Folgen der Nutzung von Holz für die Wärmeerzeugung durch

Verbrennung geht damit - z.B. bei einfachen Feststofföfen - auch eine starke Belastung für die Umwelt einher.

Energieeinsparung in Holz verarbeitenden Betrieben

Einleitung

Der Gesamtenergiebedarf eines Holz verarbeitenden Betriebs hängt von verschiedenen Faktoren ab, die u.a. die betriebliche Infrastruktur betreffen (wärmetechnischer Standard der Gebäudehülle, Energieträger), die Effizienz und Leistung der Anlagentechnik, dem Wärme- und Lüftungsbedarf sowie betriebsspezifischen Faktoren wie die Betriebsgröße, die Fertigungsstruktur- und -tiefe. Der Verbrauch an elektrischer Energie eines Holzverarbeitenden Betriebes ist vor allem abhängig von der Leistung und der Laufzeit der Maschinen und Geräte, die dort eingesetzt werden. Allein die Bandbreite der stationären Maschinen umfasst viele verschiedene Gerätetypen, hinzu kommen verschiedene Handgeräte sowie Geräte u.a. zur Reinhaltung (Druckluft/ Absaugen/ Lüftung etc.). Zur Einordnung sei hier das Beispiel einer Tischlerei genannt, die im Durchschnitt etwa 300 Megawattstunden Energie pro Jahr benötigt. Ein Viertel davon entfällt auf die elektrische Energie (Energieeffizienz-im-Betrieb 2023). Für die Holz verarbeitenden Betriebe wie z.B. die Möbelindustrie gibt es keine Statistiken zum Energieverbrauch, zudem decken sie ein breites Arbeitsspektrum ab. In den folgenden Ausführungen wird auf den Sektor Tischlerei eingegangen, da in diesem Bereich ähnliche Maschinen eingesetzt werden wie in größeren Holz verarbeitenden Betrieben und diese vom Energiebedarf gut erfasst sind. Für den Bereich der industriellen Produktion ist zu beachten, dass die Größe und die Leistungen der dortigen Maschinen ungleich größer und die technischen, automatisierten und standardisierten Prozesse meist wesentlich differenzierter sind als in kleineren bis mittelgroßen Tischlereibetrieben.

In einer Tischlerei teilen sich der Gesamtstromverbrauch und die Prozesse dabei durchschnittlich in folgende Bereiche und Anteile auf:

Gesamtverteilung	Anteil	Prozesse	Anteil
Späneabsaugung	38%	Transmissionswärme	47%
Holzbearbeitungsmaschinen	27%	Hallenlüftung	24%
Heizung	10%	Späneabsaugung	21%

Druckluft	7%	Lackier Raumlüftung	8%
Beleuchtung	7%	Büro	5%
Lackierraum	5%	Warmwasser	1%

Quelle: HWK Koblenz, Stromverbrauch in Tischlereien

Zu erkennen ist, welchen hohen Anteil die Absaugung und die Holzbearbeitungsmaschinen mit ca. 65% ausmachen. In den folgenden Ausführungen wird auf die Strategie eingegangen, die für die Planung und Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen sinnvoll ist und auf die jeweiligen spezifischen Potenziale des betrieblichen Maschinenparks.

Möbel- und Bauelementebau

Die folgenden Ausführungen fokussieren sich auf den Möbelbau in Tischlereien, da es für diesen Sektor ausreichende statistische Daten gibt und der Möbelbau zusammen mit der vergleichbaren Produktion von Bauelementen (Türen/ Fenster/ Treppen) die komplexesten Prozesse umfassen. Die Möbelindustrie stellt Einrichtungsgegenstände aus den Materialien Holz, Metall und Kunststoff her und gehört zum Verarbeitenden Gewerbe (Statista 2021). Sie setzt jährlich insgesamt etwa 20 Milliarden Euro um. In den ca. 1.000 Betrieben mit 20 und mehr Beschäftigten sind ca. 100.000 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen tätig. Der höchste Umsatz wird dabei von den größeren Herstellern mit 50 und mehr Beschäftigten erwirtschaftet: Im Jahr 2022 erzielten 449 Unternehmen dieser Größe einen Umsatz von 18,8 Milliarden Euro. Dies entsprach einem Plus von knapp 7 Prozent gegenüber dem Vorjahr. Den größten Sektor stellen die Hersteller von Küchenmöbeln dar, gefolgt von Büro- und Ladenmöbeln, den Ess-, Wohn- und Schlafzimmern, Polstermöbeln und Matratzen (VDMI 2023).

Die deutsche Möbelindustrie setzt sich hauptsächlich aus kleinen Betrieben zusammen. Knapp drei Viertel aller Betriebe erzielen einen jährlichen Umsatz unterhalb der Marke von 500.000 Euro. Im Jahr 2020 entschieden sich rund 21.000 Personen für eine Ausbildung in der deutschen Holz- und Möbelindustrie.

Im Jahr 2020 erwirtschafteten rund 1.300 Unternehmen in der deutschen Möbelindustrie einen Umsatz von 22.000 bis 50.000 Euro. Der Anteil der Unternehmen, die einen Jahresumsatz von 250 Millionen Euro und mehr verzeichnen, macht hingegen lediglich 0,1 Prozent aller Unternehmen aus (Statista 2022). Der Anteil der Möbelindustrie am Primärenergieverbrauch des verarbeitenden Gewerbes 2019 liegt bei ca. 1%.

Aufgrund fehlender Daten zur Nachhaltigkeit in der Möbelindustrie wird im folgenden auf statistische Daten und qualitative Maßnahmen eingegangen, die sich im Bereich kleiner und mittelgroßer Tischlereibetriebe (KMU) ergeben. Je nach Betriebsgröße schwankt der Anteil der Energiekosten am Jahresumsatz zwischen ca. 2% bei kleineren

Tischlereien und ca. 1% bei mittelgroßen Tischlereien. Aufgrund der stetig steigenden Energiekosten wird sich dieser Anteil in den kommenden Jahren mehr oder weniger stark erhöhen. Tischlereibetriebe haben im Branchenvergleich die höchsten Einsparpotentiale, sie liegen im Schnitt bei 23% (ebd.).

Um die spezifischen Einsparpotenziale im eigenen Betrieb zu ermitteln, ist es sinnvoll, eine Energieeffizienzberatung durch Fachleute durchführen zu lassen. Es geht vor allem darum, mögliche investive Maßnahmen zu kalkulieren, richtig einzuordnen und die dafür zur Verfügung stehenden Mittel effizient einzusetzen (Kosten-Nutzen-Effekt). Hinzu kommt, dass viele betriebliche Maßnahmen zur Energieeinsparung staatlich gefördert werden. Und noch ein Hinweis: Wenn in der Folge von „Kosteneinsparungen“ durch technische Umrüstungen oder energetische Baumaßnahmen die Rede ist, so können diese durch Energiekostensteigerungen, Steigerung der Produktion oder betriebliche Erweiterungen wieder „aufgefressen“ werden. Zu bedenken ist dann aber auch, dass ein „Nichtstun“ noch wesentlich höhere Betriebs- und Investitionskosten verursachen würde!

In der folgenden Tabelle werden die einzelnen Bereiche aufgeführt und bewertet, die für eine innerbetriebliche Effizienzsteigerung von Betrieben von Belang sind. Die Werte sind Durchschnittswerte und sollen jeweilige Potentiale verdeutlichen:

MASSNAHME	ENERGIE-EINSPARMÖGLICHKEIT	RELEVANZ IN TISCHLEREI/SCHREINEREI
Druckluft	20-22%	Sehr hoch
Beleuchtung	22%	Sehr hoch
Heizung	26%	Sehr hoch
Elektrische Antriebe	13%	Mittel
Lüftung, Gebläse	15%	Mittel
Büro	10-11%	Mittel
Pumpen	6-7%	Mittel
Warmwasser	14-15%	Mittel
El. Verbraucher (ohne Antriebe)	14-15%	Niedrig
Prozesswärme	11-12%	Niedrig
Kühlung	10%	Sehr niedrig
Klimaanlage	11%	Sehr niedrig

Quelle: Energieinstitut der Wirtschaft (A) im Auftrag von Österreichische Energieagentur

Maßnahmen

Wie die obige Tabelle verdeutlicht, haben die verschiedenen möglichen Maßnahmen nicht dieselbe hohe Relevanz: So kann z.B. eine durch eine effizientere Druckluftanlage erzielte 10%ige Einsparung möglicherweise wirtschaftlicher sein als eine 20%ige Einsparung durch effizientere Absaug-Gebläse (ebd.). Es sind also auch immer die dahinterstehenden absoluten Verbrauchswerte des jeweiligen Tischlereibetriebs zu beachten. Es lassen sich aber auch allgemeine, übergreifende Maßnahmen zur Energieeinsparung erkennen, die umsetzbar sind:

- Biomasse-BHKW: Wärme, Stromerzeugung und -verkauf
- Bewegungssensoren in Sozialräumen anbringen
- Tageslicht mittels Lichtsensoren optimal ausnutzen
- Drucklufttechnik und -regelung optimieren

Das in der Verarbeitung anfallende Restholz wird in vielen Betrieben zur Beheizung der Betriebsräume genutzt. Oft lässt sich die vorhandene Technik optimieren, so kann es durchaus sinnvoll sein, ein Mikro-Blockheizkraftwerk (BHKW) zu installieren und damit neben der benötigten Raumwärme zusätzlich auch elektrische Energie zu erzeugen, der den Eigenbedarf mit abdecken kann oder als überschüssiger Strom an Energiedienstleister verkauft werden kann (Energieeffizienz-im-Betrieb 2023).

Heizung

Einsparpotentiale

Zur Reduzierung der Heizkosten um 30-50% sind massive Investitionen erforderlich. Bei Umsetzung hocheffizienter Maßnahmen spielt neben der Anfangsinvestition vor allem die Nutzungsdauer eine entscheidende Rolle. Aufgrund der zunehmend steigenden Kosten für fossile Brennstoffe (ÖL/ Gas) amortisiert sich eine solche Investition in wenigen Jahren (Energieeffizienz-im-Betrieb 2023).

Der Anteil am Gesamtstromverbrauch des Betriebs liegt bei ca. 10 %. Der Heizwärmebedarf eines Betriebs ergibt sich aus verschiedenen Bereichen, den Lüftungswärmeverlusten aus Staub- Späne- und Spritznebelabsaugung, der Abwärme der im Betrieb genutzten Maschinen sowie den Wärmeverlusten, die sich aus der Gebäudehülle ergeben. Ein kostengünstiger Energieträger sind die anfallenden Späne und das Restholz, das bis auf den Aufwand für die Aufbereitung, den Transport, die Lagerung und die Beschickung der Heizung praktisch kostenlos ist (ebd.).

Bei der Nutzung von Holz für die Beheizung werden folgende Werte angenommen: 2,5 kg trockene Holzreste können 1 Liter Heizöl bzw. 1 Kubikmeter Erdgas ersetzen, der Heizwert ergibt einen Wert 4 – 4,5 kWh/kg Energie. So lassen sich ca. 100 kW Heizleistung durch die stündliche Zuführung von 25-30 kg trockenem Holz erzielen. Zu beachten ist dabei, dass es zur Luftreinhaltung strenge gesetzliche Regelungen (1. BImSchV1) gibt, die den Einsatz von Holz und Holzresten betreffen: Verbrannt werden dürfen nur unbehandelte Hölzer und Restholz, alle anderen behandelten Hölzer sowie Abbruch- und Althölzer dürfen nicht verwendet werden. Gerade der Einsatz einfacher Stück- und Restholzöfen sollte durch effiziente Techniken ersetzt werden, um die Energie des Holzes effektiv zu nutzen und die TGH-Emissionen zu verringern. Neben dem eigentlichen Brennstoff und dem mit seiner Bereitstellung verbundenen Aufwand bis hin zur Brikettierung wird elektrische Energie benötigt für die Heizungsregelung, die Umwälzpumpen (Rauchabzugsventilator oder den Lüfter) sowie für die automatische Beschickung (Förderschnecken). Es wird deutlich, dass auch der technische Aufwand zur Nutzung von Restholz nicht unerheblich ist und die Investitionskosten höher sind als bei konventionellen fossil befeuerten Heizungen (ebd.).

Maßnahmen

Im Folgenden sind die möglichen Maßnahmen aufgeführt, die im Rahmen einer technischen Optimierung und Regelung der Anlagentechnik sinnvoll sind und durch die ein Einsparpotential von 10-15% erzielt werden kann. Viele der Maßnahmen können auch in Eigenregie durchgeführt werden (Energieeffizienz-Handwerk 2023):

- Heizungs-Regelungstechnik optimieren oder neu installieren – Installierung temperatursensibler Thermostatventile.
- Heizungssystem regelmäßig auf Funktion überprüfen und warten lassen (z.B. hydraulischer Abgleich, Dimensionierung, Dämmung, Rohrleitungen).
- Temperaturniveau optimieren (Vorlauf-Rücklauf-Spreizung/ Betriebszeiten/ Nacht- und Wochenend Absenkung/ Sommer-, Winterbetrieb).
- Wartungsintervalle der Heizungsanlage einhalten.
- Steuerung sowie Temperaturregelung und -niveau je nach Raumnutzungsart optimieren (Heizkreise).
- Dämmung von Heizungspumpen und vom Wärmeverteilungssystem
- Wärmeabstrahlungsmöglichkeit der Heizkörper sicherstellen (nicht zustellen).
- Einsatz von modernen Heizungssystemen anstelle von Gebläsen und Luftheritzern.
- Einsatz eines Pufferspeichers prüfen – s.a. Grenzwerte 1. BImSchV.
- Abwärmenutzung aus Druckluftanlagen.
- Alte Holzfeuerungsanlagen durch moderne Feststoffkessel ersetzen (besserer Wirkungsgrad).
- Bei ausreichender Menge an Resthölzern aus eigener Produktion: Auskopplung Restwärme für z.B. Lager Trockenraum, Holz Trocknung und Furnierpressen auskoppeln.
- Bei nicht ausreichender Menge an Holzresten andere Heizquellen erschließen, z.B. effiziente Wärmepumpensysteme, Wärmespeicher, Photovoltaik und Solarthermie
- Alternative Wärmequellen-Systeme prüfen (Holzvergaseröfen/ BHKW).

In der folgenden Tabelle wird auf die Vorteile und die kritischen Aspekte bestimmter Maßnahmen eingegangen. Eine Quantifizierung der Einsparungspotentiale der verschiedenen Maßnahmen ist aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren eines jeden Betriebs nicht möglich (Energieeffizienz-im-Betrieb 2023).

MASSNAHME	VORTEIL	NACHTEIL	BEMERKUNG
-----------	---------	----------	-----------

Abwärme nutzen	Kostenlose Heizungsunterstützung	Infrastruktur muss angepasst werden	Bei Prozesswärme oder Raumluft
Solarthermie nutzen	Kostenlose Wärme	Pufferspeicher nötig	Hauptnutzung: Übergangszeit
Holzheizung (Scheitholzvergaser)	Günstigste Heizungsart überhaupt	Manuelle Befüllung	Vor allem in waldreichen Gebieten
Pelletheizung	Zweitgünstigste Heizungsart	Lagerraum für Pellets nötig	Preise bleiben stabil
BHKW (auch Mikro-BHKW)	Erzeugt nebenbei Strom	Relativ hohe Anschaffungskosten	Läuft mit Gas, Biomasse
Strahlplatten-Heizkörper	Optimale Heizkörperart für Hallen	Hohe Anschaffungskosten	Mit vielen Heizungsarten kombinierbar

Quelle: Energieeffizienz-im-Betrieb 2023

Druckluft

Einsparpotentiale

Die Druckluftanlagen haben einen Anteil von ca. 7% am Gesamtstromverbrauch (Energieeffizienz-Handwerk 2023). Bisher findet der Energieverbrauch im Bereich Druckluft wenig Beachtung, dabei ist sie eine der teuersten Energieformen im Betrieb. Die Anlagentechnik führt zu diversen Energieverlusten durch undichte Stellen wie defekten Ventilen oder Rohren, aber auch durch ungenutzte Wärmeentwicklung bei größeren Anlagen. Hinzu kommen ineffiziente Druckluftgeräte, Anschlussfehler und Verunreinigungen sowie mangelnde Kompression. Diese Punkte führen zu hohen und unnötigen Energiekosten, die sich auf bis zu 20% des Gesamtenergieverbrauches(!) belaufen und die ein Energieeinsparpotential von 30-50% ermöglichen. Große Kompressoranlagen, die auch im Handwerk gelegentlich eingesetzt werden, erzeugen viel Abwärme, die im Winter sinnvoller Weise zur Gebäudeheizung genutzt werden kann und zudem kostenlos ist. Sie kann durch eine Abluftanlage Technik mit Wärmerückgewinnung optimiert werden (ebd.).

Maßnahmen

Die spezifischen Einsparpotenziale von Druckluftanlagen umfassen eine Reihe von Maßnahmen, die in der folgenden Tabelle aufgeführt und ihrer Relevanz bewertet werden:

MASSNAHME	LOHNT SICH	ERSPARNIS	BEMERKUNG
Hochwertige Kompressorsteuerung	Immer	20-25%	Aufwand je nach Leitungsnetz Größe
Luft-Lecks minimieren	Immer	30% und mehr	Unbedingt regelmäßige Prüfung
Zeitschaltuhren anbringen	Oft	20-80%	Je nach Betrieb
Minderwertige Technik austauschen	Häufig	15%	Je nach Ist-Zustand
Druckverluste reduzieren	Häufig	6-10% pro Bar	Besonders bei verzweigten Rohrnetzen
Optimieren, reduzieren	Häufig	bis 15%	Weniger Kompressoren bedeuten weniger Wartung
Abwärme nutzen	Oft	bis 94%	Je nach Gegebenheit

Quelle: Energieagentur NRW

Sinnvolle Energieeinsparmaßnahmen sind von den jeweiligen betrieblichen Voraussetzungen her zu betrachten, so ist die Länge des Rohrnetzes ein Faktor, weitere Punkte sind das Alter und die Bauart des Leitungsnetzes und der Kompressoren, aber auch die Art des Endgerätes und die Nutzung der Druckluft.

Die höchsten Einsparungen lassen sich durch eine Nutzung der ohnehin entstehenden Wärme der Kompressoren erzielen. Sie kann meist für Heizwärme, Prozesswärme (z.B. zur Erwärmung eines Werkstückes) oder auch Warmwasser genutzt werden. Ein Wärmetauscher-System, das das erhitzte Kompressor-Motoröl an einem Wasserkreislauf vorbeiführt, ist eine der effektivsten Nutzungen der Abwärme (Energieeffizienz-Handwerk 2023). Hier eine Zusammenstellung von Maßnahmen, jeweils betriebsspezifisch zu betrachten und umzusetzen:

- Kompressor außerhalb der Betriebszeiten abschalten (Zeitschaltuhr).

- Druckbehälter außerhalb der Betriebszeiten absperren, damit er sich nicht über Nacht entleert.
- Druckluftverbraucher einzeln absperren oder Teile des Druckluftnetzes absperren, wenn in bestimmten Betriebsbereichen nicht gearbeitet wird, um Leckageverluste zu vermeiden.
- Druckluftbetriebene Geräte möglichst durch Elektro- bzw. Akkugeräte ersetzen.
- Druckniveau an den Bedarf anpassen (untere und obere Schaltpunkte des Kompressors schrittweise eingrenzen). Für die meisten Anwendungen in der Holzverarbeitung reicht ein Druckbereich von 6 bis 8 bar aus, sodass 10 bar im gesamten Rohrleitungsnetz in der Regel nicht notwendig sind.
- Eine Absenkung des Druckniveaus um 1 bar kann den Energiebedarf des Kompressors um 6 - 8 % senken, weil sich damit nicht nur die Laufzeiten und die Leistungsaufnahme des Kompressors verringert, sondern auch die Leckageverluste sinken.
- Kompressor, Leitungsnetz, Schläuche, Kupplungen und Ventile regelmäßig auf Dichtheit überprüfen, warten und ggf. ausbessern oder ersetzen.
- Kurzes und gerades Leitungsnetz mit verlustarmen Kupplungen nutzen; Ringleitungen sind vorteilhaft; Spiralschläuche und Trommeln vermeiden.
- Neuanlagen fachgerecht planen (lassen), bspw. einen Kolbenkompressor für den stoßweisen (Spitzen-) Bedarf und einen Schraubenkompressor für eine gleichbleibende Grundlast (ggf. auch im Tandembetrieb) einsetzen.
- (Kälte-)Trockner für die Druckluftaufbereitung einsetzen, damit Kondensat im Druckbehälter und Leitungsnetz vermieden wird.
- Den Kompressor möglichst staubfrei und kühl aufstellen und möglichst kühle und trockene Außenluft ansaugen (mindestens jedoch +5 °C), um den Wirkungsgrad zu verbessern.
- Abwärme des Kompressors für Gebäudeheizung und/oder Warmwasseraufbereitung nutzen.
- Falls keine Abwärmenutzung stattfindet, für einen ausreichenden Kühlluftstrom sorgen, damit der Kompressor nicht überhitzt und sich der Wirkungsgrad nicht verschlechtert.

Staub- und Späneabsaugung

Einsparpotentiale

Der Anteil dieser Maschinen macht ca. 38% des Gesamtstrom-Verbrauches mit 21% am Gesamtwärmeverbrauch aus (Energieeffizienz-Handwerk 2023). Bei der Staub- und Späneabsaugung geht es um die Einhaltung der Staubgrenzwerte an den Arbeitsplätzen. Da sie technisch auf eine maximale Absaugung ausgelegt ist, die im betrieblichen Alltag

allerdings selten benötigt wird, kann der Wirkungsgrad aufgrund unzureichender Planung, technischer Erweiterungen und Modifikationen schlecht sein. Vor allem in der Heizperiode, in der die Hallen zusätzlich beheizt werden müssen, können sich erhebliche Abluft-Wärmeverluste durch eine reine Absaugung ergeben, da die in dieser Luft enthaltene Wärme nicht genutzt wird. Eine Absaugung mit einer Wärmerückgewinnung der gefilterten Luft verringert die Wärmeverluste drastisch und ermöglicht eine Reduzierung der Leistung der Heizungsanlage. Eine beispielhafte handwerkliche Holzbearbeitungsmaschine mit 1-2 Anschlussstutzen saugt ein Luftvolumen von ca. 1.500 – 2.000 m³ pro Stunde ab. Bei mehreren, parallel arbeitenden Maschinen ergeben sich schnell bis zu 10.000 m³ pro Stunde. Bei einem Hallenvolumen von 5.000 m³ führt das zu einem 2-fachen Luftwechsel pro Stunde – allein durch die Absaugung. Die kalte Frischluft, die dadurch in die Hallenräume hineinströmt, muss dann über die Heizungsanlage entsprechend erwärmt werden. Weiterhin zu beachten ist, dass die Wärme in einer Halle aufsteigt und kalte Luft unten nachströmt (Kaltluftsee). Starke Schwankungen des Gesamtenergiebedarfs (Wärme und Strom) ergeben sich aus den Betriebsstunden und den jeweiligen klimatischen Verhältnissen: Ähnlich wie bei der Spritznebelabsaugung (Lackierarbeiten) ergibt sich ein Lüftungswärmebedarf von bis zu 100 kW (bei -10° C Außentemperatur und ca. +20° Raumtemperatur) (ebd.).

Maßnahmen

Hier sind die möglichen Maßnahmen aufgeführt, die im Rahmen einer technischen Optimierung und Regelung der Anlagentechnik sinnvoll sind und ein Einsparpotential von 10 -15% ermöglichen (Energieeffizienz-Handwerk 2023):

- Überprüfung des Absaugvolumens, der Auslegung der Anlagentechnik sowie des Gleichzeitigkeitsfaktors
- Automatische Steuerung der Laufzeiten der Absauganlage in Bezug zum Betrieb der Holzbearbeitungsmaschinen (ggf. Kaskadenschaltung der Ventilatoren).
- Automatische Schieber installieren, Handschieber nach Gebrauch der Maschine schließen.
- Bedarfsgerechte Anpassung der Luftmenge durch Installation eines drehzahlgesteuerten Ventilators und eine Frequenzumrichters (IE3- oder IE4-Klassifikation).
- Lüftungswärmeverluste durch Rückführung der abgesaugten, gereinigten Luft in die Betriebsräume.
- Regelmäßige Prüfung und Reinigung aller technischen Geräte und Komponenten.
- Filterfläche auf Luftvolumen einstellen, um Luftwiderstand und elektr. Leistungsaufnahme zu reduzieren (Filterüberwachung).
- Automatische Filterabreinigung überprüfen und ggf. Zeitintervalle korrigieren.
- Regelmäßige Prüfung der Luftgeschwindigkeit an den einzelnen Maschinen.

- Prüfen der Flügelräder von Ventilatoren (Beschädigung, Laufrichtung).
- Ventilatoren möglichst reinluftseitig installieren.
- Möglichst kurze Rohrleitungsnetze und wenn, nur kurze, flexible Kunststoffschläuche verwenden (sonst zu hohe Druckluftverluste).
- Möglichst kurze Distanz zwischen Werkstatt und Spänesilo (geringere Leistung des Transportventilators, Anteil zurückgewonnener Wärme erhöht).

Lackierung

Einsparpotentiale

Die Lackierung hat einen Anteil am Gesamtstromverbrauch von 5% sowie einen Anteil am Gesamtwärmeverbrauch von 8% (Energieeffizienz-Handwerk 2023). Analog zur Staub- und Späneabsaugung gilt es auch bei der Spritznebelabsaugung, die jeweiligen Grenzwerte der Luft am Arbeitsplatz einzuhalten und qualitativ gute Lackiererergebnisse zu erzielen. Auch hier entstehen hohe Abluftwärmeverluste, die mit Dämpfen und Gasen gesättigte warme Abluft kann allerdings nicht direkt durch Filter gereinigt und wieder zurückgeführt werden, eine Wärmerückgewinnung kann nur über einen Wärmetauscher erfolgen. Hinzu kommt die für den Betrieb benötigte elektrische Energie für Zu- und Abluftanlagen, Druckluft für den Spritzvorgang und ggf. Lackpumpen. Starke Schwankungen des Gesamtenergiebedarfs (Wärme und Strom) ergeben sich aus den Betriebsstunden und den jeweiligen klimatischen Verhältnissen. Die Abluftvolumina liegen bei einer kleinen Spritznebelabsaugwand bei ca. 3.000 – 5.000 m³ pro Stunde, bei größeren Anlagen zwischen ca. 8.000 – 12.000 m³ Luftvolumenstrom pro Stunde. Es kann sich daraus ähnlich wie bei der Staub- und Späneabsaugung ein Lüftungswärmebedarf von bis zu 100 kW ergeben (bei -10° C Außentemperatur und ca. +20° Raumtemperatur) (ebd.).

Maßnahmen

Hier sind die möglichen Maßnahmen aufgeführt, die im Rahmen einer technischen Optimierung und Regelung der Anlagentechnik sinnvoll sind (Energieeffizienz-Handwerk 2023):

- Zu- und Abluftanlage nur während Lackierungsvorgängen nutzen (Schalter am Aufhängebügel der Spritzpistole, Nachlaufzeiten beachten).
- Abluftvolumenstrom bedarfsgerecht anpassen (polumschaltbare oder drehzahlgeregelte Motoren einsetzen, ggf. Drosselklappen installieren).
- Luftleistung während der Abwesenheit von Personen reduzieren.
- Bei längeren Laufzeiten ggf. Wärmerückgewinnung nutzen (Wärmetauscher, Kreuzwärmetauscher installieren).

- Regelmäßige Wartungen und Instandsetzung der Anlagen und Wechseln der Filterelemente.
- Fehlerhafte Lackierungen vermeiden (Staubfreie Raumluft, optimale technische Luftführung).

Quellenverzeichnis

- atmosfair gGmbH (o.J.): Flüge kompensieren. Online: <https://www.atmosfair.de/de/kompensieren/flug/>
- 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>
- BUND (o.J.): Mais & Umwelt. Online: <http://www.bund-rvso.de/mais-umwelt.html>
- Carboncare-Rechner (o.J.): CO₂-Äq/a für internationale Transporte: Online: <https://www.carboncare.org/co2-emissions-rechner>
- car-wiki (o.): CO₂ Ausstoß (Emissionen) des VW Transporters. Online: <https://carwiki.de/vw-transporter-co2-ausstoss/>
- CO2Online (o.J.): Strom sparen im Haushalt: 25 einfache Tipps. Online: <https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartipps/strom-sparen-tipps-und-tricks/>
- DESTATIS-Statistisches Bundesamt (2022a): Indikatoren der UN-Nachhaltigkeitsziele 2022. Online unter: <http://sdg-indikatoren.de/>
- Deutsche Bahn (o.J.): Der Mobilitätscheck der Deutschen Bundesbahn. Online: <https://www.umweltmobilcheck.de>
- Dumke (2017): Erneuerbare Energien für Regionen – Flächenbedarfe und Flächenkonkurrenzen. Online: repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/8290
- EcoTransIT (o.J.): Emissionsrechner für Treibhausgase und Luftschadstoffe. Online: <https://www.ecotransit.org/de/emissionsrechner/>
- Eigensonne (o.J.): Der Wirkungsgrad moderner Solarzellen – einfach und verständlich erklärt. Online: <https://www.eigensonne.de/wirkungsgrad-solarzelle/>
- Energieeffizienz-Handwerk (2023): Hauptverbraucher und Einsparpotenziale. Online:
- Energieeffizienz-im-Betrieb (2023): Energieeinsparung in der Schreinerei. Online:
- Energieeffizienz-im-Betrieb (2023): Energiekosten. Online:
- Energieeffizienz-im-Betrieb (2023): Energiesparen Heizung. Online: <https://www.energieeffizienz-im-betrieb.net/energiesparen-unternehmen/heizung-energiekosten-senken.html>
- energieexperten (o.J.): Ratgeber: Kennwerte für den Stromverbrauch von Beleuchtungen. Online: <https://www.energie-experten.org/energie-sparen/energieverbrauch/stromverbrauch-berechnen/stromverbrauch-beleuchtung>
- energieexperten (o.J.): Wärmepumpentechnik. Online: <https://www.energie-experten.org/heizung/waermepumpe#c1091>
- Energieinstitut der Wirtschaft (A) im Auftrag der Österreichische Energieagentur Effiziente Tischlerei (2014): Effiziente Tischlerei. Online: www.energieinstitut.net/sites/default/files/tischler_dt_1905s.pdf
- entega (o.J.): STROMVERBRAUCH VON LICHT: LEUCHTEN IM VERGLEICH. Online: <https://www.entega.de/blog/stromverbrauch-licht/>
- EU 2017/1369 zur Festlegung eines Rahmens für die Energieverbrauchskennzeichnung und zur Aufhebung der Richtlinie 2010/30/EU. Online:

- [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1369&from=EL#:~:text=\(1\)%20Die%20Union%20hat%20sich,der%20Energienachfrage%20von%20zentraler%20Bedeutung.](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1369&from=EL#:~:text=(1)%20Die%20Union%20hat%20sich,der%20Energienachfrage%20von%20zentraler%20Bedeutung.)
- FAZ-Net Frankfurter Allgemeine Zeitung (2022 online): Die dunkle Seite der Verkehrswende. <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/schneller-schlau/kobalt-aus-kongo-der-dunkle-preis-der-verkehrswende-17731386.html>
 - GRS Batterieforum (o.J.): Lexikon. Online <https://www.batterieforum-deutschland.de/infoportal/lexikon/redox-flow-batterien/>
<https://de.statista.com/themen/1427/moebelindustrie-in-deutschland/>
<https://www.energieeffizienz-handwerk.de/gewerke/258/Hauptverbraucher+und+Einsparpotential.e.html>
<https://www.energieeffizienz-im-betrieb.net/energiekosten-unternehmen/energiesparen-schreiner.html>
<https://www.energieeffizienz-im-betrieb.net/energiekosten-unternehmen/energiesparen-schreiner.html>
 - HWK Koblenz (o.J.): Ressourceneffizienz in der Tischlerei. Online: www.hwk-koblenz.de/downloads/leitfaden-ressourceneffizienz-in-der-tischlerei-52,596.pdf
 - 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
 - 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
 - LEDONLINE (o.J.): Was sind die Vor- und Nachteile einer LED-Beleuchtung?. Online: <https://ledonline.de/blog/alle-vor-und-nachteile-einer-led-beleuchtung/>
 - Mein Klimaschutz (o.J.) CO2 durch Verkehrsmittel im Vergleich <https://www.mein-klimaschutz.de/unterwegs/a/einkauf/welches-verkehrsmittel-verursacht-im-vergleich-mehr-co2/>
 - NABU - (o.J.): Mythos klimafreundliche Containerschiffe. Online: www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/verkehr/schifffahrt/containerschifffahrt/16646.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#>
 - 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>
 - 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/>
 - 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
 - Statista (2021): Möbelindustrie in Deutschland. Online:

- Statista (2022): Zahl der Unternehmen der Möbelindustrie in Deutschland. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/155980/umfrage/zahl-der-unternehmen-in-der-mobelindustrie-nach-jahresumsatz/>
- Statista (2023): Entwicklung des Holzverbrauches von Sägewerken. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/152317/umfrage/entwicklung-des-holzverbrauchs-von-saegewerken-nach-holzarten/?locale=de>
- Stiftung GRS Batterien (o.J.): Die Welt der Batterien – Funktion, Systeme, Entsorgung. Online: <https://www.grs-batterien.de/newsroom/bibliothek/>;
- 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/#>
- Tagesschau (2022): Gehört Wärmepumpen die Zukunft? Online: www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/waermepumpe-klimaschutz-ukraine-energiepreise-viessmann-heizung-101.html
- UBA (2015): EU sagt Leerlaufverlusten den Kampf an. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/leerlaufverluste>
- UBA Umweltbundesamt (2009): Beleuchtungstechnik mit geringerer Umweltbelastung Online: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/UBA_Licht_Ausgabe_03.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2019): Wie energieeffizient ist ein Schiff? Online: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-energieeffizient-ist-ein-schiff>
- UBA Umweltbundesamt (2021): Bioenergie. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/bioenergie#bioenergie-ein-weites-und-komplexes-feld->
- 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): Erneuerbare Energien in Zahlen. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen>
- UBA Umweltbundesamt (2022b): Tempolimit. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/tempolimit#t>
- UBA Umweltbundesamt (o. J.): Leerlaufverluste. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/leerlaufverluste>
- Umweltbundesamt (2014): ÖKOBILANZ ALTERNATIVER ANTRIEBE – ELEKTROFAHRZEUGE IM VERGLEICH. Online: www.umweltbundesamt.de/fileadmin/site/publikationen/rep0440.pdf
- Unwerth, Thomas; Weckbrodt, Heiko (2020) : Turbo für Brennstoffzellen <https://oiger.de/2022/03/28/turbo-fuer-brennstoffzellen/182601>
- VDMI (2023): Über die Möbelindustrie. Online: <https://www.moebelindustrie.de/vdm/ueber-die-moebelindustrie/index.html>
- Viessmann (o.J.): Der Kältekreisprozess als Teil der Funktionsweise. Online: <https://www.viessmann.at/de/wissen/technologie-und-systeme/luft-wasser-waermepumpe/funktionsweise.html>
- Volvo (o.J.): Elektro-Lkw von Volvo Trucks. Online: <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>
- 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](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=90477752)

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):

„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, Unternehmerverantwortung, 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 (Eurofond 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:

- **SDG 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
- **SDG 8.6:** Bis 2020 den Anteil junger Menschen, die ohne Beschäftigung sind und keine Schul- oder Berufsausbildung durchlaufen, erheblich verringern
- **SDG 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.)
- **SDG 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
- **SDG 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**

Wie bei den meisten Handwerksleistungen spielt für die Endkunden auch bei den angebotenen Tischlerleistungen das Preis-Leistungs-Verhältnis ein zentrales Entscheidungskriterium für eine Beauftragung. Die Kundschaft sollte vor diesem Hintergrund vor allem auf die langfristigen positiven Effekte einer energetisch optimierten (z.B. Fenster und Außentüren) und unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten ausgeführten Leistung hingewiesen werden. Damit relativieren sich die Kosten für möglicherweise höhere Materialkosten sowie qualitativ hochwertige Handwerksleistungen. Je langlebiger und die Konstruktion ausgeführt wird, desto kostengünstiger und nachhaltiger wird sie auf lange Sicht.

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".

Fachkräftemangel und ungelernte Kräfte

Die konjunkturelle Abhängigkeit von allgemeinen politischen wie ökonomischen Dynamiken wirkt sich auch auf die Beschäftigungsstruktur im Handwerk aus. Neben den Tischlereien, die keinen geeigneten Azubi finden, gibt es interessierte Schüler*innen, die keinen Betrieb finden. Bildeten 2003 noch gut 30 Prozent der Tischlerbetriebe aus, sind es heute nur noch 24 Prozent. (dds-online 2018). Der Anteil der nicht sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten (Geringverdiener) lag 2018 bei ca. 11,3% (Destatis 2022). Diese Betriebsstruktur befördert die Beschäftigung von ggf. ungelerten oder nur angelernten Arbeitskräften, die bei der Ausführung der Gewerke je nach Auftragslage aushelfen und die ggf. in prekären Beschäftigungsverhältnissen arbeiten.

DGB Index Gute Arbeit

Die Qualität von Arbeitsbedingungen wird seit 2012 aufgrund von 42 standardisierten Fragen in einer bundesweiten repräsentativen Erhebung ermittelt. Elf Kriterien über die Arbeitsqualität werden abgefragt. Die Werte liegen zwischen 0 und 100 Punkten, wobei 100 Punkte die bestmöglichen Arbeitsbedingungen ausdrücken. Wie schon in den vorangegangenen Jahren gibt es zu den Kriterien „Arbeitsintensität“ und „Einkommen“

erheblich kritische Bewertungen. Der Index 2022 zeigt für das „Baugewerbe“ einen Indexwert 66 von 100, das zeigt, dass die Arbeitsbedingungen noch weit entfernt sind von dem Anspruch „Gute Arbeit“. Eine Spezifizierung der verschiedenen Bereiche des Baugewerbes liegt nicht vor. In der ausführlichen Debatte über die Detailergebnisse für 2022 sticht hervor, dass Beschäftigte in Leiharbeitsverhältnissen ihre Situation auffällig schlecht bewerten (ebd.).

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" (ebd.). 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 (ebd.).

Gender (Pay) Gap

2018 gab es lt. Zentralverband des Deutschen Handwerks (ZDH) im Tischler-/Schreinerhandwerk 17.873 Auszubildende. Die Zahl ist, wie in fast allen Handwerksberufen, im Zeitraum der letzten 20 Jahren deutlich zurückgegangen. Nach dem Tiefpunkt 2016 wächst die Zahl der Auszubildenden jedoch wieder. Hierzu tragen die weiblichen Auszubildenden bei: Deren Anteil ist zwischen 2010 und 2020 um 5% auf 15 % gestiegen (Destatis 2022).

Eine der möglichen Ursachen für die Unterrepräsentiertheit von Frauen in den Berufen liegt in der unterschiedlichen Entlohnung für vergleichbare Tätigkeiten und Qualifikation für Frauen und Männer, sie lässt sich durch die Erhebungen des Statistischen Bundesamtes aufzeigen. In einer Pressemitteilung vom März 2022 wird betont, dass Frauen pro Stunde noch immer 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 2022) 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.

Europäisches Lieferkettengesetz

Am 23. Februar 2022 hat die EU-Kommission ihren Vorschlag für ein Gesetz über Nachhaltigkeitspflichten von Unternehmen, die Corporate Sustainability Due Diligence Directive (CSDDD), vorgelegt. Das Gesetz soll Firmen zum sorgfältigen Umgang mit den sozialen und ökologischen Wirkungen in der gesamten Lieferkette, inklusive des eigenen Geschäftsbereichs, verpflichten. Das EU-Lieferkettengesetz geht deutlich über das ab Januar 2023 geltende deutsche Lieferkettengesetz (LkSG) hinaus. Der Entwurf für das europäische Lieferkettengesetz verpflichtet EU-Firmen zum sorgfältigen Umgang mit den sozialen und ökologischen Auswirkungen entlang ihrer gesamten Wertschöpfungskette, inklusive direkten und indirekten Lieferanten, eigenen Geschäftstätigkeiten, sowie Produkten und Dienstleistungen. Das Ziel ist die weltweite Einhaltung von geltenden Menschenrechtsstandards und des Umweltschutzes, um eine fairere und nachhaltigere globale Wirtschaft sowie eine verantwortungsvolle Unternehmensführung zu fördern (Europäische Kommission: EU-Lieferkettengesetz-Entwurf 2022).

Für Lieferverträge und Kooperationen könnten bereits in Eigeninitiative Kriterien zur nachhaltigen Gestaltung der Rohstoffe, Zwischenprodukte und Transportwege vereinbart werden und die Arbeitsbedingungen entlang der Wertschöpfungskette nach den o.g. Standards festgeschrieben werden. Anhaltspunkte sind zu finden in Zertifizierungen als "Fair gehandelte Produkte". Eine Orientierung bei der Auswahl von Lieferanten können derweil unabhängige privatwirtschaftliche Plattformen bieten. Z.B. die Onlineplattform Ecovadis, die in der Studie des Handelsblatt-Research-Instituts erwähnt wird. Die Organisation arbeitet international mit Fachexperten und Nichtregierungsorganisationen zusammen und hat bislang ca. 90.000 Unternehmen bewertet. Sie bewertet Unternehmen nach 21 Nachhaltigkeitskriterien aus den

Bereichen: Umwelt, Arbeits- und Menschenrechte, Ethik und Nachhaltige Beschaffung. Für die Transparenz derartiger Zertifikate spielen digitale Technologien eine zentrale Rolle. Auch über die Verfügbarkeit von Beurteilungen derartiger Organisationen hinaus können heutzutage digitale Medien eine reichhaltige Informationsressource sein, die Informationen über politische, wirtschaftliche und soziale Lagen in fernen Ländern zugänglich machen. Die Methodik basiert auf internationalen Standards für Nachhaltigkeit, z.B. der Global Reporting Initiative, dem United Nations Global Compact und der ISO 2600. Im EcoVadis - Bericht vom Oktober 2022 wird festgestellt, dass Unternehmen aller Größenordnungen weltweit ihre Nachhaltigkeitsleistungen in den letzten 5 Jahren verbessert hätten. Interessant ist die Feststellung, dass „nur 11 % der Unternehmen in 2021 eine Lieferantenbewertung und 5 % eine interne Risikobewertung für Kinder- und Zwangsarbeit durchgeführt haben. Dies ist besonders besorgniserregend, da die Gesetze zur Sorgfaltspflicht im Bereich der Menschenrechte zunehmen, während die Internationale Arbeitsorganisation schätzt, dass die Zahl der Menschen, die Opfer von moderner Sklaverei sind, in den letzten fünf Jahren um 10 Millionen gestiegen ist.“ (Pinkawa 2022).

Quellenverzeichnis

- Agenda 2030: siehe Vereinte Nationen (2015). Online: <https://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf>
- BDA (o.J.): Arbeitsbedingungen in Deutschland. Online: https://arbeitgeber.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 (2020) Eckpunkte "Arbeitsschutzprogramm für die Fleischwirtschaft". Online: www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Pressemitteilungen/2020/eckpunkte-arbeitsschutzprogramm-fleischwirtschaft.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>
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2017): Nachhaltigkeit im Personalmanagement. Online: nachhaltig-forschen.de/fileadmin/user_upload/FactSheets_LeNa_Personal.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>
- 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 (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>
- Bundesregierung 2021: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2021. Online: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/archiv/nachhaltigkeitsstrategie-2021-1873560>
- dds-online (2018): Marketing Betriebsführung. Online: <https://www.dds-online.de/betrieb/marketing-betriebsfuehrung/ausbildung-tischler/>
- Destatis (2022): Gender Pay Gap. Online: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Qualitaet-Arbeit/Dimension-1/gender-pay-gap.html>
- Destatis (2022): Gender Pay Gap. Online: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=abruftabelleBearbeiten&levelindex=1&levelid=1674466954330&auswahloperation=abruftabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=53111-0001&auswahltext=&wertauswahl=1419&wertauswahl=1041&wertauswahl=1417&wertauswahl=1418&wertauswahl=1157&wertauswahl=1156&werteabruf=Werteabruf#abreadcrumb>
- 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 (2022). Gender. Online: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2022/PD22_17_p002.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
- DGB (2022): Index Gute Arbeit – Jahresbericht 2022, Ergebnisse der Beschäftigtenbefragung. Online: <https://index-gute-arbeit.dgb.de/++co++b20b2d92-507f-11ed-b251-001a4a160123>
- DGB Deutscher Gewerkschaftsbund (o.J.): Decent work – menschenwürdige Arbeit. Online: www.dgb.de/themen/++co++6157a9a0-2961-11df-48e5-001ec9b03e44
- DGB Gewerkschaftsbund (2022): Saisonarbeit in der Landwirtschaft: Miserable Bedingungen für Saisonarbeitnehmer*innen beenden. Online: www.dgb.de/themen/++co++9ae2a64a-728c-11eb-be71-001a4a160123
- 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
- Europäische Kommission (2022): RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über die Sorgfaltspflichten von Unternehmen im Hinblick auf Nachhaltigkeit und zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937. Online: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:bc4dcea4-9584-11ec-b4e4-01aa75ed71a1.0007.02/DOC_1&format=PDF
- Ferber Personalberatung (o.J.): Was Mitarbeiterführung mit Nachhaltigkeit zu tun hat ... Online: ferber-personalberatung.de/mitarbeiterfuehrung-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): SORGFALTSPFLICHTEN ENTLANG GLOBALER LIEFERKETTEN. Online: www.bmz.de/resource/blob/92544/18fbb046bf85f95c5b07731ff69c4600/studie-handelsblatt-research-institute-data.pdf
- Hausjournal (o.J.): Lebensdauer von Dächern. Online: <https://www.hausjournal.net/wie-lange-haelt-ein-dach>
- 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
- 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
- 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-unternehmen-sfuehrung-verantwortung-fuer-gesellschaft-und-umwelt
- Pinkawa 2022: Nachhaltigkeitsleistung nimmt zu – EcoVadis veröffentlicht sechste Ausgabe des Business Sustainability Risk & Performance Index. Online: <https://resources.ecovadis.com/de/>
- 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 Nachhaltigkeit im 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/welternaehrung/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-Mindestlohn>

Nachhaltige Produktion

Im Durchschnitt entfallen von den gesamten jährlichen 11,2 Tonnen THG-Emissionen eines Deutschen rund 24 Prozent der THG-Emissionen auf Wohnen und Strom, 19 Prozent auf Mobilität und 15 Prozent auf Ernährung (UBA 2021). Vor diesem Hintergrund zielt das SDG 12 u.a. 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. Abfälle sollen vermieden oder recycelt und gefährliche Abfälle sicher entsorgt werden. Die Verschwendung von Materialien im Betrieb soll verringert werden. Weitere Themen sind die nachhaltige Entwicklung von Unternehmen, eine bessere Verbraucher*innen-Bildung, nachhaltige Beschaffung und der umweltverträgliche Umgang mit Chemikalien. Wichtig ist die Unterscheidung zu der von SDG 8 "Menschenwürdige Arbeit" unter Unterpunkt 8.4 genannten Perspektive: Die Unterziele in SDG 12 sind über die reine Optimierung bestehender Produktions- und Konsumkreisläufe hinaus auf eine mittel- und langfristige Nachhaltigkeit ausgerichtet.

Die mit den Aspekten des SDG 12 einhergehenden Emissionen werden im nachfolgenden Kapitel SDG 13 "Maßnahmen zum Klimaschutz" beschrieben, da die Art der Nutzung verschiedener Materialien ein wichtiger Schlüssel für mehr Nachhaltigkeit ist. Für den Betrieb selber ist es einfacher, die betriebsbedingten Emissionen durch die Bestelllisten für die benötigten Materialien (inkl. der Lieferwege), die Auswertungen der Energierechnungen (Strom/ Gas etc.) und die Tankrechnungen zu ermitteln.

Die Ermittlung der umweltbelastenden Emissionen aufgrund der Nutzung bestimmter Materialien stellt sich vor dem Hintergrund der oft globalen Lieferketten als schwierig dar. Eine Bestimmung der Nachhaltigkeit der eingekauften Produkte, deren Verpackungen und von den Verbrauchsmaterialien für die handwerklichen Tätigkeiten ist ebenfalls nicht einfach.

Nachhaltiges Bauen

Für ein ganzheitlich geplantes Gebäude bis hin zum Innenausbau sind Konzepte erforderlich, mit denen verschiedene Möglichkeiten untersucht und geeignete Maßnahmen ausgewählt werden. Im Zentrum eines umweltschonenden und energieeffizienten Entwurfs stehen folgende Planungskonzepte mit den jeweiligen wesentlichen Punkten (vgl. 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 Konstruktionen
 - Ökobilanz / Wirkungen für die globale Umwelt
 - Wirkungen für die lokale Umwelt (u.a. Schadstoffarmut)
 - Rückbau-, Trennungs- und Verwertungsmöglichkeiten der verwendeten Bauprodukte
- Wasserkonzept
 - Reduzierung von Trinkwasserverbrauch
 - Verwendung von Regenwasser und Grauwasser
 - Regenrückhaltung und -versickerung

Energetische Gebäudesanierung

Allein der Wohngebäudebestand in Deutschland umfasst 2021 ca. 19,4 Mio. Einheiten, unabhängig von der Anzahl der jeweiligen Wohnungen (Destatis 2021). Aufgrund der Altersstruktur dieser Gebäude liegt in der energetischen Sanierung der Gebäudehülle ein großes Potenzial an Treibhausgaseinsparung.

Fenster

In einer Umfrage in Deutschland zur Renovierung oder Modernisierung von Fenstern hatten dies in der deutschsprachigen Bevölkerung rund 2,27 Millionen Personen für die nächsten 1 oder 2 Jahre geplant (Statista 2023). Gebäude und ihre jeweiligen Bauteile sollten einen möglichst hohen Wärmedämmstandard erreichen. Eines der möglichen Zertifikate wird vom Passivhaus Institut (PHI) für Fenster vergeben. Passivhausfenster sind seit 1997 im Handel erhältlich.

Wärmeschutzstandard

Neben hochwertiger Dreischeiben- Wärmeschutzverglasung werden dabei wärmetechnisch verbesserte Fensterrahmen eingesetzt. Wärmetechnisch verbessert sind auch Isolierglas-Randverbund (Kunststoff oder Edelstahl) und Glaseinstand. Passivhausfenster erzielen in Verbindung mit Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung über die gesamte Wandöffnung gleichermaßen sehr gute Wärmeschutzeigenschaften (Forum Nachhaltiges Bauen o.J.). Im Folgenden wird auf die einzelnen Lebenszyklusphasen von Fenstern eingegangen, da eine isolierte Betrachtung einzelner Fensterkomponenten nicht ausreicht, um das THG-Einsparpotenzial zu erfassen.

Graue Energie

Eine Bauteilspezifische Bilanzierung der "grauen Energie", also der Energie, die für die ganzen vorgängigen Prozesse des Rahmenbaus der Fenster, der Herstellung der Verglasung bis zum Einbau des fertigen Fensters benötigt werden, liegt aktuell nicht vor. Die folgenden Werte der Dämmwirkung und des Energieaufwandes beziehen sich auf das Fenster insgesamt, also die Rahmen- und die möglichen Verglasungsvarianten (U_w):

Fensterrahmen und Verglasung (Bsp.)	Dämmwirkung	Energieaufwand/ m^2
Holz-Fenster PHI zertifiziert	$U_w = 0,716$	897 MJ/ m^2
Holz-Fenster 2-fach Wärmeschutzglas	$U_w = 1,437$	597 MJ/ m^2
PVC-Fenster	$U_w = 0,769$	1620 MJ/ m^2
PVC/ Alu-Fenster	$U_w = 0,890$	1756 MJ/ m^2
Holz/Alu-Fenster	$U_w = 0,776$	980 MJ/ m^2

Quelle: Forum Nachhaltiges Bauen 2023. Verwendete Abkürzungen: U_w -Wert = Wärmedurchgangskoeffizient Fenster gesamt; MJ = Megajoule

Die Tabelle zeigt, dass der Energieaufwand zur Produktion von Fenstern sich aufgrund des unterschiedlichen Rahmenaufbaus und der Art der Wärmeschutzverglasung erheblich unterscheidet. Der Energieaufwand bei der Herstellung ist bei Holzfenstern deutlich geringer als bei Kunststoff- oder Alufenstern. Die sogenannte „graue Energie“ liegt im Bereich von etwa 600 – 900 MJ/ m^2 . Bei Kunststofffenstern liegt sie doppelt so hoch, bei Aluminiumfenstern ebenfalls (Hausjournal o.J.). Neben dem Energieaufwand zur Herstellung der Fensterrahmen spielt die Verglasungsart eine entscheidende Rolle. Die Fensterart und der U-Wert des Fensters haben Einfluss auf den Energiebedarf bei der Herstellung (Hausjournal o.J.):

- Zweifach-Wärmeschutzverglasung hat den niedrigsten Energiebedarf (ca. 600 MJ/ m^2),
- Verbundglas benötigt in der Herstellung etwas mehr Energie (ca. 650 MJ/ m^2),
- Dreifachverglasung (U-Wert $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) hat den höchsten Energiebedarf (ca. 900 MJ/ m^2) für ihre Herstellung

Neben dieser rein bilanziellen Ebene des Energieaufwandes sind die weiteren Aspekte wie Umweltaspekte und gesundheitlichen Auswirkungen bei dem Rohstoffabbau und der Produktion von z.B. Aluminium und Hart-PVC zu beachten. Hinzu kommt, dass Tropenholz aus Nachhaltigkeitsgründen nicht verwendet werden sollte.

Nutzungszeit

Ein entscheidender Faktor für die ökologische Gesamtbilanz unterschiedlicher Fensterarten ist die Frage der Witterungsbeständigkeit, der konstruktiven Standfestigkeit und der damit verbundenen Lebensdauer. Da diese von vielen variablen Faktoren abhängt, ist eine Bilanzierung auf dieser Ebene schwierig. So ist die Lebensdauer des Rahmenverbundes von Holzfenstern z.B. geringer als die von Aluminiumfenstern oder Kunststofffenstern. Hinzu kommt, dass bei bewitterten Holzoberflächen auch eine regelmäßige Pflege wichtig ist, um deren Lebensdauer zu erhöhen.

Je nach Wärmedämmqualität des Fensters kann der U-Wert unterschiedlich sein und damit Einfluss auf den Energiebedarf während der Nutzungszeit ausüben. Die Anzahl und Dicke der Glasscheiben sowie die Art der Gasfüllung zwischen den Scheiben entscheiden dabei über den U-Wert. (Hausjournal o.J.):

- 2fach Isolierglas hat in der Regel einen U-Wert von $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- 3fach Isolierglas erreicht Werte von bis zu $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Passivhausstandard)
- mit Krypton-Füllungen im Glas können Werte bis zu $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erzielt werden
- alte Zweifach-Fenster haben in der Regel einen U-Wert von $1,6 - 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- alte Einfachverglasung (keine Kastenfenster) liegen oft sogar über $2,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Zum Vergleich: Eine gut gedämmte Wand hat einen U-Wert von $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Passivhauswände haben in der Regel weniger als $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Durch das Fenster geht also auch im besten Fall deutlich mehr Wärme verloren als durch eine Wandfläche. Als Näherungswert kann man davon ausgehen, dass ein Senken des U-Werts um $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ eine Einsparung von rund 1 Liter Heizöl pro Jahr pro m^2 Fensterfläche bedeutet (ebd.).

Recycling/ Entsorgung

Gut erhaltene Fenster, aus welchen Materialien auch immer, können z.B. über Baustoffbörsen anderweitige Wiederverwendung finden.

Holz

Fenster mit reinem Holzrahmenverbund werden heute aufgrund ihrer bauphysikalischen und thermischen Eigenschaften kaum mehr eingesetzt. Reine Holzrahmen können, befreit von Fensterglas, Dichtungen und Beschlägen, stofflich wiederverwertet werden. Damit ist allerdings ein hoher Zeitaufwand verbunden. Bei einer Verbrennung von Holz können durch die Oberflächenbehandlung mit Lasuren und Lacken Schadstoffe freigesetzt werden. Durch eine Verbrennung wird Wärme, aber auch Energie erzeugt, beispielsweise in großen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, die aus Abfallholz Strom und Wärme erzeugen (Hausjournal o.J.). Hochwertig gedämmte

Holzfensterrahmen bestehen aus einem Rahmenverbund mit einer dämmenden Zwischenlage aus z.B. Polyurethan, Polystyrol oder Kork. Diese Verbundwerkstoffe können nur verbrannt oder deponiert werden, weil sich die einzelnen Stoffe nicht voneinander trennen lassen.

Aluminium

Der mit einer Unreinheit des Aluminiumschrotts verbundene Qualitätsverlust führt zu einem "Downcycling" mit der Konsequenz, dass es im Laufe mehrerer Recycling Phasen zu einer sukzessiven Verschlechterung der Qualität führt. Es gibt Legierungen, die für 95 Prozent der Aluminium Anwendungen nicht mehr einsetzbar sind (Statista 2022).

Polyvinylchlorid (PVC)

Im Jahr 2017 lag die PVC-Abfallmenge bei insgesamt 695.000 Tonnen. Das entspricht 1-2 Prozent des gesamten Abfallaufkommens. Der Anteil an Nachgebrauchs-Abfällen („post-consumer“) in dieser Menge lag bei ca. 568.100 Tonnen (PVCrecyclingfinder o.J.). PVC - Polyvinylchlorid - ist einer der weitverbreitetsten Kunststoffe in Europa, von dem mengenmäßig noch immer viel zu viel deponiert statt recycelt wird. Grundsätzlich wird beim Recycling von PVC zwischen Hart-PVC und Weich-PVC unterschieden. Hart-PVC findet sich z.B. bei Fenstern, während z.B. für Fußbodenbeläge Weich-PVC genommen wird (Baunetzwissen o.J.). Methodisch haben sich in der Forschung sowohl für Hart- als auch Weich-PVC werkstoffliche Verfahren durchgesetzt, bei denen mit speziellen Lösungsmitteln das PVC aufgelöst wird, die so entstandene Polymerlösung gereinigt und über Filter von diversen Beistoffen gereinigt wird. Die eigentlichen PVC-Partikel können dann über verschiedene chemische Abtrennverfahren gesammelt und erneut dem Werkstoffkreislauf zugeführt werden. Die Lagerung auf Deponien wird kritisch betrachtet, da PVC-Abfälle aufgrund ihrer vormals gewünschten Baustoff-Eigenschaften nur sehr langsam verrotten und biologisch nicht, bis sehr schwer abbaubar sind. Eine Entsorgung über Müllverbrennungsanlagen ist ebenfalls problematisch, da bei der Verbrennung von PVC Chlor freigesetzt wird. In Verbindung mit Wasser bildet sich bekanntlich die äußerst aggressive Salzsäure, die erst durch Zusatz von Kalk oder Natronlauge als Calciumchlorid wieder deponiefähig wird (ebd.).

Leistungen von Holzmechanikern und Holzmechnikerinnen

Die Beschäftigungsfelder sind breit gefächert. Sie stellen Möbel, Türelemente, Fensterelemente, Ausbau- und Verpackungselemente her, bedienen und kontrollieren die Maschinen wie Sägen und Fräsen zur Herstellung von Vollholzprodukten, Holzwerkstoffen und Holzfertigerzeugnissen.

In den folgenden Ausführungen wird auf die für die Holzbearbeitung wichtigsten Materialien und deren Hauptanwendungsgebiete eingegangen. Die jeweiligen

Grundstoffe und ihre Eigenschaften führen zu einer ökologischen Einordnung. Wichtig ist es, die Nutzungszeit von Produkten in den Mittelpunkt zu rücken, da diese entscheidend für eine Bewertung von THG-Emissionen sind. Damit rücken auch Werkstoffe in den Vordergrund, die isoliert betrachtet einen ungünstigen CO₂-Fußabdruck haben als andere.

Ökobilanzierung Werkstoffe

Die Ökobilanzierung hängt von den zu betrachtenden Prozessen, Materialien und Produkten ab. Das Fraunhofer Institut beschreibt die dazu notwendigen Schritte (Fraunhofer Institut o.J.):

1. *Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens (engl.: Goal and Scope)*
Der erste Schritt der Ökobilanz legt das Ziel und den Untersuchungsrahmen fest. Dazu gehört beispielsweise die Definition der Systemgrenzen, der Funktion des Systems und der Anforderungen an die Datenqualität.
2. *Sachbilanz (engl.: LCI – Life Cycle Inventory)*
Die Sachbilanz beinhaltet die Datensammlung aller benötigten eingehenden (Ressourcen, Materialien) und ausgehenden (Emissionen, Abfälle) Stoff- und Energieströme, welche in einer Bilanz erfasst werden.
3. *Wirkungsabschätzung (engl.: LCIA – Life Cycle Impact Assessment)*
Bei der Wirkungsabschätzung werden die potenziellen Umweltwirkungen, Einflüsse auf die menschliche Gesundheit und Ressourcenverfügbarkeit mithilfe der Ergebnisse der Sachbilanz über entsprechende Charakterisierungsmodelle softwaregestützt errechnet.
4. *Auswertung und Interpretation (engl.: Results and Interpretation)*
Bei der Auswertung werden die Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung in Bezug auf das Ziel der Ökobilanzstudie interpretiert.

Die Ökobilanz eines Werkstoffes hängt von mehreren Faktoren ab (vgl. dach24online o.J.):

- **Rohstoffgewinnung:** Wo und unter welchen Bedingungen werden die benötigten Rohstoffe abgebaut? Müssen diese Rohstoffe über weite Strecken transportiert werden? Unter welchen Bedingungen werden sie schließlich verarbeitet und auf der Baustelle verwendet?
- **Verarbeitung:** Mit welchem Energieaufwand ist die Verarbeitung der Rohstoffe verbunden? Werden zusätzliche Materialien im weiteren Verarbeitungsprozess eingesetzt, die ggf. eine negative Ökobilanz aufweisen? Welche Abfall- und Nebenprodukte fallen bei der Herstellung an?
- **Verpackung:** Mit welchen Materialien werden die Materialien und Produkte für den Transport verpackt? Welche Verpackungsmenge fällt dadurch an?

- Lebensdauer: Wie hoch ist die Lebensdauer des Produktes aus Holzwerkstoffen? Nach **welchem** Zeitraum müssen z.B. Türelemente erneuert werden? Wie wird das Material wiederverwendet oder entsorgt?
- **Sonstige Aspekte:** Wie stark sind die Umweltauswirkungen und die gesundheitlichen Risiken?

Umweltzertifikate und Testlabel

Aufgrund des vielfältigen Produktangebotes ist es als Holzverarbeitender Betrieb wie als Kundin und Kunde nicht einfach, Produkte und ihre Inhaltsstoffe zu recherchieren und auszuwählen, die die verschiedenen relevanten Aspekte der Nachhaltigkeit wie Gesundheit, Umwelt- und Klimaschutz berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund und als Grundlage für eine Produktauswahl werden die relevantesten Zertifizierungssysteme und auch Testzertifikate vorgestellt. Neben unabhängigen Systemen gibt es auch solche, die von Herstellergruppen entwickelt wurden.

Umwelt- und Nachhaltigkeits- Zertifizierungen für Holz

Holz ist der zentrale Werkstoff für den Holzbearbeitungsmechaniker und die Holzbearbeitungsmechanikerin. Auch bei den meisten Verbundwerkstoffen ist Holz ein wesentlicher Bestandteil. Vor diesem Hintergrund werden hier die Zertifizierungssiegel explizit für Holz vorgestellt. Die Holzwirtschaft ist wie viele andere Produktionen inzwischen globalisiert. Deutschland importiert einen großen Teil seines Holzbedarfes aus dem Ausland. Im Jahr 2018 wurden ca. 7,1 Millionen Kubikmeter Rohholz nach Deutschland importiert. Damit hat sich die Menge innerhalb von 15 Jahren verdreifacht. Der Export 2018 lag bei 3,5 Mio. Kubikmetern Rohholz und hat sich damit in den letzten Jahren deutlich verringert (statista 2021).

Der Holzeinschlag in Deutschland lag in 2021 bei insgesamt ca. 83 Mio. Kubikmeter (BMEL 2022).

Um zwischen "guten", "besseren" oder "schlechten" Produkten zu entscheiden, kann man auf Zertifizierungssiegel achten. Es gibt jedoch inzwischen eine kaum überschaubare Vielfalt an Siegeln - bedingt ist dies durch die Gründung von Organisationen, die ihren Betrieb mit dem Vertrieb von Siegeln finanzieren. Der für die Holzbearbeitungsbetriebe zentrale Werkstoff ist Holz. Als natürlicher, nachwachsender Rohstoff bietet er sich für verschiedene Anwendungsgebiete an und ist bei einer entsprechenden Holzbewirtschaftung und den Lieferketten gemäß anerkannter Zertifizierungen als nachhaltig zu bewerten. Im Folgenden wird im Überblick auf die verschiedenen eingeführten Zertifizierungen eingegangen. Die Zertifizierung ist eine freiwillige Selbstverpflichtung der Forstbetriebe, über die gesetzlichen Mindestanforderungen der Wald- und Naturschutzgesetze hinaus weitere

Mindestnormen im ökologischen, ökonomischen und sozialen Bereich einzuhalten. Mit einer Zertifizierung nach einem anspruchsvollen Zertifizierungssystem dokumentieren die Waldbesitzer ihre Bereitschaft, bei der Bewirtschaftung ihrer Flächen Erfordernisse der Nachhaltigkeit sowie des Natur- und Artenschutzes über den gesetzlich vorgegebenen Standard hinaus zu berücksichtigen (UBA 2021).

Im folgenden wird ein Vergleich forstlicher Zertifizierungssysteme vorgestellt (Fraunhofer-Institut 2015):

- Beim **FSC (Forest Stewardship Council)** werden Entscheidungen durch ein 3-Kammern-System (Sozial-, Umwelt-, Wirtschaftskammer) getroffen. In diesen Kammern sind neben weiteren Akteur*innen hauptsächlich Vertreter der Umweltverbände aktiv
- Beim **PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes)** werden Entscheidungen durch den Forstzertifizierungsrat, der neben weiteren Akteur*innen hauptsächlich durch Vertreter verschiedener Waldeigentumsarten besetzt ist getroffen
- Bei den Systemen **DFSZ (Deutsches Forst-Service-Zertifikat)**, **KFP (Kompetente Forst Partner)** erfolgt die Entwicklung (erstmalige Ausarbeitung des Standards) mit einer sog. Stakeholderbeteiligung, d.h. unter Einbeziehung verschiedener Interessenvertreter*innen der Branche. Weiterentwicklungen des Standards und der Systembeschreibung werden bei diesen Systemen ausschließlich vom Systemträger selbst und unter Einbeziehung der Zertifizierungsstelle und der Auditor*innen vorgenommen
- Entscheidungen zur weiteren Entwicklung des **KUQS-Systems (Kompetenznachweis in Umwelt-, Qualitäts- und Sicherheitsmanagement)** trifft ein Zertifizierungsbeirat, in dem neben Vertreter*innen weiterer Interessengruppen hauptsächlich (Forst-) Unternehmer*innen ihre Belange einbringen

Weitere anerkannte Zertifizierungssysteme:

- **natureplus-Umweltzeichen:** Es bestätigt die Einhaltung hoher Qualitätsnormen auf allen für die Nachhaltigkeit relevanten Gebieten. Das natureplus-Qualitätszeichen wurde bislang an über 600 Bauprodukte in Europa vergeben und verfügt über eine europaweite Anerkennung bei Baufachleuten, Verbraucher*innen, Umweltverbänden, Regierungsorganisationen und Systemen zur Gebäudebewertung. Die Prüfungen zur Verifikation dieser Anforderungen werden von akkreditierten Laboren und Gutachter*innen nach anerkannten internationalen Standards durchgeführt. Damit ist das natureplus-Qualitätszeichen für Bauprodukte das einzige europäische

Umweltlabel, dem strenge wissenschaftliche Kriterien zu Grunde liegen (natureplus 2022).

- **Naturland:** Die Naturland Richtlinien zur Ökologischen Waldnutzung regeln Aspekte einer nachhaltigen und naturverträglichen Waldbewirtschaftung. Da die Richtlinie die FSC-Anforderungen übertrifft, kann gleichzeitig ein Naturland und ein FSC-Zertifikat ausgestellt werden. Darüber hinaus hat Naturland mit den „Verarbeitungsrichtlinien für Holz aus ökologischer Waldnutzung“ die Grundlagen für die Zertifizierung verarbeiteter Holzprodukte geschaffen. Diese Richtlinie umfasst neben der Rückverfolgbarkeit auch Aspekte einer ökologischen und gesundheitsverträglichen Produktion (Naturland 2022).

Die Bundesregierung geht bei der Beschaffung mit gutem Beispiel voran: Der Beschaffungserlass fördert eine zertifizierte Forstwirtschaft: Seit 2007 beschaffen die Dienststellen des Bundes nur noch Produkte aus Holz, die nach PEFC, FSC oder vergleichbaren Systemen zertifiziert sind oder denen per Einzelnachweis die Erfüllung entsprechender Standards nachgewiesen wurde (FNR o.J.).

Umweltzertifizierungen für Produktgruppen

Der Blaue Engel

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit ist Zeicheninhaber und informiert regelmäßig über die Entscheidungen der Jury Umweltzeichen. Das Umweltbundesamt fungiert mit dem Fachgebiet „Ökodesign, Umweltkennzeichnung, Umweltfreundliche Beschaffung“ als Geschäftsstelle der Jury Umweltzeichen und entwickelt die fachlichen Kriterien der Vergabekriterien des Blauen Engel. Die Jury Umweltzeichen ist das unabhängige Beschlussgremium des Blauen Engel mit Vertretern aus Umwelt- und Verbraucherverbänden, Gewerkschaften, Industrie, Handel, Handwerk, Kommunen, Wissenschaft, Medien, Kirchen, Jugend und Bundesländern. Die RAL gGmbH ist die Zeichenvergabestelle. Sie organisiert im Prozess der Kriterienentwicklung die unabhängigen Expertenanhörungen, d.h. die Einbindung der interessierten Kreise (BMU 2023).

RAL-Gütezeichen

Beim RAL (Reichsausschuss für Lieferbedingungen) Gütezeichen werden Entscheidungen durch einen Güteausschuss getroffen, in dem neben Vertreter*innen weiterer Interessengruppen hauptsächlich Vertreter*innen der Wissenschaft und Waldeigentümer*innen ihre Anforderungen einbringen. Mit dem RAL Gütezeichen können Produkte und Dienstleistungen gekennzeichnet werden. Es zeigt öffentlichen Auftragnehmern, Unternehmen und Verbraucher*innen, dass die geprüften Produkte und Dienstleistungen genauen Qualitätskriterien entsprechen. Für das jeweilige Produktgruppen- und leistungsspezifische Anerkennungsverfahren werden Behörden,

Prüfinstitute, Hersteller und Anbieter sowie Handel und Verbraucher einbezogen. Die Kriterien sind öffentlich zugänglich. Die Vergabe des RAL-Gütesiegels geht mit einer regelmäßigen, unabhängigen Überprüfung einher. In der folgenden Tabelle sind die für den Innenbereich wichtigen Produktgruppen mit ihrem jeweiligen RAL - Zeichen für "emissionsarm". Die Produkte werden mit dem Zeichen "Der Blaue Engel - weil emissionsarm" versehen.

Bauprodukte für Innenräume mit dem Umweltzeichen Blauer Engel	
Emissions- und schadstoffarme Lacke	RAL-UZ 12a
Emissionsarme Holzwerkstoffplatten	RAL-UZ 76
Emissionsarme Wandfarben	RAL-UZ 102
Emissionsarme Bodenbelagsklebstoffe und andere Verlegewerkstoffe	RAL-UZ 113
Elastische Fußbodenbeläge	RAL-UZ 120
Emissionsarme Dichtstoffe für den Innenraum	RAL-UZ 123
Emissionsarme textile Bodenbeläge	RAL-UZ 128
Emissionsarme Wärmedämmstoffe und Unterdecken für die Anwendung in Gebäuden	RAL-UZ 132
Emissionsarme Verlegeunterlagen für Bodenbeläge	RAL-UZ 156
Emissionsarme Bodenbeläge, Paneele und Türen aus Holz u. Holzwerkstoffen für Innenräume	RAL-UZ 176
Emissionsarme Innenputze	RAL-UZ 198

Quelle: Umweltbundesamt. Umwelt- und gesundheitsverträglich Baustoffe; Ratgeber für Architekten, Bauherren und Planer, 2015

Emicode

Die Gemeinschaft "Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe, Klebstoffe und Bauprodukte e.V." (GEV) vergibt das Emicode Label. Es werden Anforderungen formuliert, die eine Bewertung von Verlegewerkstoffen, Klebstoffen und Bauprodukten nach GABW 31-Kriterien Umwelt, Hygiene und Gesundheit zulassen und eine Einstufung in Bezug auf Langzeitemissionen ermöglichen. Verantwortlich für die Festlegung der GEV-Einstufungskriterien ist der Technische Beirat der GEV. In 2018 gehörten 154 Hersteller der Gemeinschaft an, der Verein sowie der technische Beirat besteht aus Vertreter*innen der Mitgliedsunternehmen (Emicode 2020).

Das Label kann für Produkte aus folgenden Produktgruppen vergeben werden:

- Flüssige Produkte (Vorstriche, Grundierungen, Anti-Rutsch-Beschichtungen, Dicht- oder Sperrgrundierungen),

- Pastöse Produkte und solche mit hohem organischem Bindemittelanteil (Bodenbelags-, Parkett- und Fliesenklebstoffe, Fixierungen, Flächen- und Fugendichtstoffe auf Dispersions- oder Reaktionsharzbasis, Dispersions- und reaktive Spachtelmassen),
- Mineralische Produkte mit überwiegend anorganischem Bindemittel (Zement- und Gipsputzmassen, Fliesenklebe- und Fugenmörtel, mineralische Dichtschlämmen),
- Produkte, die keiner chemischen Reaktion oder physikalischen Trocknung bedürfen (Unterlagen, Dämmunterlagen, haftklebstoffen beschichtete Unterlagen, Klebebänder, Verlegeplatten),
- Bei der Anwendung expandierender Fugen Dämmstoffe (Montage, Orts- und Dämmschäume) sowie imprägnierter Dichtungsbänder aus Schaumkunststoff gemäß DIN 18542

Testlabel

Stiftung Warentest

1964 wurde die Stiftung Warentest vom Deutschen Bundestag gegründet, sie ist eine unabhängige Stiftung bürgerlichen Rechts. Jährlich werden mehr als 30.000 Produkte und Dienstleistungen unabhängig voneinander ausgewählt und geprüft. Die Tests der anonym eingekauften Produkte erfolgen in unabhängigen Laboren, Dienstleistungen werden ebenfalls unabhängig geprüft. Die Ergebnisse werden in Publikationen veröffentlicht (Stiftung Warentest 2023).

Ökotest

Seit 1985 wurden über 100.000 Produkte und Dienstleistungen von Ökotest untersucht. Ziel ist es, ökologisch unbedenkliche Produkte zu befördern, die dabei sozialverträglich und nachhaltig produziert werden. Das Grundprinzip ist ein unabhängiger Umweltschutz und vorbeugender Verbraucherschutz. Produkte werden anonym am Markt eingekauft und durch unabhängige Labore getestet, diese Tests dienen dann zur Einordnung in eine Bewertungsskala, die veröffentlicht wird (Ökotest 2023).

Hilfsstoffe für Holzprodukte

Grundsätzlich dient der Naturstoff Holz als Ausgangsstoff für verschiedene Anwendungsbereiche und ist somit eines der nachhaltigsten Materialien, die wir für unser Leben verwenden: Stofflich kann es z.B. als Bau-, Fenster, Tür- Treppen- und Möbelholz genutzt werden. Diese Produkte sind dauerhaft, erfüllen einen wichtigen Zweck und speichern zudem noch für Jahre oder Jahrzehnte (z.B. als Tür- und Einbauelemente) Kohlendioxid. Papier ist z.B. ein wesentlicher Bestandteil von Hochdrucklaminatplatten (HPL). Jedes der im folgenden vorgestellten Holzprodukte hat

seine spezifischen Anwendungsbereiche. Für eine Nachhaltigkeitsbetrachtung spielt hier vor allem die Verwendung von Harzen und Leimen eine zentrale Rolle. Diese Stoffe wurden und werden in vielen Holzwerkstoffen und Produkten verwendet. Eine gute Übersicht über die Klebstoffe, ihre Eigenschaften und Anwendungsgebiete findet sich auf dem Portal des Industrieverbandes Klebstoffe e.V., ausgearbeitet vom Fraunhofer IFAM (Industrieverband Klebstoffe o.J.).

Klebstoffe und Leime

Hier werden die wichtigsten Kleber- und Leimbestandteile in Bezug auf ihre Eigenschaften und ggf. gesundheitlichen und ökologischen Wirkungen vorgestellt. Bei einer Verleimung von Holzmaterialien in Holzbearbeitungsbetrieben muss auf die aktuell gültigen gesetzlichen Grundlagen des Gesundheitsschutzes und des Umweltschutzes geachtet werden. Vor diesem Hintergrund sind besonders die Eigenschaften der folgenden Kleber- und Leimbestandteile zu betrachten:

- Kasein
- Gluten
- Polyvinylacetat
- Melaminformaldehydharz
- Phenolformaldehydharz
- Harnstoff Formaldehydharz
- Polyharnstoff
- MUPF und Polyharnstoff Mischung
- Polyurethan

Kasein

Die natürlichen Bestandteile des Kaseins sind Kalk und Milch. Der Leim ist hitzebeständig und wasserfest und findet heute aufgrund seiner Eigenschaften hauptsächlich in der Bautischlerei Anwendung (Chemie.de o.J.). Der Leim ist aufgrund seiner natürlichen Bestandteile sowohl gesundheitlich als auch für die Umwelt unschädlich.

Gluten

Die natürlichen Bestandteile des Gluten sind tierische Leder- oder Knochenabfälle sowie Haut. Dieser Leim ist einer der ältesten Klebstoffe, wird im Holzbereich heutzutage nur noch selten eingesetzt, vor allem bei Reparatur und Restaurierung älterer, historischer Möbel sowie bei Intarsienarbeiten. Der Leim ist nicht wasserfest und empfindlich gegenüber Pilzen und Insekten (Chemie.de o.J.). Der Leim ist aufgrund seiner natürlichen Bestandteile sowohl gesundheitlich als auch für die Umwelt unschädlich.

Polyvinylacetat

Dieser Leim wird aus Vinylacetat durch radikale Polymerisation hergestellt. Oft wird er copolymerisiert mit Acrylaten, Acrylsäure, Croronsäure, Vinylacrylat, Vinylchlorid oder Ethylen und ist als Dispersion erhältlich. Polyvinylacetat (PVAC) ist bei diesem Leim das Bindemittel. Der Leim ist Formaldehydfrei und ist als Furnierleim, Härterleim, Heißleim, Kaltleim, Lackleim und Schnellbinderleim im Handel erhältlich. PVAC kann in Form von Dispersionen ins Abwasser gelangen und wird in wässrigen Milieus nur schlecht abgebaut. Dispersionshaltige Abwässer können in Kläranlagen ausgefällt werden und können mit dem Klärschlamm entsorgt werden (Chemie.de o.J.).

Formaldehyd

Der Stoff Formaldehyd diente als Konservierungsmittel früher der Haltbarmachung von Produkten. Die Verwendung nahm mit seinem Einsatz als Klebstoffbestandteil in Holzwerkstoffen, z.B. im Innenausbau, der Fertigbauweise und für Möbel massiv zu. Die Kategorisierung des Umweltbundesamtes von Formaldehyd lautet seit 2014 "kann Krebs erzeugen" (UBA 2015).

Melamin

Melamin ist eine chemische Verbindung, die großtechnisch als Ausgangsmaterial zur Herstellung von Kunststoffen sowie speziellen Harzen und Klebstoffen verwendet wird. Melaminharze entstehen durch die Umsetzung von Melamin mit Formaldehyd, sie werden aufgrund ihrer Feuchtebeständigkeit für die Fertigung von Arbeitsplatten in Küchen oder bei Fassadenelementen eingesetzt. Außerdem werden sie in Lacken und Farben sowie als Komponenten für Flammenschutzmittel eingesetzt. Melamin hat eine geringe Toxizität, es reizt aber Schleimhäute, Haut und Augen (Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit 2009).

Phenol

Phenol kommt in der Natur selten vor und wird meist synthetisch hergestellt. Es wird u.a. zur Synthetisierung von Kunstharzen verwendet. Phenol-Formaldehyd-Harz (PF) wird als Bindemittel für Holzwerkstoffe und in einer Vielzahl von Beschichtungen genutzt. Es wird u.a. eingesetzt für Hartfaser-, OSB- und Spanplatten sowie für Produkte wie Holzlacke, Kitt, Gießharz (UBA 2021). Es verursacht Verätzungen und ist ein Nerven-/Zellgift. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die verfügbaren Daten in Bezug auf gesundheitliche Risiken darauf hindeuten, dass ein potenzielles Risiko für Arbeitnehmer durch die Exposition gegenüber Phenol besteht (echa 2021).

Harnstoff

Die wichtigsten Bindemittel für Holzwerkstoffe sind Harnstoff-Formaldehyd-Harze (UF-Harz). Aufgrund ihrer Eigenschaften und ihres geringen Preises werden in Europa mehr als 90% aller Spanplatten mit Harnstoffharzen hergestellt. Harnstoff ist eine

wasserlösliche Substanz, die in der Leber aus dem Zellgift Ammoniak als relativ ungiftiges Endprodukt des Proteinstoffwechsels aufgebaut wird. Die Gefahr einer Freisetzung von Formaldehyd durch den Einfluss normaler Luftfeuchte besteht und kann zu gesundheitlichen Belastungen führen. Diese Gesundheitsbelastung kann durch eine Beigabe von Melamin und Phenol und eine damit einhergehende Senkung des Formaldehyd-Anteils gesenkt werden (UBA 2021).

Polyharnstoff

Polyharnstoffe werden in reiner Form nur für Spezialanwendungen genutzt. Harnstoffgruppen sind in fast allen technischen Polyurethanen (Hart- und Weichschaumstoffen, PU-Elastomerfasern und Polyurethane aus feuchtigkeitshärtenden Ein- oder Mehrkomponenten-Systemen) enthalten. Aus diesem Grund sind Polyurethane und Polyharnstoffe meist nicht voneinander zu trennen. Viele als Polyurethan bezeichnete Materialien sind Polyurethanpolyharnstoffe. Eingesetzt werden sie als weiche oder harte Schaumstoffe sowie für abriebfeste Beschichtungen. Polyharnstoff hat neben der Stoßbeständigkeit die Eigenschaft, als Isolierstoff Risse sehr gut zu überbrücken (chemgapedia o.J.). Zu Umwelt- und Gesundheitsaspekten s. a. Polyurethan.

Melamin-Urea-Phenol-Formaldehyd (MUPF)

MUPF-Leim (Melamin-Urea-Phenol-Formaldehyd-Leim) ist ein Leimgemisch, das zur Herstellung von Holzwerkstoffen wie Span- und Grobspanplatten und für die Deckschicht der Werkstoffe eingesetzt wird. Er besteht aus einer Mischung aus Melamin, Harnstoff, Phenol und Formaldehyd; ohne Phenolbeimischung wird er als MUF-Leim genutzt. Gegenüber dem PMDI-Leim (Polymeres Diphenylmethandiisocyanat), der vor allem in der Mittelschicht eingesetzt wird, ist er kostengünstiger (UBA 2022). Zu Umwelt- und Gesundheitsaspekten, s.a. Melamin, Phenol, Formaldehyd.

Polyurethan

Bei den Polyurethanen (PUR) handelt es sich um eine Gruppe von Kunststoffen mit unterschiedlichen Ausgangsverbindungen. Dadurch können sie vielfältige Eigenschaften aufweisen. PUR-Klebstoffe können bei der Verarbeitung Augen, Atmungsorgane und Haut reizen sowie eine allergische Reaktion durch Einatmen auslösen (Sensibilisierung). Bei sensibilisierten Personen kann eine Exposition bereits in sehr geringen Konzentrationen zu allergischen Reaktionen führen. Eine Alternative zu Polyurethan-Klebstoffen sind lösemittelfreie oder -arme Dispersions-Klebstoffe. Diese sind in der Verarbeitung einfacher und weisen auch geringere ökologische Risiken auf. Aerosole (feinste Partikel in der Luft) der PUR-Klebstoffe stehen im Verdacht, krebserregend zu sein. Diese Gefährdung ist bei Spritz- oder Sprühvorgängen relevant und erfordert zusätzliche Arbeitsschutzmaßnahmen (UBA 2022).

Holzwerkstoffe

Alle nachwachsenden Rohstoffe sind grundsätzlich nachhaltig, da sie aus natürlichen Kreisläufen entstammen und diesen auch wieder zugeführt werden können, so sie naturbelassen sind.

Neben den Massivholzmaterialien gibt es eine ganze Reihe von Verbundwerkstoffen aus Holz, die umweltfreundlich, abbaubar und funktional sind. Hierzu gehören Spanplatten, OSB-Platten, Sperrholz, LVL, wenn sie denn in Bezug auf ihre Rohstoffe und Bindemittel die Nachhaltigkeitsaspekte (s.a. Zertifizierungen) berücksichtigen. Hinzu kommen hybride Werkstoffe bis hin zu Biokompositen, 3D-Formteilen und Werkstoffverbänden. Die technologische Entwicklung nachhaltiger Produkte und Produktionsverfahren geht stetig voran, bis hin zu formaldehydfreien Bindemitteln, Verklebungs- und Modifikationsverfahren (Fraunhofer-Institut 2016). Neue Sortierverfahren und Nutzungswege führen dazu, das Altholz effizienter wieder zu verwerten.

Vollholzprodukte

Holz ist eines der nachhaltigsten Materialien überhaupt, da es als ein nachwachsender Rohstoff stofflich genutzt wird und über einen langen Zeitraum seine Funktion beibehält, ohne dass er aufwändig hergestellt, bearbeitet oder behandelt werden müsste. Von allen möglichen Baustoffen ist er sicher der umweltfreundlichste. Einzig seine Gewinnung aus nicht-nachhaltiger Forstwirtschaft oder Urwäldern bzw. sensiblen borealen Regionen (z.B. Sibirien, Skandinavien, Kanada) kann sich negativ auf die Nachhaltigkeitsbilanz auswirken. Das Gefüge des Massivholzes wird, im Gegensatz zu den unten beschriebenen Holzwerkstoffen, weder in seiner Holzstruktur mechanisch noch chemisch verändert und es erfolgt kein Einsatz von Klebern. Je nach Holzart und damit verbundenem Gehalt an Terpenen unterscheidet sich bei Massivholz (Nadelholz) die Abgabe von Geruchsstoffen und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) an die Innenraumluft. Kiefern- und Zirbenholz emittieren z.B. deutlich mehr Terpene als andere Nadelhölzer. Laubholz emittiert zum Teil geruchsintensive Substanzen (wie z.B. Eiche durch Gerbstoffe) und andere VOC wie organische Säuren, jedoch keine relevanten Mengen an Terpenen. Neben Vollholzprodukten gibt es eine ganze Reihe von Werkstoffen, die im Holzbearbeitungsbetrieb eingesetzt werden. Die jeweils genannten Produktionsmengen basieren auf Berechnungen der European Panel Federation (EPF). Die einzelnen Holzwerkstoffe werden im folgenden mit ihren umwelt- und gesundheitsrelevanten Eigenschaften vorgestellt:

Brettsperr- und Brettschichtholz

Brettsperrholz findet zunehmend Verwendung als Wand- und Deckenbaustoff. In 2021 wurden in Deutschland und Österreich 2,9 Mio m³ Brettschichtholz hergestellt (Holzkurier 2022). Vor dem Hintergrund einer gesundheitlichen Betrachtung dieser Produkte ergeben sich folgende Aspekte: An offenen Schnittkanten und bei Bohrungen

ergeben sich deutlich erhöhte Emissionen von Terpenkohlenwasserstoffen und weiteren geruchsintensiven Terpenen. Für Verklebungen von Brettsperrholz und Brettschichtholz werden vorwiegend PU-Leimsysteme verwendet. In einem geringen Umfang werden auch Melamin- oder Phenol-Formaldehydharze eingesetzt. Je nach Art des Leimes sind unterschiedliche Emissionen von Formaldehyd zu erwarten. Stabile Klebstoffe wie Melamin- oder Phenol-Formaldehydharz haben ähnlich niedrige Emissionsraten wie Rohholz. Bei sogenannten „formaldehydfreien“ Platten werden PU-Harze für die Verleimung verwendet, eine Emission von Formaldehyd ist nicht gegeben (BMWSB o.J.).

Plattenwerkstoffe aus Massivholz

Diese Werkstoffe werden primär bei statischer Beanspruchung verwendet. Kostengünstige Harnstoff-Formaldehydharze weisen höhere Emissionsraten auf. Bei der Verleimung von Massivholzplatten im Innenbereich kann Weißleim eingesetzt werden, der formaldehydfrei ist (ebd.).

Sperrholz

Die europaweite Sperrholzproduktion der European Panel Federation (EPF)-Mitglieder belief sich in 2019 auf 2,9 Mio. m³ (Holzkurier 2020). Bei Brettsperrholz werden die Sperrholzlagen mit Harnstoff-Formaldehydharz verleimt, beim Furniersperrholz mit Phenol- oder Melamin-Formaldehydharzen. Hier spielt die Leimqualität wie auch bei anderen Holzwerkstoffplatten eine entscheidende Rolle für die Emission von Formaldehyd (BMWSB o.J.).

Spanplatten

Die europaweite Produktion von Spanplatten belief sich auf 34,3 Mio m³ in 2021 (Holzkurier 2022b). Für in Feuchtbereichen eingesetzte Spanplatten werden primär Melaminharnstoff- oder Phenolformaldehydharze verwendet, in Trockenbereichen Harnstoff-Formaldehydharze oder Melaminharnstoff-Formaldehydharze. Im Wohnungsbau werden zur Aussteifung und zum Schallschutz zementgebundene Spanplatten verwendet. Die Emission von Formaldehyden aus Spanplatten hat im Laufe der Weiterentwicklung stark nachgelassen. Es gibt Spanplattenmaterial, dessen Formaldehydemission im Bereich von natürlichem Holz liegt. Bezeichnungen für diese Qualitäten sind z.B. E05, ULEF (Ultra Low Emitting Formaldehyde), E Null, NAF (No added Formaldehyde). Stabil aushärtende Phenolharze sowie pMDi werden für formaldehydfreie Platten verwendet, die dann auch kaum Formaldehyd in die Raumluft abgeben. Zementgebundene Spanplatten emittieren keine relevanten Mengen an Formaldehyd in die Raumluft. Problematisch ist, dass ältere Spanplatten auch nach Jahrzehnten noch hohe Konzentrationen an Formaldehyd ausgasen können, das ist besonders bei Sanierungsarbeiten zu berücksichtigen (BMWSB o.J.).

OSB-Platten

Die europäische Produktionsmenge von OSB belief sich in 2021 auf 7,2 Mio. m³ (Holzkurier 2022) OSB-Platten werden als aussteifende und auch als tragende Elemente in Baukonstruktionen (Holzrahmenbau) verwendet. Sie werden aus Holzspänen (Restholz) verschiedener Holzarten (vorwiegend Nadelholz) zusammengeklebt und mit Phenolformaldehydharz oder Gemischen aus Melamin-Urea-Phenol-Formaldehyd-Leim (MUPF) und Polyharnstoff verleimt. Aufgrund des geringeren Leimanteils als bei Spanplatten sind auch die Formaldehyd-Emissionen niedriger. Wahrnehmbare Gerüche entstehen durch Emission von Aldehyden (BMWSB o.J.).

Holzfaserverplatten

Die europaweite Produktionsmenge von Holzfaserverplatten belief sich in 2021 auf 12,9 Mio. m³ (Holzkurier 2022). Sie werden aus Ligno Zellulose-Fasern von Durchforstungsholz und Sägereistholz unterschiedlicher Baumarten im Trockenverfahren (MDF) oder in energieaufwändigen Nassverfahren (Hartfaserverplatten) hergestellt. MDF-Platten und Hartfaserverplatten werden zur Aussteifung für Baukonstruktionen, für Schalungen, als Dämmstoff und Windbremse, für Innenausbau, Türen, Möbel und Verpackungen verwendet. Aufgrund des nur geringen Anteils an Bindemitteln sind kaum Emissionen an Formaldehyd gegeben. Bei MDF-Platten sind auch Qualitäten am Markt, deren Formaldehyd-Abgabe so gering ist wie bei natürlichem Holz. Bezeichnungen hierfür sind z.B. "E-Null" oder "NAF" (BMWSB o.J.).

Laminat/ Schichtstoff

Bei Laminat liegt die sogenannte „Sandwichkonstruktion“ zugrunde. Dieses Konstruktionsverfahren ermöglicht ein geringes Gewicht, ohne dass die Stabilität der Arbeitsplatten verloren geht. Als Trägermaterial für Arbeitsplatten und Bodenbelägen aus Laminat (Schichtstoff) dienen Holzwerkstoffplatten. Diese werden bei der Herstellung mit Laminat (Schichtstoff) beschichtet. Als Dekorschicht der Laminat dienen feste Kunststoffbeschichtungen, die sich aus mehreren mit Phenolharzen und Melaminharzen getränkten Papierschichten zusammensetzen, die unter hohem Druck und Temperaturen zu "High Pressure Laminate" (HPL) oder zu "Continuous Pressure Laminate (CPL) verpresst werden. HPL-Schichtstoff ist dicker und daher langlebiger als CPL-Schichtstoff, weshalb es sich besser für die Herstellung von Küchenarbeitsplatten und Bodenbelägen eignet. Tiefere Strukturen können realisiert werden, was einen größeren Variantenreichtum ermöglicht. Um das Laminat unempfindlicher gegenüber Einwirkungen von außen zu machen und den Holzwerkstoff vor Feuchtigkeit zu schützen, wird eine abschließende Schutzschicht (Overlay) aufgetragen (Küchenatlas o.J.). Die Produktion erfolgt industriell unter entsprechendem mechanischen Aufwand und Temperaturen. Melaminharze entstehen durch Umsetzung des Melamins mit Formaldehyd, Melamin reizt Augen, Haut und Schleimhäute, besitzt jedoch eine geringe

akute Toxizität (Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit 2009). Phenol-Formaldehyd-Harz (PF) verursacht Verätzungen und ist ein Nerven-/Zellgift. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die verfügbaren Daten in Bezug auf gesundheitliche Risiken darauf hindeuten, dass ein potenzielles Risiko für Arbeitnehmer durch die Exposition gegenüber Phenol besteht (echa 2021). Es sind Lamine auf dem Markt, die überwiegend aus Recyclingpapier und ohne Einsatz künstlicher Phenol-Formaldehyd-Harze hergestellt werden.

Mineralwerkstoff

Dieser Verbundwerkstoff besteht aus Acryl und mineralischen Bestandteilen. Zur Farbgestaltung werden Farbpigmente hinzugegeben. Die Mineralwerkstoffe werden auf Holzwerkstoffe (z.B. Spanplatten) aufgebracht (Küchenatlas o.J.). Zur Produktion von Acryl und von Acrylaten müssen teilweise sehr hohe Temperaturen aufgewendet werden, was mit einem erheblichen Energieaufwand und den damit verbundenen Emissionen klimaschädlicher Gase verbunden ist. Bei der Herstellung von Acrylglas wird Dibenzoylperoxid eingesetzt, welches reizend ist und laut GHS-Gefahrstoffkennzeichnung als "umweltgefährlich" und "wassergefährdend" gilt. Acrylnitril ist als Ausgangsstoff von Acryl Produkten schon in der Produktion gesundheits- und umweltschädlich, u.a. fällt die giftige Blausäure (Cyanwasserstoff) an. Es sind Verfahrenstechniken entwickelt worden, um den Energieverbrauch und den Schadstoffausstoß zu reduzieren (Citizensustainable o.J.). Acrylprodukte sind grundsätzlich nicht biologisch abbaubar und verbleiben, je nach konkretem Acryl Produkt, Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte in der Umwelt (ebd.).

Weitere Werkstoffe für Oberflächen

Neben den oben genannten Werkstoffen werden auch Kunststein, Naturstein, Beton, Metalle und Glas z.B. zur Verblendung von (Einbau-)Möbeln und als Auflage für z.B. Arbeitsplatten eingesetzt. Sie werden vorgefertigt angeliefert und ggf. zugeschnitten. Auf die Eigenschaften dieser Stoffe wird hier nicht näher eingegangen.

Oberflächenbehandlung

Im Jahr 2021 lag der Verbrauch von Lacken, Farben und Druckfarben in Deutschland bei ca. 1,6 Mio. Tonnen (Statista 2022). Zu den Verbräuchen von Ölen und Wachsen gibt es keine statistische Erhebung. Für eine lange Nutzungsdauer von Holzoberflächen im Innen- und Außenbereich (z.B. Fenster/ Türen) ist es notwendig, diese mit entsprechenden Lacken, Lasuren, Ölen oder Wachsen zu versehen. Dabei müssen die verschiedenen chemischen, thermischen, mechanischen und witterungsbedingten Beanspruchungen berücksichtigt werden, die sich aus dem Einsatz von Fenstern und Türen, der Nutzung von Fußböden, Treppen, Arbeitsflächen in Küchen sowie Möbeln oder Schränken sowie dem Innenausbau aus Holz ergeben. In den folgenden

Ausführungen wird auf die verschiedenen Produkte zur Oberflächenbehandlung von Holz unter dem Gesichtspunkt ihrer gesundheitlich wie ökologisch kritischen Inhaltsstoffe eingegangen.

Öle und Wachse

Die Begrifflichkeiten „Öl“ und "Wachs" umfassen viele verschiedene Produkte, die keiner normativen Festlegung unterliegen. Wachsbestandteile sind Bienenwachs, Pflanzenwachs oder Paraffinwachs (auf Basis von Erdöl). Neben lösungsmittelfreien gibt es stark lösungsmittelhaltige Wachse, deren Lösemittel aus Erdöl hergestellte Kohlenwasserstoff Gemische, Terpenen und Zitruschalen bestehen. Die Zusammensetzung dieser Produkte wird immer komplexer, als "Wachse" bezeichnete Lack- und Lasur ähnliche Produkte werden hier nicht betrachtet. Emulsionen aus Wachs werden auch als Pflegemittel klassifiziert. Öle werden häufig auch als "Imprägnieröle" bezeichnet, die aus pflanzlichen Ölen oder ölmodifizierten Kunstharzen bestehen. Leinöl ist das am häufigsten verwendete Öl, es finden aber auch weitere pflanzliche Öle auf Basis von z.B. Holz, Sonnenblumen und Disteln Verwendung. Auf Kunstharzbasis bestehen Imprägnieröle auf ölmodifizierten Alkydharzen aus Erdöl destillierten Alkoholen, deren Gruppen verestert werden mit pflanzlichen Fettsäuren (z.B. Rizinusöl oder Leinöl). Zur schnelleren Trocknung werden Sikkative auf Basis von Cobalt, Mangan oder Zirconium in Form von Octoaten, Naphthenaten oder auch Salzen von natürlichen Fettsäuren hinzugefügt. Hinzugefügt werden können weitere Zusatzstoffe wie auch Pigmente und Füllstoffe. Als Hautverhinderungsmittel werden den Ölen und Wachsen noch Oxime zugesetzt. Zweikomponenten Ölen werden Isocyanate als Härter zugefügt, was die oxidative Aushärtung beschleunigt und die Beständigkeit der Beschichtung steigert. Neben lösungsmittelfreien gibt es stark lösungsmittelhaltige Öle, deren Lösungsmittel aus Erdöl hergestellte Kohlenwasserstoff Gemische, Terpenen und Zitruschalen bestehen. Aufgrund der Bindemittel auf natürlicher Basis von pflanzlichen Ölen dürften die Produkte überwiegend als umweltfreundlich eingestuft werden. Die nachwachsenden Rohstoffe stellen ein geringes Umweltrisiko im Vergleich zu fossilen Rohstoffen dar. Produkte mit Anteilen chemischer Syntheseprodukte wie Alkydharzen belasten die Umwelt, da Mikroanteile aus diesen Ölen und Wachsen bei der Verarbeitung, Renovierung oder Entsorgung in die Umwelt gelangen können. Mikroplastik in den Meeren ist eine bekannte Problematik, Auswirkungen auf Landbereiche sind bisher nicht untersucht worden. Den synthetischen Produkten beigemengte Additive, vor allem Sikkative und Tenside, sind gewässergefährdend. Die in Wachsen und Ölen enthaltenen Stoffe können während der Verarbeitung Hautreizungen und Allergien auslösen. Weitere Gesundheitsgefahren gehen von Sikkativen und Oximen aus, bestimmte Lösemittel können krebserregend sein. Zweikomponenten Öle sollten möglichst nicht eingesetzt werden (Wecobis 2016).

Lasuren

Es gibt lösemittel- sowie wasserbasierte Holzlasuren. Die verwendeten Bindemittel sind meist Acryl-, Alkyd oder Naturharze. Hinzu kommen geringe Mengen an Füllstoffen und Pigmenten. Wasserbasierte Produkte beinhalten einen kleinen Anteil organischer Lösemittel. Lösemittelbasierte Kunstharzlasuren enthalten Bindemittel auf synthetischer Basis aus Erdöl. Wasserbasierte Kunstharze enthalten als Bindemittel meist Acrylate und Alkydharz & Acrylat-Kombinationen. Naturharzlasuren sind aufgrund ihrer höheren Witterungsbeständigkeit meist lösemittelbasiert und nicht wasserbasiert. Meist werden als Bindemittel Kombinationen aus Baumharzen und pflanzlichen Ölen verwendet. Um einen mikrobiellen Befall in den Gebinden zu verhindern, enthalten Systeme auf Wasserbasis Konservierungsmittel. Als "filmgeschützt" bezeichnete Lasuren beinhalten in größeren Mengen Biozide, deren Einsatz auf das technisch notwendige Maß reduziert sein sollte. Bei mit dem "Blauen Engel DE-UZ 12a" bezeichneten Produkten sind Biozide als Filmschutz ausgeschlossen, bestimmte Mengen und Biozide sind zur Topfkonservierung zugelassen. Kunstharzlasuren auf Alkydharzbasis beinhalten Hautverhinderungsmittel, in der Regel Oxime. Einige dieser Oxime wie 2-Butanonoxim sowie Acetonoxim sind als krebbsverdächtig eingestuft. Eine Belastung durch Emittieren in die Raumluft ist nicht ausgeschlossen (Wecobis o.J.).

Naturharzlacke und Ölfarben

Naturharzlacke und Ölfarben bestehen primär aus Bindemitteln verschiedener Naturharze und Pflanzenöle, die Lösemittel sind Terpene aus Baumharzen, Zitruschalen sowie Wasser oder Testbenzine, weitere Bestandteile sind Hilfsstoffe, Füllstoffe und Pigmente. Die meisten Bindemittel können als natürlich angesehen werden. Bei chemisch veränderten Harzen und Ölen können die Bindemittel nicht als natürlich bezeichnet werden. Bei Verwendung leicht flüchtiger Öle kann der Lösemittelanteil reduziert werden. Eine klare Abgrenzung zwischen "künstlichen" und "natürlichen" Bindemitteln ist schwierig (Wecobis o.J.).

Klarlack

Im Gegensatz zu deckenden Lacken enthalten Klarlacke keine Pigmente oder Füllstoffe, sondern einen höheren Bindemittelanteil. Als Bindemittel werden Natur- oder Kunstharze verwendet. Es gibt lösemittel- und wasserbasierte Systeme. Bei den lösemittelbasierten Klarlacken ist das Bindemittel in organischen Lösemitteln gelöst. Diese bestehen meist aus einer Kombination aus Acrylaten und Isocyanaten, aber auch aus Cellulosenitrat. In Lösemittel basierten Naturharz-Klarlacken werden meist Kombinationen aus Baumharzen mit pflanzlichen Ölen verwendet. Schellack ist ein weiteres wichtiges Bindemittel mit Alkoholgehalt (Spiritus). Bei höher beanspruchten

wasserbasierten Klarlacken werden primär 2K-Polyurethanharze oder polyurethanmodifizierte 1K-Acryldispersionen eingesetzt. Zur Verbesserung der Filmbildung werden geringe Anteile an organischen Lösemitteln verwendet. Mit der zunehmenden Sensibilisierung für den Umweltschutz finden Nitrocellulose-Lacke (NC-Lacke), die Weichmacher erfordern und bis zu 80% Lösemittel enthalten, seltener Anwendung. Die Zahl der gebräuchlichen Bindemittel für Nitrocellulose-Lacke wie für Polyurethanlacke ist sehr vielfältig und bestimmen deren Gebrauchseigenschaften. Wasserbasierte Lacke benötigen Konservierungsmittel, um in einem Topf/ Gebinde einen mikrobiellen Befall zu verhindern. Um einen mikrobiellen Befall in den Gebinden zu verhindern, enthalten Systeme auf Wasserbasis Konservierungsmittel. Als "filmgeschützt" bezeichnete Lasuren beinhalten in größeren Mengen Biozide, deren Einsatz auf das technisch notwendige Maß reduziert sein sollte. Bei mit dem "Blauen Engel DE-UZ 12a" bezeichneten Produkten sind Biozide als Filmschutz ausgeschlossen, bestimmte Mengen und Biozide sind zur Topfkonservierung zugelassen. Lösemittelbasierte Kunstharz Klarlacke auf Alkydharzbasis beinhalten Hautverhinderungsmittel, in der Regel Oxime. Einige dieser Oxime wie 2-Butanonoxim sowie Acetonoxim sind als krebserregend eingestuft. Eine Belastung durch Emittieren in die Raumluft ist nicht ausgeschlossen (Wecobis o.J.).

Acrylharzlack Farben

Diese Kunstharzlacke sind aufgrund chemischer Modifikationen aus Ölfarben entwickelt worden. Die enthaltenen Fettsäuren bestimmen ihre Eigenschaften. Neben Alkydharzen als Bindemittel enthalten sie Lösemittel, Füllstoffe und Pigmente. Hinzu kommen Sikkative und andere Hilfsstoffe. Alkydharze lassen sich mit anderen Bindemitteln wie Vinyl-, Urethan-Verbindungen und Silikonharzen kombinieren. Vor dem Hintergrund der Luftreinhaltepolitik sind aromatenarme und in Wasser gelöste Alkydharze entwickelt worden. In Lösemittel basierten Lacken sind 25-30% Lösemittel enthalten. Sie enthalten oft Hautverhinderungsmittel, in der Regel Oxime. Einige dieser Oxime wie 2-Butanonoxim sowie Acetonoxim sind als krebserregend eingestuft. Eine Belastung durch Emittieren in die Raumluft ist nicht ausgeschlossen (Wecobis o.J.).

Dispersionslackfarben

Dispersionslackfarben sind wasserverdünnbare oder wasserbasierte Lackfarben, die neben Bindemitteln, Wasser, Lösemittel, Füllstoffen, Pigmenten sowie Hilfsstoffen und auch einen geringen Anteil an Lösemitteln enthalten. Die Bindemittel bestehen z.B. aus Acrylat, Vinylpropionat, Alkydharz oder Naturharz und enthalten organische Lösemittel wie auch Wasser. Am häufigsten basieren die Bindemittel aus Harzen auf Acrylatbasis. Die Dispersionslackfarben sind diejenigen Lacksysteme, die zu den am wenigsten umwelt- und gesundheitsbelastenden zählen. Sie benötigen allerdings Konservierungsmittel, um einen mikrobiellen Befall im Topf/ Gebinde zu vermeiden. Als

“filmgeschützt” bezeichnete Lacke beinhalten in größeren Mengen Biozide, deren Einsatz auf das technisch notwendige Maß reduziert sein sollte. Bei mit dem “Blauen Engel DE-UZ 12a” bezeichneten Produkten sind Biozide als Filmschutz ausgeschlossen, bestimmte Mengen und Biozide sind zur Topfkonservierung zugelassen. Im Gegensatz zu den lösemittelbasierten Alkydharzlacken benötigen Dispersionslackfarben kein Antihautmittel. Oxime sind hier also normalerweise nicht zu erwarten (Wecobis o.J.).

Epoxidharzfarben

Die Dispersionen von Epoxidharzfarben sind entweder wasserverdünnbar sowie wasserbasiert oder enthalten Lösemittel. Zweikomponenten-Systeme (2K) werden am häufigsten verwendet, Einkomponenten-Systeme (1K) eher selten. Sie enthalten Füllstoffe/Pigmente, Wasser, Bindemittel, Lösemittel sowie Hilfsstoffe. Lösemittelfreie Epoxidharze auf Wasserbasis wie nicht wasserbasiert sind eine neuere Entwicklung. Es gibt eine große Zahl von anwendungsbezogenen chemischen Modifikationsmöglichkeiten von Harz- und Härtetypen, die es erschweren, die spezifischen Eigenschaften eines jeden Produktes objektiv und unabhängig zu beurteilen. Über die Hälfte der weltweit in großen Mengen produzierten Epoxidharze wird in der Lackindustrie verwendet. Epoxidharzfarben enthalten Einzelkomponenten, die reizend und ätzend wirken. Hautkontakt führt zu Hautallergien, bei regelmäßigen Kontakten können sich die allergischen Reaktionen verstärken (Wecobis o.J.).

Polyurethanharze

Die Bestandteile von Polyurethanharzen (PUR) sind Lösemittel, Bindemittel, Wasser, Pigmente, Füllstoffe und Hilfsstoffe. Sie gehören zu den Reaktionsharzen und werden als DD-Lacke bezeichnet und enthalten Isozyanate kombiniert mit Polyhydroxylen. Es gibt lösemittelhaltige Zweikomponentensysteme (2K), zunehmend werden durch vielfältige Modifikationen Einkomponenten-Systeme (1K) genutzt. Durch diese Varianz wird eine objektive und unabhängige Beurteilung schwierig. Die verwendeten 2K-Polyurethan-Systeme sind sensibilisierend und beinhalten Isocyanatgruppen (MDI, PMDI, TDI), die als möglicherweise krebsauslösend eingestuft werden. Es gibt Wasserbasierte 1K-Polyurethanharz Dispersionen, die mit dem Blauen Engel DE-UZ 12a zertifiziert sind (Wecobis o.J.).

Ökobilanzierung von Holz

Die Ökobilanz ermöglicht eine grundlegende Bewertung der Holznutzung und -anwendung. Im Folgenden wird auf die einzelnen Phasen der Holznutzung und auf die entsprechenden Studien hierzu verwiesen. Die Betrachtung der Einzelschritte für eine Ökobilanz umfassen folgende Punkte:

- Holzeinschlagsregion
- Holzernte
- Entrindung im Wald
- Transport von Rundholz
- Herstellung von Holzprodukten
- Einsatz von Betriebsmitteln
- Einsatz von Bindemitteln und weiterer Zusätze
- Emissionen bei der Holz Trocknung und bei Pressvorgängen
- Wiederverwendung von Holz
- Verbrennung von Holz

Diese Haupteinflussfaktoren ergeben ein Gesamtbild der Nutzung des Holzmaterials, wobei jeder einzelne Punkt ggf. unterschiedliche Wichtigkeit bekommt. So macht es z.B. einen großen Unterschied, ob man Holzressourcen aus dem europäischen Ausland nutzt oder ob das Holz mit einem hohen Transportaufwand verbunden ist, wenn Holz z.B. aus Kanada oder Sibirien kommt. Für weitere Details sei hier auf wissenschaftliche Studien verwiesen, die die Ökobilanzierung untersucht haben (FNR 2012).

Einsatz von Tropenholz

Holz ist das Basismaterial für die Herstellung von konstruktiven Einrichtungselementen, Möbeln, Oberflächen (Fußböden/ Ablage- und Arbeitsflächen). Tropenholz sollte aus folgenden Gründen dafür nicht genutzt werden: Im Jahr 2022 wurden allein im Amazonasgebiet rund 11.568 Quadratkilometer Waldfläche abgeholzt. Seit dem Jahr 1990 wurden somit über 400.000 Quadratkilometer Wald im Amazonasgebiet gerodet. Dies entspricht einer Fläche in etwa so groß wie die der Staatsgebiete von Deutschland und Dänemark zusammen. Allein zwischen den Jahren 2014 - 2021 stieg die Abholzung von 5.012 km² auf 13.038 km², das entspricht einer Steigerung um das 2,6 fache! Der Amazonas ist das größte zusammenhängende Waldgebiet der Welt und hat bisher einen Anteil von 54% an allen Tropenwäldern weltweit (Statista 2023).

Er steht beispielhaft für den Raubbau auch in anderen Ländern des Äquatorgürtels: Durch Abholzung und Brandrodung werden Monokulturen (z.B. für Sojaanbau) oder Weidefläche für die Export-Viehwirtschaft geschaffen. Auch eine Nutzung eines mit dem FSC-Siegel zertifizierten Tropenholzes (z.B. für Möbel) ist keine Garantie für eine nachhaltige Waldnutzung: Der FSC verspricht zwar „weltweit verantwortungsvolle Waldbewirtschaftung zu fördern“, diese soll „umweltmäßig angemessen, sozial förderlich und wirtschaftlich rentabel“ sein. Was das aber in der Praxis bedeutet, ist umstritten. In der Regel soll der Wirtschaftszweig vor allem rentabel sein. Doch die

Artenvielfalt leidet massiv unter dem zertifizierten industriellen Holzeinschlag. (regenwald.org o.J.)

Fugendichtungen

Bei der Montage von Fenstern und Außentüren in eine bestehende Konstruktion müssen die Anschlüsse zwischen den Rahmen und der anschließenden Hauswand oder Dachkonstruktion mit dauerhaft flexiblen Fugendichtungen (Anschlag- oder Fugenband/ Acryl- / Silikondichtmasse) und Dämmfilzen versehen werden, um das immer auftretenden Schwinden und Quellen sowie Verformungen ausgleichen zu können. Bei den Dämmfilzen bieten sich neben mineralischen und synthetischen Dämmfilzen vor allem organische Materialien an. Eine bauphysikalisch korrekte Ausführung der Dichtung vermeidet nicht nur Wärmeverluste des Gebäudes, sondern verhindert Schimmelbildung in der Konstruktion und gesundheitliche Risiken der Nutzer*innen. Die Belastung der Dichtstoffe im Innenbereich mit Schadstoffen muss aus Umwelt- und Gesundheitssicht möglichst gering sein (UBA o.J.).

Acryl-Dichtungsmassen sind lösungsmittelfrei und mit dem Umweltzeichen “Blauer Engel” zertifiziert und damit umweltschonend (ebd.).

Verpackungen

Im Jahr 2019 fielen 18,91 Millionen Tonnen Verpackungen in Deutschland an. Verpackungen aus Papier, Pappe oder Karton haben dabei den größten Anteil mit etwa 8,3 Millionen Tonnen. Es folgen Verpackungen aus Kunststoffen (3,2 Millionen Tonnen), Glas (3,1 Millionen Tonnen) und Holz (3,3 Millionen Tonnen) (UBA 2021). Transportverpackungen wie Kisten und Paletten werden meist als Mehrwegsysteme in Kreisläufen genutzt. Bei Beschädigung werden sie repariert oder werden anderweitig verwertet (ebd.).

Papier/ Karton/ Wellpappe

Im Jahr 2022 wurden in Deutschland insgesamt rund 21,6 Millionen Tonnen Papier, Karton und Pappe produziert (Statista 2022). Aus Zellstoff hergestellte Verpackungsmaterialien wie Papier und Wellpappe werden z.B. zum Schutz von Möbelteilen verwendet, Karton schützt das Produkt beim Transport. In Deutschland und Europa wird das für die Produktion benötigte Wasser entweder in geschlossenen Kreisläufen wiederverwendet oder aufwändig gereinigt, um dann in die lokalen Kläranlagen geleitet zu werden. Aufgrund der Umweltstandards entsteht durch diese Abwässer keine Verschmutzung mehr durch die Papierindustrie. Allerdings wird bei der Papierherstellung sehr viel Energie benötigt, die trotz entsprechender technologischer Entwicklungen auch weiterhin hoch ist. Bei der Herstellung werden in Deutschland

mittlerweile fast 50% des Energiebedarfs bei der Papierproduktion aus erneuerbaren Energiequellen gedeckt (Citizensustainable o.J.). Es ist nicht empfehlenswert, Karton oder Pappe über den Kompost zu entsorgen oder anderweitig zu nutzen. Karton enthält wie Papier immer auch einen kleinen Anteil von Zusatzstoffen, Chemikalien, Bindemittel oder Verunreinigungen durch das verwendete Altpapier (z.B. Farbe). Diese Stoffe sind meist nicht oder nur schlecht kompostierbar, außerdem wird in diesem Falle die Erde verunreinigt. Karton sollte als Umverpackung möglichst einer weiteren stofflichen Verwertung zugeführt werden (Weiterverwendung, Recycling) (ebd.).

Kunststoffe

In Deutschland wurden in 2021 ca. 1,7 Mio. Tonnen Verpackungsfolien hergestellt (Statista 2022). Es gibt verschiedene Kunststofffolien, die vielfach aus Polyolefinen wie Polyethylen (PE) oder Polypropylen bestehen. Weitere mögliche Kunststoffe sind Polyvinylchlorid (PVC), Polystyrol (PS), Polycarbonat sowie verschiedene Polyester. Auch biobasierte Kunststoffe wie Polylactid (PLA), Celluloseacetat und Stärkeblends können zu Folien verarbeitet und entsprechend eingesetzt werden (Wikipedia o.J.). Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich auf die für Verpackungen aktuell gängigen Materialien Polyethylen und Polystyrol.

Polyethylen (PE)

Ca. 40% der weltweiten Kunststoffproduktion werden von Polyethylenen abgedeckt, wovon 17% HDPE (*High-Density PE*) und der Rest LDPE (*Low-Density PE*) und LLDPE (*Linear Low-Density PE*) ausmachen. LDPE findet vor allem als Folie Verwendung, sie wird z.B. für Müllsäcke und Schutzfolien (z.B. Luftpolsterfolien) und Abdeckungen von Materialien eingesetzt (Citizensustainable o.J.).

Herstellung

Der Rohstoff für die Polyethylen-Herstellung ist entweder Erdgas oder Rohöl, aus denen Ethylengas gewonnen wird. Diese wird entweder im Hochdruck- oder Niederdruckverfahren polymerisiert. Diese Verfahren benötigen enorme Mengen an Energie, da Drücke von ca. 3.800 bar sowie Temperaturen von 200°C benötigt werden (ebd.).

Nachhaltigkeit

Der benötigte Energieaufwand bei der Herstellung wie auch durch die bei dem Verfahren der Lösungspolymerisation verwendeten giftigen, gesundheits- und wassergefährdenden Katalysatoren wie Hexan und Toluol kann die Produktion nicht als umweltfreundlich bewertet werden. Für die Zeit der Verwendung des Materials gibt es keine Hinweise darauf, dass diese Folien gesundheitsschädlich oder giftig für den Menschen oder die Umwelt sind. So werden diese Polyethylene auch direkt für die Verpackung von Lebensmitteln und Trinkwasser eingesetzt. Sie enthalten in der Regel

keine Weichmacher wie z.B. Bisphenole, die gesundheitsschädlich und hormonell aktiv sind. PE-Folien sind zu 100% recycelbar und sind erkennbar am Recyclingcode "02" oder "04". Beim Verbrennen von Polyethylen entstehen keine giftigen Dämpfe – es verbrennt rückstandslos zu Wasser und Kohlenstoffdioxid. Es gibt aber chemisch modifizierte Polyethylen-Typen, die schädliche Verbindungen enthalten, denen Weichmacher hinzugefügt werden oder die mit PVC vermischt werden. Diese haben aber entsprechend andere Bezeichnungen wie beispielsweise chloriertes Polyethylen (PE-C) (ebd.). Die technologische Entwicklung schreitet bei der stofflichen Verwertung von Kunststofffolien voran (BMUV o.J.). Als Ersatz von Kunststoff-Luftpolsterfolien werden inzwischen auch aus starkem Recyclingpapier hergestellte Luftpolsterfolien produziert, die wiederverwendbar, biologisch abbaubar und damit kompostierbar sind.

Expandiertes Polystyrol (EPS)

Dieses Material wird meist im Rahmen von Verpackungen von z.B. Möbelementen/ Möbeln verwendet. EPS Hartschaum wird als Stoßschutz in verpackten Möbelstücken und als Folie verwendet, die z.B. verschiedene verpackte Möbelemente/ Bauelemente untereinander vor mechanischen Beschädigungen schützen.

Herstellung

Polystyrol (PS) ist ein Erdölprodukt, dessen Produktion aus den als kritisch einzustufenden Stoffen wie Benzol, Ethylbenzol und Styrol erfolgt. Polystyrol wird aus Kügelchen hergestellt, die auf Basis von Erdöl produziert werden. Für den expandierten Partikelschaum (EPS) werden Polystyrolpartikel bei etwa 100 Grad Celsius mit Pentan vorab geschäumt, wobei sich das Volumen um das 20-50-fache vergrößert. Mit Hilfe von Wasserdampf expandieren die Partikel weiter und verschweißen sich zu Blöcken oder Platten. Schon während des Schäumens entweicht dem Styrol die Hälfte des Pentans, der Rest beim Gebrauch. EPS ist nicht wasserfest (Dach o.J.).

Nachhaltigkeit

Polystyrol besteht zu 98 Prozent aus Luft und nur zu zwei Prozent aus den Polystyrol-Kügelchen, doch auch dieser geringe Anteil ist ausschlaggebend für die schlechte Umweltbilanz von Styropor, denn für ein Kilogramm Styropor werden ca. drei Liter Erdöl benötigt (cleanwater.org 2017). Polystyrol wird unter hohem Energieeinsatz aus Erdöl gewonnen. Dafür wird außerdem das krebserregende Gift Benzol eingesetzt. Polystyrol gehört als Standardkunststoff zu den meist produzierten Kunststoffen in Deutschland. Es wird zu unterschiedlichen Formen verarbeitet: Polystyrol ist hart, transparent und wird vor allem für Verpackungen verwendet. PS kann außerdem aufgeschäumt werden und wird so zu weißem Schaumkunststoff – bekannt auch unter dem Produktnamen "Styropor". Da transparentes Polystyrol steif und hitzebeständig ist, ist es ein beliebtes Verpackungsmaterial. Einige harte Kunststoffartikel enthalten ebenfalls Polystyrol. Polystyrol kommt sogar in der Landwirtschaft vor, um Böden

aufzulockern. Aus dem Kunststoff kann sich allerdings **Styrol** herauslösen – eine gesundheitsschädliche chemische Verbindung. Styrol reizt Augen und Schleimhäute und gilt auch als Giftstoff für das zentrale Nervensystem. Verpackungen aus Polystyrol verrotten nicht. Es könnte zwar technisch wiederverwertet werden, die Recyclingrate ist allerdings niedrig, da das Polystyrol in den Endprodukten oft mit anderen Stoffen vermischt wird. Hinzu kommt, dass die Technik zum Recycling nicht weit verbreitet ist. Aus diesem Grund wird es oft verbrannt oder verbleibt in den Deponien. Im Laufe der Zeit reichert sich der Kunststoff in der Umwelt an und trägt damit zu den bekannten problematischen Folgen von Plastikmüll bei. Da aufgeschäumtes Polystyrol brennbar ist, enthält es meist das giftige Flammschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD). Laut dem Bundesumweltamt gilt der Flammschutzmittel als besonders besorgniserregend, weil er sich in Lebewesen anreichert. Das Umweltgift ist dabei schwer abbaubar und giftig für die Wasserorganismen. Außerdem steht es in Verdacht, die Fortpflanzung zu beeinträchtigen (Utopia 2020).

Verwertungsquote Verpackungen

Die Wiederverwertungsquoten, auch von Verpackungsmaterial für Holzmaterialien (meist Kunststofffolien), sind seit 2019 verschärft worden. Sie liegen bei Pappe/ Karton bei 90% Masseprozent, bei Verbundverpackungen bei 70% und bei Kunststoffen bei 63% Masseprozent. Vor allem bei Kunststoffverpackungen ist in Zukunft verstärkt auf eine stoffliche Verwertung zu achten, die Zielvorgabe für 2022 waren 70% (BMUV 2022).

Quellenverzeichnis

- Baunetzwissen o.J.: Kupfer. Online: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/k/kupfer-48361>
- Baustoffmarkt-online (o.J.): GEV Vorstand und technischer Beirat. Online: <https://www.baustoffmarkt-online.de/aktuell/gev-waehlt-vorstand-und-technischen-beirat-11032020>
- Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (2009): Melamin. Online: https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/toxische_reaktionsprodukte/melamin/
- 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>
- BMU 2023: Blauer Engel. Online: <https://www.blauer-engel.de/de>
- BMUV (o.J.): Umweltinnovationsprogramm. Online: <https://www.umweltinnovationsprogramm.de/projekte/recycling-von-abfall-polyolefinen>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2016): Öle und Wachse. Online: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/impraegnierungen-og-link/oele-wachse-pg-link.html>

- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2021): Phenol-Formaldehyd. Online:
<https://www.wecobis.de/en/service/lexikon/pf-harze-lex.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Alkydharzlackfarben. Online:
<https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/lackfarben-loesemittelverduennbar/alkydhazlackfarben.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Dispersionslackfarben. Online:
<https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/lackfarben-wasserverduennbar/dispersionslackfarben.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Epoxidharzfarben. Online:
<https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/lacke-lasuren-og/epoxidharzfarben-pg.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Farben-Lacke-Lasuren. Online:
<https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/lackfarben-loesemittelverduennbar/oelfarben-naturharzlacke.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Klarlacke. Online:
<https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/klarlacke/klarlacke-loesemittelhaltig.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Lacke und Lasuren. Online:
<https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/holzlasuren/lasuren-loesemittelhaltig/kunsthazlasuren-loesemittelhaltig.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Polyurethanharze. Online:
<https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/lackfarben-loesemittelverduennbar/polyurethanharze-loesemittelhaltig.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Polyurethanharze. Online:
<https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/lackfarben-loesemittelverduennbar/polyurethanharze-loesemittelhaltig.html>
- BMWSB o.J.: Umweltschonend und energieeffizient. Online:
<https://www.nachhaltigesbauen.de/themen/umweltschonendund-energieeffizient/>
- Bricly o.J.: Die 20 größten Kupferminen der Welt. Online:
<https://de.bricly.com/die-20-groessten-kupferminen-der-welt/>
- Chemie.de (2017): Acrylnitril aus nachwachsenden Rohstoffen. Online:
<https://www.chemie.de/news/164193/acrylnitril-aus-nachwachsenden-rohstoffen.html>
- Chemie.de (2017): Acrylnitril aus nachwachsenden Rohstoffen. Online:
<https://www.chemie.de/news/164193/acrylnitril-aus-nachwachsenden-rohstoffen.html>
- Chemie.de o.J. Polyvinylalkohol. Online:
- Chemie.de o.J. Polyvinylalkohol. Online: <https://www.chemie.de/lexikon/Polyvinylalkohol.html>.
- Chemie o.J.: Holzleim. Online:
<https://www.chemie.de/lexikon/Holzleim.html#Kaseinleim>
- Chemie o.J.: Holzleim. Online:
<https://www.chemie.de/lexikon/Holzleim.html#Kaseinleim>

- Chemie o.J.: Polyvinylacetat. Online: <https://www.chemie.de/lexikon/Polyvinylacetat.html>
- Chemie o.J.: Polyvinylacetat. Online: <https://www.chemie.de/lexikon/Polyvinylacetat.html>
- Chemie o.J. Holzleim. Online: <https://www.chemie.de/lexikon/Holzleim.html#Glutinleim>
- Chemie o.J. Holzleim. Online: <https://www.chemie.de/lexikon/Holzleim.html#Glutinleim>
- Citizensusustainable (o.J.): Polyethylen- umweltfreundlich? Online : <https://citizensustainable.com/de/polyethylen-umweltfreundlich/>
- Citizensusustainable (2022): Ist Carbon nachhaltig? Online: https://citizensustainable.com/de/carbon-nachhaltig/#Wofür_wird_Carbon_verwendet
- Citizensusustainable (2022): Wird Acryl umweltfreundlich hergestellt?. Online: https://citizensustainable.com/de/acryl-umweltfreundlich/#2_Wird_Acryl_umweltfreundlich_hergestellt
- Citizen Sustainable (o.J.): Ist Acryl umweltfreundlich? Online: <https://citizensustainable.com/de/acryl-umweltfreundlich/>
- Citizensusustainable (o.J.). Ist Karton umweltfreundlich? Online: (https://citizensustainable.com/de/karton-umweltfreundlich/#2_Wird_Karton_umweltfreundlich_hergestellt)
- cleanwater.org (2017): Polystyrene. Online: <https://cleanwater.org/2017/05/22/more-foam-bans-california-milpitas-adopts-first-reading-expanded-polystyrene-foodware>
- Compositesworld (2020): The making of glass fiber. Online: <https://www.compositesworld.com/articles/the-making-of-glass-fiber>
- Dach.de (o.J.): Dachlexikon - Polystyrol. Online: <https://www.dach.de/services/dachlexikon/polystyrol/>
- Destatis (o.J.): Indikatoren der UN- Nachhaltigkeitsziele. Online: <http://sdg-indikatoren.de/>
- Effizienzhaus-online o.J.: Dacheindeckung aus Kunststoff – ein Material mit vielfältigen Überdachungsvariationen. Online: <https://www.effizienzhaus-online.de/materialien-zur-dacheindeckung/>
- Emicode (2020): EC1PLUS – exklusives Label für besonders emissionsarme Bauprodukte. Online: https://www.emicode.com/wp-content/uploads/2019/04/GEV_EC1plus.pdf
- Emicode (2020): GEV wählt den Vorstand und den Technischen Beirat. Online: <https://www.baustoffmarkt-online.de/aktuell/gev-waehlt-vorstand-und-technischen-beirat-11032020>
- empa 2021: Klimaschutz durch intelligente Baustoffe. Online: <https://www.empa.ch/web/s604/eq73-vorgespannter-beton?inheritRedirect=true>
- EnEV online (o.J.): Energieeinsparverordnung 2016. Online: <https://enev-online.com/index.htm>
- Forum Nachhaltiges Bauen o.J.: Passivhausfenster – Ökobilanz. Online: <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Passivhausfenster>
- Fraunhofer Institut o.J.: Ökobilanzierung. Online: <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/kompetenzen/ganzheitliche-bilanzierung/methoden-ganzheitliche-bilanzierung/oekobilanzierung.html>
- GEO: Wissen-Gesundheit (o.J.). Online: So erkennen Sie, ob Ihr Eternit Asbest enthält. Online: <https://www.geo.de/wissen/gesundheit/so-erkennen-sie--ob-ihreternit-asbest-enthaelt-31743412.html>

- GEV Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe, Klebstoffe und Bauprodukte e.V. (o.J.): EC1 Plus - exklusives Label. Online: https://www.emicode.com/wp-content/uploads/2019/04/GEV_EC1plus.pdf
- Hausjournal o.J.: Holzfenster und ihre Ökobilanz – wie ökologisch sind Holzfenster wirklich? Online: <https://www.hausjournal.net/holzfenster-oekobilanz>
- <https://www.chemie.de/lexikon/Polyvinylalkohol.html>
- Industrieverband Klebstoffe o.J.: Übersicht: Klebstoffarten. Online: <https://leitfaden.klebstoffe.com/4-4-uebersicht-klebstoffarten/>
- IWU 2018: Das wirtschaftliche und energetische Potenzial der Dachsanierung zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030/2050. Online: https://media.baunetzwissen.de/dl/2328363/Das_wirtschaftliche_und_energetische_Potenzial_der_Dachsanierung_FIW-Studie_2018.pdf
- Kompass-Nachhaltigkeit o.J.: Was Sie bei der Beschaffung von Naturstein beachten sollten. Online: <https://www.kompass-nachhaltigkeit.de/grundlagenwissen/produktkategorien/naturstein>
- Küchenatlas o.J.: Arbeitsplatten für die Küche. Online: <https://www.kuechen-atlas.de/kuechenplanung/arbeitsplatten/>
- Küchenatlas o.J.: Laminatarbeitsplatten oder Schichtstoffarbeitsplatten. Online: <https://www.kuechen-atlas.de/kuechenplanung/arbeitsplatten/laminatarbeitsplatten/>
- Nachhaltigesbauen 2017: Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Online: https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Nutzungsdauer_Bauteile/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf
- Ökotest (2023): Der ÖKO-TEST Verlag https://www.oekotest.de/oekotest/Wir-ueber-uns_400.html
- Planet-Beruf, Bundesagentur für Arbeit (2023): Steckbrief Holzbearbeitungsmechaniker. Online: <https://planet-beruf.de/fileadmin/assets/PDF/BKB/29057.pdf>
- probiowein (o.J.): Rotwein und Kupfer. Online: <https://www.probiowein.de/Gut-zu-Wissen/Wein-und-Kupfer>
- PVCrecyclingfinder o.J.: PVC-Recycling in Deutschland. Online: <https://www.pvcrecyclingfinder.de/pvc-recycling-in-deutschland/>
- Quarks (2022): Darum ist Aluminium nicht gut für die Umwelt. Online: <https://www.quarks.de/umwelt/muell/darum-ist-aluminium-nicht-gut-fuer-die-umwelt/>
- Regenwald o.J.: Hilft das Holzlabel dem Regenwald? Online: <https://www.regenwald.org/themen/tropenholz/fsc>
- Schieferlexikon o.J. Abbau von Schiefer. Online: <https://schieferlexikon.de/abbau.html>
- Statista (2022): Absatz der europäischen Laminatbodenbranche* weltweit in den Jahren 2006 bis 2021. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/285340/umfrage/europaeische-laminatbodenbranche-absatz-weltweit-bis-2013/>
- Statista (2022): Produktionsmenge von Kunststoffen in Deutschland nach Kunststoffart in den Jahren 2019 und 2021. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/244248/umfrage/produktionsmenge-von-kunststoffen-in-deutschland-nach-kunststoffart/>
- Statista (2022): Produktionsmenge von Kunststoffverpackungen. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/156492/umfrage/produktionsmenge-von-kunststoffverpackungen-in-deutschland/?locale=de>
- Statista (2022): Produktionsmenge von Papier, Karton und Pappe. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/5938/umfrage/produktionsmenge-von-papier-karton-pappe-seit-2006/>

- Statista (2022): Statistiken zum Thema Aluminium. Online: https://de.statista.com/themen/2514/aluminium/#topicHeader__wrapper
- Statista (2022): Verbrauch von Farben und Lacken in Deutschland in den Jahren 2001 bis 2021. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/245046/umfrage/verbrauch-von-farben-und-lacken-nach-produktgruppe-in-deutschland/>
- Statista (2023): Menge der abgeholzten Waldfläche im Amazonasgebiet in den Jahren 1990 bis 2022. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/478063/umfrage/menge-der-abgeholzten-waldflaeche-im-amazonasgebiet/>
- Statista (2023): Weltweite Kupfernachfrage in den Jahren von 2012 bis 2022. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/156043/umfrage/weltweite-kupfernachfrage-seit-2006/>
- Stiftung Warentest (2023): Zahlen, Geschichte und Struktur. Online: <https://www.test.de/unternehmen/stiftung-5017075-0/>
- UBA Umweltbundesamt (2005): Ableitung von Kriterien zur Beurteilung einer hochwertigen Verwertung gefährlicher Abfälle. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3504.pdf>
- UBA Umweltbundesamt (2015): Umwelt- und gesundheitsverträgliche Bauprodukte. Online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/umwelt-_und_gesundheitsvertraegliche_bauprodukte.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2019): Ökotoxikologische Bewertung von Bauprodukten. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/bauprodukte/studien-zu-r-messung-vermeidung-bewertung-von-oekotoxikologische-bewertung-von-bauprodukten>
- UBA Umweltbundesamt (2020): Metalle. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/fluesse/zustand/metalle>
- UBA Umweltbundesamt (2021): Konsum und Umwelt: Zentrale Handlungsfelder. Online: www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/konsum-umwelt-zentrale-handlungsfelder#bedarfsfelder
- UBA Umweltbundesamt (2021): Verpackungen. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/verpackungen>
- UBA Umweltbundesamt (2022): Förderung von Mehrwegverpackungssystemen. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/foerderung-von-mehrwegverpackungssystemen-zur>
- UBA Umweltbundesamt (2022): Kunststoffabfälle. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlt-er-abfallarten/kunststoffabfaelle#kunststoffvielfalt>
- Utopia (2020): Polystyrol – Wissenswerte Informationen über den Kunststoff. Online: <https://utopia.de/ratgeber/polystyrol-wissenswertes-informationen-ueber-den-kunststoff/>
- Wikipedia (o.J.): Kunststoffolie. Online: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kunststoffolie>

SDG 13: “Maßnahmen zum Klimaschutz”

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

Die Schnittmengen mit der Standardberufsbildposition liegen vor allem in der Reduzierung der direkten und indirekten Emissionen (Belastung der Umwelt) sowie der nachhaltigen Nutzung von Energie (vgl. 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*

Der Klimawandel wird durch die Emission von Treibhausgasen verursacht. Zahlreiche Gase sind verantwortlich für den Klimawandel. Ihnen gemeinsam ist ihre Undurchlässigkeit für die (Infrarot-)Wärmestrahlung der Erde. Dies führt bekanntlichermassen 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

Treibhausgaspotenzial

Für den Holzbearbeitungsbetrieb ist Holz das Ausgangsmaterial. Der Wald als Holzproduzent kann als CO₂-Speicher dazu beitragen, die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre zu verringern. Diese Speicherfunktion hängt von der Intensität der Waldbewirtschaftung ab. Werden mehr Bäume aus dem Wald entnommen als nachwachsen, reduziert sich die CO₂-Speicherleistung, wachsen mehr Bäume nach als entnommen werden, so steigt die CO₂-Speicherleistung. Die Nutzung von Holz für den Bau von Gebäudeteilen (z.B. Fenster) ist damit auch ein Teil der Gesamtrechnung im Rahmen einer Treibhausgasbilanz. Studien belegen, dass ein Gebäude aus Holzmaterial

gegenüber anderen Materialien gerade vor dem Hintergrund einer Lebenszyklusbetrachtung wesentlich besser abschneidet als andere Bauweisen. Erweitert man die Betrachtung und berücksichtigt mögliche Gutschriften durch das Recycling, wird im Falle der Holzbauvarianten mehr CO₂ eingespart, als während der Bauteilherstellung an CO₂ verursacht wird (UBA 2020). Hinzu kommen die für den Innenausbau (Einbauelemente, Treppen, Möbel) benötigten Materialien.

Holznutzung

Vor dem Hintergrund der biologischen Bedeutung von Bäumen und Wäldern als “grünen Lungen” für die Lebenswelt durch die Kohlenstoffbindung (C-Bindung) und die Sauerstoffproduktion (O₂-Produktion) ist mit dem “Rohstoff” Holz sehr sorgsam umzugehen. Die schonungslose Rodung borealer Wälder (in der arktischen Zone), in Südosteuropa (z.B. Rumänien) sowie im Bereich der Tropen (Äquatorialzone) für Holzbauprojekte z.B. in Europa führt zu einer spürbaren Belastung des Klimas. Hier können Holzbearbeitungsbetriebe folgende Punkte beachten:

- Marketing: Explizite Bewerbung eigener Nachhaltigkeitsbemühungen z.B. durch Nutzung ausschließlich zertifizierter Hölzer (s. SDG 12 - Nachhaltigkeitssiegel für Holz).
- Beratung der Endkunden über die Nutzung bestimmter Holzarten und den damit verbundenen Konsequenzen (s. SDG 12 - Nachhaltigkeitsiegel)

Hinzu kommen die schon unter SDG 4 genannten Punkte, die zu einer umweltschonenden Nutzung von Holzprodukten beitragen.

Ressourcen und Energieeffizienz

In Anlehnung an eine Forschungsstudie des Fraunhofer-Gesellschaft seien hier die zentralen Eckpfeiler genannt, die im Arbeitsprozess zu effizientem, sparsamem Einsatz von Energie und Ressourcen beitragen:

- Energie- und Materialeffizienz durch Prozessstabilität und Steuerungsmaßnahmen. Materialverluste sollten vermieden werden. Maschinen- und anlagenseitig lassen sich durch Grundlastreduzierung und Spitzenlastvermeidung, z. B. durch steuerungsgeregelte Motoren, partielle Systemabschaltungen und Ähnliches, hohe Einsparungen erzielen.
- Geschlossene Ressourcenkreisläufe/ Ressourcenvernetzung in Prozessketten und Produktionsgemeinschaften sollten angestrebt werden.
- Der Einsatz von Recyclingmaterial aus Produktionsabfällen leistet einen signifikanten Beitrag zur Verbesserung der Energieeffizienz. Dieser Beitrag

resultiert vorrangig aus dem deutlich geringeren Energieeinsatz, der zur Erzeugung von Sekundärmaterial erforderlich ist.

- Methodenentwicklung für eine nachhaltige Energie- und Materialwirtschaft
Hierzu ist eine präzise Erfassung von Energieverbräuchen und Stoffströmen nötig. Dabei kann digitale Unterstützung wertvolle Dienste leisten.

Die Steigerung der Energieeffizienz in der Produktion kann nur von den Mitarbeiter*innen des Betriebes selbst vorangetrieben und umgesetzt werden. Für diesen Prozess sind drei Einflussfaktoren entscheidend: Wille, Kompetenz und förderliche organisatorische Rahmenbedingungen (Fraunhofer o.J.).

Möglichkeiten der Substitution von fossilen Rohstoffen

Die Verwendung von biobasierten Schmierstoffen und Hydraulikölen bedeutet in der Regel eine direkte Substitution der fossilen bzw. mineralölbasierten Analogons. Die ersetzten fossilen Basisöle entstammen zumeist der iso-Paraffin-reichen Fraktion der Wachsdestillate aus der Vakuumdestillation. Diese Fraktion bedarf einer mehrstufigen Raffination (Extraktion von Aromaten, Abscheidung von n-Paraffinen und Hydrierung), weswegen die Herstellung insgesamt vergleichsweise aufwändig ist.

Höhere Qualitäten an Schmierstoffen werden heutzutage auf der Basis halb- bis voll synthetischer Basisöle hergestellt, wie z.B. Hydrocrack-Öle oder poly-alpha-Olefine (PAO). Die Einteilung der verschiedenen Grundölqualitäten orientiert sich u.a. am Viskositätsindex (VI). Die am meisten verbreitete Klassifizierung ist die vom API (American Petroleum Institute). Grundsätzlich können alle Qualitätsklassen auch durch biobasierte Rohstoffe hergestellt werden. Entscheidend ist, dass (ggf. durch spezifisches Processing) am Ende die erforderlichen Spezifikationen erfüllt werden (UBA 2019).

Schutz des Waldes

Heute verstehen wir unter nachhaltiger Waldwirtschaft weit mehr als die Sicherstellung der Holzmengen. Die Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa (FOREST EUROPE) hat 1993 in der Helsinki-Deklaration eine nachhaltige Waldbewirtschaftung definiert als *„die Betreuung und Nutzung von Wäldern und Waldflächen auf eine Weise und in einem Ausmaß, welche deren biologische Vielfalt, Produktivität, Regenerationsfähigkeit und Vitalität erhält und ihre Fähigkeit, gegenwärtig und in Zukunft wichtige ökologische, wirtschaftliche und soziale Funktionen auf lokaler, nationaler und globaler Ebene zu erfüllen, gewährleistet, ohne dass dies zu Schäden an anderen Ökosystemen führt“*. „Forest Europe“ hat in diesem Zusammenhang sechs übergreifende Kriterien einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung erarbeitet (UBA 2022):

- Erhaltung und angemessene Verbesserung der forstlichen Ressourcen und Sicherung ihres Beitrags zu den globalen Kohlenstoffkreisläufen,
- Erhaltung der Gesundheit und Vitalität von Waldökosystemen,
- Erhaltung und Förderung der Produktionsfunktion der Wälder, sowohl für Holz als auch für Nicht-Holzprodukte,
- Erhaltung, Schutz und adäquate Verbesserung der biologischen Vielfalt in Waldökosystemen,
- Erhaltung, Schutz und angemessene Verbesserung der Schutzfunktion bei der Waldbewirtschaftung, vor allem in den Bereichen Boden und Wasser,
- Erhaltung sonstiger sozio-ökonomischer Funktionen und Konditionen.
- Dies wird aus Sicht des Umweltbundesamtes (UBA) nur durch eine umweltverträgliche, naturnahe und multifunktionale Waldbewirtschaftung ermöglicht.

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>
- BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2017): Forest Resolution H1, 1993: Online:
https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Wald/ForestEuropeResolution.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- Fraunhofer-Institut IUK-Technologie (o.J.): Einsatz mit voller Energie. Online:
<https://www.fraunhofer-innovisions.de/energie-und-nachhaltigkeit/einsatz-mit-voller-energie/>
- MyClimate (o.J.): Global Warming Potential. Online:
https://www.myclimate.org/de/27/?tx_kesearch_pi1%5Bsword%5D=GWP+Global+Warming+Potential
- UBA Umweltbundesamt (2019): Implementierung von Nachhaltigkeitskriterien für die stoffliche Nutzung von Biomasse im Rahmen des Blauen Engel. Online:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-08-19_texte_89-2019_be_biomassenutzung_schmierstoffe.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2020): Potenziale von Bauen mit Holz. Online:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_10_29_texte_192_2020_potenziale_von_bauen_mit_holz_aktualisiert.pdf#page=57&zoom=100,90,158
- UBA Umweltbundesamt (2022): Nachhaltige Waldwirtschaft. Online:
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/nachhaltige-waldwirtschaft#die-vielfältigen-funktionen-des-waldes>

SDG 15: “Leben an Land”

“Landökosysteme schützen, wiederherstellen und ihre nachhaltige Nutzung fördern, Wälder nachhaltig bewirtschaften, Wüstenbildung bekämpfen, Bodendegradation beenden und umkehren und dem Verlust der biologischen Vielfalt ein Ende setzen”

Die Schnittmengen mit der Standardberufsbildposition “Umweltschutz und Nachhaltigkeit” sind nicht unmittelbar offensichtlich, über die in den vormaligen SDG’s dargestellten Bezüge kann ein Einfluss auf die Nachhaltigkeit genommen werden. Die Bezüge zur Standardberufsbildposition wären dann gem. Kapitel 3 “Umweltschutz und Nachhaltigkeit (vgl. BMBF 2022):

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

Ökosysteme

Wald hat eine große Bedeutung für die dauernde Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts, das Klima, den Wasserhaushalt, die Reinhaltung der Luft, die Bodenfruchtbarkeit, das Landschaftsbild, die Agrar- und Infrastruktur und die Erholung der Bevölkerung. Wald bedeckt fast ein Drittel der Fläche Deutschlands (Destatis o.J.).

Das SDG 15 zielt auf den Schutz der Ökosysteme ab und ist eng mit der Nutzung des Waldes in verschiedenen Erdteilen verknüpft. So werden in einigen Ländern viele Flächen systematisch und großflächig abgeholzt. Der Raubbau z.B. in Rumänien, Südamerika und im asiatischen Raum, das oft illegal geschlagene Holz, das als legales Holz deklariert und nach Deutschland verschifft wird, richtet immense Schäden am örtlichen Ökosystem an (Forsterklärt 2022).

Damit einher geht die Bedrohung der Biodiversität durch Monokulturen und Pestizideinsatz, von gesunden Böden mit vielfältiger Flora und Fauna sowie der Fähigkeit Wasser zu speichern, der Regeneration des Grundwassers und Vermeidung seiner Verschmutzung durch Überdüngung, die Schädwirkungen großer Monokulturen

und den hohen Wasserbedarf der Landwirtschaft. Nach Studien des Internationalen Institut für Angewandte Systemanalyse (IIASA) könnten die borealen Wälder in diesem Jahrhundert an einen Wendepunkt gelangen, von einem Netto-CO₂-Speicher zu einer bedeutenden Quelle des Treibhausgases werden. Die borealen Nadelwälder in Skandinavien, Kanada, Alaska und Russland nehmen enorme Mengen CO₂ aus der Atmosphäre auf. Sie speichern mindestens 32 Prozent des weltweit vorhandenen Kohlenstoffes in den Bäumen und in den Permafrostböden. Sollten die dortigen Wälder abgeholzt und die Böden aufgrund des Klimawandels auftauen, würde eine große Menge Methan freigesetzt, das rund 25-mal klimaschädlicher ist als CO₂ (UBA 2021).

Holzhandel

Für den Holzbearbeitungsbetrieb, die Möbelindustrie ist der Einkauf des "Rohstoffes" Holz ein Element ihres Geschäftes. Die Frage der Herkunft des Holzes mag auf den ersten Blick weniger relevant sein, unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten ist sie relevant. Für Importe aus dem europäischen Ausland liegt der Einfluss des Transports auf die Ökobilanz von Gebäuden lediglich im niedrigen einstelligen Prozentbereich. Länder wie Kanada und die USA, die zwar große zertifizierte Waldflächen aufweisen (ca. 35 % der weltweiten FSC-zertifizierten Waldfläche und ca. 55 % der weltweiten PEFC-zertifizierten Fläche), kommen durch die hohen Transportdistanzen und damit verbundenen negativen Umweltauswirkungen für einen Holzimport nicht in Betracht. Bei Russland wären die Transportwege wegen der großen räumlichen Ausdehnung genau zu untersuchen (UBA 2020).

Dabei ist auch die Globalisierung der Wertschöpfungsketten zu betrachten. Die hiesige Holzindustrie profitiert beim Holzexport von Schnittholz vor allem von Abnehmern in China und den USA, während große Mengen Rohholz überwiegend nach China verschifft wurden: Im Zeitraum zwischen 2015 und 2020 hat sich die Menge der Holzexporte von Rohholz mehr als verdreifacht (3,8 Millionen Kubikmeter, destatis o.J.). Im gleichen Zeitraum gingen die Holzimporte um ein Drittel zurück (5,9 Mio. Kubikmeter). Der Holzeinschlag in deutschen Wäldern betrug 2020 rund 80 Mio. Kubikmeter. Dies war der bislang höchste Einschlag. Grund waren Waldschäden durch Trockenheit und Insekten. Dieser "Schadeinschlag" machte rund 55% des gesamten Einschlages aus. Der wichtigste Absatzmarkt der Exporte war China mit 6,4 Mio. Kubikmeter (ca. 51% des Exportes. Nach Österreich gingen 3,4 Mio. Kubikmeter (19%) und nach Belgien 1,2 Mio. Kubikmeter (ca. 9%, ebd.).

In 2021 wurden insgesamt fast 83 Mio. Kubikmeter Holz (ohne Rinde) eingeschlagen (destatis 2022). Die Verteilung nach Holzarten war wie folgt:

Tabelle: Holzeinschlag in Deutschland 2020 und 2021 nach Holzsorten

	2020			2021		
	Gesamt Deutschland	davon	davon	Gesamt Deutschland	davon	davon
		Bundeswald	Landeswald		Bundeswald	Landeswald
	1.000 Kubikmeter ohne Rinde			1.000 Kubikmeter ohne Rinde		
Insgesamt	80 420	605	26 520	82 957	643	21 866
Eiche	1 362	16	556	1 755	19	559
Stammholz	528	4	194	655	6	190
Industrieholz	274	3	137	283	5	135
Energieholz	405	6	143	630	7	151
nicht verwertetes Holz	155	1	81	187	2	83
Buche und sonstiges Laubholz	8 847	76	3 038	9 071	84	2 864
Stammholz	2 229	12	722	2 205	11	668
Industrieholz	2 118	22	979	2 015	30	879
Energieholz	3 560	35	909	3 832	36	877
nicht verwertetes Holz	940	7	427	1 018	8	440
Kiefer und Lärche	8 044	217	2 898	10 058	302	3 329
Stammholz	3 765	79	1 697	5 241	132	2 061
Industrieholz	2 754	105	936	3 142	118	980
Energieholz	1 235	23	106	1 335	39	128
nicht verwertetes Holz	290	10	158	340	14	161
Fichte, Tanne, Douglasie und sonstiges Nadelholz	62 167	296	20 029	62 072	237	15 134
Stammholz	44 802	166	14 430	44 459	142	11 213
Industrieholz	8 726	92	3 535	9 229	65	2 375
Energieholz	5 697	23	754	6 008	20	584
nicht verwertetes Holz	2 942	15	1 310	2 376	11	963

Grundsätzlich gibt es in Deutschland genug nachwachsenden Wald, der den inländischen Bedarf an Bau- und Möbelholz decken könnte. Grund für den Holzhandel ist auch die weiterverarbeitende Industrie im Ausland. Absurderweise schickt man z.B. Holzstämm

nach Indien, verarbeitet sie dort weiter und sendet sie dann als Fertigprodukt nach Deutschland zurück. So hat der sonst klimaneutrale Rohstoff Holz schnell einen sehr großen CO₂-„Fußabdruck“. Deutschland importiert also auch eine große Menge an Holz. Nicht nur als verarbeitetes Holzprodukt, sondern auch als Rohholz. Die Herkunft ist aber häufig nicht eindeutig zu bestimmen. Die Bewirtschaftung der Wälder läuft fast nirgendwo auf der Welt so nachhaltig und einzelstammweise ab wie in Deutschland. Die Auswirkungen des Klimawandels führen dazu, dass z.B. durch Borkenkäfer befallene Waldbereiche aktuell auch in Deutschland gerodet und neu aufgeforstet werden müssen. Im Vergleich dazu werden für die Holzernte in einzelnen europäischen Ländern wie z.B. in Russland und Rumänien grundsätzlich größere Flächen abgeholzt und das Holz von dort importiert (Forsterklärt 2022). In den borealen Wäldern (im Norden) hat diese Form der Holzernte, wie beschrieben, fatale ökologische (s.a. Ökosysteme) und auch sozial-kulturelle Auswirkungen auf die z.B. in Finnland lebende Bevölkerungsgruppe der Sami (IBO 2007).

Laut Bundeswaldgesetz ist es das Ziel der Forstpolitik, die vielfältigen Funktionen und Leistungen des Waldes sowie seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern. Dadurch wird der Wald beispielsweise vor Rodung geschützt, indem Waldbesitzer verpflichtet sind, kahle Waldflächen wieder aufzuforsten. Das alleine würde schon gewährleisten, dass dieses Handlungsprinzip auch umgesetzt wird. Doch der Gedanke der Transparenz und eine erweiterte Definition der Nachhaltigkeit – mittlerweile werden neben ökonomischen auch soziale und ökologische Aspekte berücksichtigt – schuf eine Nachfrage nach Zertifizierung in der Forstwirtschaft (FNR o.J.).

Im Jahr 2021 hat die Bundesregierung mit dem Klimaschutzgesetz konkrete Ziele zur Kohlenstoffspeicherung in den Bereichen Forstwirtschaft, Landnutzung und Landnutzungsänderungen festgelegt, eine zentrale Rolle spielt dabei der Wald. Die Waldstrategie 2050, die Charta für Holz 2.0 sowie die Bioökonomiestrategie sieht gleichzeitig eine Steigerung der Holznutzung für den Baubereich vor. Die Waldgesamtrechnung des Statistischen Bundesamtes verdeutlicht, dass bereits seit 2002 die Holzentnahme erkennbar angestiegen ist und bereits ein Großteil des nutzbaren Holzzuwachses auch eingeschlagen wird (UBA 2022).

Hiervon ausgehend lässt sich abschließend feststellen, dass eine qualitative Bewertung des Einkaufes von Holzmaterialien nach Kriterien erfolgen sollte, die die Nachhaltigkeitsziele unterstützen:

- Einkauf von Holz mit anerkannten Zertifizierungen
- möglichst ortsnahe, europäisches Holz nutzen

- Holzwerkstoffe nutzen und einkaufen, die eine grundsätzliche stoffliche Weiterverwendung ermöglichen

Mit der Umsetzung dieser Schritte werden die Ziele der Nachhaltigkeit entscheidend unterstützt.

Literaturliste

- Agenda 2030: siehe Vereinte Nationen (2015). Online: <https://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf>
- ARD (2020): Ungenießbar. Online: <https://programm.ard.de/TV/Themenschwerpunkte/Dokus--Reportagen/Alle-Dokumentationen/Sartseite/?sendung=287252703317494>
- atmosfair gGmbH (o.J.): Flüge kompensieren. Online: <https://www.atmosfair.de/de/kompensieren/flug/>
- Baunetzwissen o.J.: Kupfer. Online: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/k/kupfer-48361>
- Baustoffmarkt-online (o.J.): GEV Vorstand und technischer Beirat. Online: <https://www.baustoffmarkt-online.de/aktuell/gev-waehlt-vorstand-und-technischen-beirat-11032020>
- Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (2009): Melamin. Online: https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/chemie/toxische_reaktionsprodukte/melamin/
- BDA (o.J.): Arbeitsbedingungen in Deutschland. Online: https://arbeitgeber.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
- 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>
- 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.): FAQ zu den modernisierten Standardberufsbildpositionen. Online: <https://www.bibb.de/de/137874.php>
- BIBB Bundesinstitut für Berufsbildung (o.J.): Ausbildung gestalten. Online: [BIBB / Reihen / Ausbildung gestalten](http://BIBB/Reihen/Ausbildung_gestalten)
- 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
- 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>

- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2017): Nachhaltigkeit im Personalmanagement. Online: nachhaltig-forschen.de/fileadmin/user_upload/FactSheets_LeNa_Personal.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 (o.J.): Was ist BNE? Online: <https://www.bne-portal.de/bne/de/einstieg/was-ist-bne/was-ist-bne.html>
- BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2017): Forest Resolution H1, 1993: Online: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Wald/ForestEuropeResolution.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- BMU 2023: Blauer Engel. Online: <https://www.blauer-engel.de/de>
- BMUV (o.J.): Umweltinnovationsprogramm. Online: <https://www.umweltinnovationsprogramm.de/projekte/recycling-von-abfall-polyolefinen>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2016): Öle und Wachse. Online: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/impraegnierungen-og-link/oele-wachse-pg-link.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2021): Phenol-Formaldehyd. Online: <https://www.wecobis.de/en/service/lexikon/pf-harze-lex.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Alkydharzlackfarben. Online: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/lackfarben-loesemittelverduennbar/alkydhazlackfarben.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Dispersionslackfarben. Online: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/lackfarben-wasserverduennbar/dispersionslackfarben.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Epoxidharzfarben. Online: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/lacke-lasuren-og/epoxidharzfarben-pg.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Farben-Lacke-Lasuren. Online: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/lackfarben-loesemittelverduennbar/oelfarben-naturharzlacke.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Klarlacke. Online: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/klarlacke/klarlacke-loesemittelhaltig.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Lacke und Lasuren. Online: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/holzlasuren/lasuren-loesemittelhaltig/kunsthazlasuren-loesemittelhaltig.html>
- BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (o.J.): Polyurethanharze. Online:

- <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/oberflaechenbehandlungen/farben-lacke-lasuren/lackfarben-loesemittelverduennbar/polyurethanharze-loesemittelhaltig.html>
- BMWSB o.J.: Umweltschonend und energieeffizient. Online: <https://www.nachhaltigesbauen.de/themen/umweltschonendund-energieeffizient/>
 - 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>
 - Bricly o.J.: Die 20 größten Kupferminen der Welt. Online: <https://de.bricly.com/die-20-groessten-kupferminen-der-welt/>
 - 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>
 - BUND (o.J.): Mais & Umwelt. Online: <http://www.bund-rvso.de/mais-umwelt.html>
 - Bundesregierung (2017): Nationaler Aktionsplan Umsetzung der VN-Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte. Online: <https://india.diplo.de/blob/2213082/a20dc627e64be2cbc6d2d4de8858e6af/nap-data.pdf>
 - 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>
 - Bundesregierung (o.J.): Globale Nachhaltigkeitsstrategie - Nachhaltigkeitsziele verständlich erklärt. Online: www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltigkeitsziele-verstaendlich-erklaert-232174
 - Bundesregierung 2021: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2021. Online: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/archiv/nachhaltigkeitsstrategie-2021-1873560>
 - Carboncare-Rechner (o.J.): CO₂-Äq/a für internationale Transporte: Online: <https://www.carboncare.org/co2-emissions-rechner>
 - car-wiki (o.): CO₂ Ausstoß (Emissionen) des VW Transporters. Online: <https://carwiki.de/vw-transporter-co2-ausstoss/>
 - Chemie.de (2017): Acrylnitril aus nachwachsenden Rohstoffen. Online: <https://www.chemie.de/news/164193/acrylnitril-aus-nachwachsenden-rohstoffen.html>
 - Chemie.de o.J. Polyvinylalkohol. Online: <https://www.chemie.de/lexikon/Polyvinylalkohol.html>
 - Chemie o.J.: Holzleim. Online: <https://www.chemie.de/lexikon/Holzleim.html#Kaseinleim>
 - Chemie o.J.: Polyvinylacetat. Online: <https://www.chemie.de/lexikon/Polyvinylacetat.html>
 - Chemie o.J. Holzleim. Online: <https://www.chemie.de/lexikon/Holzleim.html#Glutinleim>
 - Citizensustainable (o.J.): Polyethylen- umweltfreundlich? Online : <https://citizensustainable.com/de/polyethylen-umweltfreundlich/>
 - Citizensustainable (2022): Ist Carbon nachhaltig? Online: https://citizensustainable.com/de/carbon-nachhaltig/#Wofür_wird_Carbon_verwendet
 - Citizensustainable (2022): Wird Acryl umweltfreundlich hergestellt?. Online: https://citizensustainable.com/de/acryl-umweltfreundlich/#2_Wird_Acryl_umweltfreundlich_hergestellt
 - Citizensustainable (o.J.): Ist Acryl umweltfreundlich? Online: <https://citizensustainable.com/de/acryl-umweltfreundlich/>

- Citizensustainable (o.J.). Ist Karton umweltfreundlich? Online:
([https://citizensustainable.com/de/karton-umweltfreundlich/#2 Wird Karton umweltfreundlich hergestellt](https://citizensustainable.com/de/karton-umweltfreundlich/#2_Wird_Karton_umweltfreundlich_hergestellt))
- cleanwater.org (2017): Polystyrene. Online:
<https://cleanwater.org/2017/05/22/more-foam-bans-california-milpitas-adopts-first-reading-expanded-polystyrene-foodware>
- CO2Online (o.J.): Strom sparen im Haushalt: 25 einfache Tipps. Online:
<https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartipps/strom-sparen-tipps-und-tricks/>
- Compositesworld (2020): The making of glass fiber. Online:
<https://www.compositesworld.com/articles/the-making-of-glass-fiber>
- Dach.de (o.J.): Dachlexikon - Polystyrol. Online:
<https://www.dach.de/services/dachlexikon/polystyrol/>
- Das Deutsche Baugewerbe (2021): Konjunkturprognose. Online:
<https://www.zdb.de/baukonjunktur/konjunkturprognose-2021>
- dds-online (2018): Marketing Betriebsführung. Online:
<https://www.dds-online.de/betrieb/marketing-betriebsfuehrung/ausbildung-tischler/>
- Destatis Statistisches Bundesamt (2020): Umweltökonomische Gesamtrechnung. Online:
https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Publikationen/Downloads/rechnung-energieverbrauch-5851318209004.pdf?__blob=publicationFile
- Destatis Statistisches Bundesamt (2022): Gender Pay Gap. Online:
<https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Qualitaet-Arbeit/Dimension-1/gender-pay-gap.html>
- Destatis Statistisches Bundesamt (2022): Indikatoren der UN-Nachhaltigkeitsziele. Online:
<http://sdg-indikatoren.de/>
- Destatis Statistisches Bundesamt (o.J.): Indikatoren der UN- Nachhaltigkeitsziele. Online:
<http://sdg-indikatoren.de/>
- Destatis Statistisches Bundesamt (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 (2022): Beschäftigtenverhältnisse Tischlerberuf. Online:
<https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1678093337179&code=53111#abreadcrumb>
- Destatis Statistisches Bundesamt (2022). Gender. Online:
https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2022/PD22_17_p002.html
- Deutsche Bahn (o.J.): Der Mobilitätscheck der Deutschen Bundesbahn. Online:
<https://www.umweltemobilcheck.de>
- 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
- DGB (2022): Index Gute Arbeit - Jahresbericht 2022, Ergebnisse der Beschäftigtenbefragung. Online:
<https://index-gute-arbeit.dgb.de/++co++b20b2d92-507f-11ed-b251-001a4a160123>
- DGB Deutscher Gewerkschaftsbund (o.J.): Decent work - menschenwürdige Arbeit. Online:
www.dgb.de/themen/++co++6157a9a0-2961-11df-48e5-001ec9b03e44

- DGB Gewerkschaftsbund (2022): Saisonarbeit in der Landwirtschaft: Miserable Bedingungen für Saisonarbeitnehmer*innen beenden. Online: www.dgb.de/themen/++co++9ae2a64a-728c-11eb-be71-001a4a160123
- Dumke (2017): Erneuerbare Energien für Regionen – Flächenbedarfe und Flächenkonkurrenzen. Online: repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/8290
- Effizienzhaus-online (o.J.): Dacheindeckung aus Kunststoff – ein Material mit vielfältigen Überdachungsvariationen. Online: <https://www.effizienzhaus-online.de/materialien-zur-dacheindeckung/>
- Eigensonne (o.J.): Der Wirkungsgrad moderner Solarzellen – einfach und verständlich erklärt. Online: <https://www.eigensonne.de/wirkungsgrad-solarzelle/>
- Emicode (2020): EC1PLUS – exklusives Label für besonders emissionsarme Bauprodukte. Online: https://www.emicode.com/wp-content/uploads/2019/04/GEV_EC1plus.pdf
- Emicode (2020): GEV wählt den Vorstand und den Technischen Beirat. Online: <https://www.baustoffmarkt-online.de/aktuell/gev-waehlt-vorstand-und-technischen-beirat-1103-2020>
- Empa (2021): Klimaschutz durch intelligente Baustoffe. Online: <https://www.empa.ch/web/s604/eq73-vorgespannter-beton?inheritRedirect=true>
- Energie.ch (1996): Energieeffizienz im Sägewerk. Online: <https://energie.ch/saegerei/>
- Energieeffizienz-Handwerk (2023): Hauptverbraucher und Einsparpotenziale. Online: https://www.energieeffizienz-handwerk.de/gewerke/258/Hauptverbraucher+und+Einsparpotential_e.html
- Energieeffizienz-im-Betrieb (2023): Energieeinsparung in der Schreinerei. Online: <https://www.energieeffizienz-im-betrieb.net/energiekosten-unternehmen/energiesparen-schreinerei.html>
- Energieeffizienz-im-Betrieb (2023): Energiekosten. Online: <https://www.energieeffizienz-im-betrieb.net/energiekosten-unternehmen/energiesparen-schreinerei.html>
- Energieeffizienz-im-Betrieb (2023): Energiesparen-Heizung. Online: <https://www.energieeffizienz-im-betrieb.net/energiesparen-unternehmen/heizung-energiekosten-senken.html>
- Energieexperten (o.J.): Ratgeber: Kennwerte für den Stromverbrauch von Beleuchtungen. Online: <https://www.energie-experten.org/energie-sparen/energieverbrauch/stromverbrauch-berechnen/stromverbrauch-beleuchtung>
- Energieexperten (o.J.): Wärmepumpentechnik. Online: <https://www.energie-experten.org/heizung/waermepumpe#c1091>
- Energieinstitut der Wirtschaft (A) im Auftrag der Österreichische Energieagentur Effiziente Tischlerei (2014): Effiziente Tischlerei. Online: www.energieinstitut.net/sites/default/files/tischler_dt_1905s.pdf
- EnEV online (o.J.): Energieeinsparverordnung 2016. Online: <https://enev-online.com/index.htm>
- entega (o.J.): STROMVERBRAUCH VON LICHT: LEUCHTEN IM VERGLEICH. Online: <https://www.entega.de/blog/stromverbrauch-licht/>
- EU 2017/1369 zur Festlegung eines Rahmens für die Energieverbrauchskennzeichnung und zur Aufhebung der Richtlinie 2010/30/EU. Online: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1369&from=EL#:~:text=\(1\)%20Die%20Union%20hat%20sich,der%20Energienachfrage%20von%20zentraler%20Bedeutung.](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R1369&from=EL#:~:text=(1)%20Die%20Union%20hat%20sich,der%20Energienachfrage%20von%20zentraler%20Bedeutung.)
- 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/ef22012n.pdf
- Europäische Kommission (2022): RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über die Sorgfaltspflichten von Unternehmen im Hinblick auf Nachhaltigkeit und zur Änderung der

- Richtlinie (EU) 2019/1937. Online:
https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:bc4dcea4-9584-11ec-b4e4-01aa75ed71a1.0007.02/DOC_1&format=PDF
- FAZ-Net Frankfurter Allgemeine Zeitung (2022 online): Die dunkle Seite der Verkehrswende.
<https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/schneller-schlau/kobalt-aus-kongo-der-dunkle-preis-der-verkehrswende-17731386.html>
 - Ferber Personalberatung (o.J.): Was Mitarbeiterführung mit Nachhaltigkeit zu tun hat ... Online:
ferber-personalberatung.de/mitarbeiterfuehrung-nachhaltigkeit/
 - Forsterklärt (2022): Der Deutsche Wald im Container – Holzimport und -export. Online:
<https://forsterklaert.de/holzexport>
 - Forum Nachhaltiges Bauen o.J.: Passivhausfenster – Ökobilanz. Online:
<https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Passivhausfenster>
 - Fraunhofer-Institut IUK-Technologie (o.J.): Einsatz mit voller Energie. Online:
<https://www.fraunhofer-innovisions.de/energie-und-nachhaltigkeit/einsatz-mit-voller-energie/>
 - Fraunhofer Institut o.J.: Ökobilanzierung. Online:
<https://www.ibp.fraunhofer.de/de/kompetenzen/ganzheitliche-bilanzierung/methoden-ganzheitliche-bilanzierung/oekobilanzierung.html>
 - GEO: Wissen-Gesundheit (o.J.). Online: So erkennen Sie, ob Ihr Eternit Asbest enthält. Online:
<https://www.geo.de/wissen/gesundheit/so-erkennen-sie--ob-ihre-eternit-asbest-enthaelt-31743412.html>
 - GEV Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe, Klebstoffe und Bauprodukte e.V. (o.J.): EC1 Plus – exklusives Label. Online:
https://www.emicode.com/wp-content/uploads/2019/04/GEV_EC1plus.pdf
 - GRS Batterieforum (o.J.): Lexikon. Online
<https://www.batterieforum-deutschland.de/infoportal/lexikon/redox-flow-batterien/>
 - 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): SORGFALTSPFLICHTEN ENTLANG GLOBALER LIEFERKETTEN. Online:
www.bmz.de/resource/blob/92544/18fbb046bf85f95c5b07731ff69c4600/studie-handelsblatt-research-institute-data.pdf
 - Handke, 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.
 - Hausjournal o.J.: Holzfenster und ihre Ökobilanz – wie ökologisch sind Holzfenster wirklich? Online: <https://www.hausjournal.net/holzfenster-oekobilanz>
 - HWK Koblenz (o.J.): Ressourceneffizienz in der Tischlerei. Online:
www.hwk-koblenz.de/downloads/leitfaden-ressourceneffizienz-in-der-tischlerei-52,596.pdf
 - IBO Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH (2007): Planungsleitfaden: Ökologische Baustoffwahl.
https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/forschung/Planungsleitfaden_Interreg_IIIA.pdf
 - 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
 - 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

- Industrieverband Klebstoffe o.J.: Übersicht: Klebstoffarten. Online: <https://leitfaden.klebstoffe.com/4-4-uebersicht-klebstoffarten/>
- 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
- IWU 2018: Das wirtschaftliche und energetische Potenzial der Dachsanierung zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030/2050. Online: https://media.baunetzwissen.de/dl/2328363/Das_wirtschaftliche_und_energetische_Potenzial_der_Dachsanierung_FIW-Studie_2018.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/ji11-gute-und-menschenwuerdige-arbeit-auch-deutschland
- 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
- 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
- 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
- Kompass-Nachhaltigkeit (o.J.): Was Sie bei der Beschaffung von Naturstein beachten sollten. Online: <https://www.kompass-nachhaltigkeit.de/grundlagenwissen/produktkategorien/naturstein>
- Küchenatlas (o.J.): Arbeitsplatten für die Küche. Online: <https://www.kuechen-atlas.de/kuechenplanung/arbeitsplatten/>
- Küchenatlas (o.J.): Laminatarbeitsplatten oder Schichtstoffarbeitsplatten. Online: <https://www.kuechen-atlas.de/kuechenplanung/arbeitsplatten/laminatarbeitsplatten/>
- LEDONLINE (o.J.): Was sind die Vor- und Nachteile einer LED-Beleuchtung?. Online: <https://ledonline.de/blog/alle-vor-und-nachteile-einer-led-beleuchtung/>
- 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>
- MyClimate (o.J.): Global Warming Potential. Online: https://www.myclimate.org/de/27/?tx_kesearch_pi1%5Bsword%5D=GWP+Global+Warming+Potential
- NABU – (o.J.): Mythos klimafreundliche Containerschiffe. Online: www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/verkehr/schifffahrt/containerschifffahrt/16646.html
- Nachhaltigesbauen (2017): Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Online:

- https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Nutzungsdauer_Bauteile/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf
- Öko-Institut (o.J.): Nachhaltige Unternehmensführung: Verantwortung für Gesellschaft und Umwelt. Online: www.oeko.de/forschung-beratung/themen/konsum-und-unternehmen/nachhaltige-unternehmen-sfuehrung-verantwortung-fuer-gesellschaft-und-umwelt
 - Ökotest (2023): Der ÖKO-TEST Verlag https://www.oekotest.de/oekotest/Wir-ueber-uns_400.html
 - Pinkawa (2022): Nachhaltigkeitsleistung nimmt zu - EcoVadis veröffentlicht sechste Ausgabe des Business Sustainability Risk & Performance Index. Online: <https://resources.ecovadis.com/de/>
 - Pkw-EnVKV (2004): Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung vom 28. Mai 2004 (BGBl. I S. 1037), Online: <https://www.gesetze-im-internet.de/pkw-envkv/BINR103700004.html> Zuletzt geändert am 14. Juni 2022. Online: <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/suchergebnis?12>
 - Planet-Beruf, Bundesagentur für Arbeit (2023): Steckbrief Holzbearbeitungsmechaniker. Online: <https://planet-beruf.de/fileadmin/assets/PDF/BKB/29057.pdf>
 - Probiowein (o.J.): Rotwein und Kupfer. Online: <https://www.probiowein.de/Gut-zu-Wissen/Wein-und-Kupfer>
 - PVCrecyclingfinder o.J.: PVC-Recycling in Deutschland. Online: <https://www.pvcrecyclingfinder.de/pvc-recycling-in-deutschland/>
 - Quarks (2022): Darum ist Aluminium nicht gut für die Umwelt. Online: <https://www.quarks.de/umwelt/muell/darum-ist-aluminium-nicht-gut-fuer-die-umwelt/>
 - Regenwald o.J.: Hilft das Holzlabel dem Regenwald? Online: <https://www.regenwald.org/themen/tropenholz/fsc>
 - Safe 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
 - Schieferlexikon o.J. Abbau von Schiefer. Online: <https://schieferlexikon.de/abbau.html>
 - Schulz, Sven Christian (2020): Lithium-Abbau: Das solltest du darüber wissen. Online: <https://utopia.de/ratgeber/lithium-abbau-das-solltest-du-darueber-wissen/>
 - 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>
 - 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
 - Springer Gabler (o.J.): Gabler Wirtschaftslexikon: Definition Nachhaltiges Personalmanagement. Online: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/nachhaltiges-personalmanagement-53887>
 - 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/>
 - Statista (2021): Arbeitsunfälle in Deutschland. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/6051/umfrage/gemeldete-arbeitsunfaelle-in-deutschland-seit-1986/>
 - Statista (2021): Möbelindustrie in Deutschland. Online: <https://de.statista.com/themen/1427/moebelindustrie-in-deutschland/>
 - Statista (2022): Absatz der europäischen Laminatbodenbranche* weltweit in den Jahren 2006 bis 2021. Online:

- <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/285340/umfrage/europaeische-laminatbodenbranche-absatz-weltweit-bis-2013/>
- Statista (2022): Lehrlingsbestand im Handwerk. Online:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/30500/umfrage/lehrlingsbestand-im-handwerk-nach-gewerbegruppen/>
 - Statista (2022): Produktionsmenge von Kunststoffen in Deutschland nach Kunststoffart in den Jahren 2019 und 2021. Online:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/244248/umfrage/produktionsmenge-von-kunststoffen-in-deutschland-nach-kunststoffart/>
 - Statista (2022): Produktionsmenge von Kunststoffverpackungen. Online:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/156492/umfrage/produktionsmenge-von-kunststoffverpackungen-in-deutschland/?locale=de>
 - Statista (2022): Produktionsmenge von Papier, Karton und Pappe. Online:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/5938/umfrage/produktionsmenge-von-papier-karton-pappe-seit-2006/>
 - Statista (2022): Statistiken zum Thema Aluminium. Online:
https://de.statista.com/themen/2514/aluminium/#topicHeader__wrapper
 - Statista (2022): Verbrauch von Farben und Lacken in Deutschland in den Jahren 2001 bis 2021. Online:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/245046/umfrage/verbrauch-von-farben-und-lacken-nach-produktgruppe-in-deutschland/>
 - Statista (2022): Zahl der Unternehmen der Möbelindustrie in Deutschland. Online:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/155980/umfrage/zahl-der-unternehmen-in-der-mobelindustrie-nach-jahresumsatz/>
 - Statista (2023): Entwicklung des Holzverbrauches von Sägewerken. Online:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/152317/umfrage/entwicklung-des-holzverbrauchs-von-saegewerken-nach-holzarten/?locale=de>
 - Statista (2023): Menge der abgeholzten Waldfläche im Amazonasgebiet in den Jahren 1990 bis 2022. Online:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/478063/umfrage/menge-der-abgeholzten-waldflaeche-im-amazonasgebiet/>
 - Statista (2023): Weltweite Kupfernachfrage in den Jahren von 2012 bis 2022. Online:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/156043/umfrage/weltweite-kupfernachfrage-seit-2006/>
 - Stiftung GRS Batterien (o.J.): Die Welt der Batterien – Funktion, Systeme, Entsorgung. Online:
<https://www.grs-batterien.de/newsroom/bibliothek/>;
 - Stiftung Warentest (2023): Zahlen, Geschichte und Struktur. Online:
<https://www.test.de/unternehmen/stiftung-5017075-0/>
 - 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/#>
 - Tagesschau (2022): Gehört Wärmepumpen die Zukunft? Online:
www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/waermepumpe-klimaschutz-ukraine-energiepreise-viessmann-heizung-101.html
 - Thürmer, Michael (2020): Zahlen zum Tischler- und Schreinerhandwerk. Online:
<https://www.dds-online.de/allgemein/zahlen-daten-und-fakten-zum-tischler-schreinerhandwerk/#slider-intro-1>

- UBA Umweltbundesamt (2005): Ableitung von Kriterien zur Beurteilung einer hochwertigen Verwertung gefährlicher Abfälle. Online:
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3504.pdf>
- UBA Umweltbundesamt (2009): Beleuchtungstechnik mit geringerer Umweltbelastung Online:
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/UBA_Licht_Ausgabe_03.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2015): EU sagt Leerlaufverlusten den Kampf an. Online:
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/leerlaufverluste>
- UBA Umweltbundesamt (2015): Umwelt- und gesundheitsverträgliche Bauprodukte. Online:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/umwelt-_und_gesundheitsvertraegliche_bauprodukte.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2016): Wärmedämmung – Fragen und Antworten. Online:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/waermedaemmu ng_fragen_und_antworten_web.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2019): Implementierung von Nachhaltigkeitskriterien für die stoffliche Nutzung von Biomasse im Rahmen des Blauen Engel. Online:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-08-19_te xte_89-2019_be_biomassenutzung_schmierstoffe.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2019): Ökotoxikologische Bewertung von Bauprodukten. Online:
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/bauprodukte/studien-zu r-messung-vermeidung-bewertung-von/oekotoxikologische-bewertung-von-bauprodukten>
- UBA Umweltbundesamt (2019): Wie energieeffizient ist ein Schiff? Online:
<https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-energieeffizient-ist-ein-schiff>
- UBA Umweltbundesamt (2020): Metalle. Online:
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/fluesse/zustand/metalle>
- UBA Umweltbundesamt (2020): Potenziale von Bauen mit Holz. Online:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_10_29_t exte_192_2020_potenziale_von_bauen_mit_holz_aktualisiert.pdf#page=57&zoom=100,90,158
- UBA Umweltbundesamt (2021): Bioenergie. Online:
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/bioenergie#bioe nergie-ein-weites-und-komplexes-feld->
- UBA Umweltbundesamt (2021): Die Treibhausgase. Online:
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutsch land/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase>
- UBA Umweltbundesamt (2021): Konsum und Umwelt: Zentrale Handlungsfelder. Online:
www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/konsum-umwelt-zentrale-handlungsfeld er#bedarfsfelder
- UBA Umweltbundesamt (2021): Konsum und Umwelt: Zentrale Handlungsfelder. Online:
www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/konsum-umwelt-zentrale-handlungsfeld er#bedarfsfelder
- UBA Umweltbundesamt (2021): Naturschutz und Bioenergie. Online:
www.bmu.de/themen/naturschutz-artenvielfalt/naturschutz-biologische-vielfalt/naturschutz-u nd-energie/naturschutz-und-bioenergie
- UBA Umweltbundesamt (2021): Verpackungen. Online:
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfa llwirtschaft/verpackungen>
- UBA Umweltbundesamt (2022): Erneuerbare Energien in Zahlen. Online:
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-ene rgien-in-zahlen>

- UBA Umweltbundesamt (2022): Förderung von Mehrwegverpackungssystemen. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/foerderung-von-mehrwegverpackungssystemen-zur>
- UBA Umweltbundesamt (2022): Kunststoffabfälle. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlt-er-abfallarten/kunststoffabfaelle#kunststoffvielfalt>
- UBA Umweltbundesamt (2022): Nachhaltige Waldwirtschaft. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/nachhaltige-waldwirtschaft#die-vielfaeltigen-funktionen-des-waldes>
- UBA Umweltbundesamt (2022): Trotz Corona, Umwelt- und Klimaschutz bleibt für die Deutschen ein Top-Thema. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/trotz-corona-umwelt-klimaschutz-bleibt-fuer-die>
- UBA Umweltbundesamt (2022): Umweltbewusstsein in Deutschland. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/umweltbewusstsein-in-deutschland>
- UBA Umweltbundesamt (o. J.): Leerlaufverluste. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/leerlaufverluste>
- Umweltbundesamt (2014): Ökobilanz, alternative Antriebe – Elektrofahrzeuge im Vergleich. Online: www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0440.pdf
- Utopia (2020): Polystyrol – Wissenswerte Informationen über den Kunststoff. Online: <https://utopia.de/ratgeber/polystyrol-wissenswertes-informationen-ueber-den-kunststoff/>
- VDMI (2023): Über die Möbelindustrie. Online: <https://www.moebelindustrie.de/vdm/ueber-die-moebelindustrie/index.html>
- 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>
- Viessmann (o.J.): Der Kältekreisprozess als Teil der Funktionsweise. Online: <https://www.viessmann.at/de/wissen/technologie-und-systeme/luft-wasser-waermepumpe/funktionsweise.html>
- Volvo (o.J.): Elektro-Lkw von Volvo Trucks. Online: <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>
- 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>
- Welthungerhilfe (2020): Indien hält bei der Kinderarbeit den traurigen Spitzenplatz. Online: www.welthungerhilfe.de/welternaehrung/rubriken/wirtschaft-menschenrechte/indien-haelt-bei-kinderarbeit-den-traurigen-spitzenplatz
- Wikimedia (2020): Installierte PV-Leistung in Deutschland. online: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=90477752>

- Wikipedia (o.J.): Kunststoffolie. Online: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kunststoffolie>
- WINenergy (1997): Energiekennzahlen und -sarpotentiale in der Sägeindustrie. Online: https://www.win.steiermark.at/cms/dokumente/11263987_52485981/2f678050/Energiekennzahlen%20und%20Sarpotentiale%20in%20der%20S%C3%A4geindustrie.pdf
- Zoll 2022: Verpflegung und Unterkunft für Saisonarbeitskräfte. Online: https://www.zoll.de/DE/Fachthemen/Arbeit/Mindestarbeitsbedingungen/Mindestlohn-Mindestlohnengesetz/Berechnung-Zahlung-Mindestlohns/Verpflegung-Unterkunft-Saisonarbeitskraefte/verpflegung-unterkunft-saisonarbeitskraefte_node.html

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)“