

Berufliche Bildung für nachhaltige Entwicklung (BBNE)

Hintergrundmaterial zu den SDG's (HGM)

Straßenbauer/ Straßenbauerin und Asphaltbauer/ Asphaltbauerin

IZT

Volker Handke, v.handke@izt.de

Dr. Michael Scharp, m.scharp@izt.de

Schopenhauerstraße 26, 14129 Berlin

Webseite: www.pa-bbne.de

Telefon: 030-308088-19

GEFÖRDEBT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Institut für
Zukunftsstudien und
Technologiebewertung



Projektagentur
Berufliche Bildung
für nachhaltige Entwicklung
des Partnernetzwerkes Berufliche Bildung am IZT



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 Ausbildungsverträge	8
1.4 Glossar	8
1.5 Quellenverzeichnis	9
SDG 3: “Gesundheit und Wohlergehen”	10
Gesundheitliche Risiken im Asphaltbau	11
Bauchemie	12
Typische bauchemische Stoffgruppen	14
Weichmacher	14
Flammschutzmittel	14
Stabilisatoren	15
Tenside und Phasenvermittler	15
Pestizide und Konservierungsmittel	15
Monomere	16
REACH	16
Mikroplastik	18
Quellenverzeichnis	18
SDG 4: “Hochwertige Bildung”	20
10 “Goldene Handlungsregeln” für eine BBNE	20
Schritt 1 - Richtig anfangen: Identifizierung von Anknüpfungspunkten für BBNE	21
Schritt 2 - Selbstwirksamkeit schaffen: Eröffnung von Nachhaltigkeitsorientierten Perspektiven	21
Schritt 3 - Ganzheitlichkeit: Gestaltung transformativer Lernprozesse	22
Schritt 4 - Lernort Betrieb: Entwicklung nachhaltiger Lernorte	22
BBNE für Asphaltbauer*innen	23

Weiterführende Bildungs- und Unterstützungsangebote	25
Quellenverzeichnis	26
SDG 7: “Bezahlbare und saubere Energie”	26
Erneuerbare Energien	28
Photovoltaik	29
Solarwärme	31
Bioenergie	31
Erd- und Umgebungswärme	32
Beleuchtung	33
Rationelle Energienutzung und Energiesparen	34
Mobilität und Logistik	35
Geschäftsreisen	35
Fuhrpark für den motorisierten Individualverkehr	35
Nutzfahrzeuge: Elektrisch oder mit Brennstoffzellen?	38
Transport, Logistik, Produkte und Umweltschutz	39
Ferntransporte	40
Energiespeicherung	41
Quellenverzeichnis	42
SDG 8 „Menschenwürdige Arbeit“	45
Menschenwürdige Arbeit	47
Saisonarbeit	47
DGB Index Gute Arbeit	47
BDA - Die Arbeitgeber	49
Prekäre Beschäftigungsverhältnisse	49
Kinderarbeit	50
Arbeitsschutz, Gesundheit und Gute Arbeit	50
Gender Pay Gap	50
Deutsches Sorgfaltspflichtengesetz	51
Quellenverzeichnis	52
SDG 9: “Industrie, Innovation und Infrastruktur”	54
Umweltverträglichkeitsprüfung von Straßen	56
Boden und Flächeninanspruchnahme	56
Wasserdurchlässige Pflasterflächen	57

Natursteine	59
Nachhaltiger Zement	63
Betonstraßen	65
Asphalt	65
Warmasphalt	66
Substitution von Asphalt durch Altkunststoffe	66
Weitere Asphalt-Substitution	67
Lärmarmer Asphalt	68
Quellenverzeichnis	68
SDG 11: “Nachhaltige Städte und Gemeinden”	70
Nachhaltige Baustelle	71
Baumaschinen RAL-UZ 53	72
Quellenverzeichnis	72
SDG 12: “Nachhaltige/r Konsum und Produktion”	73
Ressourcenverbrauch	74
Baurestmassen	75
Verwertung von teerhaltigem Straßenaufbruch	76
Betonrecycling	77
Nachwachsende Bindemittel zu Substitution von Bitumen	79
Energiesparender Gussasphalt	81
Asphaltrecycling	82
Urban Mining	85
Ökologischer Vergleich von Oberbaukonstruktion von Verkehrsflächen	87
Quellenverzeichnis	88
SDG 13: “Maßnahmen zum Klimaschutz”	92
Beitrag des Bausektors zum Klimawandel	94
Emissionen von Treibhausgasen aus dem Asphaltbau.	94
Baumaschinen und schweren Nutzfahrzeuge	96
Digitalisierung und elektrische Baumaschinen	98
Praxisbeispiele	99
Schwere Nutzfahrzeuge	102
Praxisbeispiele	103
Quellenverzeichnis	105

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. Das Impulspapier ist spezifisch für einen Ausbildungsberuf erstellt, fasst aber teilweise spezifische Ausbildungsgänge zusammen (z.B. den Fachmann und die Fachfrau zusammen mit der Fachkraft sowie die verschiedenen Fachrichtungen);
2. BBBNE-Hintergrundmaterial (HGM): Betrachtung der SDGs unter einer wissenschaftlichen Perspektive der Nachhaltigkeit im Hinblick auf das Tätigkeitsprofil eines Ausbildungsberufes bzw. auf eine Gruppe von Ausbildungsberufen, die ein ähnliches Tätigkeitsprofil aufweisen;
3. BBNE-Foliensammlung (FS) und Handreichung (HR): Folien mit wichtigen Zielkonflikten – dargestellt mit Hilfe von Grafiken, Bildern und Smart Arts für das jeweilige Berufsbild, die Anlass zur Diskussion der spezifischen Herausforderungen der Nachhaltigkeit bieten. Das Material liegt auch als Handreichung (HR) mit der Folie und Notizen vor.

1.3 Berufliche Bildung für Nachhaltige Entwicklung

1.3.1 Die Standardberufsbildposition „Umweltschutz und Nachhaltigkeit“

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

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

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

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

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

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

1.3.2 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, der an alle Bürger*innen adressiert ist. Eine Entwicklung ist dann nachhaltig, wenn Menschen weltweit, gegenwärtig und in Zukunft würdig leben und ihre Bedürfnisse und Talente unter Berücksichtigung planetarer Grenzen entfalten können. ... BNE ermöglicht es allen Menschen, die Auswirkungen des eigenen Handelns auf die Welt zu verstehen und verantwortungsvolle, nachhaltige Entscheidungen zu treffen. (ebd.).

Grundlage für BNE ist heutzutage die Agenda 2030 mit ihren 17 SDG Sustainable Development Goals. Die 17 Ziele bilden den Kern der Agenda und fassen zusammen, in welchen Bereichen nachhaltige Entwicklung gestärkt und verankert werden muss (ebd.). Die Materialien der Projektagentur sollen Lehrkräften an Berufsschulen und Auszubildende dabei helfen, die Ideen der SDG in die Bildungspraxis einzubringen. Sie sind somit ein wichtiges Element insbesondere für das Ziel 4 "Hochwertige Bildung": "Bis 2030 sicherstellen, dass alle Lernenden die notwendigen Kenntnisse und Qualifikationen zur Förderung nachhaltiger Entwicklung erwerben, unter anderem durch Bildung für nachhaltige Entwicklung und nachhaltige Lebensweisen, ..." (ebd.).

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

1.3.3 Ausbildungsverträge

Für den Berichtszeitraum 2021 gab es im Ausbildungsberuf Asphaltbauer und Asphaltbauerin insgesamt 1 Ausbildungsvertrag. Gegenüber dem Vorjahr hat die Anzahl der Ausbildungsverträge damit um 50% abgenommen. Der Auszubildenden im Asphaltbau war eine männliche Person (ZDH 2021).

Für den Berichtszeitraum 2021 gab es im Ausbildungsberuf Straßenbauer und Straßenbauerin insgesamt 1.255 Ausbildungsverträge. Für das gesamte Bau- und Ausbaugewerbe entspricht dies einem Anteil von 4,7%. Gegenüber dem Vorjahr hat die Anzahl der Ausbildungsverträge damit um 4,7% zugenommen. Von den Auszubildenden im Straßenbau waren 1.241 männliche und 14 weibliche Personen (ZDH 2021).

1.4 Glossar

Folgende Abkürzungen werden in diesem Dokument verwendet:

- AO: Ausbildungsordnung
- CO₂-Äq: Kohlendioxid-Äquivalente
- CRF: Common reporting format (Systematik der Emissionsquellen)
- EBS: Ersatzbrennstoff
- Gew.-%: Gewichtsprozente
- HGM: Hintergrundmaterial (wissenschaftliches Begleitmaterial)
- IP: Impulspapier (didaktisches Begleitmaterial)
- kg: Kilogramm
- kWh: Kilowatt pro Stunde
- l: Liter
- Mg: Megagramm (Tonnen)
- N₂O: Distickstoffmonoxid, Lachgas

- NH₃: Ammoniak
- NO_x: Stickoxid
- NMVOC : Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan
- PM_{2,5}: Feinstaub Particulate matter mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 2,5 Mikrometer
- PM₁₀: Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 10 Mikrometer
- RLP: Rahmenlehrplan
- SBBP: Standardberufsbildposition
- SDG: Sustainable Development Goals
- THG: Treibhausgase bzw. CO₂-Äquivalente (CO₂-Äq)
- TJ: Terrajoule
- TSP: Schwebstaub umfasst alle luftgetragenen Partikel.
- WLTP: Worldwide Harmonized Light Duty Test Procedure
- ZK: Foliensammlung mit Beispielen für Zielkonflikte

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](http://BIBB/Reihen/Ausbildung_gestalten)
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022): Digitalisierung und Nachhaltigkeit – was müssen alle Auszubildenden lernen? Online: <https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/berufliche-bildung/rahmenbedingungen-und-gesetzliche-grundlagen/gestaltung-von-aus-und-fortbildungsordnungen/digitalisierung-und-nachhaltigkeit/digitalisierung-und-nachhaltigkeit>
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (o.J.): Was ist BNE? Online: <https://www.bne-portal.de/bne/de/einstieg/was-ist-bne/was-ist-bne.html>
- Bundesregierung (o.J.): Globale Nachhaltigkeitsstrategie – Nachhaltigkeitsziele verständlich erklärt. Online: www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltigkeitsziele-v-erstaendlich-erklaert-232174
- Destatis Statistisches Bundesamt (2022): Indikatoren der UN-Nachhaltigkeitsziele. Online: <http://sdg-indikatoren.de/>
- ZDH 2021 Zentralverband des deutschen Handwerks (2021): Neuverträge nach schulischer Vorbildung und Berufen. Zentralverband des Deutschen Handwerks e. V. (ZDH) Berlin. Online: https://www.zdh-statistik.de/application/stat_det.php?LID=1&ID=MDUwODU=&cID=00861

SDG 3: “Gesundheit und Wohlergehen”

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

SDG 3 zielt auf die Gewährleistung eines gesunden Lebens für alle Menschen und die Förderung des Wohlbefindens in jedem Alter ab. Dies ist für eine nachhaltige Entwicklung von wesentlicher Bedeutung. Neben SDG 3 gibt es weitere Nachhaltigkeitsziele, deren Fortschritte das gesamte Gesundheitsergebnis maßgeblich verbessern. Daher kann von "gesundheitsbezogenen Nachhaltigkeitszielen" gesprochen werden. So unterstützen beispielsweise Bildung (SDG 4) und die Gleichstellung der Geschlechter (SDG 5) eine verbesserte sexuelle und reproduktive Gesundheit, sauberes Wasser (SDG 6) reduziert Durchfallerkrankungen und saubere Energie (SDG 7) wiederum fördert die Gesundheit der Atemwege. Gesundheitliche Aspekte im beruflichen Alltag berühren insbesondere das SDG 8, Menschenwürdige Arbeit. Insbesondere das dortige Unterziel 8.8 *“Arbeitsrechte schützen und sichere Arbeitsumgebungen für alle Arbeitnehmer einschließlich [...] der Menschen in prekären Beschäftigungsverhältnissen, fördern”* steht in einem direkten Zusammenhang mit gesundheitlichen Risiken im Beruf.

Für die Bauberufe ist in besonderem Maße zu unterscheiden zwischen den gesundheitlichen Risiken, die während der beruflichen Herstellung von Bauwerken auftreten und denjenigen, welche erst nach der Fertigstellung, während der Nutzung der hergestellten Bauwerke, auftreten. Da es sich bei dem Straßenbau um relativ langlebige Bauwerke handelt, werden die gesundheitlichen Risiken durch den Straßenbau dem SDG 3 zugeordnet. Gleichwohl finden sich auch Anmerkungen zu gesundheitlichen Risiken während der beruflichen Herstellung von Bauwerken wie Straßen.

Für den Straßenbau von besonderer Relevanz ist das Unterziel:

- SDG 3.9: *“Bis 2030 die Zahl der Todesfälle und Erkrankungen aufgrund gefährlicher Chemikalien und der Verschmutzung und Verunreinigung von Luft, Wasser und Boden erheblich verringern”*

Die Schnittmenge für das SDG 3 ergibt sich aus den Nummern a und b der Standardberufsbildposition (BIBB 2020):

- 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*

Das vorliegende Kapitel umreißt zunächst die besonderen gesundheitlichen Risiken des Baugewerbes mit besonderer Berücksichtigung der auch im Straßen- und Asphaltbau ausgeprägten Nutzung von Dieselmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen, mobilen Maschinen und Geräten. Im weiteren wird näher auf die Bauchemie eingegangen und schließlich die damit verknüpften rechtlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz chemischer Stoffe skizziert.

Gesundheitliche Risiken im Straßen- und Asphaltbau

Mit Blick auf Arbeitsunfälle sind berufliche Tätigkeiten im Baugewerbe mit erheblichen gesundheitlichen Risiken verbunden. Besondere gesundheitliche Risiken im Baugewerbe ergeben sich durch den Einsatz von Maschinen und Fahrzeugen.

Im Jahr 2020 ereigneten sich ca. 18% aller meldepflichtigen und 41% aller tödlichen Arbeitsunfälle im Baugewerbe. Ortsfeste oder veränderliche Maschinen sowie Förder-, Transport- und Lagereinrichtungen sind für ca. 17% aller meldepflichtigen Arbeitsunfälle und sogar für ca. 22% aller tödlichen Arbeitsunfälle verantwortlich (DGUV 2021).

Bezüglich berufsbedingter Erkrankungen ist das Baugewerbe maßgeblich für die meisten jährlichen Fälle von berufsbedingten Krebserkrankungen verantwortlich, von denen wiederum ca. 10% direkt auf die Abgase von Dieselmotoren zurückzuführen sind. Arbeitsbedingte Krebserkrankungen sind Schätzungen zufolge die Ursache für ca. die Hälfte aller arbeitsbedingten Todesfälle in der EU (OSHA 2022). Die Beseitigung giftiger Abgasemissionen aus Dieselmotoren könnte die Luftqualität auf den Baustellen und in der Umgebung verbessern und damit das Arbeitsumfeld für die Bauarbeiter:innen erheblich verbessern (Wyatt 2022). Vgl. Kapitel Baumaschinen und schwere Nutzfahrzeuge zu SDG 13.

Zudem ist das Baugewerbe und der Straßen- und Asphaltbau aufgrund des ausgeprägten Einsatzes von leistungsstarken und damit geräuschintensiven Maschinen und Fahrzeugen, aber auch von Handgeräten, eine Hochrisikobranche für lärmbedingte Krankheiten (Wyatt 2022).

Spezifisch für den Asphalt ist der Einsatz bitumenhaltiger Asphalte. Diese werden üblicherweise bei Temperaturen von 120 bis 150 °C in Mischwerken hergestellt und auf Baustellen verarbeitet. Erhitzter Asphalt setzt allerdings Dämpfe und Aerosole frei, deren Toxikologie in den vergangenen Jahren zunehmend in Verruf geraten ist. Denn das enthaltene Bitumen steht im Verdacht krebserzeugend zu sein. Daher wurde die Expositionen von oxidierten Bitumina und deren Emissionen bei Dacharbeiten von der internationalen Krebsforschungsagentur IARC im Jahr 2013 in die Gruppe 2A der wahrscheinlich krebserzeugenden Stoffe eingestuft, während „Hartbitumina“ und deren Emissionen bei Gussasphaltarbeiten sowie „Straight-Run-Bitumina“ und deren

Emissionen der Gruppe 3 der möglicherweise krebserzeugenden Stoffe zugeordnet wurde (ASU 2020). Vgl. auch das Kapitel "Asphalt" zu SDG 9

Bauchemie

Als Bauchemie, oder auch Baustoffchemie genannt, wird allgemein die Chemie im Bauwesen verstanden. Neben der Pharmabranche ist die moderne Bauchemie noch vor der Elektronikindustrie der zweitgrößte Absatzmarkt der Chemieindustrie.

- Ein zentrales Gebiet der Bauchemie sind die chemischen Reaktionen bei der Zementhärtung im Beton (Hydratation als Teilgebiet der Zementchemie) und der Schutz vor Baustoffkorrosion, z.B. Rostschutz von Bewehrungsstahl im alkalischen Milieu des Betons.
- Ein weiteres Gebiet ist der Schutz vor Schäden an Baustoffen, wenn andere Stoffe auf sie einwirken, z.B. wenn saurer Regen auf mineralische Baustoffe, wie Beton, Putz oder Mörtel, einwirkt.
- Weitere Anwendungen bauchemischer Produkte sind die Verhinderung der sogenannten Betonkorrosion, umgangssprachlich auch Betonkrebs genannt, in Folge einer Alkali-Kieselsäure Reaktion. Dabei reagieren die Alkalien des Zementsteins und der Gesteinskörnung der Zuschlagstoffe mit alkalilöslicher Kieselsäure und es kommt zur lokalen Auflösung des Betons mit entsprechendem Verlust der Stabilität.
- Ferner stellt die Bauchemie Chemikalien in Form von Anstrichmitteln, Dichtungstoffen, Klebstoffen etc. zur Verfügung, mit denen Bauwerke geschützt, abgedichtet oder saniert werden können. Mit Hilfe von Epoxidharzen lassen sich beispielsweise Bauteile kraftschlüssig verbinden, mit Dichtungsmassen können Risse saniert werden.
- Weit bekannt ist auch die breite Produktpalette an Bauschäumen, die in der Regel auf Polyurethan (PU) basieren und als Dichtungsmasse bei der Montage von Fenstern und Türen üblich sind. Auch stellt die Bauchemie Produkte zur Beschichtung von Bauwerken bereit, mit deren Hilfe sich z.B. schmutz- oder wasserabweisende Putzbeschichtungen herstellen lassen.

Mit Hilfe chemischer Additive und Zusatzmittel können die chemischen und physikalischen Eigenschaften von Baustoffen verändert werden. Von besonderer Relevanz sind dabei Betonzusatzmittel wie Abbindebeschleuniger, Verflüssiger, Dichtungsmittel, Luftporenbildner oder Verzögerer (Reul 1991). Betonzusatzmittel haben sowohl das Anwendungsspektrum für Beton deutlich erweitert, als auch eine schnellere und sichere Verarbeitung mit einer höheren Wirtschaftlichkeit ermöglicht. Betonverflüssiger und Fließmittel sind die in der Praxis am häufigsten eingesetzte Betonzusatzmittel. Gemäß ihrer Anwendung lassen sich folgende bauchemische Produktgruppen unterscheiden (DBC 2022):

- Beton- und Mörtelzusatzmittel
- Modifizierte mineralische Mörtelsysteme für Boden, Wand und Decke
- Mineralische Dichtungsschlämme
- Verguss-, Montage- und Reparaturmörtel
- Bitumendickbeschichtungen
- Produkte für Schutz und Instandsetzen von Betonbauteilen Korrosionsschutz, Haftbrücken, Feinspachtel
- Produkte für Schutz und Instandsetzen von Betonbauteilen Grundierung, Hydrophobierung, Schutzanstriche
- Bodenbeschichtungen, Rissverpressmaterialien
- Betontrennmittel und Mischerschutz
- Spritzbare Baudichtstoffe

Insgesamt hat sich der Absatz von Bauchemieprodukten im Jahr 2021 deutlich gesteigert. Besondere Steigerungsraten ggü. 2020 lassen sich bei mineralischen Dichtungsschlämmen (+17%) sowie Beton- und Mörtelzusatzmittel (+5%) beobachten, während der Absatz von spritzbaren Baudichtstoffen (-4%) und von Verguß-, Montage und Reparaturmörtel (-2%) sowie von Bitumendickbeschichtungen (-2%) gesunken ist (DBC 2022).

Der nationale Herstellerumsatz im Jahr 2021 betrug alleine für die bauchemische Produktgruppe der Fliesenkleber, Fugen- und Spachtelmasse 1.049 Mio. Euro und hat damit ggü. dem Vorjahr um 7,8 % zugenommen (Branchenradar 2022).

Eine zentrale bauchemische Produktgruppe sind die Betonzusatzmittel. Ihr Absatz lag für Deutschland im Jahr 2020 bei ca. 225.000 t. Der Löwenanteil entfiel mit ca. 2/3 auf Fließmittel, gefolgt von Betonverflüssiger mit ca. 17%. Verzögerer, Beschleuniger und sonstige Betonzusatzmittel schlagen dagegen lediglich im einstelligen Prozentbereich zu Buche (DBC 2022).

Durch den Einsatz von Betonzusatzmittel lassen sich auch die THG-Emissionen, insbesondere bei der Herstellung von Zement und Beton, reduzieren. Mit Hilfe von Fließmittel lassen sich Wasser, Klinker und Bindemittel und somit bis zu 25% CO₂ pro m³ Beton einsparen. Erhärtungsbeschleuniger ermöglichen die Steuerung von Früh- und Endfestigkeit des Betons. Eine Verkürzung der Frühfestigkeit erlaubt wiederum eine Reduktion von Klinker und Bindemittel bei gleichzeitigem Erhalt der Ausschalfestigkeit.

Stabilisierer ermöglichen die Herstellung von Beton mit extrem reduzierten Bindemittelgehalten. Mit dem eingesparten Zement lassen sich CO₂-Reduktionswerte von bis zu 25 % erreichen (BFT 2021). Ein hohes CO₂ Reduktionspotential wird dem sogenannten Geopolymerbeton attestiert. Durch den vollständigen Ersatz von Zement und Klinkeranteilen durch Polyester- und Epoxidharze sowie Polyurethanen (Polymerbeton) und den Einsatz von industriellen Neben- und Abfallprodukten als Zuschlagstoffe lassen sich bis zur 70% CO₂ einsparen. Als Zuschlagstoffe kommen

Flugasche aus Kraftwerken, Hüttensand und Schlackensandmehl aus der Stahlindustrie sowie auch Silikatstaub oder Metakaolin aus der Glas- und Porzellanindustrie in Frage (BNB 2019, Motzet 2011).

Für Betonzusatzmittel hat die Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG Bau) ein Gefahrstoffinformationssystem (GISBAU) aufgebaut, das umfassende Gefahrstoff-Informationen zur Verfügung stellt sowie Ermittlungs-, Überwachungs- und Unterweisungspflichten gemäß Gefahrstoffverordnung enthält. Demnach werden Betonzusatzmittel in fünf Produktgruppen unterteilt. Angefangen von Produkten die kennzeichnungsfrei, über Produkte die kennzeichnungsfrei aber mit Gefahrenhinweis auszustatten sind, bis hin zu Produkten, die als reizend, ätzend oder krebserzeugend gekennzeichnet werden müssen (DBC 2016).

Typische bauchemische Stoffgruppen

Die moderne Bauchemie besteht in der Regel aus Vielkomponentensystemen mit einer Vielzahl unterschiedlicher Strukturen von nicht genau einzuschätzenden Stoffen der modernen Chemie. Diese Stoffe sind überwiegend organisch-chemischer Art und insbesondere in der Summe und Verbindungen untereinander kritisch zu bewerten. Die folgende Übersicht ist exemplarisch und stellt entlang bauchemischer Funktionen typische Stoffgruppen mit ihren Einsatzgebieten sowie deren Schadwirkungen dar (Quantz2014).

Weichmacher

Weichmacher werden in Kunststoffen eingesetzt, um aus relativ harten und spröden Kunststoffen weiche, form- und fließfähige, besser handhabbare und beständige Kunststoffe zu machen. Der Anteil von Weichmachern liegt zwischen 10 und 60 %. Stoffe mit Schadstoffwirkung in Weichmachern sind z.B. Phthalsäureester, Di-2-(ethylhexyl)-phthalat(DEHP), Di-n-Butylphthalat(DBP), Butylbenzylphthalat(BBP), Diethylphthalat, Phosphorsäureester, Adipinsäureester, Copolymerisate. DEHP findet sich im Baubereich in Weich-PVC von Fußböden, Latexfarben, Isolierungen, Kabelkanälen und Rohren. Toxikologisch bewirkt DEHP Störungen des Immunsystems, zentralnervöse Störungen, Störungen der männlichen Fruchtbarkeit und ist krebserzeugend gemäß Kategorie 4 (DFG).

Flammschutzmittel

Flammschutzmittel werden in brennbaren Baustoffen eingesetzt, um bei Bränden deren Entzündung zu verhindern oder zu verzögern. Im Baubereich finden sie sich in Textilien, Teppichen, Parkett- und Laminatbeschichtung, Kunststoffen, Holzwerkstoffen, Klebern und Anstrichen, elektrischen Geräten sowie in Montage- und PU-Schaum. In Flammschutzmitteln enthaltene Schadstoffe sind: Chlorierte Naphthaline, Paraffine und Phosphorsäureester, Polybromierte Biphenyle (PBP), Hexabromcyclododecan (HBCD), Hexabromdiphenylether (DECA), Butylbenzylphthalat (BBP), Aluminiumoxidhydrate

und Ammoniumphosphate. Insbesondere in HFKW freien Schäume finden sich bis zu 35% Flammschutzmittel. Chlorierte Phosphorsäureester sind nervenschädigend, haut- und augenreizend, krebserzeugend (Nierentumore) gemäß Kategorie 2-4 (MAK) und reichern sich in Organen und Gonaden an.

Stabilisatoren

Stabilisatoren werden metastabilen Stoffen zugesetzt, um deren unregelmäßige Zersetzung durch Sauerstoff, UV-Strahlung oder Temperatur zu verhindern oder zu verzögern. Im Baubereich finden sie sich in Kunststoffen (v.a. PVC), Klebern, Anstrichen und Montageschaum. Enthaltene Stoffe mit Schadstoffwirkung sind insbesondere: Zinnorganische Verbindungen (TBT, DBT, TBTO, TBTC), Organische Blei- und Cadmiumverbindungen (bis 2001 in der EU zugelassen), Benzotriazole, Benzophenon, Phenole, Calcium-Zink-Verbindungen und Aminverbindungen. Zinnorganische Verbindungen sind stark phytotoxisch und biozid, akut giftig bei Aufnahme, zelltoxisch und mutagen, haut- und augenreizend und schädigen das Immunsystem sowie die Entgiftungsorgane Nieren und Leber

Tenside und Phasenvermittler

Tenside werden wasserbasierten Systemen zugesetzt, um die Mischung mit dem organischen Kunststoff, org. Pigmenten usw. zu stabilisieren und die Oberflächenspannung herabzusetzen. Eingesetzt werden sie entsprechend in Dispersionsfarben, Dispersionskleber, -anstrichen, -Tiefgrund. Enthaltene Stoffe mit Schädigungen, Fettsäurealkylester, Polyalkohole und Glykole und deren Ether und Ester, Carbonsäureester oder Ether, Carboxylate und Sulfone. Glykole, Glykolester, Glykoether wie z.B.: Ethylenglykoether, Ethylenglykolacetat, 2-Phenoxyethanol (EGMP) finden sich bis zu 10 % in Wasserlacken und bis zu 40 % in anderen Produkten. Sie gasen sehr langsam von Oberflächen aus und sind n aus und sind embryotoxisch, mutagen, leber-, nieren- haut- und blutschädigend, reichern sich im Körper an und schädigen die Sexualorgane.

Pestizide und Konservierungsmittel

Pestiziden werden Baumaterialien und Baustoffen zugesetzt, um diese vor insektizidem Angriff oder mikrobiologischem Zerfall zu schützen. Sie finden sich in natürlichen Werkstoffen wie Wolle, Papier und Holz, in wasserbasierten Systemen wie Dispersionsfarben und -kleber. Sie können Schadstoffe wie Pyrethroide, Isothiazolone, Carbonsäureester oder Ether, Carboxylate und Formaldehyd enthalten. Pyrethroide finden sich in Teppichen und Teppichbelägen, Textilien, Tapeten und Holzschutzmitteln. Toxikologisch handelt es sich um ein Nervengift das Haut-, Atemwege und Schleimhaut reizt, Störungen des ZNS wie Schwindel und Taubheit sowie neuropsychologische Effekte hervorruft und hormonell, insektizid und biozid wirkt.

Monomere

Monomere sind die Grundbestandteile von vernetzenden chemischen Reaktionen, die bei nicht vollständig stöchiometrischer Umsetzung im Baustoff verbleiben. Zu finden sind sie in Kunststoffen (v.a. PVC), Kleber, Farben, Tiefgrund, Beschichtungen, Dichtungen und Schäumen. Enthaltene Schadstoffe sind Monochlorethen (Vinylchlorid), Phthalsäureanhydrid, Butanal, Butanol, Acrylatmonomere, höhere Aldehyde, Vinylacetat und organische Säuren wie Essig-, Butter- und Fettsäuren. Das Monomer Monochlorethen findet sich im PVC und PVA. Bei Verbrennung wird Salzsäure (Chlorwasserstoff) und Phosgen freigesetzt. Toxikologisch ist es krebserregend, potenz- und fruchtschädigend und schädigt die Leber, Milz, Lunge und kann psychosomatische Depressionen auslösen. Das Monomer Phthalsäureanhydrid, das in Alkyd- und Polyesterharzen von Lacken und Kunststoffen zu finden ist, reichert sich im Fettgewebe an, löst Allergien aus, reizt Haut und Schleimhaut sowie die Atemwege und wirkt MCS-sensibilisierend (Multiple Chemical Sensitivity).

REACH

Im Oktober 2020 hat die Europäische Kommission ihre „Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit – Für eine schadstofffreie Umwelt“ (EU-Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit 2020) vorgelegt. Die neue Chemikalienstrategie der Europäischen Kommission ist ein zentrales Element des „Europäischen Green Deal“, mit dem bis zum Jahr 2050 eine nachhaltige, klimaneutrale Kreislaufwirtschaft in der Europäischen Union erzielt werden soll. Im Zuge eines breit angelegten Aktionsplans soll europäisches Chemikalienrecht überprüft und weiter verschärft werden. Im Zeitraum zwischen 2021 und 2024 sollen eine Reihe von Legislativmaßnahmen zur Verschärfung der europäischen chemikalienrechtlichen Regelungen ergriffen werden. Neben umfangreichen Änderungen der REACH-Verordnung (EG 1907/2006) und der CLP-Verordnung (EG 1272/2008) wird die neue Chemikalienstrategie auch Auswirkungen auf die anstehende Überarbeitung der Bauproduktenverordnung (EG 305/2011) haben.

Insbesondere die Regelung der europäischen Chemikalienverordnung REACH (engl.: Regulation concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe, sind für die Bauchemie von besonderer Relevanz, denn sie verpflichtet Unternehmen dazu, auch für Stoffgemische Sicherheitsinformationen und Verwendungsbedingungen in Sicherheitsdatenblättern anzugeben. Die bereits im Jahr 2007 in Kraft getretene REACH-Verordnung gilt als eines der strengsten Chemikaliengesetze der Welt und beruht auf dem Grundsatz, dass Hersteller, Importeure und nachgeschaltete Anwender die Verantwortung für ihre Chemikalien übernehmen. Sie müssen sicherstellen, dass Chemikalien, die sie herstellen und in den Verkehr bringen, sicher verwendet werden. Die Hersteller und Importeure von Chemikalien

müssen durch eine obligatorische Registrierung Daten vorlegen und die von den Stoffen ausgehenden Risiken selbst bewerten. Zudem stärkt die REACH-Verordnung das Recht für Verbraucherinnen und Verbraucher, Informationen über Chemikalien in Produkten zu erhalten. Die Weitergabe von Daten innerhalb der Lieferkette ist geregelt und die Substitution besonders besorgniserregender Stoffe wird gefördert. Das Zulassungsverfahren schafft eine weitere Möglichkeit, Chemikalien zu regulieren (UBA o.J.c).

Kernstück der REACH-Verordnung ist die Registrierungspflicht für alle Stoffe, die als solche, in Gemischen oder in Erzeugnissen in Mengen von mehr als einer Tonne pro Jahr von einem Unternehmen hergestellt oder importiert werden. Stoffe dürfen nur dann in der Europäischen Union in den Verkehr gebracht werden, wenn sie bei der Europäischen Chemikalienagentur ECHA registriert wurden. Ein Stoff, der von einem Hersteller oder Importeur nicht registriert wurde, darf nicht hergestellt oder eingeführt werden. Soll ein registrierter Stoff in der EU in den Verkehr gebracht werden, sind für gefährliche Stoffe und Gemische sowie für persistente, bioakkumulierbare und toxische (PBT) Stoffe Sicherheitsdatenblätter zu erstellen. Außerdem sind sie zu erstellen für Stoffe, die auf der sogenannten Kandidatenliste stehen, sowie für Gemische, die selbst nicht als gefährlich eingestuft sind, aber einen gefährlichen Stoff in Konzentrationen oberhalb bestimmter Grenzwerte enthalten. Bei der Kandidatenliste handelt es sich um eine Auflistung besonders besorgniserregender Substanzen. Sie umfasst 224 Stoffe/Stoffgruppen, die nach der REACH-Verordnung als Stoff mit besonders gefährlichen Eigenschaften (sog. SVHC Stoffe - Substances of Very High Concern) identifiziert worden ist und schwerwiegende Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen oder auf die Umwelt haben kann. Die vollständige Liste ist auf der Internetseite der ECHA zu finden. Für SVHC-Stoffe gilt ein spezielles Genehmigungsverfahren. Sie sind zulassungsbeschränkt und dürfen nur noch mit Zulassung verwendet werden. Außerdem gelten für sie unmittelbare Informationspflichten innerhalb der Lieferkette. Darüber hinaus sind im Anhang XVII der REACH-Verordnung 65 Stoffe zu finden, von denen ein unangemessenes Risiko für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt ausgeht. Für diese Stoffe gibt es konkrete Verbote bzw. Beschränkungen bzgl. Herstellung, Inverkehrbringen und Verwendung. Beschränkungen gelten z.B. für Cadmium in Kunststoffen und Schmuck (Ziffer 23) und PAK (Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe) in Verbraucherprodukten (Ziffer 50).

In der REACH-Verordnung ist auch festgelegt, welche Angaben Sicherheitsdatenblätter enthalten und welche Anforderungen sie erfüllen müssen. Alle Sicherheitsdatenblätter müssen z.B. Angaben zur Kennzeichnung nach der CLP-Verordnung (EG 1272/2008) enthalten. Darüber hinaus enthält das Sicherheitsdatenblatt alle notwendigen Informationen bzgl. Gesundheitsrisiko, Umweltgefahr, Arbeitsschutz und Transport des Stoffes.

Verantwortlich dafür, dass das Sicherheitsdatenblatt aktuell, fachlich richtig und vollständig ist, ist der Inverkehrbringer des Produkts. Zu den Verantwortlichen, die ebenfalls ein Sicherheitsdatenblatt erstellen müssen, zählen auch diejenigen, die eine Chemikalie umfüllen oder umetikettieren. Die Lieferanten tragen die Verantwortung für den Inhalt, auch wenn sie es nicht selbst erstellt haben (mags NRW o.J.).

Mikroplastik

Der Beschränkungsvorschlag der ECHA enthält eine relativ komplexe und weitgehende Definition des Begriffes „Mikroplastik“, der viele polymerhaltige Materialien umfasst. Die vorgeschlagene Definition erfasst deshalb auch eine Reihe von Materialien, die Bestandteil bauchemischer Produkte sind. Nach Vorschlag der ECHA soll die Vermarktung von Produkten, die Mikroplastik enthalten, verboten werden sofern das enthaltene Mikroplastik bei bestimmungsgemäßer Anwendung in die Umwelt freigesetzt wird. Ausnahmen gelten für Produkte, die zwar in Lieferform Mikroplastik enthalten, das allerdings: entweder während der Verwendung dauerhaft in eine „Nicht-Mikroplastik-Form“ umgewandelt oder während der Verwendung dauerhaft in eine feste Matrix eingebunden wird. Produkte, auf die eine der beiden zuvor genannten Ausnahmen zutrifft, können weiter vertrieben und verwendet werden. Der Inverkehrbringer muss allerdings gewissen Kennzeichnungsvorschriften und einer jährlichen Meldepflicht gegenüber der ECHA nachkommen: Dabei muss der Inverkehrbringer jährlich bestimmte Daten über die Art und Menge des von ihm vertriebenen Mikroplastik-enthaltenden Produkts an die ECHA melden sowie im Sicherheitsdatenblatt und/oder auf dem Produktetikett Hinweise zur Verwendung anbringen. Mit den Hinweisen zur Verwendung soll sichergestellt werden, dass bei der Verwendung kein Mikroplastik in die Umwelt freigesetzt wird. Zu den bauchemischen Ausnahmen aufgrund dauerhafter Einbindung in einer festen Matrix zählen Polymerdispersionen als Bindemittel sowie Polymerfasern oder polymer-oberflächenbeschichtete Füllstoffen und Pigmenten in zementgebundenen Produkten (DBC 2019).

Quellenverzeichnis

- ASU (2020) Eberhard Nies (2020): Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung. In: ASU- Zeitschrift für medizinische Prävention. Ausgabe 02-2020. Alfons W. Gentner Verlag. Stuttgart 2020. Online: <https://www.asu-arbeitsmedizin.com/praxis/auf-gewundenen-strassen-zum-verbindlichen-arbeitsplatzgrenzwert-daempfe-und-aerosole-aus>
- BFT (2021) Deutsche Bauchemie e.V (2021): Zusatzmittel forcieren erhebliche CO₂-Reduktion bei Beton. BFT INTERNATIONAL Ausgabe 2021-10 Bauverlag BV GmbH Güterloh 2021. Online: https://www.bft-international.com/de/artikel/bft_Zusatzmittel_forcieren_erhebliche_CO2-Reduktion_bei_Beton_3690921.html

- BNB (2019) Beton und Naturstein Babelsberg: Geopolymerbeton. 13.09.2019 Potsdam. Online: <https://bnb-potsdam.de/geopolymerbeton-als-beitrag-zum-klimaschutz/#:~:text=Man%20spricht%20dann%20von%20Polymerbeton,nutzbar%20gemacht%20werden%20k%C3%B6nnen.>
- Branchenradar.com Marktanalyse (2022): Marktentwicklung Fliesenkleber, Fugen- & Spachtelmassen total in Deutschland | Herstellerumsatz in Mio. Euro. In: Branchenradar Fliesenkleber, Fugen- und Spachtelmassen in Deutschland 2022 Branchenradar.com Marktanalyse GmbH Wien 2022. Online (Exerpt): <https://www.boden-wand-decke.de/stabiles-wachstum-bei-fugenmoertel-spachtelmasse-co-266455/>
- DBC (2022) Deutsche Bauchemie e.V (2022): Jahresbericht 2021/2022 Frankfurt am Main Juni 2022. Online: https://deutsche-bauchemie.de/uploads/tx_ttproducts/datasheet/DBC_292-IB-D-2022.pdf
- DBC (2019) Deutsche Bauchemie e.V. (2019): Informationsschrift Mikropolitik Frankfurt am Main 02.12.2019. Online: https://deutsche-bauchemie.de/uploads/tx_ttproducts/datasheet/DBC_266-IS-D-2019_02.pdf
- DBC (2016) Deutsche Bauchemie e.V. (2016): 6. Sachstandsbericht Betonzusatzmittel und Umwelt 6. Ausgabe. Frankfurt am Main Dezember 2016 Online; https://deutsche-bauchemie.de/fileadmin/sites/public/dbc/publikationen/DBC_214_SB-D-2016.pdf
- DGUV (2021) DGUV-Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (Hrsg.) 2021): Statistik Arbeitsunfallgeschehen 2020. Berlin September 2021. Online: <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/4271>
- mags NRW (o.J.) Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen (o.J.): Registrierung (REACH). Düsseldorf. Online: [https://www.mags.nrw/chemikalien-reach#:~:text=Unter%20REACH%20wurden%20alle%20Stoffe,Europ%C3%A4ischen%20Chemikalienagentur%20\(ECHA\)%20registriert.](https://www.mags.nrw/chemikalien-reach#:~:text=Unter%20REACH%20wurden%20alle%20Stoffe,Europ%C3%A4ischen%20Chemikalienagentur%20(ECHA)%20registriert.)
- Motzet, Hubert Motzet (2011): Nachhaltigkeit in der Bauchemie Modetrend oder revolutionäre Veränderung? Fachgruppe Bauchemie in der GDCh AkzoNobel Bauklebstoffe. Tagung der Fachgruppe Lackchemie 26. – 28. September 2011 in Bremerhaven Online: https://www.gdch.de/fileadmin/downloads/Netzwerk_und_Strukturen/Fachgruppen/Bauchemie/Vortrag_Dr._Motzet_Sept2012.pdf
- Quantz, Dieter (2014): Baustoffe von heute Schadstoffe von Morgen. SBB-Seminar 10.04.2014. SBB Sonderabfallgesellschaft Brandenburg/Berlin. Potsdam. Online: <https://silo.tips/download/die-baustoffe-von-heute-schadstoffe-von-morgen>
- Reul, Horst (1991): Handbuch der Bauchemie. Augsburg 1991; ISBN 3-87846-143-7.
- UBA-Umweltbundesamt (o.J.) Chemikalien / REACH. Dessau-Roßlau. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/reach-chemikalien-reach>
- Wyatt, David (2022): Elektrofahrzeuge im Bauwesen 2022-2042: Ausblick für die Elektrifizierung von Offroad-Baufahrzeugen; Bagger, Lader, Mobilkrane, Teleskoplader. Marktakteure, Technologielandchaft und granulare 20-Jahres-Prognosen nach Regionen; China, USA, Europa und RoW. IDTechEx Cambridge, UK 2022. Online: <https://www.idtechex.com/en/research-report/electric-vehicles-in-construction-2022-2042/854>

SDG 4: “Hochwertige Bildung”

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

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

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

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

- e) *Vorschläge für nachhaltiges Handeln für den eigenen Arbeitsbereich entwickeln*
- f) *unter Einhaltung betrieblicher Regelungen im Sinne einer ökonomischen, ökologischen und sozial nachhaltigen Entwicklung zusammenarbeiten und adressatengerecht kommunizieren*

10 “Goldene Handlungsregeln” für eine BBNE

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

Schritt 1 - Richtig anfangen:

Identifizierung von Anknüpfungspunkten für BBNE

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

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

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

Schritt 2 - Selbstwirksamkeit schaffen:

Eröffnung von Nachhaltigkeitsorientierten Perspektiven

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

Im nächsten Schritt sind nachhaltigkeitsorientierte berufliche Perspektiven für die Auszubildenden zu eröffnen. Diese sollten an einer positiven Zukunftsvision und an Lösungen orientiert sein. Auszubildenden sind dabei die weitreichenden Wirkungen ihres Handelns vor Augen zu führen. Sie sollen verstehen können, warum ihr Handeln nicht folgenlos ist. Das bedeutet gleichzeitig, Auszubildenden die positiven Folgen eines nachhaltigen Handelns vor Augen zu führen. In diesem Zusammenhang ist die Selbstwirksamkeitserfahrung von großer Bedeutung. Sie ist eine der Voraussetzungen,

um motiviert zu handeln. Auszubildende dabei zu unterstützen, Alternativen zum nicht-nachhaltigen Handeln zu erkennen und Innovationen für eine nachhaltige Entwicklung zu entdecken, sollte dabei für Lehrpersonen selbstverständlich sein. Dabei ist immer die individuelle Motivation der Auszubildenden entscheidend, denn zum nachhaltigen Handeln braucht es nicht nur Wissen (Kopf), sondern auch authentisches Wollen (Herz). Wesentlich ist hierbei die Gestaltung ganzheitlicher Lernprozesse, die sowohl den kognitiven als auch den affektiven und psychomotorischen Bereich einbeziehen (vgl. Költze, S.206).

Schritt 3 - Ganzheitlichkeit: Gestaltung transformativer Lernprozesse

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

Aber wie können Lernsituationen in der Praxis so gestaltet werden, dass sie ganzheitlich aktivierend für die Auszubildenden sind? Es sollte ein lebendiges Lernen mit Hilfe kreativer, erfahrungsbasierter Methoden ermöglicht werden. Dies ist ein grundlegender (kein neuer) didaktischer Ansatz für die Förderung einer nachhaltigkeitsorientierten Handlungskompetenz. Im Kern bedeutet dies: Lernen mit Lebensweltbezug, welches ausgerichtet ist auf individuelle Lebensentwürfe und das eigene (auch künftige) berufliche Handlungsfeld, z.B. indem Recherchen im eigenen Unternehmen zu Möglichkeiten der Energieeinsparung durchgeführt werden. Lernen soll vor diesem Hintergrund vor allem unter Berücksichtigung der Sinne stattfinden, d. h. mit Körper und Geist erfahrbar sowie sinnlich-stimulierend sein. Die Auszubildenden sollen sich dabei zudem als Teil einer gestalterischen Erfahrungsgemeinschaft erleben. Dies kann durch gemeinsame Reflexionen über das eigene Verhalten und persönliche Erfahrungen gefördert werden, beispielsweise durch die Entwicklung und Verkostung eigener Lebensmittelkreationen unter Nachhaltigkeitsaspekten. Hierfür muss unbestritten immer auch der „Raum“ zur Verfügung stehen (siehe z.B. Hantke 2018 „Resonanzräume des Subpolitischen“ als wirtschaftsdidaktische Antwort auf ökonomisierte (wirtschafts-)betriebliche Lebenssituationen“). Ebenso können motivierende Beispiele helfen – wie z.B. Erfolgsgeschichten und inspirierende Vorbilder.

Schritt 4 - Lernort Betrieb: Entwicklung nachhaltiger Lernorte

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

Schließlich geht es im vierten Schritt darum, den Lernort in den Blick zu nehmen und diesen als nachhaltigen Lernort zu gestalten. Den gesamten Betrieb nachhaltig

auszurichten ist u. a. deshalb entscheidend, da andernfalls die an Nachhaltigkeit orientierten Inhalte der Ausbildung wenig glaubwürdig für Auszubildende sind. Der Betrieb als Institution sollte dafür an einem gemeinschaftlichen Leitbild ausgerichtet sein, welches neben den üblichen ökonomischen auch soziale und ökologische Ziele beinhaltet. So kann BBNE überzeugend in die Organisation integriert und vom betrieblichen Ausbildungspersonal umgesetzt werden.

BBNE für Straßen- und Asphaltbauer*innen

Die adressatengerechte Kommunikation von Vorschlägen zum nachhaltigen Handeln bespricht zentrale Aspekte, die zu einem Mehr an Nachhaltigkeit bei der Planung und der Durchführung von Asphaltarbeiten führen. Im Kern lassen sich dabei zwei verschiedene Zielgruppen unterscheiden. Zum einen sind es die mit der Planung und der Durchführung des Straßen- und Asphaltbaus beauftragten Unternehmen und deren Beschäftigte. Bei der kommunikativen Ansprache dieser Zielgruppe stehen die Verbreitung und die Anwendung von Wissen um nachhaltiges Handeln im Straßen- und Asphaltbau im Vordergrund.

Zum anderen ist es die vom Straßen- und Asphaltbau betroffene lokale Bevölkerung. Bei deren Ansprache steht die prozessbegleitende Kommunikation während der Planung, der Vorbereitung und der Durchführung von Asphaltarbeiten im Vordergrund. Die kommunikativen Ziele sind dabei insbesondere die Erhöhung der Transparenz und Akzeptanz der Bauarbeiten sowie die Minimierung der Belästigung durch eine angemessene Teilhabe und Mitgestaltung bei der Planung und der Ausführung der Asphaltarbeiten.

Bildung ist heute jedoch mehr als nur die Vermittlung von Wissen. Wissen ist allerdings eine notwendige, wenn auch noch nicht hinreichende Voraussetzung zum nachhaltigen Handeln. Vielmehr sollte das rationale Wissen über Nachhaltigkeit idealerweise zu einer ethischen Einstellung zur Nachhaltigkeit führen und dann in ein nachhaltiges Handeln münden.

Bildung ist aber auch die Kompetenz, Wissen artikulieren zu können oder die richtigen Fragen stellen zu können. Es ist die Kompetenz, zu erfassen, was der Adressat meint und welche Fragen er hat. Und auf diese Fragen sinnvolle und erklärende Antworten zu geben. Folgende Aspekte wären im (Aus)Bildungskontext zu behandeln bzw. zu diskutieren, um mögliche Antworten zu suchen:

- Die Bevölkerung verfügt über ein hohes Umweltbewusstsein, denn 65 % der Deutschen halten den Umwelt- und Klimaschutz für ein sehr wichtiges Thema - trotz Corona (Belz et al 2022). Besonders der Klimaschutz bleibt während der Pandemie für 70 Prozent weiterhin genauso wichtig, für 16 Prozent ist er sogar wichtiger geworden. Gut drei Viertel der Befragten sehen ausschließlich (14 Prozent) oder vor allem (63 Prozent) menschliches Handeln als Ursache für den Klimawandel an. Eine erfolgreiche Nachhaltigkeitskommunikation sollte daher

dieses bereits vorhandene Umweltbewusstsein nutzen und auf eine sinnstiftende Ansprache achten, um die intrinsischen Motivationslagen zu stärken.

- Der Zusammenhang zwischen dem Klimaschutz und dem Straßenverkehr und damit auch mit dem Bau asphaltierter Verkehrswege ist weitläufig bekannt. Die sogenannte Verkehrswende gehört zu den Kernbestandteilen einer umfassenden gesellschaftlichen, ökologischen und ökonomischen Transformation in Richtung Nachhaltigkeit. Sie umfasst ihrerseits eine Reihe von Ziele und Maßnahmen. Zu ihnen zählen u.a.:
 - die Reduktion des motorisierten Individualverkehrs durch den Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs
 - die Entkarbonisierung der Mobilität durch Förderung und Verbreitung fossilfreier Antriebe wie Elektromobilität und Wasserstoffantrieb
 - der verstärkte Einsatz biogener Kraftstoffe wie Biodiesel
 - die Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene.

Die Nachhaltigkeitskommunikation im Bereich Strassenbau sollte daher die obigen Aspekte beinhalten.

- Bei der Bauausführung ist es kommunikativ von erheblicher Relevanz, mit der lokalen Bevölkerung in Kommunikation zu treten. Die Akzeptanz von Baumaßnahmen lässt sich durch eine gelungene Kommunikation erheblich erhöhen und damit auch rechtliche Schritte von betroffenen Anwohnern vermeiden, was wiederum einen kostensenkenden Effekt für die gesamte Bauausführung hat. Die Kommunikation der mit dem Baustellenbetrieb verbundenen Beeinträchtigungen wie Lärm, Schmutz und Baustellenverkehr, aber auch Absperrungen, verkehrliche Umleitungen und Einschränkungen sollten daher bereits bei der Planung berücksichtigt werden und während der gesamten Bauphase prozessbegleitend fortgeführt werden.
- Zur Kommunikation gehört auch das öffentlich sichtbare Erscheinungsbild der Baustelle. Dazu zählen eine klare Abgrenzung der Baustelle, eine einsichtige Verkehrsbeschilderung und das Anbringen großformatiger Informationstafeln die Auskunft über die Art und insbesondere die Dauer der Baumaßnahmen aber auch über die Bauausführenden und die auftraggebenden Stellen geben sollten. Mit der öffentlich sichtbaren Nennung der namentlichen Verantwortlichkeiten für die unterschiedlichen Gewerke und Bauaufgaben sowie den spezifisch zuständigen Ansprechpartnern wird der lokalen Bevölkerung die Möglichkeit der Teilhabe angeboten. Dies erhöht wiederum die Akzeptanz der Baumaßnahme und der damit verbundenen Einschränkungen erheblich.
- Eine weitere kommunikative Maßnahme zur Akzeptanzerhöhung ist die öffentliche Verfolgbarkeit des Baufortschritts. Dies lässt sich bereits mit einfachen Maßnahmen wie das Einlassen oder Aussparen von Sichtfenstern im Bauzaun bewerkstelligen. Fortschrittlicher und insbesondere für größere Bauvorhaben von

längerer Dauer geeignet, ist eine begleitende Internetpräsenz, auf welcher der bisherige Baufortschritt und die folgenden Schritte der Baumaßnahme eingesehen werden können. Eine fortlaufende und kontinuierliche visuelle Übertragung der Baustellentätigkeiten mittels Kameras ist dabei eine besonders geeignete Kommunikationsmaßnahme, um die Transparenz der Bautätigkeiten und damit auch ihre Akzeptanz zu erhöhen. Ein solches kommunikatives Vorgehen beugt Konflikten vor und erhöht zudem die Kooperationsbereitschaft lokaler Anspruchsgruppen.

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. So gibt es z.B.

- Unternehmensverbände wie B.A.U.M e.V., <https://www.klima-allianz.de/>, 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 <https://www.umwelt-unternehmen.bremen.de/> oder die Transformationsberatung für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) der Klimaschutz- und Energieagentur in Niedersachsen genannt <https://www.klimaschutz-niedersachsen.de/zielgruppen/unternehmen/niedersachsen-allianz-fuer-nachhaltigkeit.php>, 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 <https://www.ihk.de/berlin/nachhaltige-wirtschaft/massnahmen/>.
- Konkrete kostenpflichtige Beratungsangebote zur Begleitung von KMUs in Richtung Nachhaltigkeit gibt es z.B. von ÖKOPROFIT <https://www.oekoprofit.info/> oder auch staatlich unterstützt wie in NRW mit der Transformationsberatung für KMU <https://greendealnrw.de/transmutationsberatung>.
- Leitfäden und Broschüren helfen Unternehmen dabei, Strategien und Maßnahmen auf dem Weg hin zur Nachhaltigkeit zu entwickeln

https://www.renn-netzwerk.de/fileadmin/user_upload/nord/docs/materialien/S DG_KMU_Leitfaden_Okt2018.pdf.

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

- 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
- 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>
- 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>

SDG 7: “Bezahlbare und saubere Energie”

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

Das SDG 7, beinhaltet soziale und ökologische Anforderungen an den Klimaschutz, die sich aus der Erzeugung und der Nutzung von Energie ergeben. Für den Straßenbau sind daher vor allem drei Unterziele wichtig (Destatis 2022):

- **SDG 7.1:** *“Bis 2030 den allgemeinen Zugang zu bezahlbaren, verlässlichen und modernen Energiedienstleistungen sichern.”*

- **SDG 7.2:** *“Bis 2030 den Anteil erneuerbarer Energie am globalen Energiemix deutlich erhöhen.”*
- **SDG 7.3:** *“Bis 2030 die weltweite Steigerungsrate der Energieeffizienz verdoppeln.”*

Beim SDG 7 *“Bezahlbare und saubere Energie”* geht es im wesentlichen um den *“allgemeinen Zugang zu bezahlbaren, verlässlichen und modernen Energiedienstleistungen”* sowie darum den *“Anteil erneuerbarer Energie zu erhöhen”* (Destatis 2022), da ökologische und das Klima schützende Anforderungen schon durch andere SDGs (insbesondere 13, 14 und 15) abgedeckt werden.

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

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

Die Schnittmenge für das SDG 7 ergibt sich aus den Nummern a und b der Standardberufsbildposition (BIBB 2020):

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

Dieses Kapitel beschreibt die Grundlagen einer nachhaltigen Energiewende. Aufgezeigt werden die verschiedenen regenerativen Energieträger und die technischen Möglichkeiten der Erzeugung regenerativer Energie, deren stationären und mobilen Einsatzmöglichkeiten sowie Hinweise zur rationellen Energieverwendung. Ferner wird auf einige für die Bauwirtschaft relevante Aspekte zur energiebedingten Rohstoffgewinnung hingewiesen.

Die menschliche Entwicklung ist weltweit auf Energie angewiesen. Bisher wurde die Energie vor allem aus fossilen Energieträgern erzeugt, bei deren Verbrennung Treibhausgase in die Atmosphäre freigesetzt werden und dort den Klimawandel bewirken. Um weiteren erheblichen Schäden des Klimawandels mit enormer Zerstörungen und Kosten in weiten Teilen der Welt entgegenzuwirken, ist die Decarbonisierung der Wirtschaft und insbesondere des Energiesystems zwingend notwendig für das Überleben auf diesem Planeten.

Insgesamt belief sich die Energieverwendung im Baugewerbe im Jahr 2018 auf ca. 200.00 TJ. Mit fast der Hälfte davon war Diesel der überwiegend eingesetzte Energieträger. Es folgen mit gut einem Viertel sonstige Mineralölprodukte. Elektrischer Strom und Gase wurden zu je 7% eingesetzt; leichtes Heizöl zu 4,8 % und Ottokraftstoffe zu 2,4 %. Nur ein geringer Anteil von 2,4 Prozent wird aus erneuerbaren Energien in Form von Biokraftstoffen genutzt (UBA 2022b, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie 2022).

Erneuerbare Energien

Die einfachste Maßnahme zum Umstieg auf erneuerbare Energien ist der Bezug von Ökostrom. Die Produktion erfolgt dabei in der Regel aus Wind, Sonne, Biomasse und Wasserkraft. Im ersten Halbjahr 2022 lag der Anteil der Erneuerbaren bei 51,6%. Da die Stromproduktion aus verschiedenen Quellen schwankend ist, zeigt erst die Jahresendbilanz, wie die Verteilung sein wird. In 2021 stammten 23% der gesamten Stromproduktion aus Windkraft, 9,8% aus der Fotovoltaik, 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).

Wichtig sind hinsichtlich des Ziel "bezahlbarer Energie" vor allem die Kosten von Strom und Wärme. Die Stromgestehungskosten waren in 2021 wie folgt (ISE 2021, gerundet): Dachkleinanlagen 6-11 Cent/kWh, große Dachanlagen 5-10 Cent/kWh, Freiflächenanlagen 3-6 Cent. Die Stromgestehungskosten fossiler Stromerzeugung liegen aktuell zwischen 4 und 15 Cent/kWh. Diese werden jedoch, im Gegensatz zur erneuerbaren Stromerzeugung, aufgrund steigender CO₂-Preise zukünftig steigen. Für Braunkohle wurde für das Jahr 2040 ein Stromgestehungspreis von mehr als 20 Cent/kWh prognostiziert (ISE 2021). Allerdings sind diese Vergleiche vor dem Hintergrund des Krieges von Russland gegen die Ukraine hinfällig geworden, da die Untersuchung 2021 mit einem funktionierenden und ausgeglichenen Markt von Angebot und Nachfrage erfolgte.

Im Folgenden wird eine Übersicht über die wichtigsten Technologien zur Nutzung der Erneuerbaren Energien gegeben:

- **Solarenergie:** Solarenergie mit Hilfe von Photovoltaik ist mit gut 21% der EE-Stromproduktion (Stromreport 2022) seit 2007 stark ausgebaut worden und damit die jüngste breit genutzte erneuerbare 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.
- **Solarthermie:** Es stehen jährlich 1.050 kWh/m² Solarstrahlung für die Umwandlung von Sonnenenergie in Wärme zur freien Verfügung. Hiermit lassen sich Strom sowie Wärme für Heizung und Warmwasser erzeugen. In Deutschland

wird Solarthermie dennoch nur in weniger als 10% (co2online 2021) der Heizanlagen für Häuser und Wohnungen genutzt.

- **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 und dem damit verbundenen Gaslieferstopp Rußlands, sowie seit den deutlichen Auswirkungen der Klimakrise (Waldbrände, Flut), werden wieder höhere Ausbauziele der Windenergie genannt.
- **Wärmeerzeugung:** Zur Wärmeerzeugung können Bioenergie (insbesondere Festbrennstoffe wie Holz) sowie die Umgebungs- bzw. bodennahe Erdwärme eingesetzt werden. Wie bei der Stromerzeugung aus Wasserkraft gibt es für die Verbrennung von Biomasse kein Wachstumspotenzial mehr, sondern muss auf "ein naturverträgliches Maß begrenzt" werden (UBA 2021b). Im Gegensatz dazu setzt die Bundesregierung auf den Ausbau der Nutzung von Umgebungswärme, wozu auch die bodennahe Erdwärme gehört (Tagesschau 2022).

Photovoltaik

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 kristallinem Silizium:** Solarzellen aus kristallinem Silizium werden mit über 90% am häufigsten verbaut. Als Ausgangsmaterial für ihre Herstellung dient Siliziumdioxid (SiO_2), das als Quarzsand oder Quarzkristall abgebaut wird. Aus SiO_2 wird in einem mehrstufigen und sehr energieaufwendigen Verfahren hochreines polykristallines Silizium (poly-Si) mit einer Reinheit von 99,9999% 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 ihrer Herstellung.

Hauptsächlich gibt es zwei Arten für 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).
- **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 Holzsnitzel- 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 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 (Eigen Sonne o.J.). Zudem gibt es eine Flächenkonkurrenz - anstelle von Energiepflanzen könnten auch Feldfrüchte oder Getreide angebaut werden - im Sinne des SDG 1 "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 Glühbirne 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 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 und haben einen hohen Leistungsfaktor (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, Fernseher 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 und Logistik

Im Rahmen der Verkehrs- und Mobilitätswende spielt u.a die Dekarbonisierung der Antriebe eine zentrale Rolle. In Deutschland entfielen 2021 rund 27,1% des

Endenergieverbrauchs auf den Verkehrssektor (UBA; 2022 a). Zudem entstehen in diesem Sektor Treibhausgasemissionen in Höhe von rund 14,9 Mio. t CO₂-Äquivalent und somit fast 20% aller CO₂-Emissionen in Deutschland. Der Verkehrssektor trägt damit zu einem großen Teil zum Klimawandel bei.

In den Unternehmen wird es daher zunehmend wichtig, bei der Wahl der Verkehrs- und Transportmittel auf deren Verbräuche und Emissionen zu achten. Dies betrifft sowohl den Bereich Transport und Logistik, wie auch den Individualverkehr (z. B. Weg zur Arbeit) und Geschäftsreisen.

Geschäftsreisen

Alternative Verkehrsmittel im Individualverkehr und bei Geschäftsreisen (Bus und Bahn statt Auto oder Flugzeug) führen ebenso zur Entlastung der Umwelt wie die Wahl alternativer Transportträger in der Logistik (Bahn und Schiff statt LKW mit Verbrennungsmotoren oder Flugzeugen).

Bei Geschäftsreisen besteht vielfach die Wahl zwischen Bahn und Pkw-Nutzung. 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 (atmosfair, o.J.). Bei einem Hin- und Rückflug von Berlin nach Shanghai entstehen ca. 4.800 kg CO₂-Emissionen. Diese können durch 111 € Ausgleichszahlung kompensiert werden.

Fuhrpark für den motorisierten Individualverkehr

Der motorisierte Individualverkehr (MIV) wird mit PKW 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 2022). 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 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. Schon heute verursacht ein Elektrofahrzeug der Kompaktklasse über den gesamten Lebensweg bis zu 30 % weniger Treibhausgase als ein vergleichbares Benzin- oder Dieselfahrzeug (Bundesregierung o. J.b). Beispielsweise verbraucht ein Midi-SUV, wie der Hyundai Kona, elektrisch ca. 14 kWh elektrische Energie und emittiert ca. 64 g CO₂-Äq pro km (eigenes Fahrzeug des Autors). Der vergleichbare Benziner verbraucht etwas mehr als 6 Liter Benzin pro 100 km und emittiert 141 g CO₂-Äq pro km. Der Diesel-Kona verbraucht knapp 5 Liter Diesel und emittiert 127 g CO₂-Äq pro km.
- **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. Das Umweltbundesamt hält den Einsatz von Wasserstoff im Straßenverkehr nur in den Bereichen für sinnvoll, "in denen eine direkte Nutzung von erneuerbarem Strom nicht möglich ist", etwa aufgrund eines hohen Energiebedarfs oder großer Reichweiten, wie beispielsweise im Seeverkehr, im internationalen Flugverkehr oder unter bestimmten Umständen im Straßengüterfernverkehr (Umweltbundesamt 2022h).
- **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. Das Problem der biogenen Kraftstoffe zeigte sich schon Anfang der 2000er-Jahre, als Raps zur Erzeugung

von Biodiesel angebaut wurde. Zentral ist der Zielkonflikt zwischen Ernährung und Mobilität: Auf einer Ackerfläche können nur Nahrungsmittel oder Treibstoffe angebaut werden – für beides reicht der Platz nicht (Deutschlandfunk 2012). Wie sich die biogenen Treibstoffe für den Verkehrssektor entwickeln werden und ob sie eine Zukunft haben, ist politisch auch 10 Jahre später noch nicht entschieden (vgl. Deutscher Bundestag 2022). Inzwischen steht auch die Nutzung von Alkohol im E95-Benzin (5% Anteil nachwachsende Treibstoffe) auf dem Prüfstand. Das Bundesumweltministerium und das Landwirtschaftsministerium beabsichtigen, Biokraftstoffe zu verbieten und arbeiten seit 2022 an einem Gesetzentwurf (autobild 2023, Tagesschau 2023). Die Ministerien argumentieren hierbei mit der essentiellen Nutzung von Getreide für die Ernährung, so dass der Verkehrssektor ab 2030 nicht mehr in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion steht. Biokraftstoffe aus Palmöl (Biodiesel) werden seit Anfang 2023 zudem nicht mehr gefördert. Dies wird damit begründet, dass Palmöl in Ostasien vor allem in Plantagen und durch Rodung von Urwäldern und Trockenlegung von Mooren gewonnen wurde. Dies führte zu erheblichen Treibhausgasemissionen, da die Naturflächen diese über Jahrzehnte emittieren (vgl. National Geographic / Voss 2022)

- **Synthetische Kraftstoffe:** Diese werden durch chemische Verfahren hergestellt. Bei ihnen wird nicht Mineralöl als Rohstoffquelle genutzt, sondern andere Energieträger (Umweltbundesamt 2022i). Bei den sogenannten E-Fuels wird zur Herstellung Strom eingesetzt, mit dem Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten wird. In einem Folgeschritt kann der gewonnene Wasserstoff in Verbindung mit anderen Komponenten – hier vor allem Kohlenstoffdioxid – zu sogenannten Power-to-X-Kraftstoffen verarbeitet werden (entweder in Form von Gas als Power-to-Gas (=PtG) oder in Form von flüssigen Kraftstoffen als Power to Liquid (=PtL). PtL-Kraftstoffe können wie Benzin oder Diesel in Verbrennungsmotoren eingesetzt werden. Das Umweltbundesamt sieht den Einsatz dieser Kraftstoff nur dort als sinnvoll an, wo Strom nicht direkt als Antrieb genutzt werden kann, etwa im Flugverkehr (Umweltbundesamt 2022 j).
- <https://www.umweltbundesamt.de/themen/power-to-liquids-nachhaltige-kraftstoffe-fuer-den>

Nutzfahrzeuge: Elektrisch oder mit Brennstoffzellen?

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

batteriebetriebene Konzepte sind, kommen im Bereich der Nutzfahrzeuge möglicherweise neben Batterie-angetriebenen Fahrzeugen auch Brennstoffzellen in Betracht. Wie sich dies entwickeln wird, ist noch nicht klar.

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

Alternativ zum E-LKW gibt es viele Hersteller von Nutzfahrzeugen mit Brennstoffzellen. Um bis zum Jahr 2025 bei schweren Nutzfahrzeugen 15 Prozent CO₂-Emissionen und bis 2030 sogar 30 Prozent einzusparen, erscheint die Brennstoffzellentechnologie daher besonders vielversprechend. Denn einerseits sind konventionelle Lkw-Antriebsstränge mit 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/VDI 2020).

Transport, Logistik, Produkte und Umweltschutz

Im Zuge der Globalisierung erfolgt ein weltweit wachsender Gütertausch. Dadurch werden Zulieferketten länger und der Güterverkehr-Sektor hat einen immensen Einfluss auf das Klima. Logistik und Transport verursachen gemäß WEF-Studien derzeit mehr als 5,5 Prozent aller CO₂-Emissionen weltweit, Tendenz steigend (Fraunhofer IML o.J.).

“Auch der Anteil der Logistik an den Emissionen des Lebenszyklus von Produkten ist mit 5-15% nicht vernachlässigbar und bietet folglich hohes Potential. Dies betrifft Beschaffungswege für Rohstoffe und Komponenten. Auch in der Distribution von Fertigwaren zum Kunden lassen sich Klimaschutz-Potenziale heben” (ebd.).

Betriebe als Einkäufer haben bei der Wahl der Transportmittel für ihre Rohstoffe, Materialien und Produkte unmittelbaren Einfluss auf die Treibhausgasemissionen, wie folgende Tabelle belegt (EcoTransIT o.J , UBA 2021, FIS 2012, carboncare o.J):

Transportmittel	Gramm je Tonnenkilometer
Frachtschiff	17
LKW	68-113
Binnenschiff	30
Güterzug	17-32

Ferntransporte

Die Mobilität ist für einen wesentlichen Teil des Klimawandels verantwortlich – in Deutschland verantwortet die Mobilität rund 20% der Emissionen (UBA 2022h). Der Anstieg der Emissionen kommt vor allem durch die höheren Verkehrsleistungen, die Emissionseinsparungen durch mehr Dieselfahrzeuge, Elektromobilität und effizientere LKW-Motoren zustande. Mobilität für den globalen Handel und die Industrie ist aber unvermeidbar in allen Branchen, die beliefert werden und auch liefern.

In der Diskussion stehen vor allem Ferntransporte aus anderen Kontinenten, aber auch der LKW-Verkehr innerhalb Europas. Doch wie verhält es sich mit dem Distributionsverkehr – also der Auslieferung an Zwischenhändler. Und wie mit dem Endkundenverkehr? Im Folgenden zeigt eine Modellierung die Relationen von transkontinentalen und nationalen Verkehr. Hierzu kann man ein beliebiges Produkt betrachten, das z.B. aus Kalifornien per Schiff geliefert werden (eigene Berechnung mit carboncare o.J. und NABU o.J.):

- Um 22 Millionen Mandelplätzchen herzustellen, werden 20 t Ware benötigt, die aus Kalifornien per Schiff importiert werden. Berechnet man nun die Strecke von 12.400 km von San-Franzisko nach Hamburg mit einem 20 Fuß Container, der mit der Ware gefüllt ist und 25 t wiegt, so ergibt sich mit 375 g/km Emissionen insgesamt ein Ausstoß von rund 2 t CO₂-Äq für den gesamten Transport von San-Francisco nach Hamburg-Hafen.
- Die Emissionen, die bei der Verteilung innerhalb Deutschlands in die verschiedenen Städte anfallen, sind dabei höher: Ein LKW hat THG-Emissionen von 68 g CO₂-Äq pro Tonnenkilometer. Verteilt man die Ware je 1.000 kg an Großlageristen einmal rund um Deutschland, so fährt der LKW eine Gesamtstrecke von 3.700 km und beliefert 20 Großhändler. Unter Berücksichtigung geringer werdender Emissionen aufgrund des geringeren Ladegewichts kommt man auf Gesamtemissionen von ca. 17 t CO₂-Äq (NABU o.J).
- Nimmt man an, dass Kunden je 50 kg Ware abnehmen und hierfür 50 km mit einem Kleintransporter fahren, so erhält man eine Strecke von 20.000 km für den gewerblichen Einkauf. Die THG-Emissionen belaufen sich ca. 190 g CO₂-Äq pro km (Diesel, 150 PS, car-wiki o.J.). Der gewerbliche Einkaufsverkehr führt sich zu weiteren 3,8 t CO₂-Äq.

Die Modellierung zeigt, dass nicht der internationale Transport das primäre Problem ist, sondern der Schwerlastverkehr und noch mehr der individuelle Verkehr.

Energiespeicherung

Eine zentrale Herausforderung bei der Nutzung erneuerbarer Energien ist ihre Fluktuation, denn Solarstrahlung steht nachts nicht zur Verfügung und auch der Wind

weht nicht kontinuierlich. Eine ausgeglichene Balance von Stromerzeugung und Stromnachfrage ist aber unabdingbar für die Versorgungssicherheit sowie die Netzstabilität. Um eine gleichmäßige Frequenz im Stromnetz aufrechtzuerhalten, müssen Erzeugung und Nutzung aufeinander abgestimmt werden. Andernfalls muss die Differenz und mögliche Frequenzschwankungen durch die sogenannte Regelenergie ausgeglichen werden. Möglichkeiten dazu sind:

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

Die Abschaltung ist aber 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.).

Umweltschutz und Rohstoffe

Ohne Frage führt die Nutzung fossiler Energieträger aufgrund des verursachten Klimawandels aber auch der Atomkraft aufgrund der ungelösten Endlagerfrage zu wesentlich größeren Problemen als die Nutzung erneuerbarer Energieträger. Beispielhaft sollen einige wichtige Themen kurz vorgestellt werden.

Fracking

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

Feinstaub

Bis Ende des letzten Jahrhunderts waren Smog und saurer Regen mit ihren gesundheitlichen Folgen (Atemwegserkrankungen) bzw. Umweltfolgen (Baumsterben und Versauerung von Gewässern) eine offensichtliche Wirkung der Nutzung fossiler Brennstoffe. Durch Rußfilter, Verwendung schwefelarmer Brennstoffe und der Entschwefelung von Rauchgasen wurden diese Probleme in der EU weitgehend gelöst. Geblieben sind Gesundheitsfolgen durch Feinstaub und Stickoxiden, denen mit neuen Filteranlagen, Katalysatoren, AdBlue und strengen Abgasnormen begegnet wird. Seit 1995 haben sich die als besonders gefährlich geltenden Feinstaubemissionen fast halbiert, von ca. 345.000 t auf 180.000 t (Statista 2022). Eine wirksame Alternative gegen Feinstaub ist vor allem der Umstieg auf E-Mobilität, da diese in Elektromotoren nicht

entstehen. Allerdings gibt es eine neue konterkarierende Entwicklung: Es werden immer mehr Kaminöfen in Betrieb genommen: Mehr als 11 Millionen (tagesschau 2022). Das Umweltbundesamt sieht diesen Trend sehr kritisch (ebd.): “Die Kaminöfen, die sich immer stärkerer Beliebtheit erfreuen, belasten die Luftqualität beachtlich ...Die Feinstaubemissionen aus der Holzverbrennung übersteigen in Deutschland die Auspuff Emissionen von Lkw und Pkw bei weitem”.

Flächenkonkurrenz

Flächenkonkurrenz gibt es grundsätzlich für alle Einrichtungen und Aktivitäten. Wo ein Auto parkt, kann kein Fahrrad stehen, wo eine Schule gebaut wird, finden keine Wohngebäude mehr Platz. Bei fossilen Energien ist die im Tagebau gewonnene Braunkohle das offensichtliche Beispiel für Flächenverbrauch und damit Konkurrenz für andere Nutzungen über Jahrzehnte hinweg. Erneuerbare Energien haben eine geringere Energiedichte als (abgebaute) fossile Brennstoffe. Es wird mehr Fläche benötigt, um (pro Jahr) eine bestimmte Menge an Energie zu gewinnen. Deshalb muss beim Umstieg auf die Erneuerbaren besonders auf eine Minimierung des Flächenverbrauchs geachtet werden. Dies geschieht insbesondere durch Doppelnutzung von Flächen, wo immer dies möglich ist (z.B. Solaranlagen auf Hausdächern) und durch die Nutzung biogener Abfallstoffe (Gülle, Mist, Pflanzenreste) zur Biogasgewinnung, die nicht extra angebaut werden müssen. Innerhalb der Erneuerbaren Energien ist Bioenergie besonders flächenintensiv. Ihr Energieertrag liegt zwischen 1,5 und 7 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr [$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2/\text{a}$]. Für andere Erneuerbare liegen die Werte z.B. für die bodennahe Geothermie bei 30 - 40 und für Solarwärme bei 100 bis 230 $\text{kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2/\text{a}$ (Dumke, 2017). Fotovoltaik liegt mit der Energiedichte in der Nähe von Solarwärme, für Wind ist der Wert noch höher. Hier hängt die Angabe aber davon ab, wie der “Flächenverbrauch” definiert wird. Die Fläche wird zwar bis auf wenige Meter um die Anlage nicht verbraucht, kommt aber bspw. für Wohnnutzung in einem wesentlich größeren Bereich nicht mehr infrage.

Rohstoffe für Akkus

Für den Umstieg auf EE werden allgemein Speichermedien benötigt. Im Strombereich sind dies z.B. Akkus für E-Autos. 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 et al. 2020).

Folgen für Ökologie und Gesundheit der Energienutzung

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 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.

Quellenverzeichnis

- atmosfair gGmbH (o.J.): Flüge kompensieren. Online: <https://www.atmosfair.de/de/kompensieren/flug/>
- autobild (2023): Grüne Umweltministerin will Biosprit verbieten. Online: <https://www.autobild.de/artikel/biokraftstoffe-biosprit-rapsdiesel-oekodiesel-efuels-e10-umweltschutz-22478915.html>
- bfp (2022): Online: Der Nutzfahrzeugbereich wird hydrogen. www.fuhrpark.de/der-nutzfahrzeugbereich-wird-hydrogen
- Blauer Engel – Gut für mich. Gut für die Umwelt. Online: <https://www.blauer-engel.de/de/blauer-engel/unser-zeichen-fuer-die-umwelt>
- 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 o.J.b: Klimaschonender Verkehr. Online: www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschonender-verkehr-1794672
- Carboncare-Rechner (o.J.): CO₂Äq/a für internationale Transporte: Online: <https://www.carboncare.org/co2-emissions-rechner>
- 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 (2022): 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>
- Deutscher Bundestag (2022): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion der CDU/CSU – Drucksache 20/1203 – Markthochlauf synthetischer Kraftstoffe für den Verkehrssektor. Online: dserver.bundestag.de/btd/20/015/2001563.pdf

- Deutschlandfunk (2019): Kehrseite der Energiewende. Online: <https://www.deutschlandfunk.de/lithium-abbau-in-suedamerika-kehrseite-der-energiewende-100.html>
- Dumke (2017): Erneuerbare Energien für Regionen – Flächenbedarfe und Flächenkonkurrenzen. Online: repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/8290
- 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/>
- energieexperten (o.J.): Ratgeber: Kennwerte für den Stromverbrauch von Beleuchtungen. Online: <https://www.energie-experten.org/energie-sparen/energieverbrauch/stromverbrauch-berechnen/stromverbrauch-beleuchtung>
- 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>
- FIS Forschungs- und Informationssystem (2012 – Stand des Wissens 2021): Umwelt- und Klimabelastung der Seeschifffahrt im modalen Vergleich. Online: www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/334495/
- Fraunhofer IML, o.J.: Klimaschutz in Logistik und Verkehr. Online: https://www.iml.fraunhofer.de/de/abteilungen/b3/umwelt_ressourcenlogistik/dienstleistungen/umwelt_und_ressourcen/klimaschutz.html
- GRS Batterieforum (o.J.): Lexikon. Online <https://www.batterieforum-deutschland.de/infoportal/lexikon/redox-flow-batterien/>
- 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/>
- NABU – (o.J.): Mythos klimafreundliche Containerschiffe. Online: www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/verkehr/schifffahrt/containerschifffahrt/16646.html
- National Geographic; Voss, Jens (2022): Sollte Biokraftstoff verboten werden? Online: www.nationalgeographic.de/umwelt/2022/07/sollte-biokraftstoff-verboten-werden
- Ökostromanbieter (o.J.): Ökostrom Zertifizierung. Online: <https://www.oekostrom-anbieter.info/oekostrom-zertifizierung.html>

- Pflanzenforschung 2020 Annabel Mechela (2020): Photosynthese 2.0 - Von der Jagd nach mehr Effizienz bis zum künstlichen Blatt. In: Pflanzenforschung.de - Genius GmbH. Darmstadt 03.07.2020. Online: <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/journal/photosynthese-20>
- Pkw-EnVKV (2004): Pkw-Energieverbrauchs-kennzeichnungsverordnung vom 28. Mai 2004 (BGBl. IS. 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>
- 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
- 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 (2022): Feinstaubemissionen in Deutschland bis 2020. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1090854/umfrage/feinstaub-emissionen-in-deutschland/>
- statista (2022): Firmenwagen in Deutschland. Online: <https://de.statista.com/themen/7320/firmenwagen/#:~:text=In%20Deutschland%20gab%20es%20im,von%20rund%2010%2C7%20Prozent.>
- 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
- Tagesschau (2022): Gehört Wärmepumpen die Zukunft? Online: www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/waermepumpe-klimaschutz-ukraine-energiepreise-viessmann-heizung-101.html
- Tagesschau (2023): Özdemir will Getreide-Biosprit verbieten. Online: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/oezdemir-biosprit-ende-101.html>
- UBA (2015): EU sagt Leerlaufverlusten den Kampf an. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/leerlaufverlust>
- UBA Umweltbundesamt (2009): Beleuchtungstechnik mit geringerer Umweltbelastung Online: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/UBA_Licht_Ausgabe_03.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2014): ÖKOBILANZ ALTERNATIVER ANTRIEBE – ELEKTROFAHRZEUGE IM VERGLEICH. Online: www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0440.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2017): Fracking - Risiken für die Umwelt. Online: www.bmu.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/binnengewasser/grundwasser/grundwasserrisiken-hydraulic-fracturing
- UBA Umweltbundesamt (2021): Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel in Deutschland. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/bild/vergleich-der-durchschnittlichen-emissionen-0>
- UBA Umweltbundesamt (2021a): Bioenergie. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/bioenergie#bioenergie-ein-weites-und-komplexes-feld->

- UBA Umweltbundesamt (2021b): Naturschutz und Bioenergie. Online: www.bmu.de/themen/naturschutz-artenvielfalt/naturschutz-biologische-vielfalt/naturschutz-und-energie/naturschutz-und-bioenergie
- UBA Umweltbundesamt (2022): Erneuerbare Energien in Zahlen. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen>
- UBA Umweltbundesamt (2022 a); Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren; <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren#allgemeine-entwicklung-und-einflussfaktoren>
- UBA Umweltbundesamt (2022h): Spezifische Emissionen des Straßenverkehrs. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs>
- UBA Umweltbundesamt (2022h): Spezifische Emissionen des Straßenverkehrs. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs>
- UBA Umweltbundesamt (2022j) www.umweltbundesamt.de/themen/power-to-liquids-nachhaltige-kraftstoffe-fuer-den
- UBA Umweltbundesamt (o. J.): Leerlaufverluste. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/leerlaufverlust>
- UBA Umweltbundesamt (o. J.B): Bioenergie. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/bioenergie#bioenergie-ein-weites-und-komplexes-feld->
- Unwerth, Thomas (2020): Wasserstoff und Brennstoffzellen als Fahrzeugantrieb Online: www.vdi.de/news/detail/wasserstoff-und-brennstoffzellen-als-fahrzeugantrieb
- 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. <https://www.volvotrucks.de/de-de/trucks/alternative-antriebe/elektro-lkw.html>

SDG 8 „Menschenwürdige Arbeit“

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

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

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

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

Auf der nationalen Ebene steht Deutschland laut der "European Working Survey" hinsichtlich der Arbeitsbedingungen sehr gut da – 89% der Befragten geben an, mit ihrem Job zufrieden zu sein und 91% bestätigen einen fairen Umgang mit ihnen als Arbeitnehmer*innen (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:

- 8.5 Bis 2030 produktive Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeit für alle Frauen und Männer, einschließlich junger Menschen und Menschen mit Behinderungen, sowie gleiches Entgelt für gleichwertige Arbeit erreichen
- 8.6 Bis 2020 den Anteil junger Menschen, die ohne Beschäftigung sind und keine Schul- oder Berufsausbildung durchlaufen, erheblich verringern
- 8.b Bis 2020 eine globale Strategie für Jugendbeschäftigung erarbeiten und auf den Weg bringen und den GLOBALEN BESCHÄFTIGUNGSPAKT DER INTERNATIONALEN ARBEITSORGANISATION umsetzen (ILO o.J.; Destatis 2022)
- 8.7 Sofortige und wirksame Maßnahmen ergreifen, um Zwangsarbeit abzuschaffen, moderne Sklaverei und Menschenhandel zu beenden und das Verbot und die Beseitigung der schlimmsten Formen der Kinderarbeit, einschließlich der Einziehung und des Einsatzes von Kindersoldaten, sicherstellen und bis 2025 jede Form von Kinderarbeit ein Ende setzen
- 8.8 Die Arbeitsrechte schützen und sichere Arbeitsumgebungen für alle Arbeitnehmer, einschließlich der Wanderarbeitnehmer, insbesondere der Wanderarbeitnehmerinnen, und der Menschen in prekären Beschäftigungsverhältnissen, fördern.

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

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

Menschenwürdige Arbeit

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

Saisonarbeit

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

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

DGB Index Gute Arbeit

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

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

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

*„Auf Branchenebene kommen Beschäftigte aus dem Gastgewerbe und dem Gesundheitswesen auf die niedrigsten Indexwerte (jeweils 62 Punkte). In der Informations- und Kommunikationsbranche (IuK) liegt der Wert dagegen bei 69 Punkten. Auch in den Branchen treten auf Ebene der Teilindizes zum Teil sehr große Unterschiede zutage. Beim Teilindex „Ressourcen“ kommen IuK-Beschäftigte auf 75 Indexpunkte, Arbeitnehmer*innen aus der Metallerzeugung und –bearbeitung dagegen lediglich auf 68 Punkte. Die höchsten Belastungen finden sich im Bereich Erziehung und Unterricht (54 Punkte) sowie im Gesundheitswesen (56 Punkte), wo häufig sowohl physische als auch psychische Belastungsfaktoren auftreten. Die größte Diskrepanz auf Branchenebene zeigt sich bei der Bewertung von „Einkommen und Sicherheit“. Hier liegen die Befragten aus dem Gastgewerbe mit 54 Punkten um 16 Punkte unter dem Wert der Beschäftigten aus der öffentlichen Verwaltung (70 Punkte).“ (a.a.O., S. 13)*

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

Einen wesentlichen Einfluss auf die Bewertung der eigenen Arbeitsbedingungen haben die Einfluss- und Gestaltungsmöglichkeiten im Arbeitskontext. Im Zusammenhang mit nachhaltiger Entwicklung ist das Kriterium „Sinn der Arbeit“ eine wesentliche Ressource zur Beurteilung der eigenen Arbeitsbedingungen. Dazu führt der Bericht „Index Gute Arbeit 2022“ aus: „Der Sinngehalt von Arbeit ist eine Ressource, die sich aus unterschiedlichen Quellen speisen kann. Dazu gehört, dass die Produkte bzw. Dienstleistungen, die produziert oder erbracht werden, als nützlich erachtet werden.“

Häufig ist dies mit der Einschätzung verbunden, ob die Arbeit einen gesellschaftlichen Mehrwert erzeugt. Sinnhaftigkeit kann dadurch entstehen, dass die Arbeit einen Nutzen für Andere hat. Und wichtig für Sinnempfinden ist auch, dass die eigenen, ganz konkreten Arbeitsaufgaben und -merkmale nicht sinnlos erscheinen. Wird Arbeit als sinnvoll empfunden, wirkt sich das positiv auf die Motivation und das Wohlbefinden der Beschäftigten aus. Dauerhaft einer als sinnlos erachteten Arbeit nachzugehen, stellt dagegen eine mögliche psychische Belastung und damit ein gesundheitliches Risiko dar.

BDA - Die Arbeitgeber

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

Außerdem wird auf die Prävention und den Gesundheitsschutz hingewiesen, für den 2016 ca. 5 Mrd. € ausgegeben wurden, was 40% der gesamten Ausgaben von 11,7 Mrd. € ausmacht (BDA o.J.). Die betriebliche Gesundheitsförderung, wie Stressmanagement, gesundheitsgerechte Mitarbeiterführung oder Reduktion der körperlichen Belastung kommt dabei sowohl den Beschäftigten als auch den Arbeitgebern zugute. Zuletzt wird noch auf die Eigenverantwortung hingewiesen, die aus selbstverantwortlichen Entscheidungen und flexibleren Arbeitszeiten resultiert.

Prekäre Beschäftigungsverhältnisse

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

Das Thema betrifft auch das SDG 10 "Ungleichheit", denn jeder Mensch hat das Recht auf faire und gute Arbeitsverhältnisse, dies ist vielen Menschen jedoch verwehrt. Prekäre

Beschäftigung widerspricht dem Leitbild von „Guter Arbeit“, verbaut Entwicklungsmöglichkeiten von Beschäftigten und verstärkt nachweislich den Trend zu psychischen Belastungen und Erkrankungen sowie deren Folgewirkungen (Jakob 2016) (siehe auch SDG „Gesundheit“).

Kinderarbeit

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

Arbeitsschutz, Gesundheit und Gute Arbeit

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

Gender Pay Gap

Unterschiedliche Entlohnung für vergleichbare Tätigkeiten und Qualifikation für Frauen und Männer lassen sich durch die statistischen Erhebungen des Statistischen Bundesamtes aufzeigen. In einer Pressemitteilung vom März 2022 wird betont, dass Frauen pro Stunde noch immer 18% weniger verdienen als Männer: „Frauen haben im Jahr 2021 in Deutschland pro Stunde durchschnittlich 18 % weniger verdient als Männer“. Damit blieb der Verdienstunterschied zwischen Frauen und Männern – der unbereinigte Gender Pay Gap – im Vergleich zum Vorjahr unverändert. Wie das Statistische Bundesamt (Destatis 2021) anlässlich des Equal Pay Day am 7. März 2022 weiter mitteilte, erhielten Frauen mit durchschnittlich 19,12 Euro einen um 4,08 Euro geringeren Bruttostundenverdienst als Männer (23,20 Euro).

Allerdings vergleicht der unbereinigte Gender Pay Gap lediglich den Durchschnittsverdienst aller Arbeitnehmer beziehungsweise Arbeitnehmerinnen allgemein miteinander. Somit wird auch der Teil des Verdienstunterschiedes erfasst, der beispielsweise durch unterschiedliche Berufe oder Karrierestufen verursacht wird. Dagegen misst der bereinigte Gender Pay Gap den Verdienstunterschied zwischen Männern und Frauen mit vergleichbaren Qualifikationen, Tätigkeiten und Erwerbsbiografien. Strukturbedingte Faktoren sind hier also weitgehend herausgerechnet. Ca. 71 % des Verdienstabstands lassen sich durch derartige strukturbedingte Faktoren wie z.B. dass Frauen häufiger in Branchen und Berufen arbeiten, in denen schlechter bezahlt wird und sie seltener Führungspositionen erreichen, erklären. Die verbleibenden 29 % des Verdienstunterschiedes entsprechen dem bereinigten Gender Pay Gap. Hier kann der Verdienstabstand nicht durch strukturbedingte Faktoren erklärt werden. Demnach verdienen Arbeitnehmerinnen im Durchschnitt auch bei vergleichbarer Tätigkeit und Qualifikation im Jahr 2018 pro Stunde 6 % weniger als Männer. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Unterschiede geringer ausfallen würden, wenn weitere Informationen über lohnrelevante Einflussfaktoren für die Analysen zur Verfügung stünden (zum Beispiel Angaben zu Erwerbsunterbrechungen aufgrund von Schwangerschaft, Geburt von Kindern oder Pflege von Angehörigen). Der bereinigte Gender Pay Gap ist daher als Obergrenze für Verdienstdiskriminierung zu verstehen (Destatis 2021).

Deutsches Sorgfaltspflichtengesetz

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

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

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

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

Quellenverzeichnis

- Agenda 2030: siehe Vereinte Nationen 2015. Online: <https://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf>
- BDA (o.J.): ARBEITSBEDINGUNGEN IN DEUTSCHLAND MIT SPITZENWERTEN [ARBEITSBEDINGUNGEN IN DEUTSCHLAND MIT SPITZENWERTEN](#)
- BGBl Bundesgesetzblatt Jahrgang 2021 Teil I Nr. 46, ausgegeben zu Bonn am 22. Juli 2021, Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten in Lieferketten. Online: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl121s2959.pdf
- BMAS Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2022): Sorgfaltspflichtengesetz – Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten. Online: <https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze-und-Gesetzesvorhaben/gesetz-unternehmerische-sorgfaltspflichten-lieferketten.html>

- BMAS Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2020) Eckpunkte "Arbeitsschutzprogramm für die Fleischwirtschaft". Online: www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Pressemitteilungen/2020/eckpunkte-arbeitsschutzprogramm-fleischwirtschaft.pdf
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022): Digitalisierung und Nachhaltigkeit – was müssen alle Auszubildenden lernen? Online: <https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/berufliche-bildung/rahmenbedingungen-und-gesetzliche-grundlagen/gestaltung-von-aus-und-fortbildungsordnungen/digitalisierung-und-nachhaltigkeit/digitalisierung-und-nachhaltigkeit>
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2017): Nachhaltigkeit im Personalmanagement. Online: nachhaltig-forschen.de/fileadmin/user_upload/FactSheets_LeNa_Personal.pdf
- BMZ Bundesministerium für Wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit (BMZ) 2021: Das Lieferkettengesetz. Online: <https://www.bmz.de/de/entwicklungspolitik/lieferkettengesetz>
- BMZ Bundesministerium für Wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit (BMZ) 2022: Gemeinsam gegen Kinderarbeit. Online: <https://www.bmz.de/de/themen/kinderarbeit>
- Bundesregierung (2017): Online: Nationaler Aktionsplan Umsetzung der VN-Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte. Online: <https://india.diplo.de/blob/2213082/a20dc627e64be2cbc6d2d4de8858e6af/nap-data.pdf>
- Bundesregierung 2021: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2021. Online: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/archiv/nachhaltigkeitsstrategie-2021-1873560>
- Bundesregierung (2022): Grundsatzbeschluss 2022 zur Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. Online: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/992814/2146150/16d54e524cf79a6b8e690d2107226458/2022-11-30-dns-grundsatzbeschluss-data.pdf?download=1>
- Destatis – 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 (2021): 2021: Frauen verdienen pro Stunde Pressemitteilung weiterhin 18 % weniger als Männer. Pressemitteilung Nr. 088 vom 7. März 2022. Online: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/03/PD22_088_621.html
- Deutsche UNESCO-Kommission (DUK) 2021: Bildung für nachhaltige Entwicklung – Eine Roadmap. BNE / EDS 2030. Online: https://www.unesco.de/sites/default/files/2021-10/BNE_2030_Roadmap_DE_web-PDF_nicht-bf.pdf
- Eurofound (2021): Working conditions in the time of Covid-19: Implications for the future. Online: https://www.eurofound.europa.eu/sites/default/files/ef_publication/field_ef_document/ef220122n.pdf
- DGB Gewerkschaftsbund (2022): Saisonarbeit in der Landwirtschaft: Miserable Bedingungen für Saisonarbeiter*innen beenden. Online: www.dgb.de/themen/++co++9ae2a64a-728c-11eb-be71-001a4a160123
- DGB Deutscher Gewerkschaftsbund (o.J.): Decent work – menschenwürdige Arbeit. Online: www.dgb.de/themen/++co++6157a9a0-2961-11df-48e5-001ec9b03e44
- DGB (2022): Index Gute Arbeit – Jahresbericht 2022, Ergebnisse der Beschäftigtenbefragung. Online: <https://index-gute-arbeit.dgb.de/++co++b20b2d92-507f-11ed-b251-001a4a160123>
- Ferber Personalberatung (o.J.): Was Mitarbeiterführung mit Nachhaltigkeit zu tun hat ... Online: ferber-personalberatung.de/mitarbeiterfuhrung-nachhaltigkeit/
- Günther, Edeltraud; Ruter, Rudolf (Hrsg. 2015): Grundätze 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

- ILO Internationale Arbeitsorganisation 2021: UN startet Internationales Jahr zur Abschaffung der Kinderarbeit 2021. Online:
https://www.ilo.org/berlin/presseinformationen/WCMS_766477/lang--de/index.htm
- ILO Internationale Arbeitsorganisation (o.J.): Erholung von der Krise: Ein Globaler Beschäftigungspakt. Online;
https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_norm/---relconf/documents/publication/wcms_820295.pdf
- Jakob, Johannes (2016) in: Forum Menschenrechte et al.(2019): Bericht Deutschland und die UN-Nachhaltigkeitsagenda 2016. Noch lange nicht nachhaltig, II.11. Gute und menschenwürdige Arbeit auch in Deutschland. Online:
www.2030report.de/de/bericht/317/kapitel/ii11-gute-und-menschenwuerdige-arbeit-auch-deutschland
- Mein Klimaschutz (o.J.) CO2 durch Verkehrsmittel im Vergleich
<https://www.mein-klimaschutz.de/unterwegs/a/einkauf/welches-verkehrsmittel-verursacht-im-vergleich-mehr-co2/>
- 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
- Schulen, 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 Nachhaltigkeitsmanagement. 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
- 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

SDG 9: “Industrie, Innovation und Infrastruktur”

“Eine widerstandsfähige Infrastruktur aufbauen, inklusive und nachhaltige Industrialisierung fördern und Innovationen unterstützen”

SDG 9, zielt im Kern darauf ab, für alle Menschen einen gleichberechtigten Zugang zu einer hochwertigen und verlässlichen Infrastruktur zu gewährleisten. Für den Straßenbau als die zentrale Infrastruktur für Mobilität von Gütern und Personen sind vor allem die folgenden Unterziele von Relevanz (Destatis 2022):

- *SDG 9.1: “Eine hochwertige, verlässliche, nachhaltige und widerstandsfähige Infrastruktur aufbauen, einschließlich regionaler und grenzüberschreitender Infrastruktur, um die wirtschaftliche Entwicklung und das menschliche Wohlergehen zu unterstützen, und dabei den Schwerpunkt auf einen erschwinglichen und gleichberechtigten Zugang für alle legen”*
- *SDG 9.4: “Bis 2030 die Infrastruktur modernisieren und die Industrien nachrüsten, um sie nachhaltig zu machen, mit effizienterem Ressourceneinsatz und unter vermehrter Nutzung sauberer und umweltverträglicher Technologien und Industrieprozesse, wobei alle Länder Maßnahmen entsprechend ihren jeweiligen Kapazitäten ergreifen”*

Strassen zählen par excellence zu den gebauten Infrastrukturen. Sie stellen den Transport von Gütern und Personen sicher und sind die entscheidende Voraussetzung für Mobilität. Als zentrale Infrastruktur sind Strassen maßgeblich am Mobilitätsverhalten der Verkehrsteilnehmer beteiligt. So induzieren gut ausgebaute Autostraßen mehr Autoverkehr. In ähnlicher Weise lassen sich mit gut ausgebauten Rad- und Fußwegen der Rad- und Fußverkehr fördern. Beim Straßenbau steht jedoch meist der möglichst effiziente Transport von Gütern und Personen mit einem günstigen Nutzen-Kosten-Verhältnis im Vordergrund. Weitere Straßenfunktionen wie die raumordnerische Bedeutung, die städtebauliche Bewertung sowie Umweltrisiken rücken dann in den Hintergrund.

Dabei verursachen Straßen sowohl beim Bau, aber eben auch während der Nutzung erhebliche Schäden an der Umwelt und der menschlichen Gesundheit. Die durch den Straßenverkehr freigesetzten Luftschadstoffe können zum einen direkte Schäden an Pflanzen und Tieren bewirken, zum anderen können sie nach ihrer Ablagerung abiotische Umweltfaktoren verändern. Bestimmte Arten und Lebensgemeinschaften werden dadurch verdrängt. Hohe Einträge luftgetragener Schadstoffe führen so zu einem Verlust an biologischer Vielfalt und bedrohen naturnahe Ökosysteme dauerhaft in ihrer Existenz.

Allerdings durchschneiden Straßen auch Lebensräume von Tieren und Pflanzen. Dies hat weit größere Folgen, als auf den ersten Blick zu erkennen ist. Der Grund ist, dass für die

Pflanzen- und Tierwelt und damit auch für den Menschen funktionsfähige Ökosysteme zerschnitten und wichtige Ökosystemdienstleistungen eingeschränkt werden. Diese Einschränkung hängt vom Ausbau der Straße ab: Je breiter eine Straße ist und je stärker der Verkehr ist, desto stärker ist auch die Einschränkung, die sie für ein Ökosystem mit sich bringt. Doch auch bereits kleine Straßen können die Funktionstüchtigkeit von Ökosystemen beeinträchtigen. Zusätzlich erhöht der Straßenbau auch die Gefahr für Bodenerosion.

Der Straßenbau führt gleichzeitig auch dazu, dass zuvor nur schwer zu erreichende Gegenden besser erreichbar werden. Die Erschließung neuer Gebiete setzt oft eine Kettenreaktion in Gang, in deren Folge es zum Neubau von weiteren Straßen, zur Abholzung von Waldgebieten und zum Ausbau von Industrien und Wohngebieten kommt.

Umweltverträglichkeitsprüfung von Straßen

Zur wirksamen Umweltvorsorge werden bei Planungen von baulichen Infrastrukturen wie Straßen die vielfältigen Auswirkungen sowie deren Wechselwirkung berücksichtigt: auf die Menschen und ihre Gesundheit, auf Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt, auf Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft, auf Kultur- und sonstige Sachgüter. Ein Instrument zur frühzeitigen Prüfung der Umweltwirkung ist die sogenannte Umweltverträglichkeitsprüfung. Dabei handelt es sich um ein umweltpolitisches Instrument der Umweltvorsorge mit dem Ziel, umweltrelevante Vorhaben vor ihrer Zulassung auf mögliche Umweltauswirkungen hin zu überprüfen (UVPG 2021).

Mit dem Berücksichtigungsgebot des § 13 Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) werden die Träger öffentlicher Aufgaben dazu verpflichtet, den Klimaschutz bei ihren Planungen und Entscheidungen einzubeziehen. Auch durch die Änderung der Richtlinie über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten (UVP-RL) und des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) wurden die Anforderungen an die Berücksichtigung des Klimaschutzes gestärkt und auf die Aspekte des globalen Klimas ausgeweitet. Die Anforderungen der Klimaverträglichkeit von Infrastrukturprojekten werden bei UVP-Vorhaben zu beachten sein. Die Prüfung der Auswirkungen auf das globale Klima durch Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) ist danach fester Bestandteil bei der Planung und Zulassung von Straßen.

Boden und Flächeninanspruchnahme

Für Menschen, Tiere und Pflanzen ist der Boden eine unverzichtbare Lebensgrundlage. Böden liefern Nahrungsmittel und Rohstoffe, speichern und filtern Wasser und können Schadstoffe abbauen. Sie stellen für den Menschen Flächen zur Besiedelung, und Flächen für den Verkehr und für die Freizeit zur Verfügung. Natur- und kulturgeschichtlich sind Böden zudem ein planetarisches Archiv für die historische Entwicklung. Eine für das

Klimageschehen zunehmend bedeutsame Funktion des Bodens ist seine Fähigkeit, große Mengen an Kohlenstoff zu speichern.

Böden haben daher eine Vielzahl von Funktionen, die in Konkurrenz zueinander stehen. Daher können nicht alle Funktionen gleichzeitig erfüllt werden. Zudem sind manche dieser Funktionen durch Verunreinigungen, Erosion, Humusrückgang und Verdichtung vielfältig bedroht oder bereits eingeschränkt. Aufgrund der langsamen physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse sind bereits eingetretene Schäden kurzfristig kaum zu beheben, denn fruchtbarer Boden benötigt zur Neubildung von einem Zentimeter 200 bis 300 Jahre. Der Verlust von Humus und Nährstoffen stellen daher zusammen mit Bodenerosion, Versalzung und Versauerung sowie Schadstoffbelastungen schwerwiegende Probleme für die Menschen und die Umwelt dar (BMUV 2022).

Deutlich erkennbar ist, dass durch die Nutzung der Böden für Siedlung und Verkehr insbesondere die biologischen Bodenfunktionen immer weiter zurückgedrängt werden. In Deutschland werden in jeder Sekunde fast elf Quadratmeter Fläche für Siedlungs- und Verkehrszwecke neu in Anspruch genommen. Davon wird knapp die Hälfte versiegelt und verliert dadurch seine natürlichen Bodenfunktionen wie Wasserdurchlässigkeit oder –speicherfähigkeit. Die Folgen sind der Verlust von Bodenfruchtbarkeit sowie der Verlust von Lebensraum für Organismen (BMUV 2022).

Ein nachhaltiger Umgang mit den Böden zielt darauf ab, die begrenzte Ressource Boden so zu erhalten, dass die vielfältigen Funktionen des Bodens auch künftigen Generationen im gleichen Umfang zur Verfügung stehen. Dazu muss insbesondere die Menge an organischer Bodensubstanz erhalten werden (BMUV 2022). Aktiver Bodenschutz kann bereits kleinteilig zum Erfolg führen. Möglichkeiten sind der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel, das Schaffen von Versickerungsflächen und das Zulassen von Bewuchs, um so den Boden als Lebensraum für viele Kleinorganismen zu sichern.

Die nationale Nachhaltigkeitsstrategie Deutschlands sieht vor bis zum Jahr 2030 die Inanspruchnahme von Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke von circa 54 Hektar pro Tag im Jahr 2020 auf unter 30 Hektar pro Tag zu reduziert (Bundesregierung 2021). Um dieses Ziel zu erreichen bietet sich eine Kreislaufwirtschaft für Flächen an, die Umwandlung und Recycling einschließt. Dabei wird ein Neuverbrauch von Flächen Inanspruchnahme weitgehend vermieden indem vermehrt bestehende Brachflächen für Siedlungszwecke genutzt werden. Doch auch die Renaturierung von bisher städtebaulich genutzten Flächen, die Entsiegelung sowie die Verdichtung sind Maßnahmen zur Kreislaufwirtschaft von Flächen (BBR 2007).

Eine umweltökonomische Möglichkeit, die Flächeninanspruchnahme zu reduzieren, ist der Zertifikathandel mit Flächen. Dabei müssen, ähnlich wie beim Emissionshandel, für jede Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr handelbare Nutzungszertifikate erworben werden. Durch eine zunehmende Verringerung der zur

Verfügung gestellten Menge an Zertifikaten lässt sich das Reduktionsziel den Neuverbrauch von Flächen auf 30 Hektar pro Tag zu begrenzen zielsicher erreichen (UBA 2012).

Wasserdurchlässige Pflasterflächen

Um der Flächenversiegelung entgegenzuwirken, bieten sich wasserdurchlässige Pflasterflächen an. Denn dann kann Regenwasser dort, wo es niederfällt, direkt in den Erdboden versickern und damit am biologischen Wasserkreislauf teilnehmen. Zudem tragen entsiegelte Flächen mit einer hohen Versickerungsleistung dazu bei, bei Starkregenereignissen Überflutungen zu vermeiden. Wasserschäden bleiben überschaubar und die öffentliche Kanalisation wird geschont. Langfristig sind versickerungsfähige Pflasterflächen allerdings nicht an jedem Ort ökologisch. Auf stark belasteten Verkehrsflächen, wo das Regenwasser viele Schadstoffe aufnimmt, wäre es sogar umweltschädlich, wenn die verschmutzten Niederschläge einfach so ins Erdreich versickern würden. In solchen Fällen ist daher nicht das Versickern, sondern das Ableiten und Reinigen des Regenwassers empfehlenswert. Versickerungsfähige Pflastersteine eignen sich auch aufgrund ihrer geringeren Belastbarkeit nicht für Straßen oder sonstige stark belastete Flächen. Sie sind aber eine gute Wahl für Fuß- und Radwege, für gepflasterte Hofflächen und Pkw-Parkplätze. Nicht zuletzt sind sie für den heimischen Garten und die Terrasse eine gute Alternative zu Waschbetonplatten.

Da Pflasterbeläge aus vielen Einzelsteinen bestehen, lässt sich ein gewisses Ausmaß an Wasserdurchlässigkeit ganz einfach über die Fugen sicherstellen. Schon bei 1 cm breiten Fugen, die mit losem Sand und Splitt gefüllt sind, werden gute Versickerungsergebnisse erzielt. Um die Einhaltung der Fugenbreite dauerhaft zu garantieren, kommen bei vielen künstlichen Steinsystemen spezielle Abstandhalter zum Einsatz. Wenn die Flächen ansonsten aus stabilen Betonsteinen oder Natursteinen bestehen, sind sie trotz breiter Fugen sehr belastbar und können zum Beispiel auch mit Wohnmobilen befahren werden.

Damit die Versickerung funktioniert, ist es jedoch erforderlich, die Fugen in ungebundener Bauweise auszuführen, denn bei gebundener Bauweise, bei der das Fugenmaterial aus Mörtel besteht, ist eine Versickerung kaum möglich. Ungebundene Fugen sind allerdings anfällig für unerwünschten Pflanzenwuchs. Sehr breite Fugen optimieren zwar die Versickerung, bergen aber das Risiko, dass die Fugen ausgeschwemmt werden und dadurch die Stabilität des Pflasterbelags verloren geht.

Die Versickerungsleistung einer Pflasterfläche ließe sich weiter erhöhen, wenn nicht nur die Fugen, sondern auch die Pflastersteine wasserdurchlässig ausgeführt sind. Um das zu erreichen, werden Pflastersteine mit haufwerksporiger Struktur wie zum Beispiel Leicht- oder Dränbeton verwendet. Sie werden auch als Filter- oder Porensteine bezeichnet. Dafür wären Baustoffe mit haufwerksporiger Struktur vonnöten, wie sie zum Beispiel bei Mauerwerk aus Leichtbeton und bei Dränbeton für den Straßen- und

Wegebau üblich sind. Tatsächlich gibt es auch für den Garten- und Landschaftsbau solche haufwerksporigen Betonsteinpflaster. Man bezeichnet sie auch als Filter- oder Porensteine. Porensteine sind allerdings nicht so stark belastbar wie ein normaler Betonstein. Mit einem Pkw sind sie meist noch befahrbar. Haufwerksporige Pflastersteine empfehlen sich daher eher für den Gehwegbereich (Grimm 2018)

Natursteine

Aus ökologischer und sozialer Sicht sind Naturwerksteine aus lokaler Produktion der ideale Baustoff. Im Vergleich zu anderen Baustoffen ist der Abbau von Naturstein energie- und ressourcenschonend, denn nicht mehr benötigte Steine lassen sich gefahrlos in den natürlichen Stoffkreislauf zurückführen. Zudem ist die Lebensdauer von Naturstein mit bis zu mehreren hundert Jahren deutlich länger als Beton mit ca. 30 Jahren. In Deutschland werden bedeutend weniger Natursteine abgebaut als verbraucht, denn der Großteil des in Deutschland verwendeten Natursteins wird als Rohmaterial oder verarbeitetes Produkt importiert. Im Jahr 2017 lag in Deutschland der Verbrauch an Rohmaterial bei ca. 0,9 Mio. t. Davon wurden lediglich 0,75 Mio. t heimisch produziert, 0,3 Mio. t wieder exportiert und 0,4 Mio. t importiert. Für Fertigwaren lag der nationale Verbrauch im selben Jahr bei ca. 1,9 Mio. t. Davon wurden lediglich 0,5 Mio. heimisch produziert, 0,2 Mio. t wieder exportiert und 1,6 Mio. t importiert. Damit liegt die Importquote des heimischen Verbrauchs für Rohmaterialien bei ca. 47% und für Fertigung bei 84% (Markt Naturstein 2019, Montani 2021)

Herstellungsbedingungen in Lieferländern

Hintergrund ist eine starke Öffnung für den Import von Natursteinen aus Asien in den 2000er Jahren aufgrund der im Vergleich zur heimischen Produktion geringeren Preise für Importware. Allerdings liegen die Arbeitsrechts-, Sicherheits- und Umweltstandards in den Steinbrüchen und steinverarbeitenden Betrieben der Importländer häufig weit unterhalb derer in Deutschland. Zudem sind mit dem Transport negative Umweltauswirkungen verbunden.

Zwar verfügt Deutschland über große Mengen und eine reiche Vielfalt abbaufähiger Natursteine. Gleichwohl wird ein Großteil des Bedarfs aber aufgrund des günstigen Preises mit Natursteinen aus Niedriglohnländern gedeckt.

Pflastersteine, Terrassensteine oder auch Grabsteine, die in Deutschland zum Einsatz kommen, stammen zu mehr als 50 % aus China. Jedoch wird die Rückverfolgbarkeit der Steine aufgrund von Dreieckshandel, zwischen Rohstoffgewinnung, Weiterverarbeitung und Endnutzung erschwert. China exportiert vorwiegend bearbeitete Werksteine. Das Rohmaterial bezieht China aber zu einem nicht unerheblichen Teil aus Drittländern wie Indien und der Türkei. Im Straßen- und Tiefbau, aber auch im Garten- und Landschaftsbau wird chinesischer Granit in der Regel als Massenware aus chinesischen

Steinbrüchen angeboten. Es ist aber davon auszugehen, dass für bearbeitete Werksteine wie Grabsteine oder höherwertige Produkte wie Küchenarbeitsplatten China überwiegend Rohmaterial aus Indien eingesetzt wird.

Die Natursteingewinnung und -verarbeitung erfolgt zunehmend in industrieller Fertigung und die Handarbeit nimmt ab. Dadurch sinkt auch die Kinderarbeit in Steinbrüchen. Sowohl China als auch Indien verfügen inzwischen über Steinbrüche, die vom Arbeitsstandard mit deutschen oder europäischen Steinbrüchen vergleichbar sind. Allerdings gibt es von Steinbruch zu Steinbruch sowie zwischen den Verarbeitungsbetrieben große Unterschiede. Vor allem für Steine aus Indien ist Kinderarbeit nicht völlig auszuschließen, aber häufig sind Familien auf ein zusätzliches Einkommen der Kinder angewiesen. Daher ist auch die Modernisierung von Betrieben kein Garant für die Beendigung von Kinderarbeit. Denn für Kinder werden neue Arbeitsgebiete geschaffen wie die Weiterverwertung der Blockabfälle, die Herstellung kleiner Blöcke oder das Polieren von Steinen. Aber auch die Arbeitsbedingungen für erwachsene Arbeiter*innen sind alles andere als akzeptabel: niedrige Löhne unterhalb des gesetzlichen Mindestlohns, unsichere und ungesunde Arbeitsbedingungen durch hohe Staubbelastung, fehlende Sicherheitsmaßnahmen, extreme Temperaturen und ein Mangel an Trinkwasser. In Indien ist zudem moderne Sklaverei durch Schuldknechtschaft verbreitet, die auch auf Kinder übertragen wird.

Die Situation in China, dem größten Anbieter auf dem deutschen Markt, ist vielfach besser. Trotzdem gibt es auch in vielen chinesischen Unternehmen erhebliche Missstände, die denen in Indien ähneln. Schwere körperliche Arbeiten werden auch hier meist ohne angemessene Schutzkleidung ausgeübt und die Lebenserwartung der Arbeiter liegt aufgrund der tödlich verlaufenden Lungenkrankheit Silikose, die durch eine kontinuierlich hohe Staubbelastung ausgelöst wird, bei nur 40 Jahren.

Seit einigen Jahren geht die chinesische Regierung massiv gegen Steinbrüche und Verarbeitungsbetriebe vor, die nicht den chinesischen Gesetzen entsprechen und gegen Umwelt- und Sozialauflagen verstoßen. Ganze Steinbrüche werden geschlossen. Von daher ist von einer Verbesserung der Arbeitsbedingungen in China auszugehen. Bezüglich Kinderarbeit gehen wissenschaftliche Studien davon aus, dass auch wenn es keine aktuellen, substantiell belegten Berichte über Kinderarbeit im Natursteinsektor in China gibt, auch Verstöße im Natursteinsektor wahrscheinlich sind. Denn in anderen Sektoren ist belegt, dass es vielfache und schwere Kinderarbeit (einschließlich staatlich organisierter Zwangsarbeit, z.B. für straffällige Jugendliche) gibt (WEED 2019).

Zertifizierung von Natursteinen

Vor diesem Hintergrund gibt es für die Gewinnung und Weiterverarbeitung von Natursteinen Zertifizierungssysteme, die insbesondere die Einhaltung von Arbeits-, Sozial- und Umweltstandards sicherstellen sollen. Die bekanntesten sind:

- **Fair Stone:** Das Siegel wird von Fair Stone e.V. vergeben. Der zugrundeliegende Standard wurde 2007 von der WiN=WiN GmbH in Zusammenarbeit mit einem deutschen Natursteinhändler, sowie Expert:innen der ISSA (International Social Security Association) und internationalen Arbeitsrechts- und Sozialexpert:innen im Rahmen eines ko-finanzierten DeveloPPP-Projekts entwickelt. Zielsetzung und Schwerpunkt des Siegels sind die Überprüfung und Verbesserung der Arbeitsbedingungen in Steinbrüchen und steinverarbeitenden Betrieben in Entwicklungs- und Schwellenländern. Fair Stone ist seit 2018 bei der Deutschen Gesellschaft Nachhaltiges Bauen DGNB akkreditiert. Importeure von Natursteinen erhalten das Siegel erst, nachdem die Einhaltung von Mindestkriterien in der Lieferkette durch unabhängige Auditor:innen überprüft wurde. Jährliche Audits, mit steigenden Anforderungen, bereiten die Lieferant:innen auf eine umfangreiche Prüfung der Fair Stone Standardinhalte nach einer Phase von maximal 36 Monaten vor. Die Abgabe einer Selbstverpflichtung oder Eigenbestätigung durch die Lieferant:innen ist nicht ausreichend für die Siegel-Nutzung (vgl. <http://fairstone.org>)
- **XertifiX** ist eine NGO, die als Verein ihren Sitz in Hannover hat. Sie setzte sich für bessere Arbeitsbedingungen und Umweltschutz im asiatischen Steinsektor ein. Für die so genannten "Third-Party-Audits" beauftragt XertifiX in Indien, China und Vietnam Auditor:innen mit den Kontrollen der Lieferketten. Dabei werden regelmäßig Fabriken und Steinbrüche in Indien, China und Vietnam überprüft, um sicherzustellen, dass die Standardkriterien erfüllt werden: Der Standard umfasst die IAO-Kernarbeitsabkommen, darunter das Verbot von Kinderarbeit und Sklaverei, einen besseren Schutz der Gesundheit und Sicherheit von erwachsenen Arbeitnehmer:innen, gerechte Löhne und Arbeitszeiten, Umweltschutz und Rechtmäßigkeit. Neben der Bekämpfung von Kinder- und Sklavenarbeit werden schulische und berufliche Bildung gefördert und die deutsche Öffentlichkeit für sozialverträglich hergestellte Produkte aus Naturstein sensibilisiert. XertifiX versteht seine Audits nicht nur als Prüfinstrument, sondern als langfristig angelegte Bausteine zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen und des Umweltschutzes (vgl. <http://www.xertifix.de>)
- **IGEP:** Das Siegel wird von der IGEP Consult Pvt. Ltd. vergeben. IGEP steht ursprünglich für Indo German Export Promotion, ein gemeinsames Projekt der deutschen und indischen Regierung, welches bis 2005 von der GIZ (ehemals GTZ) durchgeführt wurde. Seit 2005 wird IGEP unabhängig von privaten Beratungsunternehmen fortgeführt. IGEP setzt sich unverändert für die Förderung der wirtschaftlichen Zusammenarbeit zwischen indischen und deutschen Unternehmen ein. Ziel des Siegels ist es, Kinderarbeit in der Natursteinindustrie in Indien und China zu verhindern und die Eignung für den europäischen Markt sicherzustellen. Dies geschieht durch den ISES 2020-Standard, der zusätzlich zu Kinderarbeit Managementsysteme,

Zwangsarbeit, Gesundheit und Sicherheit an Arbeitsplatz, Vereinigungsfreiheit und Recht auf Kollektivverhandlungen, Diskriminierung, Disziplinarpraktiken, Arbeitszeiten, Vergütung, Zulieferer und Umweltaspekte umfasst. Die Gebühr für die IGEP-Zertifizierung fließt nicht nur in die Organisation selbst, sondern wird auch für die Finanzierung sozialer Aktivitäten, wie Ausbildungsinitiativen und Gesundheitsversorgung an Schulen, in ganz Indien verwendet (vgl.

<http://www.igep.org/>)

Neben diesen Zertifikatssystemen, die speziell für Natursteine angelegt sind, existieren weitere Kennzeichnungs- und Zertifikat Systeme, Lieferketten Initiativen und Richtlinien. Sie lassen sich den CSR-Initiativen (Corporate Social Responsibility) zuordnen und fußen auf der gesellschaftliche Unternehmensverantwortung (unternehmerische Sozialverantwortung) und verstehen sich als freiwilligen Beitrag der Wirtschaft zu einer nachhaltigen Entwicklung. Im Folgenden werden ausgewählte CSR-Initiativen im Zusammenhang mit Natursteinen aufgeführt:

- INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING AND METALS (ICMM) Der International Council on Mining and Metals (ICMM) ist seit 2001 der Handelsverband für den Bergbausektor. Als Unternehmen können Sie Mitglied werden, was eine Verpflichtung zur Einhaltung der 10 Grundsätze erfordert. Auf der Website finden Sie auch weitere Informationen und Hilfsmittel. vgl. <https://www.icmm.com/en-gb>
- VOLUNTARY PRINCIPLES ON SECURITY AND HUMAN RIGHTS Die Voluntary Principles on Security and Human Rights sind freiwillige Richtlinien für die Öl- und Gasindustrie und den Bergbau. Sie entstanden aus Gesprächen zwischen der amerikanischen Regierung, der britischen Regierung, Unternehmen und NGOs. Ziel ist es, die Sicherheit ihrer Operationen zu gewährleisten. Die Einhaltung der Menschenrechte und die Gewährung der Grundfreiheiten durch die Unternehmen ist von zentraler Bedeutung. Die Initiative enthält Leitlinien zur Einschätzung der Auswirkungen auf die Menschenrechte sowie zu Fragen der öffentlichen und privaten Sicherheit. Vgl. <http://www.voluntaryprinciples.org/for-companies/>
- RESPONSIBLE MINERALS INITIATIVE Die Responsible Minerals Initiative wurde von der Responsible Business Alliance und der Global e-Sustainability Initiative gegründet und unterstützt Unternehmen aus einer Reihe von Branchen dabei, sich mit der verantwortungsvollen Mineralienbeschaffung in ihren Lieferketten zu beschäftigen. Ihr „Responsible Minerals Assurance Process“ bietet Unternehmen und ihren Lieferanten eine unabhängige, externe Prüfung, anhand derer festgelegt wird, welche Schmelzanlagen und Raffinerien entsprechend der geltenden weltweiten Standards als „Responsibly Sourced“ bestätigt werden können. Die Initiative stellt eine Online-Liste der konformen Hütten und Raffinerien zur Verfügung. <http://www.responsiblemineralsinitiative.org/>

Darüber hinaus sind noch folgende CSR-bezogene Datenbanken und Information Tools erwähnenswert:

- ITC Standards Map: enthält Informationen zu über 150 Standards, Verhaltenskodizes und Audit-Protokollen, die sich mit Nachhaltigkeits-Hotspots in globalen Lieferketten befassen <https://sustainabilitymap.org>
- Ecolabel Index: größtes globales Verzeichnis von Umweltzeichen, derzeit 460 Umweltzeichen in 25 Branchen weltweit. <http://www.ecolabelindex.com/>
- Der Stand der Nachhaltigkeitsinitiativen 2014: Der Bericht "State of Sustainability Initiatives" gibt einen Überblick über die Markt- und Leistungstrends in 16 der gängigsten Standardinitiativen, die in zehn verschiedenen Rohstoffsektoren durchgeführt werden". <http://www.iisd.org/>

Abschließend sei auf den Kompass zur nachhaltigen Beschaffung hingewiesen (Kompass Nachhaltigkeit 2022). Dort finden sich für zahlreiche Produkte ein Gütezeichenfinder, unter anderen auch für eine Reihe von Natursteinen sowie Gestaltungshinweise und Praxisbeispiel für öffentliche Ausschreibungen zur sozial verantwortlichen Beschaffung von Natursteinen (vgl. BA Berlin 2020)

Zudem findet sich dort ein Zugang zum CSR Risiko Check. Dabei handelt es sich um ein Online-Tool zur Einschätzung der lokalen Menschenrechtssituation sowie Umwelt-, Sozial- und Governance Themen. Es wurde von MVO Nederland entwickelt und wird vom niederländischen Außenministerium finanziert. Die deutsche Version des CSR Risiko-Check wird von dem Helpdesk Wirtschaft und Menschenrechte der Bundesregierung in der Agentur für Wirtschaft & Entwicklung finanziert. Der CSR Risiko-Check liefert für Unternehmen vertiefte Informationen über länderspezifische CSR-Risiken und deren Vermeidung für ausgewählte Produktgruppen und Wirtschaftsbereiche. Für Natursteine sind insbesondere die Produktgruppe „Steine, Sand und Kies“ sowie der Wirtschaftsbereich „Dienstleistungen für die mineralgewinnende Industrie & Bergbau“ von besonderer Relevanz (CSR Risiko Check 2022)

Nachhaltiger Zement

Beton ist das zentrale Konstruktionsmaterial der deutschen Bauwirtschaft. Er prägt wie kein anderer Baustoff unsere gebaute Umwelt. Mit mehr als 10 Mrd. m³ weltweiter Jahresproduktion ist Beton weltweit der häufigste Baustoff (BFT International 2015). Dafür wurden im Jahr 2021 weltweit geschätzte 4,4 Milliarden Tonnen Zement produziert. Im Vergleich zum Jahr 1995 entspricht dies einer Produktionssteigerung von knapp drei Milliarden Tonnen oder einer Vervierfachung (Statista 2022b). Zement ist der Kleber im Beton, das hydraulische Bindemittel, das Sand, Wasser und Kies zusammenhält. Um ihn herzustellen, braucht es Zementklinker, der aus Kalkstein, Sand und Ton bei ca. 1.450 Grad gebrannt wird. Genau bei diesem Prozess entsteht allerdings

jede Menge klimaschädliches CO₂. Unterschieden wird zwischen prozessbedingten und energiebedingten CO₂-Emissionen. Die prozessbedingten Emissionen machen ca. 2/3 der Gesamtemissionen aus. Sie stammen aus dem eingesetzten Kalkstein und betragen 530 kg pro produzierte Tonne Zementklinker (NIR 2022). Insgesamt bedeutet 1 t Portlandzement circa 1 t CO₂ (BFT International 2018).

Die energiebedingten CO₂-Emissionen entstehen aus der Verbrennung fossiler Energieträger wie Stein- oder Braunkohle um den Drehofen auf mehr als 1400°C zu erhitzen. Aufgrund der hohen Temperaturen im Drehofen werden die Kohlen oft durch sogenannte Ersatzbrennstoffe wie Tiermehl, Klärschlamm, Altreifen, Altöl oder Siedlungsabfälle ersetzt, die in ganz unterschiedlicher Höhe CO₂-Emissionen freisetzen. Weltweit fallen durch die Herstellung von Zement ca. 2,8 Milliarden Tonnen CO₂ an. Das sind fast acht Prozent der weltweiten Emissionen und damit mehr als Flugverkehr und Rechenzentren zusammen ausstoßen. Und angesichts der steigenden Nachfrage in Schwellenländern wie Indien, Asien und Afrika dürfte dieser Wert in den nächsten Jahren sogar noch steigen. Auch in Deutschland wäre eine Bauwirtschaft ohne Beton natürlich undenkbar. Hierzulande wurden 2019 immerhin 34 Millionen Tonnen verbaut – und 20 Millionen Tonnen CO₂ emittiert (Handelsblatt 2022).

Weil ein Großteil der CO₂-Emissionen aus dem Zement selber stammt, steht der Beton als Baustoff grundsätzlich in Frage. Im Gebäudebereich spielen zwar Holz und Lehm als klimafreundlicher Betonerersatz eine zunehmende Rolle, doch eine wirkliche Alternative zu Beton ist noch nicht in Sicht. Eine Möglichkeit die eingesetzte Betonmenge zu reduzieren stellt der sogenannte Carbonbeton dar, bei dem als Bewehrung der Stahl durch Kohlenstofffasern ersetzt wird und sich aufgrund dessen größere Zugfestigkeit (ca. 3000 N/mm² statt der ca. 550 N/mm² des üblichen Bewehrungsstahls) dadurch die Betonmenge reduzieren lässt (Schneider et al 2017).

Eine weitere Möglichkeit, um die rohstoffbedingten CO₂-Emissionen bei der Zementherstellung zu senken, ist die Substitution des gebrannten Portlandzementklinkers durch Kompositmaterialien. Dabei geht es darum, die klimaschädliche Umwandlung von Calciumcarbonat – zu verringern. Dazu bieten sich neben den traditionellen Materialien wie Hüttensand und Flugasche, deren nutzbare Mengen zukünftig zurückgehen werden, bieten sich insbesondere calcinierte Tone, Gesteinsmehl, Vulkanasche aber auch modifizierte Stahlwerksschlacken an (BFT International 2018).

Möglichkeiten werden auch in neuen CO₂-armen Bindersystemen gesehen, die nicht auf klassischem Portlandzementklinker basieren. Viele dieser alternativen Binder weisen allerdings nicht das Potenzial für einen Massenbaustoff auf. Große Potenziale bieten jedoch alternative, hochreaktive Belitzemente (LTBB), die bei deutlich niedrigeren Brenntemperaturen und verbesserter Leistungsfähigkeit eine wesentlich bessere CO₂-Bilanz als Portlandzemente aufweisen (BFT International 2018).

Für die deutsche Zementindustrie wird die CO₂-Abscheidung im Zementwerk und dessen anschließende Nutzung bzw. Speicherung (CCUS) bei der Dekarbonisierung von Zement und Beton eine entscheidende Rolle spielen. Für eine klimaneutrale Zementindustrie wird es dabei erforderlich sein, nach Ausschöpfung aller übrigen Potenziale ab 2050 jährlich rund 10 Mio. Tonnen CO₂ abzuscheiden. Für die Nutzung oder Speicherung des abgeschiedenen CO₂ bedarf es jedoch einer entsprechenden CO₂-Infrastruktur, die insbesondere in Gestalt von Pipelinesystemen und anderen Transportkapazitäten wie Tankwagen, Kesselwagen oder Schiffe erst noch aufzubauen ist. Allerdings wird sich der Strombedarf der Klinkerherstellung bei einem breiten Einsatz von Technologien zur CO₂-Abscheidung mehr als verdoppeln, was eine hinreichende Verfügbarkeit von regenerativ erzeugtem Strom und entsprechender elektrischer Übertragungsnetze erfordert (VDZ 2020).

Betonstraßen

Beim Bau nachhaltiger Betonstraßen stehen besonders die Ziele Lärminderung, Verbesserung des Fahrkomforts und Nachhaltigkeit der Konstruktion im Hinblick auf Planung, Bauausführung und Erhaltung im Mittelpunkt. Sowohl die Nutzenden als auch die Eigentümer :innen erwarten von Betonstraßen hohe Dauerhaftigkeit bei geringem Wartungsaufwand sowie gute Oberflächeneigenschaften (Wolf 2022). Für Straßenoberfläche von Betonstraßen hat sich die sogenannte Grinding-Struktur, die durch eingefräste Rillen erzeugt wird, als eine erfolgversprechende Variante herausgestellt. Vorteilhaft ist nicht nur die Lärminderung von bis zu 5 dB(A) gegenüber der üblichen Waschbetonstruktur sondern auch Griffigkeit, Herstellung, Verfügbarkeit der Gesteinskörnung und Fahrkomfort stellen weitere Vorteile dar. Doch auch die Dauerhaftigkeit ist verbessert. Bisher werden Straßenkonstruktionen nach geltenden Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12) auf eine Nutzungsdauer von 30 Jahren ausgelegt. Rechnerisch können Betondecken jedoch auf deutlich längere Lebensdauern dimensioniert werden, zumal bereits eine geringe Erhöhung der Betondicke der Decke um zwei Zentimeter die Dauerhaftigkeit um zehn und mehr Jahre verlängern kann. Bei der Waschbetonbauweise ist bereits heute die Verfügbarkeit von Rohstoffen problematisch. Die betrifft insbesondere die Verfügbarkeit von Gesteinen mit einem hohen Widerstand gegen schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion. Betonoberflächen mit Grinding-Struktur hingegen ermöglicht die Anwendung neuer Materialien wie zum Beispiel grobe Rundkiese und Splitte und können damit dem Rohstoffmangel entgegenwirken (Wolf 2012).

Asphalt

Asphalt ist ein Kompositbaustoff aus dem Bindemittel Bitumen sowie aus groben und feinen Gesteinskörnungen einschließlich von Füllern und ggf. weiteren Zusätzen. Das

Mischungsverhältnis liegt grob bei 95 % Gesteinskörnung und 5 % Bitumen, dieses Verhältnis kann jedoch nach oben oder unten geringfügig verändert werden.

Im Jahr 2021 wurden in Deutschland etwa 38 Mio. Tonnen Asphalt als Mischgut produziert. Im Jahr 2000 lag diese Produktionsmenge noch bei 65 Mio. Tonnen. Im Jahr 2021 wurden knapp 12 Mio. Tonnen Asphalt als sogenannter Ausbauasphalt zurückgewonnen. Ausbauasphalt ist die Sammelbezeichnung für aus Straßen- und Verkehrsflächen aufgebrochener oder abgefräster Asphalt. Die Menge an Ausbauasphalt lag in Deutschland im Jahr 2021 bei 14 Mio. t. Davon wurden 85%, also knapp 12 Mio t, wieder in der Mischgutproduktion eingesetzt. Insgesamt lag damit der Anteil der Wiederverwendung bei 31% der produzierten Mischgutmenge (Dav 2022).

Als Baustoff eignet sich Bitumen wie nur wenige andere Baustoff für eine Mehrfachverwendung, denn die temperaturbedingte Erweichung und Erhärtung ist umkehrbar. Durch diese thermoplastische Eigenschaft des Bindemittels Bitumen kann Asphalt relativ gut wiederverwendet werden. Dies geschieht in erster Linie in den Mischwerken durch Zugabe von Ausbauasphalt bei der Herstellung von neuem Asphalt. Daneben gibt es auch Verfahren zum Recycling von Asphalt direkt auf der Baustelle. Die vorhandene alte Deckschicht wird dabei erwärmt, aufgenommen und nach Zugabe von Gesteinskörnungen, Bitumen oder neuem Asphalt qualitativ verbessert und wieder eingebaut.

Warmasphalt

Eine Möglichkeit, den Straßenbau nachhaltiger zu gestalten, ist die Reduktion des Energieeinsatzes und damit die CO₂ Reduktion bei der Herstellung von Asphalt. Denn nahezu zwei Drittel der gesamten CO₂ Emissionen aus dem Straßenbau entstehen in Asphaltmischanlagen (Porr o.J.). Eine Möglichkeit ist der sogenannte Warmasphalt. Während beim konventionellen Heißasphalt die Temperatur über 150°C beträgt, liegt sie beim Warmasphalt darunter und der Einbau erfolgt bei 120°C. Zudem wird eine längere Haltbarkeit der Asphaltsschicht erwartet, denn durch die niedrigere Mischtemperatur wird das Bitumen weniger stark beansprucht. Zudem profitieren auch Arbeiter*innen und Anlieger*innen der Asphaltmischanlagen und Baumaßnahmen davon, denn die geringere Misch- und Verarbeitungstemperatur führt auch zu einer Reduktion der vom erhitzten Asphalt freigesetzten Dämpfe und Aerosole. Ihre Toxikologie ist in den vergangenen Jahren zunehmend in Verruf geraten und das enthaltene Bitumen steht in dem Verdacht krebserzeugend zu sein. So wurden die Expositionen von oxidierten Bitumina und deren Emissionen bei Dacharbeiten von der internationalen Krebsforschungsagentur IARC im Jahr 2013 in die Gruppe 2A der wahrscheinlich krebserzeugender Stoffe eingestuft, während „Hartbitumina“ und deren Emissionen bei Gussasphaltarbeiten sowie „Straight-Run-Bitumina“ und deren Emissionen im Straßenbau der Gruppe 3 der möglicherweise krebserzeugend zugeordnet wurde (ASU 2020).

Substitution von Asphalt durch Altkunststoffe

Eine Möglichkeit, ganz auf bitumenhaltigen Asphalt zu verzichten, ist deren Substitution durch Kunststoff. Schon länger wird zur Reparatur von Straßen Kunststoff eingesetzt. In Indien ist das seit 2015 sogar Pflicht. Allerdings ersetzt der recycelte Kunststoff nur einen kleinen Teil des Bitumens. Neu ist, dass ganze Straßen aus Plastik gebaut werden. Dazu werden vorgefertigten

Module zusammengesetzt, die aus recycelten Kunststoffen hergestellt werden. Durch die Modulbauweise und weil keine schweren Fundamente und keine aufwendigen Aushubarbeiten benötigt werden, lassen sich insbesondere Geh- und Fußwege deutlich schneller und unkomplizierter herstellen. Zudem sind die leichten Module innen hohl. Dies ermöglicht die einfache Verlegung und spätere Reparatur von Rohren und Leitungen. Ferner kann der Hohlraum bis zu 300 Liter Regenwasser pro Quadratmeter speichern. Dadurch lassen sich Überschwemmungen aufgrund von klimabedingt zunehmenden Starkregenereignissen vermeiden. Das im Hohlraum gespeicherte Wasser wird nach und nach an den Boden abgegeben und erhält damit die biologische Funktion des Bodens und hilft mit, Grundwasserverluste zu verringern. (PlasticRoad 2020).

Zudem lassen sich mit der Verwendung von Altkunststoffen im Straßenbau zwei Probleme gleichzeitig lösen. Im Straßenbau kann auf den Einsatz von Asphalt mit dem kanzerogenen Bindemittel Bitumen sowie dem Einsatz mineralischer Zuschlagstoffe verzichtet werden. Darüber hinaus wird zudem der Kunststoffabfall einer stofflichen Verwertung zugeführt und braucht nicht verbrannt zu werden. Die maximale CO₂-Reduktion soll bei 72 % liegen (Porr o.J.).

Weitere Asphalt-Substitution

Beim Bau von Straßen werden zum größten Teil neue Rohstoffe eingesetzt und nur zu Teilen recycelte Materialien. Straßen sollten daher wie jedes Produkt nach den Regeln der Kreislaufwirtschaft idealerweise aus einem bereits produzierten oder schon geförderten Rohstoff hergestellt werden, sodass der Stoffkreislauf vollständig geschlossen verläuft und keine neuen Rohstoffinputs benötigt werden. Straßen bestehen aus vier Schichten: Dem Untergrund, dem Unterbau, der Tragschicht mitsamt Planum und dem Oberbau. Neben dem Asphalt für den Oberbau besteht der überwiegende Anteil einer Straße aus stets neu geförderten Steinen und Quarzsand. Dies bedeutet letzten Endes, dass eine jede neue, umgebaute oder sanierte Straße in der Gesamtrechnung äußerst viele Rohstoffe verschwendet. Statt auf Rohmaterialien zu setzen, lässt sich jedoch ein Mischmaterial aus Bauschutt und Altreifen herstellen, das sich als Tragschicht für Straßen eignet. Genauso wie Bauschutt, stellen auch alte Reifen ein großes Entsorgungsproblem dar. Jährlich werden weltweit rund eine Milliarde Altreifen „produziert“. In Deutschland werden Altreifen in Zementwerken als Brennstoff eingesetzt. Die Möglichkeit zur gemeinsamen Wiederverwendung von Reifen und Bauschutt bietet gleichzeitig eine sehr gute funktionale Performance hinsichtlich der

Flexibilität, der Festigkeit und den bleibenden Verformungen. Um maximale Festigkeit und optimale Kohäsion zwischen den beiden Inputmaterialien zu erreichen, liegt das optimale Verhältnis bei 99,5% Bauschutt und 0,5% Altreifen, die zuvor zu feinem Gummigranulat verarbeitet werden. Das Mischmaterial ist sehr gut für den Straßenbau geeignet und kann einen Beitrag zu einem nachhaltigen Straßenbau leisten (FCC o. J.).

Lärmarmer Asphalt

Zur Bekämpfung von Lärmbelästigung im Straßenverkehr sind Maßnahmen an der Emissionsquelle – im Vergleich zu Lärmschutzmaßnahmen – effektiver. Daher sind sogenannte Flüsterasphalte bereits seit einiger Zeit in der Anwendung. Dabei handelt es sich um offenporige Asphalte, die auch als Drainasphalt oder lärmoptimierter Asphalt bezeichnet werden. Der offenporige Asphalt ist eine spezielle Art des Asphaltbetons, der bereits in den 1980er Jahren entwickelt wurde. Durch den hohen Anteil an Hohlräumen wird der Schall der Fahrgeräusche absorbiert und verhindert auf diese Weise deren Entstehung durch Luftableitung. Dieser Effekt macht sich besonders bei Straßen bemerkbar, bei denen die Reifen-Fahrbahn-Geräusche die Hauptgeräuschquelle darstellen, wie z. B. bei Autobahnen. Es werden Lärmreduzierungen von rund 5 bis 10 dB(A) erreicht, was für das menschliche Hörempfinden etwa einer Reduzierung um ein Drittel bis zur Halbierung entspricht. Die lärmindernde Wirkung lässt jedoch nach etwa sechs bis acht Jahren nach, da Straßenschmutz und Reifenabrieb die Poren verstopfen. Die bisher gesammelten Erfahrungen zeigen, dass die mechanischen und akustischen Ergebnisse langfristig meist deutlich abnehmen und dann auch hinter herkömmlichen Deckschichten zurückbleiben: Während «traditionelle» Deckschichten 20 - 25 Jahre halten, haben lärmarme Deckschichten zudem eine verkürzte Lebensdauer von maximal 10 - 15 Jahren (BFH 2021)

Quellenverzeichnis

- ASU (2020) Eberhard Nies (2020): Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung. In: ASU-Zeitschrift für medizinische Prävention. Ausgabe 02-2020. Alfons W. Gentner Verlag. Stuttgart 2020. Online: <https://www.asu-arbeitsmedizin.com/praxis/auf-gewundenen-strassen-zum-verbindlichen-arbeitsplatzgrenzwert-daempfe-und-aerosole-aus>
- BA Berlin (2020): Bezirksamt Friedrichshain-Kreuzberg von Berlin und Bezirksamt Neukölln von Berlin (Hrsg.) (2020): Sozial verantwortliche Beschaffung von Natursteinen. Dokumentation von Pilotausschreibungen und Anregungen für die Praxis. Berlin 2020. Online: https://www.berlin.de/ba-neukoelln/politik-und-verwaltung/beauftragte/nachhaltigkeit/web_bza_leitfaden_201111.pdf
- BBR (2007) Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.) (2007). Thomas Preuß, Stephanie Bock, Christa Böhme, Arno Bunzel, Gregor Jekel, Ulrike Meyer, Manuela Rottmann, Uwe Ferber, Peter Rogge, Ariane Ruff, Kilian Bizer, Georg Cichorowski, Fabian Dosch, Peter Jakubowski, Eckhard Bergmann: Perspektive Flächenkreislaufwirtschaft-Kreislaufwirtschaft in der städtischen/stadtregionalen. Flächennutzung – Fläche im Kreis. Ein ExWoSt-Forschungsfeld. Band 2 Was leisten bestehende Instrumente? Bonn, August 2007. Online: <https://www.irbnet.de/daten/rswb/07109002616.pdf>
- BFH (2021): BFH-Berner Fachhochschule (2021): Nachhaltigkeit im Straßenbau: langlebige, lärmarme Asphaltbeläge. News Institut für Siedlungsentwicklung und Infrastruktur ISI News vom 22.09.2021 Online: <https://www.bfh.ch/de/aktuell/news/2021/nachhaltigkeit-im-strassenbau/>

- BFT (International 2015) BFT International (2015): Neue Bindemittel und Oberflächentechnologien – Perspektiven in der Betontechnologie BFT International Ausgabe 02/2015 Bauverlag BV GmbH Gütersloh 2015 Online
https://www.bft-international.com/de/artikel/bft_Perspektiven_in_der_Betontechnologie_2272330.html
- BFT International (2018) BFT International (2018): Chancen und Risiken alternativer, nachhaltiger Zemente. Wo bleibt die Zementwende? BFT International Ausgabe 02/2018 Bauverlag BV GmbH Gütersloh 2018 Online:
https://www.bft-international.com/de/artikel/bft_Wo_bleibt_die_Zementwende_3118716.html
- BMUV (2022) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2022): Bodenschutz und Altlasten – Worum geht es?. Online:
<https://www.bmu.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/boden-und-altlasten/bodenschutz-und-altlasten-worum-geht-es>
- Bundesregierung (2021) Die Bundesregierung (2021): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2021. Online:
www.deutsche-nachhaltigkeitsstrategie.de
- CSR Risiko Check (2022): MVO Nederland (2022): CSR Risiko Check. Utrecht NL. 2022. Online :
<https://www.mvorisicochecker.nl/de>
- (dav (2022) DAV-Deutscher Asphaltverband (2022): Asphaltproduktion in Deutschland (Stand Dezember 2022). Bonn. Online: https://www.asphalt.de/fileadmin/user_upload/downloads/AsphaltP2021.pdf
- (dav (o.J.) DAV- Deutscher Asphaltverband (o. J.): Der richtige Weg: Wiederverwendung. Bonn. Online:
<https://www.asphalt.de/themen/umwelt/wiederverwendung/>
- FCC (o.J) FCC Austria Abfall Service (o.J.): Aus alten Reifen und Bauschutt: Wissenschaftler entwickeln neues Material für Nachhaltigen Strassenbau. FCC Abfall Service online. Himberg, Österreich. Online:
<https://www.abfallserviceonline.at/de/news/aus-alten-reifen-und-bauschutt-wissenschaftler-entwickeln-neues-material-fur-nachhaltigen-stras.html>
- Grimm (2018) Roland Grimm (2018) Entwässerung: Wasserdurchlässige Pflasterflächen 24. Juli 2018 BaustoffWissen. Rudolf Müller Mediengruppe. Köln. Online:
<https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/garten-landschaftsbau-tiefbau/wasserdurchlaessige-pflaster-entwaesserung-fugenversickerung-haufwerksporiges-betonsteinpflaster-filtersteine-porenst-eine-rasengittersteine/>
- Handelsblatt (2022) 25.11.2022 Katrin Witsch: Klimakiller Beton: So will die deutsche Zementindustrie CO₂-neutral werden. Online:
<https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/klimaschutz-klimakiller-beton-so-will-die-deutsche-zementindustrie-co2-neutral-werden-/26652040.html>
- Kompass Nachhaltigkeit (2022). ENGAGEMENT GLOBAL – Service für Entwicklungsinitiativen (Hrsg.). In Zusammenarbeit mit Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ): Kompass Nachhaltigkeit. Bonn/Eschborn 2022. Online: <https://www.kompass-nachhaltigkeit.de/>
- KSG (2021) Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG). Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist. Online:
<https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/BJNR251310019.html>
- Markt Natursteine (2019) Die Natursteine – Fachzeitschrift des Ebner Verlags (Hrsg.) (2019): Markt Naturstein Stand: Februar 2019. Online:
https://www.ebnermedia.de/fileadmin/user_upload/naturstein/Markt_Naturstein_Ebner_Verlag_Stand_2019.pdf
- Montani (2021): Montani, Carlo (2021): XXXII World Marble and Stone Report 2021 Carrara, Italy 2021. Online:
<https://www.worldstonereport.com/>
- PlasticRoad BV(2020): Circular, lightweight solutions for a sustainable infrastructure Made From Recycled Plastik. Online: <https://plasticroad.com/en>
- Porr (o.J.) PORR AG (o.J.): Nachhaltige Lösung: Straßen aus Plastik. Online:
<https://worldofporr.com/de/stories/nachhaltige-loesung-strassen-aus-plastik/>
- Schneider et al (2017) Schneider, K.; Butler, M.; Mechtcherine, V.: Carbon Concrete Composites C³ – Nachhaltige Bindemittel und Betone für die Zukunft. In: Beton- und Stahlbetonbau. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, 2017.
- Statista (2022b): Statista Research Department (2022b): Weltweite Produktion von Zement im Zeitraum von 1995 bis 2021 Statista Research Department, 19.07.2022. Online:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1320914/umfrage/weltweite-produktion-von-zement/>
- UBA (2012) Umweltbundesamt (Hrsg.) (2012). Kilian Bizer, Jana Bovet, Ralph Henger, Nils Jansen, Stefan Klug, Katrin Ostertag, Joachim Schleich, Stefan Siedentop, Anna Kunath und Carla Schönfelder (2012): Projekt FORUM: Handel mit Flächenzertifikaten Fachliche Vorbereitung eines überregionalen Modellversuchs.

- UBA-Texte 60/2012. Dessau-Roßlau, Dezember 2012. Online
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4388.pdf>
- VDZ (2020) VDZ – Verein Deutscher Zementwerke e.V. (Hrsg.) (2020) Martin Schneider: Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien Eine CO₂ – Roadmap für die deutsche Zementindustrie. Düsseldorf November 2020. Online:
https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/VDZ-Studie_Dekarbonisierung_von_Zement_und_Beton.pdf
 - VPG (2021) Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG). Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. März 2021 (BGBl. I S. 540), das durch Artikel 14 des Gesetzes vom 10. September 2021 (BGBl. I S. 4147) geändert worden ist. Online:
<https://www.gesetze-im-internet.de/uvpg/BJNR102050990.html>
 - WEED (2019) WEED – Weltwirtschaft, Ökologie & Entwicklung e.V. (Hrsg.) (2019) Juliane Kühnrich: Handbuch: Sozial verantwortliche Beschaffung am Beispiel von Natursteinen und IT-Produkten. Berlin 2019. Online:
https://www2.weed-online.org/uploads/weed_handbuch_sozial_verantwortliche_beschaffung_mobil.pdf
 - Wolf (2022) Wolf, Thomas (2022): Betonstraßen von heute und morgen. Nachhaltiger Straßenbau. In: Bauingenieur, 2022, Volume 97, Issue 6, pp 24–8. Springer-VDI-Verlag. Online:
<https://trid.trb.org/view/1998949>

SDG 11: “Nachhaltige Städte und Gemeinden”

“Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten”

Das SDG 11 zielt darauf ab, Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig zu gestalten.

Für den Bausektor sind dazu die folgenden Unterziele von besonderer Relevanz:

- SDG 11.1: *“Bis 2030 den Zugang zu angemessenen, sicherem und bezahlbarem Wohnraum und zur Grundversorgung für alle sicherstellen (und Slums sanieren)”*
- SDG 11.2: *“11.2 Bis 2030 den Zugang zu sicheren, bezahlbaren, zugänglichen und nachhaltigen Verkehrssystemen für alle ermöglichen und die Sicherheit im Straßenverkehr verbessern, insbesondere durch den Ausbau des öffentlichen Verkehrs, mit besonderem Augenmerk auf den Bedürfnissen von Menschen in prekären Situationen, Frauen, Kindern, Menschen mit Behinderungen und älteren Menschen”*
- SDG 11.3: *“11.3 Bis 2030 die Verstädterung inklusiver und nachhaltiger gestalten und die Kapazitäten für eine partizipatorische, integrierte und nachhaltige Siedlungsplanung und –steuerung in allen Ländern verstärken”*
- SDG 11.6: *“11.6 Bis 2030 die von den Städten ausgehende Umweltbelastung pro Kopf senken, unter anderem mit besonderer Aufmerksamkeit auf der Luftqualität und der kommunalen und sonstigen Abfallbehandlung”*

Die Schnittmenge von SDG 11 mit der Standardberufsbildposition ergibt sich aus den Nummern b,d,e und f der Standardberufsbildposition (BIBB 2020):

- 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
- 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**

Straßen sind ein wesentliches Merkmal unserer Städte. Daher werden wesentliche Aspekte zum nachhaltigen Straßenbau im SDG 11 dargelegt. Gleichwohl ist der Straßenbau nicht auf Städte beschränkt und hat daher starke Bezüge zu SDG 9 Industrie , Innovations und Infrastruktur aber auch zu SDG 12 Nachhaltiger Konsum und Produktion.

Nachhaltige Baustelle

Die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) hat 2021 ein Zertifizierungssystem für nachhaltige Baustellen entwickelt. Es versteht sich als Planungs- und Management Tool und die Zertifizierung soll bei der Qualitätssicherung und Risikominimierung auf der Baustelle helfen. Zertifiziert werden Ressourcenschutz, Gesundheit und Soziales sowie die Kommunikation mit der lokalen Öffentlichkeit. Einsetzbar ist das Zertifikat für Hoch- und Tiefbauprojekten. Es wird prozessbegleitend während der gesamten Baustellenabwicklung angewandt (DGNB 2021).

Über fünf Kriterien werden die wesentlichen Indikatoren abgebildet, die zu einer möglichst hohen Nachhaltigkeitsqualität einer Baustelle beitragen (DGNB 2021):

- Das Kriterium "Baustellenorganisation" definiert Vorgaben zur Baustellenplanung sowie zum Sicherheits- und Gesundheitsschutz. Hinzu kommen Maßnahmen zur Vermeidung der Belastung der lokalen Umwelt. Dabei geht es um Konzepte für eine lärm-, staub- und abfallarme Baustelle, den Boden- und Grundwasserschutz sowie eine umwelt- und anwohnerorientierte Logistik.
- Das Kriterium "Ressourcenschutz" bezieht sich auf die Ressourceneinsparung und Emissionsminderung in Bezug auf die genutzte Energie. Insbesondere zum Einsatz erneuerbarer Energie und umweltgerechte Transportmittel. Ferner werden die Wiederverwendung und -verwertung von Baumaterialien, die aktive

Beeinflussung der Verwertungs- und Entsorgungswege sowie der Wasserverbrauch adressiert.

- Im Kriterium "Gesundheit und Soziales" steht die Gesundheitsprävention arbeitender Personen auf der Baustelle im Mittelpunkt. Ein Arbeits- und Sicherheitsplan für die Bauhauptgewerke sowie eine Gefährdungsbeurteilung durch die beauftragten Unternehmen sind weitere Indikatoren. Hinzu kommen Aspekte wie die Arbeitsplatzqualität oder die Absicherung der Sozialleistungen für alle Beteiligten.
- Das Kriterium "Kommunikation mit der lokalen Öffentlichkeit" beurteilt die prozessbegleitende Kommunikation und das Erscheinungsbild der Baustelle für die Öffentlichkeit.
- Im Kriterium "Qualität der Bauausführung" werden Planverwaltungsmanagement, eine Schnittstellenkoordination oder ein Verbesserungsmanagement positiv bewertet. Auch der Einsatz intelligenter Maschinensteuerung fließen in das Zertifizierungsergebnis ein.

Baumaschinen RAL-UZ 53

Arbeitsgeräusche von Baustellen werden häufig als sehr laut und störend empfunden. Zum Schutz von Arbeitern und Anwohnern ist es wichtig, lärmarme Baumaschinen zu betreiben. Daher werden mit dem Blauen Engel Grenzwerte für den zulässigen Schallpegel von mobilen Geräten und Maschinen festgelegt, die einen lärmarmen Baustellenbetrieb ermöglichen. Durch die Vergabe des Umweltzeichens für lärmarme und emissionsarme Baumaschinen soll eine Reduzierung der Geräusch-, Abgas- und Partikelemissionen erreicht werden. Die meisten Baumaschinen werden durch Verbrennungsmotoren betrieben, die dabei in erheblichem Maße Geräusche, Abgase und Partikel erzeugen. Besonders in städtischen Gebieten werden dadurch die lokale Luftqualität sowie die Gesundheit betroffener Personen stark beeinträchtigt.

Mit dem Blauen Engel RAL UZ 53 können Baumaschinen ausgezeichnet werden die gemäß Anhang I der Richtlinie 2000/14/EG (EU 2000/14/EG) definiert und dort in Tabelle 1 erfasst sind. Grundsätzlich wird unterschieden zwischen Maschinen kleiner 19 kW und alle anderen Baumaschinen. Für Baumaschinen kleiner 19 kW müssen Grenzwerte für Betriebsgeräusche eingehalten werden. Baumaschinen mit mehr als 19 kW installierter Nutzleistung müssen zusätzlich Grenzwerte bei der Emission von CO, NO_x, HC (flüchtige organische Substanzen) und Feinstaub einhalten.

Der maximale Prüfwert für den garantierten Schallleistungspegel darf 104 dB nicht überschreiten. In Abhängigkeit von Baumaschinentypen und deren installierter Nutzleistung gelten unterschiedliche maximale Schallleistungspegel zwischen 87 und 103 dB (RAL-UZ 53 2015).

Quellenverzeichnis

- 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>
- DGNB (2021) Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V.(2021): Zertifizierung für nachhaltige Baustellen. Stuttgart 10.06.2021. Online: <https://www.dgnb.de/de/aktuell/pressemitteilungen/2021/zertifizierung-nachhaltige-baustellen>
- (EU 2000/14/EG) Richtlinie 2000/14/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2000 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräte und Maschinen. Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:l28048>
- RAL-UZ 53 (2015) RAL gGmbH (2015): Vergabegrundlage für Umweltzeichen Baumaschinen RAL-UZ 53. Sank Augustin, Februar 2015. Online: <https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20053-201502-de-Kriterien-V5.pdf>

SDG 12: “Nachhaltige/r Konsum und Produktion”

“Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen”

Das SDG 12 “Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen”, fordert im Kern zu nachhaltigem Konsum und nachhaltigen Produktionsmustern auf (“Ensure sustainable consumption and production patterns”). Die Entwicklung einer funktionierenden Abfall- und Kreislaufwirtschaft leistet zudem einen positiven Beitrag zu weiteren Zielen, beispielsweise Gesundheit (SDG 3), menschenwürdige Beschäftigung (SDG 8) und Klimaschutz (SDG 13). Darüber hinaus kann die Kreislaufwirtschaft auch noch zu weiteren Nachhaltigkeitszielen, wie sauberes Wasser (SDG 6), Industrie, Innovation und Infrastruktur (SDG 9, Leben an Land (SDG 15) sowie nachhaltige Städte und Gemeinden (SDG11) führen. (BMZ o.J.) SDG 12 wird daher auch als Querschnittsziel bezeichnet. Mit Blick auf die Abfall- und Kreislaufwirtschaft sind folgende Unterziele von SDG 12 von besonderer Relevanz (Destatis 2022):

- **SDG 12.2:** “Bis 2030 die nachhaltige Bewirtschaftung und effiziente Nutzung der natürlichen Ressourcen erreichen.”
- **SDG 12.4:** “Bis 2020 einen umweltverträglichen Umgang mit Chemikalien und allen Abfällen während ihres gesamten Lebenszyklus in Übereinstimmung mit den vereinbarten internationalen Rahmenregelungen erreichen und ihre Freisetzung in Luft, Wasser und Boden erheblich verringern, um ihre nachteiligen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt auf ein Mindestmaß zu beschränken.”
- **SDG 12.5:** “Bis 2030 das Abfallaufkommen durch Vermeidung, Verminderung, Wiederverwertung und Wiederverwendung deutlich verringern.”
- **SDG 12.7:** “In der öffentlichen Beschaffung nachhaltige Verfahren fördern, im Einklang mit den nationalen Politiken und Prioritäten”

Darüber hinaus sind erwähnenswert:

- **SDG 12.1:** “Die Umsetzung des Zehnjahresprogramms für nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster der UNO.”
- **SDG 12.3:** “Bis 2030 die weltweite Nahrungsmittelverschwendung pro Kopf auf Einzelhandels- und Verbraucherebene halbieren.”
- **SDG 12.6:** “Unternehmen zu einer nachhaltigen Unternehmensführung ermutigen.”

“Abfall” ist aber auch eine eigene Position 3d in der Standardberufsbildposition “Umweltschutz und Nachhaltigkeit”:

- d. **Abfälle vermeiden** sowie Stoffe und Materialien einer **umweltschonenden Wiederverwertung oder Entsorgung zuführen**

SDG 12 zielt im Kern auf die nachhaltige und effiziente Nutzung der Ressourcen ab. Ressourcen sind alle Stoffe der Natur (Mineralien und Metalle, biotische Ressourcen wie Holz oder Baumwolle), aber auch Luft, Wasser und Boden (vgl. ProgRess 2016). Abfälle sollen vermieden oder recycelt und gefährliche Abfälle sicher entsorgt werden. Die Nahrungsmittelverschwendung soll verringert werden (s.u.). Weitere Themen sind die nachhaltige Entwicklung von Unternehmen, eine bessere Verbraucher*innen-Bildung, nachhaltige Beschaffung und der umweltverträgliche Umgang mit Chemikalien. Das SDG 12 betrifft daher im Prinzip alle Fähigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten der Standardberufsbildposition. Weitere Verbindungen zwischen den SDG und der Standardberufsbildposition werden bei den jeweiligen SDG beschrieben.

Ressourcenverbrauch

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

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

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

Baurestmassen

Ein besonders hohes Verwertungspotential besitzen Baurestmassen, denn sie machen über die Hälfte des gesamten Abfallaufkommens aus (DESTATIS 2022b). Jährlich sind es über 80 Millionen Tonnen, die einer Verwertung oder einer Beseitigung zugeführt werden müssen. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um Bauschutt, Straßenaufbruch, Baustellenabfällen sowie die Fraktion Boden und Steine. Dabei sind größere Mengen an Aushubmaterial, wie Boden und Steine, typisch für bauvorbereitende Handlungen im Hoch- und Tiefbau. Abbruchabfälle hingegen sind inhomogene Gemische, die aus einer Vielzahl von Materialien, wie Boden, Sand, Natursteinen, Betonstücken, Keramik, Ziegel, Fliesen, behandelten und unbehandelten Hölzern, Metallteilen oder Asphalt zusammengesetzt sein können. Auch Installationselemente aus dem Elektrobereich wie beispielsweise Kabel und Geräte sowie Isolationsmaterialien und Rohrleitungen gehören dazu (bbs 2021b).

Die Verwertungsmöglichkeiten für Bau- und Abbruchabfälle und daraus gewonnene Materialien sind vielfältig. Bei guter und gesicherter Qualität können Gesteinskörnungen aus Beton- und Mauerwerksbruch für die Herstellung von Betonen im Hochbau eingesetzt werden. Ansonsten stellen landschaftsbauliche Maßnahmen, Unterbau- und Tragschichtherstellung im Straßen- und Wegebau sowie der Bau von Sicht- und Lärmschutzanlagen gängige Verwertungswege dar. Auch im Deponiebau besteht eine signifikante Nachfrage nach aufbereiteten Baureststoffen (bbs 2021b).

Trotz dieser guten Verwertungsmöglichkeiten wird eine hochwertige Kreislaufführung unter Weiternutzung der stofflichen-technischen Eigenschaften für die mineralischen Fraktionen noch zu selten praktiziert. Denn nur ein Bruchteil wird wieder als hochwertiger Betonzuschlagstoff eingesetzt. Der überwiegende Teil wird weniger hochwertig bodennah eingesetzt, wie beispielsweise im Landschafts- und Wegebau, als Ausgleichsmaterial, als Verfüllungsmaterial von Aushebungen oder im stillgelegten Bergbau. Der Einsatz von Recycling-Gesteinskörnungen mit definierten technischen Eigenschaften in Anwendungen, die keine besonderen Anforderungen an das Material stellen, entspricht jedoch einem Downcycling (UBA 2010).

Eine hochwertige Verwertung von Baurestmassen in anspruchsvollen Anwendungen erfordert allerdings entsprechende Verfahren zur Gewinnung und Herstellung hochwertiger und gütegesicherter mineralischer Rezyklate. Denn die späteren Verwertungsmöglichkeiten werden maßgeblich von den bautechnischen Eigenschaften des Ausgangsmaterials und der Zusammensetzung des Bauschutts bestimmt. Daher sind selektive Rückbau- und Abbruchverfahren, bei denen die Baustofffraktionen bereits an der Abbruchstelle sorgfältig getrennt und Schadstoffe frühzeitig ausgeschleust werden, von zentraler Bedeutung. Denn sortenreine mineralische Bauabfälle lassen sich durch Zerkleinern, Sieben und Klassieren zu Recycling-Baustoffen aufbereiten und können dann im konstruktiven Bau als gleichwertiger Betonzuschlag eingesetzt werden und auf diese Weise dazu beitragen wertvolle Rohstoffvorkommen zu schonen.

Mittelfristig ist es wichtig, die große Abhängigkeit vom Straßen(neu)bau bei der Entsorgung von Abbruchabfällen zu reduzieren, denn der materialintensive Neubau von Straßen wird, vor allem in strukturell benachteiligten Regionen, abnehmen. In Regionen mit eher geringem Neubau von Straßen liegen daher die ökologischen Vorteile, Gesteinskörnungen im Hochbau zu verwerten, auf der Hand (UBA 2010).

Verwertung von teerhaltigem Straßenaufbruch

Bis zum Ende der 1980er Jahre, konnten im Straßenbau nicht nur Bitumen, sondern auch Straßenpech und Gemische aus Straßenpech und Straßenbaubitumen als Bindemittel eingesetzt werden. Seit dem Jahr 19484 ist in Deutschland und seit 1990 auch in den neuen Bundesländern die Anwendung von Teer als Bindemittel im Straßenbau verboten. Denn Herstellungsbedingt sind kohlestämmige Peche, Teere und Öle unterschiedlich zusammengesetzte Aromatengemische, die einen hohen Gehalt an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und Phenolen enthalten. Für PAK dieser Herkunft ist die krebserzeugende Wirkung in epidemiologischen Untersuchungen nachgewiesen worden; sie sind der Stoffgruppe "Pyrolyseprodukte aus organischem Material", Kategorie 1 der MAK- und BAT-Werte-Liste der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG 2014.) zugeordnet. Phenole sind in die Kategorie 3B der MAK- und BAT-Werte-Liste eingestuft, d. h. es liegen Anhaltspunkte für eine krebserzeugende Wirkung vor. Pechhaltiger Straßenaufbruch ist zudem als stark wassergefährdend (WGK 3) eingestuft (VAWS 2014).

Pechhaltiger Straßenaufbruch mit einem Gehalt an PAK von ≥ 1000 mg/kg und/oder einem Gehalt an Benzo(a)pyren ≥ 50 mg/kg ist gefährlicher Abfall. Er wird dem Abfallschlüssel 17 03 01: Kohlenteerhaltige Bitumengemische zugeordnet (AVV 2001) und unterliegt grundsätzlich den Pflichten der Nachweisverordnung (NachwV 2006). Er darf entsprechend der Anzeige- und Erlaubnisverordnung (AbfAEV 2003) gewerbsmäßig nur mit Genehmigung der zuständigen Behörde eingesammelt oder befördert werden.

Europaweit gilt teerhaltiger Straßenaufbruch seit 2002 aufgrund seines hohen PAK-Gehalts ebenfalls als gefährlicher Abfall und ist als besonders überwachungsbedürftig eingestuft. Je nach Höhe der PAK-Gehalte und des Phenolindex wird der Straßenaufbruch einer sogenannten Verwertungsklasse zugeordnet und in Abhängigkeit von dieser Klasse entsprechende Verwertungsmöglichkeiten definiert. Allerdings unterscheiden sich die PAK- Grenzwerte, die zur Einstufung als teerhaltiger Abfall führen, in den einzelnen Bundesländern teilweise erheblich. Gleichwohl kommen grundsätzlich folgende vier Verwertungsoptionen in Betracht (REMEX 2021):

- Stoffliche Verwertung im Straßenbau -
- Stoffliche Verwertung auf der Deponie
- Thermische Behandlung
- Beseitigung auf der Deponie

In Deutschland fallen jedes Jahr über 3 Mio. t teerhaltiger Straßenaufbruch an (Destatis 2023). Denn die alten teerhaltigen Asphaltsschichten sind vielfach noch immer im Straßenkörper vorhanden, weil gerade im kommunalen Straßennetz einige Straßen noch nicht erneuert wurden. Um den Ausbau des pechhaltigen Materials nach Möglichkeit zu vermeiden, verbleiben die belasteten, teerhaltigen Schichten oftmals im Straßenkörper, werden dort als Unterbau genutzt und mit einem neuen Straßenkörper überbaut.

Allerdings stellt dann jede weitere Baumaßnahme eine erneute Konfrontation mit diesem schadstoffbelasteten Material dar. Das verursacht zusätzliche Kosten. Zudem bleibt das Belastungspotenzial bestehen und das schadstoffbelastete Material wird nicht aus dem Materialkreislauf ausgeschleust (REMEX 2021).

Um jedoch die kreislaufwirtschaftlich gebotene Ausschleusung von Schadstoffen zu bewerkstelligen, verbleiben anstatt einer Weiterverwendung im Straßenbau lediglich die thermische Behandlung und die Deponierung als mögliche Entsorgungspfade übrig. Bei der Deponierung ist allerdings zu unterscheiden ob es sich um eine einfache Ablagerung (Beseitigung) handelt oder ob der teerhaltige Straßenaufbruch stofflich verwertet wird. Eine stoffliche Verwertung auf der Deponie liegt vor, wenn das Material z.B. zur Modellierung des Deponiekörpers und der Ausgestaltung der endgültigen Kubatur, als Baustoff für den Wegebau, als Schutzlage auf Kunststoff-Dichtungsbahnen, in der Sickerwasserschicht oder als filterstabile Schicht auf der Sickerwasserschicht genutzt wird (Knappe et al 2017).

Mehr als 60 % des anfallenden teerhaltigen Straßenaufbruchs werden auf Deponien verbracht. Davon wiederum werden lediglich knapp 60 % dort abgelagert. Die darin enthaltenen hochwertigen mineralischen Rohstoffe werden somit nicht als Deponieersatzbaustoff genutzt. (Sutor-Fiedler 2021)

Aus ökologischer Sicht kann der Einsatz von teerhaltigem Straßenaufbruch als Deponiebaustoff im Vergleich zur thermischen Reinigung vorteilhafter sein. Entscheidend sind dabei die Transportwege sowie die Transportart von der Anfallstelle zur Deponie bzw. zur thermischen Behandlungsanlage. Ist die zusätzliche Transportstrecke zur thermischen Behandlung größer als 60 km per Schiff, ist eine stoffliche Verwertung in Form von Deponiebaustoffen ökologisch vorteilhafter (Knappe et al. 2017). Dies ist in Deutschland jedoch überwiegend der Fall, denn in Ermangelung einer entsprechenden Behandlungsanlage in Deutschland kann das Material derzeit ausschließlich in spezielle thermische Behandlungsanlagen in die Niederlande gebracht werden. Dies führt zu unverhältnismäßig langen Transportwegen, die sich in der Ökobilanz, aber auch wirtschaftlich niederschlagen (Kurth et al. 2019).

Betonrecycling

Beton wird im Straßenbau immer dann eingebaut, wenn hohe Belastungen zu erwarten sind, denn bezogen auf die Einbaustärke ist Beton stärker belastbar als Asphalt. Typische Anwendungsfälle sind daher z. B. Lkw-Fahrspuren auf Autobahnen, Parkflächen auf Lkw-Rastplätzen oder Rangierflächen. Zudem sind Betonstraßen deutlich langlebiger als Asphaltstraßen (Baunetzwerk 2019). Allerdings ist der Einbau von Beton deutlich komplizierter als der von Asphalt, denn mit dem Einbau der ersten Lage wird auch direkt die Oberfläche hergestellt, welche beim Asphalt aus als sogenannte Verschleißdecke erst als letzte Schicht hergestellt wird. Des Weiteren sind Sanierungen aufwändiger und die Zeit zwischen dem Baubeginn und der Nutzung ist erheblich länger als bei Asphaltfahrbahnen (Baunetzwerk 2019).

Im Jahr 2021 wurden in Deutschland etwa 54 Mio. m³ Transportbeton produziert. In den letzten Jahren ist die produzierte Betonmenge kontinuierlich gestiegen. Lag die Produktionsmenge im Jahr 2012 noch bei 46 Mio. m³, kletterte sie im Jahr 2019 bereits auf 53 Mio. m³ (Statista 2022c).

Zum Schutz der natürlichen Rohstoffe werden bereits seit geraumer Zeit als Zuschlagstoffe für Betone sogenannte rezyklierte Gesteinskörnungen anstelle von Kies oder Splitt, die aus natürlichen Lagerstätten gewonnen werden, eingesetzt (IZB o.J.). Beim Betonrecycling wird zwischen dem Recycling von Frischbeton und von Festbeton unterschieden.

Das Recycling von Frischbeton erfolgt in der Regel bereits im Betonmischwerk, wo überzähliger Frischbeton und das sogenannte Restwasser aus der Betonherstellung aufbereitet und fast vollständig der Produktion des Betons wieder zugeführt werden. Frischbeton, der entweder auf der Baustelle zu viel bestellt wurde oder bei der Fertigteilherstellung nicht benötigt wurde, landet in der Recyclinganlage des Betonwerks. Dort werden flüssige und feste Bestandteile effizient getrennt. Die festen Bestandteile werden anschließend den Lagerbeständen der Gesteinskörnungen für die weitere Betonherstellung zugeführt. Das sogenannte Restwasser fällt nicht nur beim Frischbetonrecycling an, sondern auch beim Reinigen des Betonmischers, der Fahrmischertrommel oder der Betonpumpe. Die Verwendung von Restwasser als Zugabewasser für Betone regelt DIN EN 1008.

Beim Recycling von Festbeton werden Betonbauteile am Ende ihrer Lebensdauer zerkleinert und nahezu vollständig als Baustoff wiederverwertet, sei es im Straßenbau oder als rezyklierte Gesteinskörnung bei der Betonherstellung. Die notwendigen technischen Regelwerke für das Betonrecycling liegen vor und sind bauordnungsrechtlich eingeführt (Zementmerkblatt (2021)). Doch auch eine Wieder- oder Weiterverwendung nach dem Prinzip „Produktrecycling vor Materialrecycling“ lässt sich bei Betonfertigteilen und Betonwaren oft sehr gut realisieren. Tragende Bauteile aus Beton können im Ganzen demontiert und in anderen Bauwerken

wiederverwendet werden. Aufgenommene Wegebefestigungen aus Betonsteinpflaster oder Betonplatten werden z. B. beim Bau von Deichen, Bus- und Straßenbahnhaltstellen wieder eingesetzt.

Andere Betonbauteile werden nach dem Abbruch eines Bauwerks in Brechanlagen zerkleinert und anschließend zu hochwertiger Gesteinskörnung aufbereitet. Allerdings sind ein sorgsamer Abbruch und Rückbau mit getrennter Erfassung der Restbaumassen eine zentrale Voraussetzung für das Recycling von Festbeton (IZB o.J.).

Der Festbeton, der mit rezykliertem Material hergestellt und meist als ressourcenschonender oder R-Beton bezeichnet wird, besitzt praktisch dieselben Festigkeiten wie ein Beton, der vollständig mit natürlichen Gesteinskörnungen hergestellt wurde. Die Herstellung und Verwendbarkeit von Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung ist in der DAfStb-Richtlinie „„Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung – R-Beton“ geregelt (DAfStb-RiLi B30 2021). Sie legt z. B. Grenzwerte für den Anteil der rezyklierten Gesteinskörnungen im Beton fest, um u.a. die Dauerhaftigkeit des Betons zu gewährleisten. Doch auch die Herstellung von Beton mit bis zu 100 % rezyklierter Gesteinskörnung ist möglich. Dazu muss allerdings die Produkteigenschaft durch bauaufsichtliche Zulassung oder einer Zustimmung als Einzelfall nachgewiesen werden.

Recycling-Baustoffe decken in Deutschland bereits heute fast 13 % des Bedarfs an Gesteinskörnung und ersetzen damit Rohstoffe, die sonst natürlichen Lagerstätten entnommen werden müssten. Angesichts der erschwerten Erschließung weiterer Lagerstätten natürlicher Gesteinskörnungen und Möglichkeiten, Bauschutt zu deponieren, wird das Recycling von Baustoffen in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen (IZB o.J.).

Nachwachsende Bindemittel zu Substitution von Bitumen

Bitumen fällt bei der Mineralölverarbeitung als Fraktion des Erdöls an, die nach dem Abdestillieren der verdampfbaren Anteile zurückbleibt. Je nach Herstellungsverfahren wird zwischen Destillationsbitumen, Hochvakuumbitumen, Oxidationsbitumen oder Polymerbitumen unterschieden. Bitumen ist nicht mit Teer zu verwechseln, denn der entsteht als Pyrolyseprodukt (Verkokungsprodukt) bei der unterstöchiometrischen Wärmebehandlung von Stein- oder Braunkohle bei 700 bis 1.200 °C und ist hoch belastet mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und Phenolen. Zu 3/4 wird in Deutschland Bitumen für Walzasphalt als Straßenbelag verbraucht. Ein weiteres Anwendungsfeld von Bitumen ist mit ca. 20% der Einsatz bei der Herstellung von Bitumenbahnen. Das restliche Bitumen findet Anwendung für Kalt- und Heißbitumen sowie Gussasphalt. In Deutschland werden Bitumen in ca. 15 Raffinerien in geschlossenen Anlagen hergestellt.

Der Import von Bitumen hat in den letzten Jahren erheblich abgenommen. Wurden im Jahr 2000 noch 516.399 t Bitumen importiert, waren es im Jahr 2021 lediglich 67.044 Tonnen (Statista 2023). Die inländische Produktion ist in diesem Zeitraum von 3,5 Mio. t im Jahr 2000 auf 4 Mio. t im Jahr 2021 gestiegen (Statista 2023b). Von der gesamten inländischen Produktionsmenge werden etwa 47% ins meist europäische Ausland exportiert. Gut die Hälfte wird in Deutschland verwendet und davon 1,6 Mio. t in der Asphaltproduktion sowie 0,6 Mio. t in der Industrie (Deutsche Bauindustrie 2022).

Überschlägig werden für 1 km Bundesautobahn mit 2 Fahrstreifen pro Richtungsfahrbahn ca. 5.00 t und für 1 km Stadtstraße mit 2 Fahrstreifen auf einer Fahrbahn ca. 100 t Bitumen eingesetzt (Deutsche Bauindustrie 2022).

Der Primärenergieaufwand für Bitumen ist mit ca. 50 MJ/kg relativ gering. Unterscheiden lassen sich die Heiß- und die Kaltverarbeitung von Bitumen. Bei der Kaltverarbeitung wird das Bitumen in Lösemitteln gelöst oder als wässrige Dispersion verarbeitet. Letzteres ist aus ökologischer Perspektive wie auch aus Sicht des Arbeitsschutzes günstiger. Typische Anwendung der Kaltverarbeitung sind die Herstellung von Bitumenklebern oder Bitumendickbeschichtungen. Lösemittelfreie Bitumenemulsionen dominieren die Kaltverarbeitung mit über 85% deutlich. Bei der Heißverarbeitung werden Schaumglasplatten oder Dichtungsbahnen in das erhitzte Bitumen eingelegt: Eine weitere Heißverarbeitung stellt Gussasphalt dar.

Ab Temperaturen von 180°C kommt es bei Bitumen zu merklichen Emissionen von krebserregenden polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) die sich ab 250 °C (Einbautemperatur von Gussasphalt) deutlich erhöhen. Daher wird versucht die Misch- und Einbautemperatur von Asphalt zu verringern, um den Energieeinsatz und damit auch Emissionen von CO₂ aber auch von anderen Schadstoffen zu verringern. In der Regel handelt es sich bei bitumenhaltigen Produkten jedoch um Verbundbaustoffe. Daher ist eine sortenreine Trennung der Einzelfraktionen meist nur mit hohem Aufwand

durchführbar und ein Bitumenrecycling, auch aufgrund seiner hohen Verfügbarkeit als Reststoff der Mineralölverarbeitung, ökonomisch nicht rentabel (Kolb 2004). Allerdings drosseln europäische Raffinerien ihre Bitumen-Produktion jedoch zunehmend. Einige Raffinerien haben ihren Betrieb komplett eingestellt. Insgesamt ist eine Abkehr der Rohölindustrie von schweren Ölen hin zu einer vermehrten Produktion von Heizöl und Diesel zu beobachten. Für Deutschland zählen Heizöl und Diesel zudem im Rahmen der Rohstoffstrategie der Bundesregierung explizit als strategische Produkte, deren nationale Versorgung sicherzustellen ist. Für Europa wird der Rückgang an Produktionskapazitäten für Bitumen seit 2010 auf insgesamt 3 Mio. t geschätzt (Deutsche Bauindustrie 2022).

Aufgrund seiner fossilen Rohstoffbasis ist Bitumen als Bindemittel mineralischer Zuschlagstoffe Ziel von Substitutionsbemühungen. Da die Mischung aus Mineralien und Bitumen unter normalen Bedingungen fest ist, wird sie üblicherweise für die erleichterte Verarbeitung erhitzt sowie zur Reduktion der Viskosität ein organisches Lösemittel, ein sogenanntes Fluxmittel, beigemischt. Diese Fluxmittel entweichen während und nach der Verarbeitung in Form von Treibhausgasen aus dem Asphalt. Eine Alternative ist die Verwendung von Ölen auf nachwachsender Rohstoffbasis wie Rapsöl. Dadurch können bis zu 90% des Bitumens als Bindemittel ersetzt werden. Das Material ist lösemittelfrei, recyclingfähig, wird kalt verarbeitet und benötigt zum Aushärten lediglich die Zugabe von Wasser. Dadurch lassen sich sowohl die Schadstoffbelastung für die verarbeitenden Personen mindern, aber auch die langfristige Ausgasung von flüchtigen Kohlenwasserstoffen sowie die Bildung von bodennahem Ozon reduzieren. Die Verarbeitung des kalten Mischgutes ist nicht nur ungefährlicher, sondern auch energiesparender als das konventionelle Verfahren mit Heißmischgut. Es wird als sogenannter „Reaktiv Asphalt“ als fertige Mischung vermarktet und wird direkt auf der Baustelle durch Befeuchten mit Wasser als Belag eingebaut. Ein weiterer Vorteil ist, dass der so hergestellte Belag bereits unmittelbar nach dem Verdichten befahrbar ist. Das verkürzt die Dauer der Baustelle und reduziert dadurch die baubedingten Einschränkungen des fließenden Verkehrs. Zudem ist der Belag weder hitze- noch frostempfindlich und kann auch bei Temperaturen unter 0°C hergestellt werden. Zwar ist der Einsatz von Reaktiv Asphalt auch im Neubau möglich, die typische Anwendung liegt allerdings in der Sanierung dünner Deckschichten sowie der Ausbesserung von Fahrbahnschäden. Ein weiterer Vorteil beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Straßen- und Asphaltbau ist, dass dabei pflanzlich gebundenes CO₂ langfristig in Straßenbelägen gespeichert wird und die Straße damit zur CO₂ Senke wird (Schönleitner 2020).

Energiesparender Gussasphalt

Die gängigste Einbauart von Asphaltsschichten ist der Walzasphalt. Er wird sowohl als Tragschicht, Binderschicht, Asphaltbeton oder Splittmastixasphalt verbaut. Sein Kennzeichen ist, dass er beim Einbau mit Walzen verdichtet werden muss.

Allerdings ist insbesondere im innerstädtischen Bereich, auf engen Gehsteigen, in der Nähe von historischen Gebäuden oder auf vielen Brücken der Einsatz von schweren Maschinen wie Walzen nicht immer möglich. Stattdessen wird dort vorzugsweise Gussasphalt eingesetzt. Gussasphalt enthält neben Splitt und Sand einen besonders hohen Anteil an feinkörnigen Füllern und an Bitumen

Allerdings wird Gussasphalt erst bei 220 bis 250°C flüssig genug, um ihn auf der Straße verarbeiten zu können, während beim Walzasphalt zwischen 150 und 180°C ausreichen. Der Einsatz von Gussasphalt ist aufgrund der hohen Temperaturen daher ganz besonders energieaufwändig. Daher ist die Reduktion des Energieaufwands ein wesentliches Ziel, um den Einsatz von Gussasphalt nachhaltiger zu machen. Dazu werden Gussasphalte entwickelt, die sich bereits bei niedrigeren Temperaturen verarbeiten lassen. Eine Möglichkeit dazu ist die Form der mineralischen Zuschlagstoffe. Während für Walzasphalt kantige Körner verwendet werden, die für eine enge Verzahnung der Körnung bei der Verdichtung sorgen und damit die nötige Stabilität sicherstellen, ist dies bei Gussasphalt nicht nötig. Die Verwendung runder Steine führt zu denselben Festigkeitseigenschaften. Allerdings fließt Asphalt mit runden Steinen besser und muss daher nicht so hoch erhitzt werden. Zudem lässt sich durch die Verwendung von Rundkorn nicht nur Energie einsparen sondern auch Kosten, denn kantiger Körner müssen in Steinbrüchen gewonnen werden, Rundkörner hingegen werden in Kiesgruben gewonnen und sind daher billiger (Baunetzwerk 2015).

Eine weitere Möglichkeit, die Viskosität von Gussasphalt und damit die Verarbeitungstemperatur herabzusetzen, ist die Beimischung von Wachs. Es ermöglicht Asphaltmischungen, die sich bereits bei Temperaturen deutlich unter 200 Grad verarbeiten lassen. Neben der Energieeinsparung senken reduzierte Verarbeitungstemperaturen die für ArbeitnehmerInnen belastenden Dämpfe und Aerosole um bis zu 80% (ee news 2015).

Asphaltrecycling

Die stoffliche Wieder- und Weiterverwendung von benutztem Asphalt ist ein etabliertes Verfahren, um den Verbrauch von natürlichen Rohstoffen zu reduzieren und Ressourcenschutz zu betreiben.

Es gibt einschlägige abfallrechtliche Bestimmung wie die Abfallverzeichnisverordnung (AVV 2001) die unter der AVV-Nr.: 170302 Bitumengemische definiert und von kohlenteehaltigen Bitumengemische abgrenzt (vgl. Kapitel Teerhaltiger Straßenaufbruch unter SDG 12). Zudem gibt es länderspezifische technische Leitfäden

zum Umgang mit Ausbauasphalt z.B. (WVB Asphalt 2019, LSV 2006, LANUV 2021, LfU-Bayern 2019). Zur Vereinheitlichung der umwelttechnischen Anforderungen an die stoffliche Verwertung wurden von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen und Abfällen herausgegeben. Dort werden unter II 1.3 bzw. III 4.2.2 die abfallspezifischen Anforderungen sowie die Probenahme und Analytik für Straßenaufbruch dargelegt (LAGA 2003).

Für das Asphaltrecycling relevant ist die dort formulierte Forderung, die Schichten des Straßenoberbaus getrennt zu erfassen, also bitumengebundene Trag-, Binder- und Deckschichten selektiv auszubauen und einer spezifischen Verwertung zuzuführen. Ausbauasphalt ist darüber hinaus grundsätzlich getrennt auszubauen, um es möglich hochwertig als Zugabematerial für Heißmischgut einzusetzen. Der Einsatz in ungebundenen Schichten ist zu vermeiden. Soll Ausbauasphalt dennoch ohne Bindemittel unter wasserdurchlässige Deckschichten verwertet werden, ist nachzuweisen, dass keine schädlichen Verunreinigungen aus PAK- und Phenolhaltigen teergebundenen Straßenaufbruch vorliegen (vgl. Kapitel Teerhaltiger Straßenaufbruch unter SDG 12) Der ungebundene Einbau von Ausbauasphalt in Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten wird untersagt.

Im Jahr 202 sind in Deutschland 14 Mio. t Ausbauasphalt angefallen von denen 12 Mio. t. Wieder in der als Zugabematerial für Heißmischgut wiederverwendet wurden. Insgesamt wurden im selben Jahr 38 Mio. Tonnen Asphalt als Mischgut produziert (Dav 2022).

Ausbauasphalt fällt hauptsächlich als Fräsmaterial an. Dabei kommt ein rotierende Fräswalze zum Einsatz die entsprechend der eingestellten Frästiefe das Material aus den gebundenen Oberbauschichten entfernt. Allerdings ist auch der Schollenaufbruch möglich bei dem aus den bestehende Asphaltschichten große Ausbaustücke (Asphaltschollen) mittels Schaufel am Hydraulikbagger aufgebrochen werden. Schollenaufbruch muss vor einer Wiederverwendung oder Verwertung zuvor erst in Brechern zerkleinert werden.

Für die Wiederverwendung und stoffliche Verwertung von Ausbauasphalt ergeben sich verschiedene Anwendungsmöglichkeiten im Oberbau und Unterbau von Straßen, Rad- und Gehwegen, ländlichen Wegen, Waldwegen, Wirtschaftswegen, Flugbetriebsflächen, Gleisanlagen, Industrieflächen, Plätzen sowohl im öffentlichen als auch im privaten Bereich. Grundsätzlich ist dabei zwischen dem gebundenen und dem ungebundenen Einbau zu unterscheiden. Für den gebundenen Einbau wird weiter zwischen der Wiederverwendung Heißbauweise in Asphalt und in Asphaltfundationsschichten sowie in Kaltbauweise in Fundationsschichten in Situ in Kaltbauweise. Hinzu kommt der gebundene Einbau in Schichten mit hydraulischen Bindemitteln. Für den ungebundenen Einbau sind die Verteilung der Stückgröße sowie die Stoffkonzentration und die Einbaukonfiguration maßgeblich für die Einsatzmöglichkeiten von Ausbauasphalt in

Verkehrsflächen. Grundsätzlich wird bei der Wiederverwendung von Ausbauasphalt der gebundene Einbau in Heißbauweise präferiert (Jähnig et al 2020).

Das typische Recycling von Ausbauasphalt durchläuft die Prozessschritte Kaltfräsen, Brech- und Siebanlagen sowie Asphaltmischanlagen an deren Ende der Altasphalt als Teil des neuen Mischgutes von Straßenfertigern wieder eingebaut wird. Wesentlichen Einfluss auf die Effizienz der Prozesskette haben dabei aufeinander abgestimmte Maschinen, Verfahren und Technologien, denn dadurch lässt sich die ökonomische wie auch die ökologische Effizienz des Asphaltrecycling maßgeblich steigern (Wirtgen 2019)

Das Abtragen des Fahrbahnaufbaus durch Kaltfräsen erfolgt schichtweise, denn dadurch lässt sich das Fräsgut nach Mischgutarten getrennt erfassen und entsprechend der bautechnischen und qualitativen Eigenschaften dem Materialkreislauf spezifisch zur erneuten Nutzung zuführen. Diese Art der selektiven Rückgewinnung der Deck-, Binder- und Tragschicht bietet aus umwelttechnischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten deutliche Vorteile. Denn die theoretisch größtmögliche Zugabemenge des Ausbauasphalts hängt maßgeblich von dessen Sieblinie, aber auch von den Inhaltsstoffen in Menge, Größe und Zusammensetzung ab. Ziel ist es, die Sieblinie des zerkleinerten Ausbauasphalts weitestgehend der gewünschten Sieblinie des Endprodukts Fertigasphalt anzunähern. Mit Hilfe von mobilen Siebanlagen lassen sich bis zu 80 % des ausgebauten Asphalts direkt weiterverarbeiten und die Prozesskosten einer vollständigen Nachbearbeitung des Fräsguts vermeiden (Wirtgen 2019). Eine intelligente Frästechnologie verfügt zudem über eine lastabhängige Wasserberieselung der Kaltfräsen. Dabei wird das zur Kühlung der Fräsmeißel benötigte Wasser, je nach Motorbelastung und Fräsgeschwindigkeit, geregelt. Durch das automatische Zuschalten des Kühlwassers beim Ansetzen der Fräsrolle und das Abschalten beim Stopp der Fräsarbeiten kann den Wasserverbrauch um bis zu 20% verringern und zudem eine geringere Restfeuchte des Fräsgranulats von 3-4 % pro t Asphalt erreicht werden, was wiederum den Energiebedarf bei der Herstellung des Mischgutes in der Asphaltmischanlage reduziert. Denn 1 % trockeneres Ausgangsmaterial spart ungefähr 1 l Heizöl pro t Fertigasphalt bei der Weiterverarbeitung zu Recycling-Mischgut, mit einer entsprechenden Reduktion der energiebedingten CO₂-Emissionen (Wirtgen 2019b).

In der Asphaltmischanlage erfolgt die Zugabe des Fräsgranulats und die Erhitzung des Mischgutes klassischerweise im Gleichstromprinzip. Dabei ist jedoch die Temperatur durch die entstehenden Abgasemissionen auf 130°C beschränkt. Physikalisch bedingt liegt jedoch die Abgastemperaturen darüber, was zu einem erhöhten Energieverbrauch und höherer Belastung der Entstaubung führt. Um eine Mischguttemperatur von 160°C zu erreichen, muss in diesem Fall das zugesetzte Weißmineral überhitzt werden. Daher ist es vorteilhaft, wenn das Fräsgut im Gegensatz zu klassischen Recycling-Parallel-Trommeln im Gegenstromverfahren indirekt erhitzt wird. Das Fräsmaterial fließt dabei in der Recyclingtrommel der Wärmequelle entgegen. Dadurch lassen sich höhere Materialtemperaturen bei gleichzeitiger Senkung der

Abgastemperatur erzielen. Die Auslauftemperatur von 160°C entspricht dann bereits der weiteren Verarbeitungstemperatur und die Abgastemperatur liegt über dem Taupunkt bei 100°C, wodurch sich die Emissionen massiv senken lassen. Voraussetzung ist jedoch die indirekte Erhitzung durch den Einsatz eines Heißgaserzeugers, denn bei einer Direktbefeuerung würde das Mischgut verbrennen und somit unbrauchbar werden. Ein weiterer energetischer Vorteil ist, dass das Weißmineral nicht mehr überhitzt gefahren werden muss. Je nach Qualität des Recycling-Materials lassen sich auf diese Weise Recycling-Quoten von über 90% erreichen (Wirtgen 2019b).

Der Einsatz von Ausbauasphalt in Asphaltmischanlagen ist jedoch mit der Herausforderung konfrontiert, dass die Qualität des eingesetzten Sekundärrohstoff hinsichtlich Bitumenanteil, mineralische Körnung und möglicher Schadstoffgehalte variieren kann. Zudem konnte festgestellt werden, dass die Emissionen von flüchtigen Kohlenwasserstoffen (Kytzia et al. 2021) aber auch die Geruchsemissionen (Gronewäller 2011) bei der Produktion deutlich ansteigen, wenn Ausbauasphalt zugesetzt wird. Ein ökobilanzieller Vergleich zwischen Deck- und Binderschicht ohne und mit Ausbauasphalt zeigt jedoch, dass über den gesamten Lebensweg betrachtet die Umweltwirkung abnimmt je höher der Anteil von Rezyklat im Asphalt ist. Denn die größten Umweltwirkungen werden durch die Bereitstellung der Ressourcen wie Brechsand und Split aber insbesondere Bitumen verursacht, da zur Bereitstellung von Bitumen sehr viel nicht erneuerbare Energie aufgebracht wird was mit einer entsprechend hohen Klimawirkung verbunden ist.

Wird der gesamte Lebensweg der Herstellung, Errichtung, Nutzung (ohne verkehrliche Nutzung) und Entsorgung betrachtet, so hat der Asphalt ohne Recycling ein Treibhauspotenzial von 1,3 t CO₂äq./m²a während ein Asphalt mit einem Recyclinganteil von 50% in der Deck- und von 60% in der Binderschicht, lediglich ein Treibhauspotential von 0,8 1,3 t CO₂äq./m²a hat. Doch auch in einer Aggregation mit anderen Wirkungskategorien zeigt sich, dass Recyclingasphalt deutliche ökologische Vorteile besitzt. Eine Berechnung der Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit ergibt -ausgedrückt in Umweltbelastungspunkten (UBP)- für Asphalt ohne Recycling 3.205 UDP/m²a, während obiger Recyclingasphalt lediglich 2.100 UDP/m²a verursacht (Kytzia et al. 2021).

Urban Mining

Die Bauindustrie zählt zu den materialintensivsten Wirtschaftsbereichen. So werden jährlich 560 Millionen Tonnen, also rund 90 Prozent aller in Deutschland verwendeter mineralischer Rohstoffe für die Produktion von Baustoffen verwendet. Insgesamt wurden damit in Deutschland rund 50 Milliarden Tonnen mineralischer Rohstoffe wie Kalk, Gipsstein, Kies, Sand oder Ton für die Errichtung, den Ausbau und die Modernisierung vom Gebäudebestand verwendet. Allein im Jahr 2020 wurden in Deutschland 35,5 Mio. Tonnen Zement produziert. Dafür waren 51,0 Mio. Tonnen

Rohstoffe und etwa 30 Terawattstunden Energie notwendig. Von diesen 35,5 Mio. Tonnen Zement wurden wiederum 30,1 Mio. Tonnen für die Herstellung von Mörtel und Beton verbraucht (VDZ 2021). Das entspricht in etwa 55,3 Mio. Kubikmeter an Transportbeton. Um den Materialbedarf zu decken, wurden in Deutschland im Jahr 2018 rund 485 Mio. Tonnen Natursteine, Kiese und Sande gewonnen. Nur 12,5 Prozent des nationalen Gesamtbedarfs an Gesteinskörnungen konnten mit Recycling-Baustoffen und weitere 4,9 Prozent durch industrielle Nebenprodukte gedeckt werden (bbs 2021). Darüber hinaus produziert Deutschland – im Vergleich zu anderen EU-Ländern – mit jährlich etwa 40 Mio. Tonnen die größte Menge an Rohstahl (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2022). Die eingesetzte Stahlmenge in der Bauindustrie machten damit ca. 35 Prozent des gesamten deutschen Stahlbedarfs im Jahr 2019 aus (Statista 2022d).

Jährlich fallen etwa 230 Mio. Tonnen an Bau- und Abbruchabfällen an. Damit dominiert die Bauwirtschaft mit über 54 Prozent maßgeblich das gesamte Abfallaufkommen (BBSR 2020).

Der hohe Ressourcenbedarf des Bauwesens birgt jedoch auch große Einsparpotenziale, weshalb dem Bauwesen eine Schlüsselrolle bei der Umsetzung von Ressourceneffizienz zukommt. Denn der enorme Materialeinsatz hat zur Folge, dass sich Rohstoffe in der gebauten Umwelt (sog. anthropogenes Lager) ansammeln. So fassen deutsche Wohn- und Nichtwohngebäude beispielsweise aktuell etwa 28,4 Milliarden Tonnen Baumaterial. Darin enthalten sind vor allem mineralische Materialien, gefolgt von Stahl, Holz und Kunststoffen (UBA 2022).

Zwar wird bereits heute ein hoher Anteil der Bau- und Abrissabfälle wiederverwertet, doch häufig ausschließlich im sogenannten Downcycling. Dabei wird der beim Gebäudeabriss gewonnene Schutt lediglich als minderwertiges Füllmaterial im Straßen- und Erdbau sowie für Baugruben verwendet. Ressourceneffizienz Potenziale und Herausforderungen bestehen somit darin, diese Materialmengen auch für höherwertigere Zwecke einzusetzen bzw. Abfälle zu vermeiden (bbs 2021).

Dazu ist es jedoch unerlässlich, beim Rückbau und dem Abriss mit höchstmöglicher Selektivität vorzugehen, um die verschiedenen Baumaterialien möglichst sortenrein zu erfassen. Denn nur so ist eine höherwertige Weiternutzung möglich. Mineralische und biogene Baustoffe sind dabei strikt getrennt zu halten sowie Kunststoffe und Metalle auszusortieren. Eine fortschrittliche Materialtrennung unterscheidet zudem Metall- und Kunststoffsorten und differenziert die mineralische Fraktion nach Korngröße und Bestandteilen.

Während der aktiven Nutzung von Gebäuden und Straßen sind die verbauten Materialien nicht für eine Weiternutzung verfügbar. Jedoch gibt es am Lebenszyklus Ende durch die Verwertung der verbauten Materialien große Potenziale für mehr Ressourceneffizienz. Denn Städte und Siedlungen mit ihren Ver- und Entsorgungssystemen und ihren Verkehrswegen stellen riesige Rohstofflager dar. Angesichts der Verknappung wichtiger

Rohstoffe liegt die Erschließung und Nutzung dieser Rohstofflager auf der Hand. Diese Rohstoffe finden sich in Konsumgütern wie Autos oder elektronischen Geräten, auf Mülldeponien und in Produkten, die wir länger nutzen, wie Häuser und andere Immobilien. Der größte Teil dieser Materialien sind Steine, Beton, Asphalt und Erde. Alleine in Deutschland finden sich über 50 Milliarden Tonnen Material, die nach dem Rückbau von Gebäuden wieder neu eingesetzt werden könnten. Doch in großen Teilen landet dieses Material nach dem Abriss auf Deponien oder sie werden "recycelt" und für minderwertige Funktionen eingesetzt. Die systematische Nutzung dieser verbauten Materialien als Rohstoffquelle wird Urban Mining genannt, was so viel wie "Bergbau im städtischen Bereich" bedeutet. Doch Urban Mining beschränkt sich nicht nur auf städtische Lager, sondern umfasst den gesamten Bestand langlebiger Güter. Ziel des Urban Mining ist also eine Kreislaufwirtschaft, die dadurch erreicht werden soll, dass urbane Umgebungen als Rohstofflager begriffen werden, in denen wertvolle Materialien lagern, die abgebaut und genutzt werden können, wie bei einem Bergwerk.

Zudem lassen sich durch den Ausbau und die direkte Wiederverwendung von Betonteilen die Kosten für die Entsorgung sowie für die Neuproduktion einsparen. Im Plattenbau werden die Kosteneinsparungen bei einer direkten Wiederverwendung von Betonplatten auf bis zu 50% geschätzt (Garus 2022).

Ökologischer Vergleich von Oberbaukonstruktionen

Um die Oberbaukonstruktion im Straßen- und Wegebau ökologisch zu vergleichen, wurden Ökobilanzen nach DIN ISO 14040 (DIN ISO 14040:2021-02:) durchgeführt. Beauftragt vom SLG - Betonverband Straße, Landschaft, Garten wurden die Umweltwirkungen von:

- Oberbaukonstruktionen von repräsentative Verkehrsfläche der Bauklasse VI (RStO1- Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen)
- Oberbaukonstruktionen von Gehwegen

Verglichen wurden dabei Oberbaukonstruktionen als Asphaltdecke, Betonpflaster-, Klinkerpflaster- und Natursteinpflaster. Im Rahmen der Wirkungsabschätzung wurden die in der Sachbilanz ermittelten Emissionen in Luft, Wasser und Boden ermittelt und zu den Wirkungskategorien Treibhauspotenzial (GWP), Ozonabbaupotenzial (ODP), photochemisches Ozonbildungspotential (POCP), Versauerungspotential (AP) sowie Eutrophierungspotential (EP) aggregiert.

Insgesamt zeigen die Ökobilanzen, dass die Umweltwirkungen vor allem durch Abbau, Herstellung, Transport, Einbau und End-of-Life der Baustoffe für die Oberbaukonstruktionen beeinflusst werden (Kittelberger 2015). Zudem zeigt sich, dass insbesondere bei Straßen die Umweltwirkung während der Nutzung im Vergleich zur Herstellung deutlich überwiegen. Bei Natursteinpflaster ist es insbesondere der Transport von Exportware die maßgeblich die Umweltwirkungen beeinflussen. Insofern

sind importierte Natursteine aus Übersee für den Straßen- und Wegebau aus ökobilanzieller Sicht stark zu kritisieren. Bei der Asphaltvariante sind es indes die Emissionen durch die Straßenbelagsarbeiten, welche in der Wirkungskategorie Sommersmogpotenzial besonders hohe Umweltwirkungen erzeugen. In den Wirkkategorien Versauerungspotenzial und Nährstoffeintragpotenzial wurden die günstigsten Werte von der Asphalt- und der Betonpflastervariante erreicht. In der Wirkkategorie Ozonabbaupotenzial hingegen verursachen die Natursteinvarianten im Vergleich zur Asphalt- und Betonsteinvariante geringere Umweltwirkungen. Insgesamt zeigt sich, dass für Gehwege das Betonpflaster die geringsten Umweltwirkungen hat (Ulonska 2011).

Der ökobilanzielle Vergleich für die Herstellung und Nutzung eines Autobahnabschnitts durchgeführt von Centrum Baustoffe und Materialprüfung der Technische Universität München und gefördert vom BetonMarketing Deutschland zeigt hingegen, dass die größten Umweltwirkungen in der Herstellung, von den in den oberen Schichten verbauten Baustoffen Asphalt bzw. Beton stammen. Allerdings ist das Eutopierungspotenzial bei den Betonbauweisen am geringsten. Jedoch liefert Beton den größten Beitrag zum Treibhauspotential, der größtenteils aus der Zementherstellung stammt. Asphalt liefert den größten Anteil am Ozonabbaupotenzial und weist zudem ein hohes Treibhauspotential auf. Die größten Umweltwirkungen entstehen jedoch während der Nutzung. Die Umweltwirkungen der verkehrlichen Nutzung der Autobahn liegen um den Faktor 100 über denen aus Erhaltung und Herstellung zusammen, so dass hier das größte Einsparpotenzial vorliegt. Eine Reduzierung des Treibstoffverbrauchs um lediglich 0,5%, würde bei einer angenommenen Nutzungsdauer von 30 Jahren zu einer Einsparung von über 1.150 t CO₂-Äqu. führen. Eine Reduzierung des Treibstoffverbrauches um 2 % führt beim Treibhauspotential bereits zu Einsparung um den Faktor 1,3 (Kompositbauweise) bis 1,8 (Gussasphaltbauweise) gegenüber den gesamten Umweltwirkungen aus Herstellung und Erhaltung der Straßenbaukonstruktion. Eine Reduzierung des Treibstoffverbrauchs beim Schwerlastverkehr um 10% wäre eine Einsparung von knapp 10.760 t CO₂-Äqu. Eine treibstoffsparende Nutzung kommt demnach eine deutlich größere Bedeutung als eine Bauweise mit geringen Umweltwirkungen während der Herstellung (Milachowski et al. 2010) zu.

Quellenverzeichnis

- AbfAEV (2003): Verordnung über das Anzeige- und Erlaubnisverfahren für Sammler, Beförderer, Händler und Makler von Abfällen (Anzeige- und Erlaubnisverordnung – AbfAEV) vom 5. Dezember 2013 (BGBl. I S. 4043). Online: <https://www.gesetze-im-internet.de/abfaev/BJNR404310013.html>
- AVV (2001): Abfallverzeichnis-Verordnung vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 30. Juni 2020 (BGBl. I S. 1533) geändert worden ist. Online: <https://www.gesetze-im-internet.de/avv/BJNR337910001.html>

- Baunetzwerk (2019): Asphalt oder Beton? Online: <https://www.baunetzwerk.biz/asphalt-oder-beton#:~:text=Beton%20ist%20im%20Stra%C3%9Fenbau%20immer,auf%20Lkw%2DRastpl%C3%A4tzen%20oder%20Rangierfl%C3%A4chen.>
- Baunetzwerk (2015): Rund statt eckig baunetzwerk.biz. Schlütersche Fachmedien GmbH Hannover. 17. November 2015 Online: <https://www.baunetzwerk.biz/rund-statt-eckig>
- bbs (2021) Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. (2021): Deckung des Bedarfs an Gesteinskörnungen 2018. Online: <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/#our-story>
- bbs (2021b) Initiative Kreislaufwirtschaft Bau Bundesverband Baustoffe–Steine und Erden (Hrsg.) (2021): Mineralische Bauabfälle. Monitoring 2018 – Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2018. Online: <https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-12.pdf>
- BBSR (2020). Bundesinstitute für Bau-, Stadt- und Raumforschung BBSR im Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung (2020): Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland – Kurzstudie zu sektorübergreifenden Wirkungen des Handlungsfelds 'Errichtung und Nutzung von Hochbauten' auf Klima und Umwelt. BBSR-Online-Publikation Nr. 17/2020.
- DAfStb-RiLi B30 (2021). Deutsche Ausschuss für Stahlbeton e.V. (2021): Zement-Merkblatt Betontechnik B 30 11.2021 „Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung – R-Beton“. Online: <https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Zementmerkl%c3%a4tter/B30.pdf>
- Das Kompetenzzentrum Ressourceneffizienz (2022): Ressourcenverbrauch im Bauwesen. Online: <https://www.ressource-deutschland.de/themen/bauwesen/ressourcenverbrauch-im-bauwesen/>
- DESTATIS Statistisches Bundesamt (2023): Abfallentsorgung: Deutschland, Jahre, Abfallarten. Stand: 08.02.2023. EVAS Nr. der Statistik: 32111-0001. vormals: Fachserie: 19 Reihe: 1. Online: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=32111-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1675858515680#abreadcrumb>
- Deutsche Bauindustrie (2022): Straßenbau mit Zukunft? Die Auswirkungen des russischen Krieges in der Ukraine auf die Bitumenversorgung in Deutschland. Positionspapier Bitumenversorgung des Hauptverbands der Deutschen Bauindustrie und des Deutschen Asphaltverbands vom 27.04.2022. Online: https://www.bauindustrie.de/fileadmin/bauindustrie.de/Media/Veroeffentlichungen/Bitumenversorgung_in_Deutschland_HDB_DAV_220427.pdf
- DFG- Deutsche Forschungsgemeinschaft (2014): MAK- und BAT-Werte-Liste 2014.- Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe: 305 S., Bad Godesberg 2014 (Wiley-VCH-Verlag, Weinheim)
- IN ISO 14040:2021-02: Deutsches Institut für Normung (2021): DIN EN ISO 14040 - 2021-02 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. DIN EN ISO 14040:2006. Berlin: Beuth Verlag. Online: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/3_Werkzeuge/a_Basis-Werkzeuge/i_Leitfaden_Ressourceneffizienz/Oekobilanz_DIN_EN_ISO_14040.pdf
- ee news (2015): ee news. Das Fachmagazin für Erneuerbare Energien: TU Wien: Entwickelt Energiespar-Asphalt. eecomm GmbH (Hrsg.) Düringen (CH). 25. 04.2015 Online: <https://www.ee-news.ch/de/erneuerbare/article/31013/tu-wien-entwickelt-energiespar-asphalt>
- Garus, Tom (2022): Beton-Recycling – Neues Leben für die alte Platte. Deutschlandfunk 12.10.2022. Online: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/technologie/plattenbauten-umbau-eu-foerderung-101.html>
- Gronewäller, Ludger (2011): Geruchsemissionen von Asphaltmischanlagen. In: VDI-Berichte 21: Gerüche in der Umwelt. Seite: 249–262. Düsseldorf: VDI-Verlag. Online: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/tema%3ATEMA20120503795/Geruchsemissionen-von-Asphaltmischanlagen/>

- ibau (2022) ibau- Informationsdienst für Ausschreibungen und Aufträge (Hrsg.) (2022) Hannah Simons: Urban Mining: Unsere Städte als Bergwerke. Online: <https://www.ibau.de/akademie/wissenswertes/urban-mining-unsere-staedte-als-bergwerke/>
- IZB (o.J.) Informations Zentrum Beton (o.J.): Betonrecycling – Wertstoff für neue Bauaufgaben. Online: <https://www.beton.org/wissen/nachhaltigkeit/betonrecycling/>
- Jähnig et al (2020) Jähnig, Jan; Lerch, Tobias; Mansfeld, Richard; Mühle, Ralph (2020): Wiederverwendung und Verwertung von Ausbauasphalt. Leitfaden, Stand 2020. Die sächsischen Industrie- und Handelskammern, Umweltallianz Sachsen (Hrsg.) Online: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/33482/documents/54607>
- Kittelberger, Siegrun; Goymann, Melanie (2015): Vergleichende Ökobilanz – Oberbaukonstruktionen von Verkehrsflächen mit unterschiedlichen Deckschichten“. In: Betonverband Straße, Landschaft, Garten. Bonn: Juni 2015. Online: <https://www.nuedling.de/betonelemente/service/praktische-informationen/vergleichende-oekobilanz-von-oberbaukonstruktionen/>
- Kolb, Bernhard (2004): Nachhaltiges Bauen. Blok Verlag 15.06.2004. Online: <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Bitumen>
- Knappe, Florian; Reinhardt, Joachim (2017): Entsorgung von teerhaltigem Straßenaufbruch aus ökologischer Sicht Heidelberg. IFEU Heidelberg. Mai 2017. Online: <https://www.bde.de/documents/98/Studie-teerhaltiger-Strassenaufbruch-0906201711.pdf>
- Kurth, Peter; Pakleppa, Felix; Babie, Dieter; Bokies, Marco (2019): Gemeinsame Verbändedeposition zur kritischen Entsorgungssituation für teer-/pechhaltigen Straßenaufbruch. Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft, Zentralverband des Deutschen Baugewerbes, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie und Deutscher Asphaltverband. 09.10.2019. Online: https://www.bde.de/documents/97/20191009-Verbandestellungnahme-teerhaltigerStrassenaufbruch_1yMMNMa.pdf
- Kytzia, Susanne; Pohl, Thomas (2021): Ökobilanz der Herstellung von Asphaltbelägen. In: Straße und Autobahn Zeitschrift für Straßen- und Brückenbau, Straßenerhaltung, Straßenplanung, Straßenbetrieb. Volume: 72. Issue Number: 8. S. 641–652. Bonn: Kirschbaumverlag 26. 07.2022. Online: https://www.umtec.ch/fileadmin/user_upload/umtec.hsr.ch/Dokumente/Fachartikel/2021/OEkoibilanz_von_Aspaltbelaeagen.pdf
- LAGA (2003) Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln. Mitteilung Nr. 20. Online: https://www.proenvi.de/recht/LAGA/5-Auflage_LAGA_M20.pdf
- LANUV (2021) Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Teerhaltiger Straßenaufbruch und Ausbauasphalt. Erkennung – Umgang – Entsorgung LANUV-Arbeitsblatt 47. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.). Recklinghausen August 2021. Online: https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/4_arbeitsblaetter/LANUV_Arbeitsblatt_47.pdf
- LfU- Bayern (2019): Bayerisches Landesamt für Umwelt: Umweltfachliche Beurteilung der Lagerung, Aufbereitung und Verwertung von Straßenaufbruch Ausbauasphalt und pechhaltiger Straßenaufbruch. Merkblatt Nr. 3.4/1. München: 01.03.2019. Online: https://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil3_grundwasser_und_boden/doc/nr_3_41.pdf
- LSV (2006): Leitfaden für die Behandlung von Ausbauasphalt und Straßenaufbruch mit teer-/pechtypischen Bestandteilen Leitfaden für den Geschäftsbereich des Landesbetriebes Straßen und Verkehr Rheinland-Pfalz. Arbeitskreis Straßenbauabfälle Rheinland-Pfalz, Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Landesbetrieb Straßen und Verkehr Rheinland-Pfalz (Hrsg.). Mainz, November 2006. Online:

- https://kreislaufwirtschaft-bau.rlp.de/fileadmin/kreislaufwirtschaft_bau/pdf_s/Leitfaden_fuer_die_Behandlung_von_Ausbauasphalt_und_Strassenaufbruch_mit_teer-pechhaltigen_Bestandteilen.pdf
- Milachowski, Charlotte; Stengel, Thorsten; Gehlen, Christoph (2010): Ökobilanz für die Herstellung und Nutzung eines Autobahnabschnitts. In: Griffig – Aktuelles über Verkehrsflächen aus Beton 1/2010. S.11-15. Online: https://www.guetegemeinschaft-beton.de/fileadmin/guetegemeinschaft-beton-de/media/Redaktion/PDF-Dateien/Griffig_1_2010_Ansichts.pdf
 - NachwV (2006) Nachweisverordnung vom 20. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2298), die zuletzt durch Artikel 5 der Verordnung vom 28. April 2022 (BGBl. I S. 700) geändert worden ist". Online: https://www.gesetze-im-internet.de/nachwv_2007/BJNR229810006.html
 - REMEX (2021): Straßenaufbruch ökologisch entsorgen – Entsorgungsoptionen für teer-/pechhaltigen Straßenaufbruch unter ökologischen Gesichtspunkten. REMEX GmbH. Düsseldorf 01.2021. Online: https://remex-solutions.de/fileadmin/user_upload/pdf/de/ts-verwertung_bro_Strassenaufbruch_de_web.pdf
 - Schönleitner, W. (2020): Nachwachsende Rohstoffe im Straßenbau klimaaktiv Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency im Auftrag des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) Wien 05.08.2020 Online: <https://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/biooekonomie/Sonstige-Produkte/vialit.html>
 - Statista (2023) Statista Research Department (2023): Import von Bitumen in Deutschland seit 1995. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/28860/umfrage/import-von-bitumen-in-deutschland-seit-1995/>
 - Statista (2023b) Statista Research Department (2023): Produktion von Bitumen in Deutschland seit 1995. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/28648/umfrage/produktion-von-bitumen-in-deutschland-seit-1995>
 - Statista (2022c) Statista Research Department (2022c): Produktion von Transportbeton in Deutschland in den Jahren 2003 bis 2021. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167013/umfrage/produktionsmenge-der-transportbetonindustrie-seit-2004/#:~:text=Im%20Jahr%202021%20produzierte%20die%20deutsche%20Transportbetonindustrie%20rund%2054%20Millionen%20Kubikmeter%20Transportbeton.>
 - Statista (2022d) Statista Research Department (2022d): Verteilung des Stahlbedarfs nach Branchen in Deutschland im Jahr 2019. Statista GmbH, 1. April 2022. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/236768/umfrage/anteil-der-branchen-am-stahlbedarf-in-deutschland/#professional>
 - Sutor-Fiedler, Maike (2021): Wohin mit dem Teer? baunetzwerk Hannover: Schlütersche Fachmedien 10. März 2021. Online: <https://www.baunetzwerk.biz/wohin-mit-dem-teer>
 - (TL Asphalt-2013): 13. Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen TL Asphalt-StB 07/13. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – Arbeitsgruppe Asphaltbauweisen (Hrsg.) Ausgabe 2007/Fassung 2013. Berlin: FGSV-Verlag. Online (Inhaltsverzeichnis): <https://www.fgsv-verlag.de/pub/media/pdf/797.i.pdf>
 - UBA (2010). Georg Schiller, Clemens Deilmann, Karin Gruhler, Patric Röhm, Jan Reichenbach, Janett Baumann, Marko Günther (2010): Ermittlung von Ressourcenschonungspotenzialen bei der Verwertung von Bauabfällen und Erarbeitung von Empfehlungen zu deren Nutzung. Umweltbundesamt (Hrsg.) Dessau-Roßlau, November 2010. Texte | 56/2010. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4040.pdf>

- UBA (2022) Umweltbundesamt (2022): Das anthropogene Lager. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/urban-mining/das-anthropogene-lager#das-anthropogene-lager-als-sekundarrohstoffquelle>
- Ulonska, Dietmar (2011): Pflasterung von Gehwegen mit Betonsteinen Der ökobilanzielle Vergleich mit anderen Bauweisen zeigt eindeutige Vorteile. In: Straße und Autobahn, Ausgabe 6/2011, Seite 406 – 409. Bonn: Kirschbaum Verlag. Online: https://www.betonstein.org/fileadmin/betonstein-de/media/Service/Downloads/2011-06_SLG-80_018-Pflasterung-Gehwege-gesamt.pdf
- VAWS (2014): Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe (Anlagenverordnung – VAWS) vom 18. Januar 2006 (GVBl Nr. 2/2006, S. 63), zuletzt geändert durch die Verordnung vom 22. Juli 2014 (GVBl Nr. 14/2014, S. 286)
- VDZ (2021): VDZ -Verein deutscher Zementwerke (2021): Zementindustrie im Überblick 2021/2022, Düsseldorf. Online: https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/zementindustrie_ueberblick/VDZ-Zementindustrie_im_Ueberblick_2021_2022.pdf
- Wirtgen (2019): Asphaltrecycling. In: Baugewerbe Magazin. Haar: Weka Business Medien 25.11.2019. Online: <https://www.baugewerbe-magazin.de/abbruch-recycling/recycling---asphaltrecycling.htm>
- Wirtgen (2019b): Asphaltrecycling: gesamte Prozesskette muss stimmen. In: Recycling Magazin. München: Detail Business Information. 09.10.2019. Online: <https://www.recyclingmagazin.de/2019/10/09/asphaltrecycling-gesamte-prozesskette-muss-stimmen/>
- Wirtschaftsvereinigung Stahl (2022) Wirtschaftsvereinigung Stahl (2022): Rohstahlproduktion in Deutschland (online). Wirtschaftsvereinigung Stahl. Online: <https://www.stahl-online.de/startseite/stahl-in-deutschland/zahlen-und-fakten/>
- WVB Asphalt (2019):Wiederverwendung, Verwertung und Beseitigung von Ausbauasphalt (WVB Asphalt) Modul zum Leitfaden zur Wiederverwendung und Verwertung von mineralischen Abfällen in Sachsen-Anhalt. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen-Anhalt, Kompetenznetzwerk Mitteldeutsche Entsorgungswirtschaft, Landesarbeitsgemeinschaft der Industrie- und Handelskammern in Sachsen-Anhalt und Bauindustrieverband Ost (Hrsg.) Magdeburg, Halle Potsdam Oktober 2019. Online: <https://www.ihk.de/blueprint/servlet/resource/blob/4587810/a74c06354bffdd5f647d2a98847629ca/wiederverwendung-verwertung-und-beseitigung-von-ausbauasphalt-data.pdf>
- Zementmerkblatt (2021): Informations Zentrum Beton (Hrsg.) (2021): Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung – R-Beton. Zement-Merkblatt Betontechnik B 30 11.2021. Online: <https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Zementmerkl%C3%A4tter/B30.pdf>

SDG 13: “Maßnahmen zum Klimaschutz”

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

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

Für den Straßenbau sind insbesondere die folgenden Unterziele von Relevanz (Destatis 2022):

- 13.1: *“Die Widerstandskraft und die Anpassungsfähigkeit gegenüber klimabedingten Gefahren und Naturkatastrophen in allen Ländern stärken”*
- SDG 13.2: *“Klimaschutzmaßnahmen in die nationalen Politiken, Strategien und Planungen einbeziehen”*
- SDG 13.3: *“Die Aufklärung und Sensibilisierung sowie die personellen und institutionellen Kapazitäten im Bereich der Abschwächung des Klimawandels, der Klimaanpassung, der Reduzierung der Klimaauswirkungen sowie der Frühwarnung verbessern”*

Die Schnittmengen mit der Standardberufsbildposition liegen vor allem in der Reduzierung der direkten und indirekten Emissionen von Treibhausgasen sowie der Dekarbonisierung der Energieerzeugung (vg.:BIBB 2020):

- 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*

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

Der Klimawandel wird durch die Emission von 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 CO_2 wie folgt (vgl. My Climate (o.J.):

- Kohlendioxid CO_2 : 1 (Bezugswert)
- Methan CH_4 : 28
- Stickstoffdioxid N_2O : 265
- FCKW (verboten) > 12.000

Beitrag des Bausektors zum Klimawandel

Das Bauwesen ist einer der größten Treiber des Klimawandels. Im Jahr 2014 entfielen auf den Bausektor rund 40 % der nationalen THG-Emissionen. In ähnlicher Größenordnung gilt dies auch für den weltweiten THG-Ausstoß. Insgesamt entstehen bei der Errichtung und Nutzung von Gebäuden ca. 75 % der THG-Emissionen während der Nutzung und durch den Gebäudebetrieb. Der restliche Anteil entfällt auf die Emissionen der Baustoffindustrie und von weiteren zuliefernden Unternehmen. Diese sogenannten grauen Emissionen entstehen überwiegend durch energieintensive Prozesse in der Herstellung von bei der Herstellung und beim Transport der Baumaterialien wie Beton, Stahl, Zement, Kalk und Gips sowie die Verwendung von Kohle zur Stromproduktion. Auch Rückbau und Entsorgung der Materialien fallen darunter (BBSR 2020).

THG-Emissionen von Straßen- und Asphaltbau.

Der gemäß Klimarahmenkonvention der UN (UNFCCC 1992) und Kyoto-Protokoll (UNFCCC 1997) erstellte nationale Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar (NIR 2022) beziffert die emittierte Menge an CO_2 -Äquivalenten aus Fahrzeugen und mobilen Maschinen der Bauwirtschaft für das Jahr 2021 auf 3,8 Millionen Tonnen. Bezogen auf die nationale Emissionsmenge desselben Jahres von 762 Mio.t. CO_2 -Äquivalenten (UBA 2022c), entspricht diese Menge einem Anteil von 0,5 %.

Bei den Emissionen von klimawirksamen Gasen ist jedoch zu unterscheiden zwischen den Emissionen aus dem Bau von Straßen und damit auch aus dem Straßen- und Asphaltbau einerseits und den Emissionen während der Straßennutzung andererseits.

Während sich die Emissionen von Treibhausgasen und anderen Luftschadstoffen wie NO_x oder Feinstaub aus der Straßennutzung über Annahmen zur Fahrzeugflotte und dem Treibstoffverbrauch differenziert sowie relativ richtig und vollständig quantifizieren lassen, ist dies bei den Emissionen aus dem Bau von Straßen und damit auch aus dem Asphaltbau weniger der Fall.

In der Systematik der nationalen THG-Emissionen werden die Emissionen aus dem Bau von Straßen in der Kategorie 1.A.2.g vii "Bauwirtschaftlicher Verkehr" erfasst und umfassen Fahrzeuge und mobile Maschinen der Bauwirtschaft (NIR 2022). Kategorisch ist der bauwirtschaftliche Verkehr damit zwar der Kategorie Energie (CRF 1) und der

Verbrennung von Brennstoffen (CRF 1.A), nicht aber dem Verkehr (CRF 1 A 3) sondern dem verarbeitenden Gewerbe (CRF 1.A.2) und dort der sonstigen Energieerzeugung (CRF 1.A.2.g) zugeordnet (Harthan et al 2017). Kategorie 1.A.2.g Verarbeitendes Gewerbe – Sonstige Energieerzeugung ist für CO₂ eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend (NIR 2022: 198).

Als Aktivitätsraten für die Emissionsberechnung wird der Verbrauch von Benzin und Diesel herangezogen. Allerdings wird dabei auf die Energiebilanz zurückgegriffen, die den Treibstoffverbrauch für den gesamten Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher auf einem höheren Aggregationsniveau berücksichtigt. Daher werden jährlich erzeugte Verteilschlüssel genutzt, die den Gesamtverbrauch auf die verschiedenen Sub-Sektoren wie z.B. mobile Quellen in CRF 1.A.4.a ii, land- (1.A.4.c ii) und forstwirtschaftlicher Verkehr - (1.A.4.c ii) und eben bauwirtschaftlichen Verkehr (1.A.2.g vii) verteilt (NIR 2022:242).

Vor diesem methodischen Hintergrund betragen die THG-Emissionen aus Fahrzeugen und mobilen Maschinen der Bauwirtschaft für das Jahr 2019 ca. 3.500 kt CO₂ äq. Lagen sie im Jahr 2010 noch bei ca. 3.000 kt, stiegen sie im Jahr 2017 auf 3.750 kt, um bereits im Jahren 2018 wieder auf ca. 3.500 kt zurückfallen NIR (2022:206).

Allerdings sind die CO₂-Emissionen aus den zunehmend eingesetzten Biokraftstoffen wie Bioethanol und Biodiesel dabei nicht berücksichtigt. Der THG-relevante fossile CO₂-Anteil der Biokraftstoffe bei Verkehr und Maschinen der Bauwirtschaft betrug im Jahr 2019 zusätzliche 230 kt CO₂ äq.

Die Emissionen von Treibhausgasen aus dem Asphaltbau werden in der nationalen Berichterstattung in der Kategorie CRF 2.D.3 Bitumen dokumentiert. Unterschieden wird dabei die Verwendung von Bitumen zur Dachdeckung und zur Straßenasphaltierung.

Bei der Herstellung von Dach- und Dichtungsbahnen wird flüssiges Bitumen bei Temperaturen von 150°C bis 220°C als Tränk- oder Deckmasse verarbeitet. Der Prozess ist mit Emissionen an organischen Stoffen verbunden, die als NMVOC erfasst werden. Die Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen erfolgt in Heiß- und Kaltverfahren. Beim Heißverfahren, dem Bahnenschweißen, treten ebenfalls relevante Emissionen an organischen Stoffen auf. Dünne Bahnen werden jedoch nicht verklebt, sondern genagelt und weisen somit keine Emissionen auf. Die Emissionen von Kohlendioxid, die sich aus der Multiplikation der NMVOC-Emissionen mit einem Faktor für den Kohlenstoffgehalt in Höhe von 80% und einer Umrechnung auf CO₂ ergeben würden, liegen jedoch mit 0,2 kt CO₂-äq. vernachlässigbar niedrig und werden daher auch im nationalen Inventarreport nicht berichtet (NIR 2022:366).

Ähnliches gilt für die Kategorie Straßenasphaltierung. Sie weist nach derzeitigem Kenntnisstand keine Emissionen an Treibhausgasen auf und wird daher ebenfalls im nationalen Inventarreport nicht berichtet. Berichtet werden lediglich die Emissionen an NMVOC, NO_x und SO₂ aus der Herstellung von Asphaltmischgut. (NIR 2022:366). Die

Umrechnung der NMVOC-Emissionen in CO₂ ergibt eine vernachlässigbare Emissionsmenge von 2,5 kt CO₂-äq.(NIR 2022:963).

Unberücksichtigt dabei bleiben allerdings die energiebedingten Emissionsmengen aus dem Einsatz fossiler Brennstoffe in Asphaltmischwerken. Für Asphaltmischanlagen sind hier die Brennstoffe Heizöl EL, Erdgas und Braunkohlenstaub mengenmäßig relevant. Dabei macht das Erhitzen und Trocknen der Gesteinskörnung mit ca. 70% den Großteil der CO₂-Emissionen aus. Neben dem eingesetzten Brennstoff hat jedoch auch die Anlagentechnik einen erheblichen Einfluss auf die Mengen an CO₂, die pro Tonne Asphaltmischgut emittiert wird. Bei einem angenommenen Anteil von braunkohlestaubgefeuerten Anlagen von 90 % sowie Erdgas/Butan und Heizöl EL mit je 5%, Prozent liegen die durchschnittlichen CO₂-Emissionen bei 27 kg pro Tonne Asphaltmischgut (Bundesregierung 2016). Im Jahr 2020 wurden in Deutschland ca. 38 Mio. t Asphalt in ca. 600 Asphaltmischanlagen produziert (NIR 2022: 367). Daraus ergeben sich CO₂-Emissionen in Höhe von 1.026 Kilotonnen (kt). Bezogen auf die nationale Emissionsmenge desselben Jahres von 762 Mio.t. CO₂-Äquivalenten (UBA 2022c), entspricht diese Menge einem Anteil von 0,13 %. Bezogen auf die Straßenasphaltierung wird die Emissionsmenge von Treibhausgasen für den Bau einer 100 Meter leicht befahrene Straße mit einer Asphaltstärke von 16 Zentimetern auf 11,5 kt Klimagas geschätzt (Kessler 2022).

Baumaschinen und schweren Nutzfahrzeuge

Die meisten Baumaschinen und schweren Nutzfahrzeuge werden durch Dieselmotoren betrieben, die dabei in erheblichem Maße Geräusche, Abgase und Partikel erzeugen. Besonders in städtischen Gebieten werden dadurch die lokale Luftqualität sowie die Gesundheit betroffener Personen stark beeinträchtigt. Gleichzeitig empfinden viele Betroffene die Geräusche von Baumaschinen und Baustellen als eine erhebliche Lärmbelastung.

Weltweit verursachen Baumaschinen insgesamt rund 400 Tonnen CO₂ pro Jahr, was etwa 1,1 Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen entspricht. Die Dekarbonisierung mobiler Maschinen ist daher ein wichtiger Hebel zur Begrenzung des Klimawandels. Dabei wird die Elektrifizierung des Antriebsstrangs zu einer Schlüsseltechnologie für emissionsfreie Baumaschinen. Ein zentraler Treiber ist dabei die Verpflichtung einer zunehmenden Anzahl von Ländern zu einer kohlenstofffreien Zukunft. Zudem versuchen viele Städte, durch die Einführung von Umweltzonen den Betrieb von stark umweltbelastenden Fahrzeugen in städtischen Umgebungen entweder zu verbieten oder Gebühren dafür zu erheben. Dies stellt einen Anreiz für emissionsfreie Maschinen dar, indem Bauprojekte, die weiterhin nur auf Dieselausrüstung angewiesen sind, erhebliche Kosten verursachen. In einigen Städten sind darüber hinaus auch explizite Verpflichtungen zur Nutzung elektrischer Baumaschinen erlassen worden. So verlangt beispielsweise die norwegische Stadt Oslo, dass bis 2025 zunächst auf allen kommunalen Baustellen zur Errichtung öffentlicher Gebäude und ab 2030 auf allen Baustellen nur noch emissionsfreie Baufahrzeuge eingesetzt werden dürfen. Ähnlich verpflichten sich Metropolen wie Los Angeles, Budapest und Mexiko-Stadt dazu, die Emissionen bei allen neuen Gebäuden und Infrastrukturprojekten bis zum Jahr 2030 um mindestens die Hälfte zu reduzieren. Bis 2025 wollen diese Städte nur noch emissionsfreie Baumaschinen einsetzen (DW 2021). Die Europäische Kommission setzt ebenfalls Akzente: Derzeit werden Richtlinien im Bereich "Buying green" (vgl. ICLAI 2016) und "Green Public Procurement" (vgl. EC 2016) erstellt, um die Emissionen auf Baustellen zu reduzieren. Allerdings befindet sich der Markt für geländegängige Elektro-Baufahrzeuge in einem viel früheren Entwicklungsstadium als die Märkte für straßentaugliche Elektrofahrzeuge. Daher ist eine Reihe von elektrischen Baumaschinen erst als Prototyp verfügbar. Ausgangspunkt der Entwicklung sind meist kleinere Kompaktmaschinen sein, deren Anforderungen an den Arbeitszyklus relativ gering sind. Dadurch kann der tägliche Energie- und Leistungsbedarf mit einer praktischen Größe der Lithium-Ionen-Batterie, Elektromotoren und einer gut definierten Ladestrategie gedeckt werden. Allerdings wird das Emissionsgeschehen bei Baufahrzeugen eher von großen Maschinen bestimmt. So sind für etwa 46 Prozent der gesamten CO₂ Emissionen von Baufahrzeugen Bagger über 10 Tonnen verantwortlich, daher ist es von entscheidender Bedeutung, dass für große Maschinen emissionsfreie Lösungen entwickelt werden.

Aufgrund der anstrengenden Arbeitszyklen dieser schweren Fahrzeuge benötigen Fahrzeuge mit einem Gewicht von über 20 Tonnen mehr als 300 kWh Energie für einen vollen 8-Stunden-Arbeitstag. Mögliche Lösungen für diese Herausforderung sind Batteriewechsel und Kabelbetrieb sowie große Batteriesysteme mit einer schnellen Gleichstrom-Schnellladung (bis zu 300 kW) welcher die Ladezeit auf eine Dreiviertelstunde verkürzt (Wyatt 2022).

Für den erfolgreichen Einsatz von Elektromaschinen sind die Gesamtbetriebskosten entscheidend. Im Vergleich zu Dieselmotoren sind Elektromotoren aufgrund der Kosten für die großen Batteriepakete teurer. Allerdings können diese Mehrkosten z.B. für einen elektrischen Minibagger so gering sein, dass die Einsparungen beim Dieseldieselloststoff und die geringere Wartung aufgrund entfallender Motoröl-, Kraftstofffilter- und Motorölfilterwechsel, den zusätzlichen Aufpreis weitgehend ausgleichen könnten. Bei größeren Maschinen sind die Mehrkosten für die Elektrifizierung jedoch deutlich höher und können bis jetzt noch nicht durch die Einsparungen bei Treibstoff und Wartung vollständig kompensiert werden (Wyatt 2022).

Allerdings ist die Reduktion von THG-Emissionen nicht der einzige Grund zur Elektrifizierung von Maschinen und Fahrzeugen im Bausektor. Vielmehr sind auch Gesundheits- und Sicherheitsaspekte im Zusammenhang mit dem Betrieb von Dieselmotoren auf Baustellen ausschlaggebend. So ist das Baugewerbe maßgeblich für die meisten jährlichen Fälle von berufsbedingten Krebserkrankungen verantwortlich, von denen wiederum ca. ca. 10% direkt auf die Abgase von Dieselmotoren zurückzuführen sind. Arbeitsbedingte Krebserkrankungen sind Schätzungen zufolge die Ursache für ca. die Hälfte aller arbeitsbedingten Todesfälle in der EU (OSHA 2022). Doch auch im Hinblick auf Arbeitsunfällen sind das Baugewerbe sowie die dort eingesetzten Maschinen und Fahrzeuge signifikant ursächlich. Im Jahr 2020 ereigneten sich ca. 18% aller meldepflichtigen und 41% aller tödlichen Arbeitsunfälle im Baugewerbe. Ortsfeste oder veränderliche Maschinen sowie Förder-, Transport- und Lagereinrichtungen sind für ca. 17% aller meldepflichtigen Arbeitsunfälle und sogar für ca. 22% aller tödlichen Arbeitsunfälle verantwortlich (DGUV 2021). Das Baugewerbe ist auch eine Hochrisikobranche für lärmbedingte Krankheiten. Elektrische Maschinen sind wesentlich leiser und bieten das Potenzial für eine verbesserte Kommunikation, Sicherheit und Produktivität auf der Baustelle, während gleichzeitig die Lärmbelastigung für die Umgebung reduziert wird. Die Beseitigung giftiger Abgasemissionen könnte die Luftqualität auf den Baustellen und in der Umgebung verbessern und damit das Arbeitsumfeld für die Bauarbeiter:innen erheblich verbessern. Zudem können elektrische Baumaschinen aufgrund ihrer Abgasfreiheit in Innenräumen eingesetzt werden und erleichtern durch ihre geringen Geräuschemissionen auch Bautätigkeiten außerhalb der normalen Tagesarbeit (Wyatt 2022).

Digitalisierung und elektronische Baumaschinen

Elektrische Baumaschinen sind ein wesentlicher Baustein zur Elektrifizierung des Energiesystems auf dem Weg zur sogenannten All-Electric-Society (vgl. VDE 2022, ZVEI 2022, Handke 2016) und ermöglichen eine weitere Digitalisierung von Bauausführungen. Dabei sind nicht nur die unmittelbaren Vorteile elektrischer Baumaschinen wie geringerer Wartungsaufwand, weniger Lärm und Vibrationen, eine geringere vor-Ort-Belastung durch Schadstoffe, eine Reduktion des Verbrauchs fossiler Treibstoffe und entsprechender Minderung von THG-Emissionen zu berücksichtigen. Vielmehr sind elektrifizierte Baumaschinen eine zentrale Voraussetzung zur erfolgreichen Digitalisierung von Baustellen sowie der effizienten Planung und Steuerung der Bauprozesse. Elektrische Baumaschinen lassen sich digital vernetzen und können dadurch digital gesteuert und kontrolliert werden bis hin zu ihrem sensorgestützten autonomen Einsatz.

Im Bereich der Baumaschinen ist die Digitalisierung daher ein wichtiger Trend und auch ein Hebel zu mehr Nachhaltigkeit im Straßenbau. Denn die Elektrifizierung von Baumaschinen, angefangen von schweren Nutzfahrzeugen bis hin zu Handgeräten, ermöglicht erst Automatisierungslösungen. Bauprozesse lassen sich so sensorgestützt, wireless und in Echtzeit planen, koordinieren, monitoren, steuern und kontrollieren. Ausrüstungen, Kraftstoffe und Energie können effektiv und effizient eingesetzt werden.

Beispielsweise können datengestützte Assistenzsysteme bei Betonierungsprozessen die Betonverdichtung und den Verdichtungsfortschritt in Echtzeit verfolgen und der Einsatz von Verdichtungsmaschinen damit präziser und bedarfsgerechter erfolgen. Dies führt insgesamt zu einer einfacheren Betonfertigung in reproduzierbarer Qualität (Ingenieur.de 2022).

Energetische Effizienzgewinne lassen sich auch durch die digitale Kontrolle und Steuerung der Temperierung von Frischbeton in Echtzeit erzielen. Dazu kommen Eis- und Heißwasseranlagen mit Wärmepumpen zum Einsatz, die je nach Bedarf im Heiz- oder im Kühlbetrieb laufen und sowohl eine sorgfältigere als auch eine energieeffizientere Aushärtung des Betons ermöglichen (Ingenieur.de 2022).

Auch wenn autonom fahrende und arbeitende Maschinen technisch inzwischen prinzipiell möglich sind, bleibt fraglich, ob ihr Einsatz aufgrund der komplexen technischen und sicherheitstechnischen Anforderungen in absehbarer Zeit vorstellbar ist. Deutlich realistischer und für die Bauwirtschaft greifbarer ist der Einsatz „intelligenter“ Baumaschinen mit unterstützenden, halb automatisierten oder automatisierten Faktoren. Sie lassen sich mit hohem Automatisierungsgrad bei spezifischen Bauprozessen mit gleichbleibenden und wiederholenden Tätigkeiten wie beispielsweise im Erd-, Straßen- oder Spezialtiefbau einsetzen und merkliche Effizienz- und Produktivitätssteigerungen erzielen. Zudem entlasten sie die maschinenführenden Fachkräfte bei monotonen sich wiederholenden und dadurch ermüdenden Tätigkeiten.

Intelligente Maschinen ermöglichen zudem eine höhere Unabhängigkeit von individuellen Fähigkeiten der Fachkräfte (Wirtgen 2022).

Darüber hinaus erleichtert der Einsatz intelligenter Baumaschine die Dokumentation und damit auch die Nachweisführung von erbrachten Bauleistungen. Dazu kommen satellitengestützte Autotracking- und Lenksysteme zur Anwendung die den Einsatz der Baumaschinen zentral erfassen, steuern und in den Gesamtprozess der Baustellensteuerung integrieren (Wirtgen 2022).

Praxisbeispiele für Straßen- und Asphaltbau-Maschinen

Inzwischen wird eine Reihe von fossilfreien Baumaschinen auf dem Markt angeboten

- Der erste vollständig elektrisch angetriebene **Asphaltverteiler** wurde vom niederländischen Tiefbauunternehmen BAM Infra Nederland gemeinsam mit den Partnern Wirtgen und New Electric entwickelt und seit dem Jahr 2022 angeboten. Es handelt sich um eine Umrüstung eines dieselbetriebenen Stage-V-Motor der durch zwei E-Motoren ersetzt wurde, die über eine fest verbaute Batterie mit einer Kapazität von 270 kWh verfügen. Ein zweiter 270-kWh-Akku ist austauschbar und soll nach einem erfolgten Arbeitstag den Transport zur nächsten Baustelle ermöglichen. Darüber hinaus kann er auch für andere elektrisch betriebene Geräte genutzt werden. Mit vollgeladenen Batterien kann der elektrische Asphaltfertiger den Angaben zufolge acht bis zehn Stunden lang seine Arbeit verrichten. Im Laufe eines achtstündigen Arbeitstages lassen sich rund 150 Liter Diesel einsparen und dadurch pro Jahr mehr als 93 kt CO₂ und 115 kg NO_x vermeiden (Sciurti 2022).
- Bam Infra hat bereits im Jahre 2020 die weltweit erste rein elektrische **Straßenwalze** im Segment 10-12-Tonnen in Betrieb genommen. Es handelt sich ebenfalls um ein von Diesel- auf Elektroantrieb umgerüstetes Schwergewicht. Die verbaute Batterien haben eine Reichweite von ca. acht Stunden und das Aufladen dauert drei bis fünf Stunden. Die umgerüstete Walze spart pro Arbeitstag ca. 73 l Kraftstoff und rund 236 kg CO₂ ein. Hochgerechnet auf 180 Arbeitstage pro Jahr lassen sich so 42 kt CO₂ vermeiden (Werwitzke 2020).
- Im Bereich der **leichten Tandem Walzen** existieren bereits mehrere elektrisch angetriebene Modelle. So präsentierte die Firma BOMAG auf der bauma 2022 mit den Modellen BW 100 AD e-5 und BW 120 AD e-5 zwei leichte elektrische Tandemwalzen. Sie verfügen über fest verbaute, langlebige Akkus, die mit einer Spannung von 230 V oder 400 V geladen werden können. Diese lassen sich direkt an einer externen DC-Ladestation oder dank AC-On-Board-Ladegerät über CEE-Steckdose, Wallbox oder den Hausanschluss aufladen (BOMAG 2022). Ebenfalls im Segment leichter Tandem Walzen hat das schwedische Maschinenbauunternehmen Dynapac im Jahr 2022 mit der Serienproduktion der rein elektrischen Tandemwalzen CC900e und CC1000e begonnen. Leichte Tandemwalzen werden vor allem in der Straßenreparatur eingesetzt und sind dabei intermittierend im Einsatz. Das bedeutet, dass sie oft im Leerlauf arbeiten, während der Asphalt walzbar eingebaut wird. Nach der Verdichtung fahren die Maschinen zur nächsten Reparaturstelle, wo sie erneut für längere Zeit im Leerlauf stehen bleiben. Mit Diesel angetriebene Walzen verbrauchen dabei Dieselkraftstoff und belasten die Umwelt durch Emissionen. Eine elektrisch angetriebene Walze läuft hingegen bei Nichtgebrauch nicht im Leerlauf, hat dadurch auch keinen Energieverbrauch und emittiert entsprechend keine

- Luftschadstoffe. Ferner sind beide Modelle deutlich leiser als dieselbetriebene Walzen, was insoweit von besonderer Bedeutung ist, als diese Art von Walzen in der Regel in städtischen Gebieten eingesetzt werden, in denen Lärm und Emissionen im besonderen Maße vermieden werden sollen (Stellmach 2022b).
- Das niederländische Unternehmen Green Road Equipment BV hat sich gänzlich auf die Entwicklung emissionsfreier Baumaschinen für den Strassenbau-Sektor spezialisiert. Es verfolgt dabei einen Cradle-to-Cradle Ansatz, indem es alte dieselbetriebene Baumaschinen auf elektrischen Antrieb umrüstet. Im Bereich **schwerer Walzen** erwirbt das Unternehmen die sehr beliebten, aber seit 10 Jahren nicht mehr produzierten, 12 Tonnen schweren, statischen Drei-Rollen-Walzen vom Typ HAMM HW90 und unterzieht sie einer Generalüberholung. Anstelle des alten Dieselmotors erhält die Walze einen Elektroantrieb mit Akkupack, der eine Reichweite von mindestens 10 Betriebsstunden garantiert (GRE o.J.).
 - **Elektrische Kompressoren** - Mit der Modellreihe Mobilair e-power bietet das Unternehmen Kaeser Kompressoren in Coburg elektrische Baukompressoren für den stationären Betrieb an. Die beiden Modelle MOBILAIR M250E oder M255E werden anschlussfertig mit Lasttrennschalter ausgeliefert und können mit einem Modem ausgestattet mit dem Plant Control Center oder einem eigenen Telematik-System verbunden werden. Dies ermöglicht den ferngesteuerten Zugriff auf Informationen über den technischen Zustand der Anlage, die Betriebsstundenzahl und die Standortbestimmung inklusive Geoleasing unterstützt aber auch Auswertung der Anlagenauslastung, bei der Wartungsplanung und Ferndiagnose. Der Kompressor läuft mit 400 oder 480V, ist wahlweise mit einer Motorenleistung von 132 oder 160 kW ausgestattet und liefert einen Betriebsüberdruck von 8,6 bis 14 bar bei Volumenströmen von 16 bis 28 m³/min. Der abgaslose und geräuscharme Betrieb erlaubt den Einsatz in Umwelt- oder Lärmschutzzonen und Gebäuden aber auch Anwendungen in Tunneln, Baugruben oder Gebäuden sind möglich. Dank des Elektroantriebs entfallen der Motoröl-, Kraftstofffilter- und Motorölfilterwechsel. Dies bedeutet längere Wartungsintervalle und somit weniger Stillstandszeiten der Anlage. Bis zu 25 % Einsparungen bei den Energiekosten gegenüber eines Baukompressor mit Dieselmotor sind möglich.
 - Das österreichische Unternehmen Wacker Neuson bietet bereits seit dem Jahr 2015 den **elektrischen Vibrationsstampfer** AS-50 bzw. AS-60 an und soll die üblichen Benzin-Öl-Gemisch betriebene Stampfer ersetzen. Vibrationsstampfer sind ein vielfach genutztes Handgerät zur Bodenverdichtung das im Landschaftsbau für Gräben und kleine – oftmals verwinkelte und eingeengte – Flächen, z.B. für Fundamente, Leitungen und Tragschichten eingesetzt wird. Der elektrische Stampfer ist mit einem aufladbaren Akku ausgestattet der eine Energiemenge von 614 Wattstunden (Wh) speichern kann mit dem Schnellladegerät bei einem vollständigen Ladezyklus von einer Stunde ca. 800 Wh

- bei 220 Volt. Inklusiv Akku wiegt der AS 50 mit 73,5 kg. Der Akku ist werkzeuolos wechselbar und kann für weiterer Baugeräte von Wacker Neuson verwendet werden. Wartungsarbeiten, wie bei Verbrennungsmotoren nötig, entfallen komplett. Es gibt beispielsweise keine Probleme mit Vergaser- Verschmutzungen oder minderwertigem Öl. Dies reduziert Wartungsaufwände und Kosten über die Lebensdauer der Maschine erheblich (Wacker 2022).
- Das Unternehmen VOLVO Construction Equipment bietet drei unterschiedliche Ausführungen von **elektrisch betriebenen Kleinbaggern** (ECR25, ECR18) sowie zwei Radlader (L25 und L20) an. Die ECR Serie ist mit einer 48 V Batterie ausgestattet, deren Kapazität zwischen 16 und 20 kWh liegt. Der Motor hat eine Spitzenleistung von 188 kW. Mit einem Einsatzgewicht von zwischen 1,9 und 2,8 Tonnen sind die Abgasfreien sowie Geräusch- und vibrationsarmen Elektrobagger besonders für den Einsatz in engen Gebäudestrukturen, ruhigen Wohngebieten oder vollen Innenstädten geeignet. Bei den Radladern der Modelle L25 und L20 sind ebenfalls 48 V Lithium-Ionen- Batterien allerdings mit einer Kapazität zwischen 33 und 40 kWh verbaut. Die Elektromotoren liefern bei beiden Modellen eine Leistung von 22 kW. Das Einsatzgewicht liegt zwischen 4,6 und 5,3 Tonnen und das Schaufelvolumen zwischen 0,8 und 0,9 m³ (VOLVO CE 2022)
 - Hyundai Construction Equipment hat im Jahr 2020 einen 14 Tonnen schweren **Wasserstoffbagger** sowie einen 1,8-Tonnen-Mini Elektrobagger entwickelt. Darüber hinaus wird Hyundai Doosan Infracore einen 1,7 Tonnen schweren Minibagger mit Elektroantrieb und einen Bagger mit Hybridmotor ausstellen, die beide im Jahr 2023 auf den Markt kommen (Ingenieur.de 2022).
 - Das Unternehmen Bobcat Bensheim GmbH in Bensheim bietet mit dem **vollelektrischen Kompakt-Raupenlader T7X** die erste Maschine ihrer Art, die vollständig ohne hydraulische Komponenten auskommt. Der T7X ist vollständig batteriebetrieben und die hydraulische Arbeitsgruppe wurde vollständig durch ein elektrisches Antriebssystem ersetzt. Dank der vollelektrischen Plattform werden Leistung und Drehmoment versprochen die dreimal höher liegen als bei dieselbetriebenen Ladern. Der Bobcat T7X ist im Januar 2022 auf der Elektronikmesse CES in Las Vegas für den nordamerikanischen Markt präsentiert worden. Für die Region Europa, wird zunächst das Marktpotenzial des elektrischen Kompaktladern ermitteln. Den Strom für den Elektromotor des T7X liefern Lithium-Ionen-Batterien mit 62 kWh Energieinhalt. Zudem arbeitet der T7X emissionsfrei und sehr geräusch- und vibrationsarm – anders als bei herkömmlichen Baumaschinen fallen die Vibrationen und der Geräuschpegel des Dieselmotors und der Hydraulikpumpe weg. Die Baumaschine kann dadurch gut in lärmsensiblen Bereichen und Innenräumen eingesetzt werden. Die laufenden Betriebskosten können durch den Wegfall von Diesel, Motoröl, Dieselabgasflüssigkeit und Hydraulikteilen sowie durch die Reduzierung der jährlichen Wartungskosten erheblich gesenkt werden (Stellmach 2022).

- **Synthetische Kraftstoffe** Das Unternehmen Liebherr nutzt hydrierte Pflanzenöle (Hydrotreated Vegetable Oil, kurz HVO) die in Reinform oder als Zugabe fossilen Diesel in Baumaschinen, Kränen und Mining Geräten des Unternehmens eingesetzt werden können. HVO gilt als erster kommerziell erwerbbarer Kraftstoff, mit dem Verbrennungsmotoren nahezu klimaneutral betrieben werden können. Während des Lebenszyklus einer Maschine lassen sich die Treibhausgasemissionen um bis zu 90 % senken, wenn sie anstelle von fossilem Diesel mit Renewable Diesel (= HVO 100) betankt wird. Im Bereich der alternativen Antriebskonzepte präsentieren die Liebherr-Komponenten den ersten Wasserstoffmotor, den H 964, mit hohen Wirkungsgraden und sehr niedrigen NO_x-Emissionen bei gleicher Lebensdauer und gleichen Wartungsintervallen wie Dieselmotoren. Zu den Neuentwicklungen des Unternehmens zählt außerdem das mobile Energiespeichersystem, welches zukünftig einen lokal emissionsfreien Betrieb von elektrifizierten oder hybrid versorgten Baustellen mit höchster Leistungsdichte, Effizienz und Qualität sichern wird (Ingenieur.de 2022)
- Das Unternehmen Hilti hat auf der Bauma 2022 seine neue **Akku-Plattform** Nuron vorgestellt. Die Vereinheitlichung der Akku-Plattform zielt darauf die Nutzung von kabelgebundenen Geräten zu reduzieren sowie der Lagerbestand als auch der Umfang des Geräteparks zu minimieren. Nuron bietet eine kabellose Plattform, die über 70 Akku-Geräte von leichten bis hin zu schweren Anwendungen in allen Gewerken abdeckt, wodurch auf kabelgebundene oder benzinbetriebene Geräte zunehmend verzichtet werden kann. Von der präzisen Befestigung bis hin zum Betonbrechen, arbeiten alle Nuron Geräte mit den gleichen austauschbaren 22 Volt-Akkus und Ladegeräten. Die Nuron Akkus stehen in fünf Größen zur Verfügung und können je nach Leistungs- und Einsatzdauer ausgewählt werden. Alle Nuron Akkus, Ladegeräte und Nuron Geräte sind miteinander kompatibel. Das Akku-Management wird somit einfacher, da das Verwalten von verschiedenen Spannungen und unterschiedlichen Ladegeräten wegfällt. Die Kompatibilität steigert die Produktivität und hilft, die Kosten mit weniger Ladegeräten und Akkus sowie einer geringen Platzauslastung zu verwalten. Die Nuron Akkus und Geräte liefern eine verbesserte Reichweite, als aktuell vergleichbare 18 oder 20 Volt-Plattformen und versprechen eine Leistung wie ein Netzgerät. Die Schnittstelle zwischen Nuron Akku und Gerät ist völlig neu konzipiert, wodurch Nuron Geräte bis zu 50 Prozent mehr Strom aus dem Nuron 22 Volt -Akku ziehen können, um Leistungsspitzen abzudecken. Entwickelt auf Basis der Lithium-Ionen-Akku-Technologie, enthalten die Nuron Akkus starke Zellen die eine hohe Leistungsdichte erzielen (Ingenieur.de 2022b).

Schwere Nutzfahrzeuge

Ein besonders großes Potenzial wird im Einsatz von Wasserstoff betriebenen Brennstoffzellen in großen Nutzfahrzeugen gesehen. Denn dadurch lassen sich der schweren und teils voluminöse Elektrostrang batteriebetriebener Fahrzeuge vermeiden (KIT 2020). 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. Taktgeber für die Beschleunigung der Brennstoffzellenentwicklung ist dabei die Produktionstechnik (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-LKW 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.

Die Elektrifizierung schwerer Nutzfahrzeuge wie sie im Straßenbau insbesondere zur Lieferung von Material wie Boden, Kies und anderer mineralischer Rohstoffe aber auch zum Abtransport von Baggergut und Baurestmassen zum Einsatz kommen, stellt eine besondere Herausforderung dar. Denn für den mobilen Einsatz kommen batteriebetriebene Antriebskonzepte aufgrund des schweren und teils voluminösen Elektrostrang mit Batterien aber auch aufgrund der limitierten Reichweite und der beschränkten Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur weniger in Betracht. Stattdessen bieten immer mehr Hersteller von Nutzfahrzeugen Brennstoffzellen an. Maßgeblicher angeschoben wird dies durch die EU-Klimaziele den CO₂-Ausstoß von neuen Pkw bis 2030 um 37,5 Prozent zu senken und dies bereits in fünf Jahren auch auf schwere Nutzfahrzeuge auszudehnen. Um bis zum Jahr 2025 bei schweren Nutzfahrzeugen 15 % CO₂-Emissionen und bis 2030 sogar 30 % einzusparen, erscheint die Brennstoffzellentechnologie daher besonders vielversprechend. Denn einerseits sind konventionelle Lkw-Antriebsstränge mit Dieselaggregaten bereits in hohem Maße optimiert und bieten daher nur noch wenig Einsparpotenzial. Andererseits lassen sich bestehende Lösungen zum batterieelektrischen Antrieb von Pkw nicht direkt von Pkw's auf Lkw's übertragen, da die benötigte Batterie zu schwer und die Ladezeiten zu lang

wären. Bei Fahrzeugen zum Transport von Schüttgütern ist zudem die Nutzlast entscheidend. Diese wird jedoch bei reinen E-Fahrzeuge aufgrund ihrer schweren Akkumulatoren sehr stark herabgesetzt.

Praxisbeispiele für Straßen- und Asphaltbau-Fahrzeuge

- Die südkoreanische Firma Hyundai Motor bietet seit dem Jahr 2020 das Model Xcient Fuel Cell auf dem Markt an. Es ist der weltweit erste in Serie produzierte elektrische Schwerlast-Lkw mit Wasserstoff-Brennstoffzellen. Das Unternehmen hat bereits 47 Einheiten in der Schweiz eingesetzt, wo sie bis Juli 2022 mehr als vier Millionen Kilometer gefahren sind. Das Traktormodell XCIENT Fuel Cell 6x4 ist mit einem 180-kW-Brennstoffzellensystem und einem E-Motor mit einer maximalen Leistung von 350 kW ausgestattet. Der Wasserstofftank des Traktors kann 67 kg Wasserstoff aufnehmen, wobei die Batterie 72 kWh für ein Gesamtgewicht von 37.200 kg liefert, um eine durchschnittliche Reichweite von über 450 Meilen pro Tank zu liefern. Im vergangenen Jahr kündigte Hyundai Motor auch sein NorCal Zero-Projekt an, das auch als Zero-Emission Regional Truck Operations with Fuel Cell Electric Trucks bekannt ist. Hyundai Motor wird ab dem zweiten Quartal 2023 30 Elektro-Lkw der Klasse 8 XCIENT Fuel Cell in Kalifornien in Betrieb nehmen. Dies wird der größte kommerzielle Einsatz von Elektro-Lkw der Klasse 8 mit Wasserstoff-Brennstoffzellen in den USA sein (Hyundai 2022).
- In der Hyzon HyMax Serie bietet der US-amerikanischen Firma Hyzon Motors Inc. drei Fahrzeugtypen mit 24, 46 und 70 Tonnen an. Die Reichweiten liegen zwischen 400 und 680 km und die Tanks fassen zwischen 32 und 95 kg Wasserstoff und treiben Brennstoffzellen an, die im Dauerbetrieb zwischen 160 und 240 kWh leisten. Die Speicherkapazität der Batterien beträgt zwischen 70 und 140 kWh und die Motorleistung liegt zwischen 160 und 450 kW (Hyzon 2022). Die Modellreihe ist seit 2021 auf dem Markt. Hyzon Motors hat im Jahr 2021 Kaufverträge über insgesamt 20 Brennstoffzellen-Lkw mit Tochtergesellschaften der niederländischen Transportunternehmen Jan Bakker und Millenaar & van Schaik abgeschlossen. Bis zu drei wurden noch 2021 und der Rest 2022 ausgeliefert. Millenaar & van Schaik ist eines der größten Asphalttransportunternehmen in den Niederlanden (Electriv.net 2021).
- Mercedes hat Ende 2020 mit seinem Modell GenH2 einen neuen Schwerlast-Lkw mit Brennstoffzelle präsentiert. Bereits 2023 sollen erste Vorserienfahrzeuge in die Kundenerprobung gehen und ab 2026 die Serienproduktion beginnen. Der weiterentwickelte Lkw ist mit zwei E-Motoren mit je 230 kW Dauerleistung und 330 kW Spitzenleistung ausgestattet. Die Brennstoffzellen liefern zweimal 150 kW Strom. Die HV-Batterie unterstützt kurzzeitig – beispielsweise bei Beschleunigungsphasen – mit bis zu 400 kW Energie, die Speicherkapazität beträgt 70 kWh (Electriv.net 2021b).

- Der Fahrzeugbauer IVECO hat zusammen mit dem Unternehmen Nikola auf der IAA Transportation 2022 die europäische Version der batterieelektrischen 4x2 Sattelzugmaschine Nikola Tre BEV vorgestellt. Das Fahrzeug verfügt über 9 Batterien mit einem Gesamtenergiespeicher von bis zu 738 kWh und einer Dauerleistung von 480 kW, die eine Reichweite von bis zu 500 Kilometern ermöglichen. Mit einem 175 kW-Lader beträgt das Aufladen lediglich ca. 160 min. Die Tanks fassen 70 Kg Wasserstoff. Im September 2022 startete am homePORT in Hamburg die Demophase mit den ersten drei batterieelektrischen (BEV) Nikola Tre Sattelzugmaschinen in Europa (ingenieur.de 2022c).

Quellenverzeichnis

- BBSR (2020) Bundesinstitute für Bau-, Stadt- und Raumforschung BBSR im Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung (2020): Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland - Kurzstudie zu sektorübergreifenden Wirkungen des Handlungsfelds 'Errichtung und Nutzung von Hochbauten' auf Klima und Umwelt. BBSR-Online-Publikation Nr. 17/2020.
- BOMAG (2022): bauma 2022: BOMAG walzt mit e-PERFORMANCE. BOMAG GmbH. Boppard, 24.10.2022. Online: <https://www.bomag.com/de-de/press/news-videos/bomag-walzt-mit-e-performance/>
- Bundesregierung (2016): Bundesregierung (2016): Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage der Abgeordneten Eva Bulling-Schröter, Caren Lay, Birgit Menz, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE: Verbrennung von Braunkohlestaub in Asphaltmischanlagen für den Straßenbau. Drucksache 18/9414 18. Wahlperiode 17.08.2016. Online: <https://dserver.bundestag.de/btd/18/094/1809414.pdf>
- C40 (2022) C40 Cities Climate Leadership Group (2022) Clean Construction Forum Transitioning to zero emission construction for healthier buildings and clean air. C40 Cities Climate Leadership Group, Inc. Online: <https://www.c40.org/what-we-do/scaling-up-climate-action/energy-and-buildings/clean-construction-forum/>
- DGUV (2021) DGUV-Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (Hrsg.) 2021): Statistik Arbeitsunfallgeschehen 2020. Berlin September 2021. Online: <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/4271>
- DW (2021) Deutsche Welle (2021): Chermaine Lee: GLOBAL IDEAS "Grüne Baustelle" dank Batterie und Elektro-Bagger? Online: <https://www.dw.com/de/bauen-baustelle-nachhaltig-emissionsarm-elektro-bagger-baumaschine-n-bausektor-zement-co2-klimaschutz/a-57250263>
- EC (2016) Europäische Kommission (2016): Arbeitsunterlage der Kommissionsdienststellen. Kriterien für eine umweltfreundliche öffentliche Beschaffung auf die Planung, den Bau und die Unterhaltung von Straßen. Brüssel, 10.6.2016. Online: <https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/toolkit/roads/DE.pdf>
- Elbers, U. (2022): Ressourcenschonendes Bauen – Wege und Strategien der Tragwerksplanung. In: Bautechnik, 99(1), 57–64. ISSN 0932–8351. doi:10.1002/bate.202100114
- Electrив.net (2021) Sebastian Schaal (2021): Hyzon Motors erhält 20 Bestellungen aus den Niederlanden. In: electrive.det -Branchendienst für Elektromobilität. Rabbit Publishing GmbH. Berlin 31.05.2021 Online: <https://www.electrive.net/2021/05/31/hyzon-motors-erhaelt-20-bestellungen-aus-den-niederlanden/>
- Electrив.net (2021b): Domenico Sciurti (2021): Daimlers GenH2 Truck – Künftiges H2-Koloss im Fernverkehr. In: electrive.det -Branchendienst für Elektromobilität. Rabbit Publishing GmbH. Berlin 22.06.2021. Online: <https://www.electrive.net/2021/06/22/daimlers-genh2-truck-kuenftiges-h2-koloss-im-fernverkehr/#:~:text=Der%20weiterentwickelte%20Lkw%20ist%20mit,lieferrn%20zweimal%20150%20kWh%20Strom>
- GRE (o.J.) Green Road Equipment: Cradle-to-Cradle-Prinzip. Nachhaltige Asphaltverarbeitung ist die Zukunft. Online: <https://greenroadequipment.nl/de/>
- Handke, Volker (2016): All electric society – wird in Zukunft alles elektrisch? Dena Magazin 11-2016 Seite 17 Berlin Deutsche Energie-Agentur GmbH. Online: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9065_DENA_dena_magazin_Nummer_8_11-16.pdf

- Harthan et al (2017) Harthan, Ralph O.; Emele, Lukas; Hermann, Hauke; Matthes; Felix Chr. (2017): Sektorale Abgrenzung der deutschen Treibhausgasemissionen mit einem Schwerpunkt auf die verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen. Arbeitspapier. Öko-Institut. Berlin, 24. Oktober 2017. Online: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Sektorale-Abgrenzung-deutscher-Treibhausgas-Emissionen.pdf>
- Hyundai 2022 Hyundai Motor Company (2022): Hyundai Motor Puts XCIENT Fuel Cell Electric Trucks into Commercial Fleet Operation in California. Seoul 15 Sep 2022. Online: <https://www.hyundaimotorgroup.com/news/CONT0000000000054165#:~:text=Launched%20in%202020%20by%20Hyundai,driving%20as%20of%20July%202022.>
- Hyzon (2022) Hyzon Motors Inc. (2022) Inc: Hyzon Hymax Series. Hyzon Motors Europe BV Gronningen (NL)2022. Online: <https://www.hyzonmotors.com/vehicles/hyzon-hymax-series>
- ICLAI (2016) ICLEI - Local Governments for Sustainability (2016). Umweltorientierte Beschaffung! Ein Handbuch für ein umweltorientiertes öffentliches Beschaffungswesen 3. Auflage. Luxemburg: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, 2016. Online: https://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/handbook_2016_de.pdf
- Ingenieur.de (2022): BAUMA 2022 - Wasserstoff- und Elektro-Baumaschinen rollen an. VDI Fachmedien GmbH & Co. KG Unternehmen für Fachinformationen: Düsseldorf 19.10.2022. Online: <https://www.ingenieur.de/fachmedien/bauingenieur/branche/wasserstoff-und-elektro-baumaschinen-rollen-an/>
- Ingenieur. de (2022b) Ingenieur.de - Logistik für Unternehmen (2022): Elektromobilität - Drei batterieelektrische Sattelzugmaschinen starten Testbetrieb im Hamburger Hafen. VDI Fachmedien GmbH & Co. KG Unternehmen für Fachinformationen. Düsseldorf. 26.09.2022. Online: <https://www.ingenieur.de/fachmedien/logistikfuerunternehmen/transportlogistik/drei-batterieelektrische-sattelzugmaschinen-starten-testbetrieb-im-hamburger-hafen/>
- Ingenieur.de (2022c) Bernd Hinrichs (2022): Hilti: Nuron steht für ein einfaches Akku-Handling. In: B_I baumagazin - Fachzeitschrift für Unternehmer aus dem Hochbau, Tiefbau und Straßenbau. VDI Fachmedien GmbH & Co. KG Unternehmen für Fachinformationen: Düsseldorf 26.10.2022. Online: <https://bi-medien.de/fachzeitschriften/baumagazin/bauhandwerk/bauma-2022-hilti-nuron-steht-fuer-ein-einfaches-akku-handling-b15231https://bi-medien.de/fachzeitschriften/baumagazin/bauhandwerk/akkutechnik-schwere-arbeiten-sicher-erledigen-mit-leistungstarkem-nuron-akku-system-b15241>
- Kaeser 2022 Kaeser Kompressoren SE (2022): Mobilair M250E /M255E. Coburg 2022. Online: [https://www.kaeser.de/download.ashx?id=tcm:14-95026.](https://www.kaeser.de/download.ashx?id=tcm:14-95026)
- Kessler, Frank (2022): Wie viel CO₂-Emissionen Asphaltstraßen wirklich freisetzen. meistertipp.de. Berlin. Wirtschaftsverlag 12.07.2022. Online: <https://www.meistertipp.de/aktuelles/news/wie-viel-co2-emissionen-asphaltstrassen-wirklich-freisetzen>
- 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
- NIR (2022): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2022 Nationaler Inventarbericht zum Deutschen. Treibhausgasinventar 1990 – 2020. UBA Climate Change 24/2022: Online: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-7>

- OSHA (2022) Occupational Safety and Health Administration (Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz) (2022): Arbeitsbedingte Krebserkrankungen. Online: <https://osha.europa.eu/de/themes/work-related-diseases/work-related-cancer>
- Sciurti, Domenico (2022): BAM Infra rüstet Asphaltfertiger auf Elektroantrieb um. electrive.net. B Rabbit Publishing. Berlin 31.01.2022: Online: <https://www.electrive.net/2022/01/31/bam-infra-ruestet-asphaltfertiger-auf-elektroantrieb-um/>
- Stellmach, Hendrik (2022): Dieser Kompaktlader funktioniert ganz ohne Hydrauliköl. In: B_I baufachzeitschriften. B_I MEDIEN GmbH. Kiel 18.02.2022. Online: <https://bi-medien.de/fachzeitschriften/baumagazin/tiefbau-strassenbau/alternative-antriebe-dieser-kompaktlader-funktioniert-ganz-ohne-hydraulikoeel-b14525>
- Stellmach, Hendrik (2022b): bauma 2022 Elektrisch walzen spart Energie. B_I baumagazin Online-Portal und Fachzeitschrift für Hoch-, Tief- und Straßenbau sowie Baupolitik. B_I MEDIEN GmbH Kiel. 05.10.2022. Online: <https://bi-medien.de/fachzeitschriften/baumagazin/tiefbau-strassenbau/bauma-2022-elektrisch-walzen-spart-energie-b15161>
- UBA Umweltbundesamt (2022c): Indikator: Emission von Treibhausgasen. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung>
- UNFCCC (1992): Klimarahmenkonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Online: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convger.pdf>
- UNFCCC (1997): Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Online: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpger.pdf>
- VDE (2022) VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (2022): Die Vision von der All Electric Society: DKE positioniert sich als Wegbereiter. Frankfurt am Main 17.08.2022. Online: <https://www.vde.com/de/presse/pressemitteilungen/2022-08-17-dke-commitment-2030>
- VOLVO CE (2022) Volvo CE Germany GmbH (2022): Elektrische Maschinen Ismaning 2022. Online: <https://www.volvoce.com/deutschland/de-de/products/electric-machines/>
- Wacker Neuson (2022): Akkustampfer AS50e/AS60e: Emissionsfrei alle klassischen Stampfer-Arbeiten erledigen. Online: <https://www.wackerneuson.at/produkte/stampfer/elektro-stampfer/akkustampfer-as50e/as60e/ueberblick/tab>
- Werwitzke, Cora (2020): BAM Infra nimmt elektrische Straßenwalze in Betrieb. electrive.net. Rabbit Publishing. Berlin 29.04.2020. Online: <https://www.electrive.net/2020/04/29/bam-infra-nimmt-elektrische-strassenwalze-in-betrieb>
- Wirtgen Group Europa (2022): The Future in Roadbuilding – Smart. Safe. Sustainable. bauma 2022. Fachmesse für Baumaschinen 24.-30. Oktober, Munich, Deutschland. LECTURA Verlag + Marketing Service Nürnberg 31. Oktober 2022. Online: <https://press.lectura.de/de/article/nachhaltiger-strassenbau-auf-dem-wirtgen-group-bauma-stand-greifbar/59849>
- Wyatt, David (2022): Elektrofahrzeuge im Bauwesen 2022-2042: Ausblick für die Elektrifizierung von Offroad-Baufahrzeugen; Bagger, Lader, Mobilkrane, Teleskoplader. Marktakteure, Technologielandchaft und granulare 20-Jahres-Prognosen nach Regionen; China, USA, Europa und RoW. IDTechEx Cambridge, UK 2022. Online: <https://www.idtechex.com/en/research-report/electric-vehicles-in-construction-2022-2042/854>
- ZVEI e. V. Verband der Elektro- und Digitalindustrie (2022): All-Electric-Society Frankfurt am Main 2022. Online: <https://www.zvei.org/themen/all-electric-society>

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

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01JO2204 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

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)“