

Mechatroniker und Mechatronikerin

Institut für Betriebliche Bildungsforschung
Henry Tackenberg
Gubener str. 47 A 10243 Berlin
henry.tackenberg@ibbf.berlin

IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH
Dr. Michael Scharp
Schopenhauerstraße 26, 14129 Berlin
m.scharp@izt.de
Webseite: www.pa-bbne.de

GEFÖRDERT VOM



Inhaltsverzeichnis

Einleitung	5
1.1 Ziele der Projektagentur PA-BBNE	6
1.2 Die Materialien der Projektagentur	7
1.3 Berufliche Bildung für Nachhaltige Entwicklung	8
1.3.1 Die Standardberufsbildposition “Umweltschutz und Nachhaltigkeit”	8
1.3.2 Bildung für nachhaltige Entwicklung	9
1.4. Glossar	10
1.5 Quellenverzeichnis	11
2. Die Bedeutung der deutschen Industrie für die Nachhaltigkeit	12
2.1 Die Deutsche Industrie und die zwei Seiten einer Medaille	12
2.2 Der Beruf Mechatroniker und Mechatronikerin	13
Quellenverzeichnis	15
SDG 3: “Gesundheit und Wohlergehen”	16
Gesundheit und Arbeit	17
Arbeits- und Gesundheitsschutz	18
Gesunde Beschäftigte als Ressource	19
Gesundheitliche Risiken für Mechatroniker	20
Auszubildende und Gesundheit	24
Rohstoffe und Materialien	24
Quellenverzeichnis	25
SDG 4: “Hochwertige Bildung”	27
10 “Goldene Handlungsregeln” für eine BBNE	28
Schritt 1 - Richtig anfangen: Identifizierung von Anknüpfungspunkten für BBNE	29
Schritt 2 - Selbstwirksamkeit schaffen: Eröffnung von Nachhaltigkeitsorientierten Perspektiven	30
Schritt 3 - Ganzheitlichkeit: Gestaltung transformativer Lernprozesse	31
Schritt 4 - Lernort Betrieb: Entwicklung nachhaltiger Lernorte	31
SDG 4 und Mechatroniker:innen	32
Quellenverzeichnis	34
SDG 7 „Bezahlbare und saubere Energie”	35
Energieerzeugung und Verbrauch in Deutschland	36
SDG 7 und Mechatroniker:innen	38

Energieerzeugung und -beschaffung von Erneuerbarem Strom	41
Stromerzeugung aus industrieller Prozesswärme	44
Abwärme aus Stahlbearbeitung	46
Abwärme aus Zementindustrie	46
Energiespeicherung	47
Cobaltgewinnung in der Demokratischen Republik Kongo	48
Lithiumgewinnung für Batterien	49
Beleuchtung	50
Innenraumbelichtung von Fertigungsmaschinen	51
Rationelle Energienutzung und Energiesparen	53
Energiesparen in der Holzverarbeitung	54
Energieeffizienz durch Blockheizkraftwerke	55
Mobilität und Logistik	56
Dienstreisen als Mechatroniker	57
Nutzfahrzeuge: Elektrisch oder mit Brennstoffzellen?	61
Transport und Logistik	63
THG-Emissionen durch die Lieferkette des Maschinenbausektors	65
Treibhausgasemissionen	67
Luftschadstoff Stickoxid	68
Quellenverzeichnis	69
SDG 8 „Menschenwürdige Arbeit“	75
Das SDG 8 und Mechatroniker:innen	77
Menschenwürdige Arbeit	79
DGB Index Gute Arbeit	80
BDA - Die Arbeitgeber	81
Prekäre Beschäftigungsverhältnisse	82
Kinderarbeit	83
Gender Pay Gap	83
Deutsches Sorgfaltspflichtengesetz	84
Europäisches Lieferkettengesetz	86
Quellenverzeichnis	87
SDG 9 „Industrie, Innovation und Infrastruktur“	90
SDG 9 und Mechatroniker/-innen	91
Industrie und Infrastruktur mit Digitalisierung modernisieren	93
Cyber-Physische (Produktions-)Systeme	96
Integrierte Daten, Datenströme und Big Data	96
Additive Fertigungsverfahren	97
Wie funktioniert additive Fertigung?	97
Einsatzgebiete und Vorteile der additiven Fertigungsverfahren	97

Potenziale der generativen Fertigung	98
Anwendungsmöglichkeiten entlang der Wertschöpfungskette	99
Cloud-Computing	100
Digitaler Zwilling zur Ressourcenschonung	102
Kunststoffprofile aus PVC	103
Chemiefässer aus Rezyklat	104
Industrie und Kreislaufwirtschaft	104
Quellenverzeichnis	106
SDG 12: “Nachhaltige/r Konsum und Produktion”	107
SDG 12 und Mechatroniker:innen	109
Ressourcenverbrauch	112
Bedeutung von Kreislaufwirtschaft	114
Ressourceneffizienz durch Werkstoffsubstitution	115
Nutzungsverlängerung von Werkzeugmaschinen - Retrofitting	116
Digitales Retrofitting	117
Analoges Retrofitting	117
Lebensdauererweiterung durch Obsoleszenzmanagement	118
Lebensdauer von Konsumprodukten	121
Nachhaltigkeits- und Gütesiegel	124
Rohstoffe, Kritikalität und Nachhaltigkeitsrisiken	127
Elektroschrott - Risiko und Ressource	142
Quellenverzeichnis	144
SDG 13: “Maßnahmen zum Klimaschutz”	150
SDG13 und Mechatroniker:innen	151
Energiewende	153
Beispiel: Substitution von Seltenen Erden in Magneten	154
Verkehrswende	155
Beispiel: Substitution von Lithium durch Eisenphosphat oder Wasserstoff	156
Industriewende	158
Beispiel: Abwärmenutzung bei Stahl- und Zementherstellung	159
Agrarwende	160
Beispiel: Digitalisierung von Geräten und Maschinen	161
Quellenverzeichnis	164

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, Ausbildenden und Lehrkräften Hinweise im Impulspapier zusammenzustellen im Sinne einer Operationalisierung der Nachhaltigkeit für die unterschiedlichen Berufsbilder. Zur Vertiefung der stichwortartigen Operationalisierung wird jedes Impulspapier ergänzt durch eine umfassende

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

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

1.3 Berufliche Bildung für Nachhaltige Entwicklung

1.3.1 Die Standardberufsbildposition „Umweltschutz und Nachhaltigkeit“

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

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

Die Standardberufsbildpositionen sind allerdings allgemein gehalten, damit sie für alle Berufsbilder gelten (vgl. BMBF 2022). Eine konkrete Operationalisierung erfolgt üblicherweise durch Arbeitshilfen, die für alle Berufsausbildungen, die modernisiert

werden, erstellt werden. Die Materialien der PA-BBNE ergänzen diese Arbeitshilfen mit einem Fokus auf Nachhaltigkeit und geben entsprechende Anregungen (vgl. BIBB o.J.b). Das Impulspapier zeigt vor allem in tabellarischen Übersichten, welche Themen der Nachhaltigkeit an die Ausbildungsberufe anschlussfähig sind.

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

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

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

1.3.2 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 und stellen uns der Frage, welche Anforderungen ergeben sich aufgrund der SDG und deren Unterziele an die Berufsbildung? Die folgenden Beschreibungen haben deshalb auch immer die gleiche Struktur:

1. Es wird das SDG beschrieben.
2. Es werden relevante Unterziele benannt.
3. Es wird (wissenschaftlich) ausgeführt, was diese Unterziele für das jeweilige Berufsbild bedeuten.

1.4. Glossar

Folgende Abkürzungen werden in diesem Dokument verwendet:

- AO Ausbildungsordnung
- ArbSchG Arbeitsschutzgesetz
- BBNE Berufliche Bildung für nachhaltige Entwicklung
- BNE Bildung für nachhaltige Entwicklung
- CO₂-Äq Kohlendioxid-Äquivalente
- FS Foliensammlung mit Beispielen für Zielkonflikte
- HGM Hintergrundmaterial (wissenschaftliches Begleitmaterial)
- IKT Informations- und Kommunikationstechnik
- IP Impulspapier (didaktisches Begleitmaterial)
- LkSG Lieferketten Sorgfaltspflichtgesetz
- RLP Rahmenlehrplan
- SBBP Standardberufsbildposition
- SDG Sustainable Development Goals
- THG Treibhausgase bzw. CO₂-Äquivalente (CO₂-Äq)
- UBA Umweltbundesamt

1.5 Quellenverzeichnis

- BIBB Bundesinstitut für berufliche Bildung (2021): Vier sind die Zukunft. Online: www.bibb.de/de/pressemitteilung_139814.php
- BIBB Bundesinstitut für berufliche Bildung (2021): Vier sind die Zukunft. Online: www.bibb.de/de/pressemitteilung_139814.php
- BIBB Bundesinstitut für berufliche Bildung (o.J.): Nachhaltigkeit in der Ausbildung. Online: www.bibb.de/de/142299.php

- 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: <https://www.bibb.de/dienst/veroeffentlichungen/de/publication/series/list/2>
- 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
- BMBF (o.J.): Was ist BNE. Online: <https://www.bne-portal.de/bne/de/einstieg/was-ist-bne/was-ist-bne.html>
- Bundesregierung (o.J.): Globale Nachhaltigkeitsstrategie – Nachhaltigkeitsziele verständlich erklärt. Online: www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltigkeitsziele-verstaendlich-erklaert-232174

2. Die Bedeutung der deutschen Industrie für die Nachhaltigkeit

2.1 Die Deutsche Industrie und die zwei Seiten einer Medaille

Die Industrie in Deutschland trägt auf der einen Seite maßgeblich zu Wachstum und Wohlstand bei. Auf der anderen Seite hat die industrielle Produktion erhebliche Auswirkungen durch den Verbrauch von Ressourcen und den Ausstoß von Emissionen auf die Umwelt.

Deutsche Industrieunternehmen sind u.a. spezialisiert auf die Entwicklung und Herstellung komplexer Güter, vor allem auf Investitionsgüter, auf innovative Produktionstechnologien und auf Kraftfahrzeuge. Innerhalb Deutschlands hat die Industrie im Vergleich zu anderen Volkswirtschaften ein deutlich höheres Gewicht. Im Jahre 2020 arbeiteten insgesamt 7,5 Millionen Menschen in der Industrie und dem verarbeitenden Gewerbe (rd. 17% aller Erwerbstätigen). Damit sind Arbeitsplätze und Einkommen verbunden. Die Industrie trägt mit ihren Produkten und Leistungen wesentlich zur Exportstärke Deutschlands bei. 2020 wurde in der Industrie ein Umsatz in Höhe von 2,1 Billionen Euro erzielt, es wurden 54,7 % für Material- und 20,8 % Personalaufwendungen eingesetzt (Statistisches Bundesamt 2022).

Diese wirtschaftlichen Leistungen gehen mit einem erheblichen Ressourcenverbrauch und Auswirkungen auf die Umwelt einher. Der Rohstoffeinsatz insgesamt betrug 2019 in Deutschland 2.536 Mio. Tonnen, davon 945 Mio. Tonnen aus inländischen Quellen. Von diesen waren 63% (594 Mio. t) nichtmetallische Mineralien, 22% (211 Mio. t) Biomasse und 15% (138 Mio. t) fossile Energieträger. Diese Rohstoffentnahmen sind oft mit erheblichen Eingriffen in die Umwelt verbunden (UBA (2022)). Die Industrie verbrauchte in 2021 rd. 699 Terawattstunden Energie, das entspricht 29% des Gesamtenergieverbrauchs Deutschlands (UBA 2022; siehe auch SDG 7)

Zudem sind mit der industriellen Produktion Treibhausgasemissionen verbunden. In Deutschland wurden 2021 rd. 762 Mio. Tonnen Treibhausgase freigesetzt - das sind gut 33 Millionen Tonnen oder 4,5 Prozent mehr als 2020 (729 Mio. Tonnen), aber weniger als die 800 Millionen Tonnen, die noch 2019 emittiert wurden. Insgesamt sind die Emissionen seit 1990 in Deutschland um 38,7 Prozent gesunken. Der Anstieg im letzten Jahr ist insbesondere im Energiesektor zu verzeichnen: Dieser weist ein Plus von 27 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente auf, da wegen steigender Stromnachfrage, geringerer Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und des gestiegenen Gaspreises verstärkt Kohle zur Stromerzeugung genutzt wurde.

Im Industriesektor stiegen die Emissionen in 2021 gegenüber dem Vorjahr um gut neun Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente an (plus 5,5 Prozent). Mit rund 181 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten lagen sie damit wieder fast auf dem Niveau von 2019, aber

knapp unter der im Bundes-Klimaschutzgesetz festgeschriebenen Jahresemissionsmenge von 182 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten (BMWK 2022). Der Anteil der Industrie an den Treibhausgasemissionen in Deutschland betrug somit rund 24%.

2.2 Der Beruf Mechatroniker und Mechatronikerin

Die Berufsbezeichnung Mechatroniker setzt sich aus den Fachbereichen Maschinenbau, Mechanik, Elektrotechnik und Informatik zusammen. Die Mechatronik spiegelt zugleich auch die Aufgabengebiete eines Mechatronikers wider. Durch ihr vielseitiges Wissen können Mechatroniker in unterschiedlichen Branchen arbeiten. Insbesondere in der Elektro-, Automobil- und in der Bau- und Stahlindustrie haben Mechatroniker ein breit gefächertes Einsatzgebiet.

Der Beruf Mechatroniker und Mechatronikerin ist stark betroffen vom Fachkräftemangel und gehört zu den Engpassberufen in Deutschland, das bedeutet, dass für die Besetzung freier Stellen nicht genügend ausgebildete Fachkräfte auf dem Arbeitsmarkt zur Verfügung stehen. Im Jahr 2022 gab es 3858 offene Stellen gegenüber 1339 arbeitslosen Mechatronikern (35%). Die Vakanzzeit offener Stellen lag mit 179 Tagen deutlich über dem deutschen Gesamtdurchschnitt von 139 Tagen. (Bundesagentur für Arbeit, 2023).

Dies zeigt sich auch deutlich auf dem Ausbildungsmarkt. Für den untersuchten Zeitraum 10/21 bis 3/22 konnten von insgesamt 13211 Ausbildungsstellen zum Mechatroniker, zur Mechatronikerin, nur 4220 besetzt werden. (ebd.)

Obwohl der Beruf eindeutig zu den Industrieberufen gehört, kann ihm keine eindeutige Betriebsgrößentypik zugeordnet werden. So werden jährlich 56% der Mechatroniker:innen in Betrieben ausgebildet, die weniger als 250 Mitarbeiter beschäftigen, 33% sind in Klein- und Kleinstbetrieben zu finden. (Meike Baas/Martin Baethge, 2017)

Aufgrund seiner Vielseitigkeit finden Mechatroniker:innen - besonders in KMU, wo die Berufsbilder nicht so trennscharf vorzufinden sind, wie in Großunternehmen - ein sehr breites Tätigkeitsspektrum vor. Tätigkeiten eines Elektroniklers für Betriebstechnik und eines Industriemechanikers werden dabei in Personalunion durch einen Mechatroniker übernommen. Selbst in Großunternehmen ist eine Verdrängung der Berufsbilder Industriemechaniker:in durch Mechatroniker:innen als Trend erkennbar. (EVA M+E-Studie S. 63 ff, 2022)

In den nachfolgend aufgeführten SDG's werden Bezugspunkte hergestellt, wie diese Tätigkeiten Aspekte der Nachhaltigkeit aufgreifen und umsetzen können. Sie können damit wichtige Beiträge zur Umsetzung der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie leisten.

Am 10. März 2021 beschloss die Bundesregierung die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2021 (Bundesregierung 2021). Sie überführt die [Ziele für nachhaltige Entwicklung](#) der Vereinten Nationen (UN 2016) in eine nationale Strategie. Ziel ist *“ein fortschrittliches, innovatives, offenes und lebenswertes Deutschland, das sich durch hohe Lebensqualität und wirksamen Umweltschutz auszeichnet”* Die sechs Nachhaltigkeitsprinzipien der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie lauten (ebenda, S. 91 ff.):

1. Nachhaltige Entwicklung als Leitprinzip konsequent in allen Bereichen und bei allen Entscheidungen anwenden,
2. Globale Verantwortung wahrnehmen,
3. Natürliche Lebensgrundlagen erhalten,
4. Nachhaltiges Wirtschaften stärken,
5. Sozialen Zusammenhalt in einer offenen Gesellschaft wahren und verbessern und
6. Bildung, Wissenschaft und Innovation als Treiber einer nachhaltigen Entwicklung nutzen.

Für die Ausbildung "Mechatroniker/-in" wurden aus der Verknüpfung der Anforderungen aus der Ausbildungsordnung mit denen der SBBP "Umweltschutz und Nachhaltigkeit" Bezüge zu den folgenden acht SDG hergestellt:

1. SDG 3 – Gesundheit und Wohlergehen
2. SDG 4 – Hochwertige Bildung
3. SDG 5 – Geschlechtergleichstellung
4. SDG 7 – Bezahlbare und saubere Energie
5. SDG 8 – Menschenwürdige Arbeit
6. SDG 9 – Industrie, Innovation und Infrastruktur
7. SDG 12 – Nachhaltige/r Konsum und Produktion
8. SDG 13 – Maßnahmen zum Klimaschutz

Quellenverzeichnis

- Bundesregierung (2021): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Weiterentwicklung 2021
<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998194/1875176/3d3b15cd92d0261e7a0bc8f43b7839/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-2021-langfassung-download-bpa-data.pdf>
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klima – BMWK (2022) Klimaschutzbericht der Bundesregierung nach § 10 Absatz 1 des Bundes-Klimaschutzgesetzes s. 3 und 4
https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/klimaschutzbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=6
- Statistisches Bundesamt (2022): Industrie, verarbeitendes Gewerbe – Kennzahlen 2020
<https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Tabellen/kennzahlen-verarbeitendes-gewerbe.html>
- Vereinte Nationen (2015) Agenda 2030: Ziele für Nachhaltige Entwicklung.
<https://unric.org/de/17ziele/>
- Umweltbundesamt – UBA (2022) Die Nutzung natürlicher Ressourcen – Ressourcenbericht für Deutschland 2022

SDG 3: “Gesundheit und Wohlergehen”

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

Um das Menschenrecht auf Gesundheit auszuüben, bestehen in Deutschland ungleich größere und zuverlässigere Chancen als beispielsweise in Ländern des globalen Südens, wo einige der im SDG 3 benannten Themen - Mütter- und Kindersterblichkeit, übertragbare Krankheiten wie AIDS oder TBC vermeiden, Zugang zu Gesundheitsdienstleistungen, selbstbestimmte Familienplanung - ein immenses Problem darstellen.

In Bezug auf das Berufsbild "Mechatroniker/-in" sind in Deutschland folgende Unterziele relevant.

- 3.4 Bis 2030 die vorzeitige Sterblichkeit aufgrund von nicht übertragbaren Krankheiten durch Prävention und Behandlung um ein Drittel senken und die psychische Gesundheit und das Wohlergehen fördern
- 3.5 Die Prävention und Behandlung des Substanzmissbrauchs, namentlich des Suchtstoffmissbrauchs und des schädlichen Gebrauchs von Alkohol, verstärken
- 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:

- 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*

Gesundheit und Arbeit

In Deutschland, wie in den westlichen Industrieländern allgemein, besteht die Herausforderung, Wohlstandsrisiken und damit Gesundheitsrisiken entgegenzuwirken. Hierzu zählen beispielsweise Bewegungsmangel, Fehlernährung und die Beeinträchtigung der psychischen Gesundheit. Es ergeben sich mit der Digitalisierung

der Arbeitswelt und der digitalen Freizeitgestaltung in den industrialisierten Ländern weitere Gesundheitsgefährdungen: Internetsucht und physische Überlastungen.

Darüber hinaus arbeiten wir in einer globalisierten Welt mit umfangreichen Wertschöpfungsketten. Alle Produktionsprozesse in Industriebetrieben erfordern den Einsatz von Rohstoffen und anderen Materialien, die teilweise in Herkunftsländern unter Vernachlässigung von Umweltschutz und des Erhalts einer gesunden Umwelt gewonnen werden.

Im ersten Bericht der Nationalen Präventionskonferenz wird detailliert auf den Zusammenhang von Erwerbsarbeit und Gesundheit bzw. Krankheit eingegangen (Deutscher Bundestag 2021). So ist Erwerbsarbeit für die meisten Menschen etwas, das ihnen soziale Unterstützung gibt und damit Gesundheit unterstützende Wirkung hat. Wenn die Belastungen der Arbeit die persönliche Leistungsfähigkeit der Menschen übersteigen, kann dies zu Krankheiten führen. Der Bericht listet die Bereiche mit besonderem Präventionsbedarf auf und geht dabei auch auf psychische Erkrankungen ein (ebd.:77).

In den folgenden Abschnitten wird u.a. darauf eingegangen, welche Zusammenhänge es zwischen Arbeit und Gesundheit gibt, wie förderliche Arbeitsbedingungen der Gesunderhaltung dienen können oder welche Einflüsse die Förderung von Rohstoffen auf die Gesundheit der Bevölkerung haben kann. Industriekaufleute können in den erstgenannten Zusammenhängen im Rahmen ihrer Tätigkeit im Personalbereich auf die Gestaltung gesundheitsförderlicher Arbeitsbedingungen einwirken; als im Einkauf Tätige können sie Einfluss auf die Beschaffung von nachhaltig gewonnenen Rohstoffen und Materialien nehmen.

Arbeits- und Gesundheitsschutz

Das wichtigste Grundlagengesetz für den betrieblichen Arbeitsschutz ist das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG, 2022). Es verpflichtet den Arbeitgeber, Gesundheitsgefährdungen am Arbeitsplatz zu beurteilen und über notwendige Schutzmaßnahmen zu entscheiden.

Der Arbeitgeber hat für eine funktionierende Arbeitsschutzorganisation im Betrieb zu sorgen. Dies kann besonders wirksam durch eine nachhaltige Einbindung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes in die Strukturen und Abläufe eines Unternehmens erreicht werden. Ferner unterweist der Arbeitgeber die Beschäftigten über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit und trifft Vorkehrungen für besonders gefährliche Arbeitsbereiche und Arbeitssituationen. Bei der Umsetzung der Arbeitsschutzmaßnahmen gibt das Arbeitsschutzgesetz den Unternehmen Gestaltungsspielräume, um den unterschiedlichen Gegebenheiten eines jeden Betriebes gerecht werden zu können. Das Arbeitsschutzgesetz wird durch eine Reihe von

Arbeitsschutzverordnungen konkretisiert, die z. B. Maßnahmen für eine sichere [Arbeitsstätten- und Arbeitsplatzgestaltung](#), einen sicheren Einsatz von Arbeitsmitteln, für [Lärmschutz](#), zur [arbeitsmedizinischen Vorsorge](#), zur [Lastenhandhabung](#) oder für den Umgang mit [Gefahr-](#) oder [Biostoffen](#) enthalten. Die technische Sicherheit von Geräten, Produkten und Anlagen, die auf dem Markt bereitgestellt werden, ist Gegenstand des [Produktsicherheitsgesetzes](#) (ProdSG, 2021). Darüber hinaus regeln eine Vielzahl weiterer Gesetze und Verordnungen den Schutz der Beschäftigten am Arbeitsplatz, wie bspw. das Arbeitszeitgesetz, die Notfallschutzverordnung, das Mutterschutzgesetz oder die Bildschirmarbeitsverordnung.

Gesunde Beschäftigte als Ressource

Die Beschäftigten sind die wichtigste Ressource eines Unternehmens. Weitgehend wird heute anerkannt, dass gesunde, engagierte und motivierte Mitarbeiter und menschengerechte Arbeitsbedingungen die Grundvoraussetzungen für Leistungs- und Zukunftsfähigkeit, für gesteigerte Produkt- und Dienstleistungsqualität, für Kundenorientierung und damit letztlich für den Unternehmenserfolg sind (qualifizierte und gesunde Mitarbeiter als Motor des Erfolges von Unternehmen!). Neben der betriebswirtschaftlichen Betrachtungsweise, erlangen somit soziale und kulturelle Aspekte Bedeutung für den Unternehmenserfolg. (Bruch; Kowalewski o.J.) Der Erhalt der Gesundheit ist somit ein wichtiges Element der Personalarbeit und eine wichtige Führungsaufgabe des Managements. Dabei wird zwischen der Verhaltens- und Verhältnisprävention unterschieden. Die Verhaltensprävention bezieht sich auf den einzelnen Beschäftigten und sein Gesundheitsverhalten. Die Verhältnisprävention ist u.a. auf die gesundheitsförderliche Gestaltung der Arbeitsbedingungen, der Arbeitsplatzgestaltung und der Arbeitsorganisation gerichtet. Während bei der Gestaltung der Verhältnisprävention das Unternehmen direkt wirksam werden kann, können bei der Verhaltensprävention den Beschäftigten nur Angebote zur Veränderung seines Gesundheitsverhaltens gemacht werden (Raucherentwöhnungskurse, Fitnessangebote, Ernährungsberatung) Dafür kann u.a. die Zusammenarbeit mit den Krankenkassen, die entsprechende Angebote verfügen, genutzt werden (Axt, T. 2021).

Gesundheitliche Risiken für Mechatroniker

Mechatroniker/-innen können ihren Beruf fast überall ausüben. Ihre Haupttätigkeiten (Errichtung, Montage oder Instandhaltung / Instandsetzung mechatronischer Baugruppen und Anlagen) können ebenso in Werkshallen, wie im Freien, in Aufzugsschächten oder auf den Dächern von Hochhäusern, in engen Kellergängen oder verzweigten Industrieanlagen stattfinden.

Gesundheitliche Probleme durch physische Belastungen können allgemein durch Lärmbelastung, Umweltbedingungen (extreme Temperaturen, Gase, Vibrationen), Sonneneinstrahlung, Lichtbögen und bei der Teilnahme an öffentlichem Straßenverkehr

(Montageeinsätze an sich häufig ändernden Standorten mit z.T. sehr weiten Fahrtwegen über Autobahn und Landstraßen) entstehen. Da das Berufsbild des Mechatronikers / der Mechatronikerin sowohl das Arbeiten an elektrischen Anlagen (mit und ohne Spannung) als auch die Metallbearbeitung einschließt, ist die Gefährdungsbeurteilung immer wieder Teil der täglichen Einsatzplanung der Fachkräfte.

Die potenziellen Gefahren bei der Metallbearbeitung entstehen u.a. durch:

- durch abfliegende Späne bei rotierenden Maschinenelementen und Werkstücken,
- Beanspruchung des Stütz- und Bewegungsapparates durch einseitige körperliche Belastungen in Verbindung mit Zwangshaltungen,
- Lärmbelastung und Gefahr einer Gehörschädigung beim Drehen, Fräsen, Trennschleifen, Bohren
- Beeinträchtigung der Haut durch Kontakt mit Kühlschmierstoffen und Lösemitteln, Klebern (Allergien, Infektionen),
- Geruchsbelastung beim Bearbeiten von Kunststoffen, bei deren Verarbeitung als Zersetzungsprodukt das krebserregende Formaldehyd entstehen kann.
- Gesundheitsgefahren für die Atmungsorgane durch Einatmen von Stäuben und Dämpfen (flüchtige Lösungsmittel)

Besonders der Einsatz von Kühlschmierstoffen (KSS) kann zu erheblichen Gefährdungen führen. Einige in KSS enthaltene Stoffe, sind gesundheitlich nicht unbedenklich; jedoch können die Risiken minimiert werden, wenn die Richtlinien, Sicherheits- und Herstellungsvorschriften für den Umgang mit und den Einsatz von wassermischbaren Kühlschmierstoffen, vor allem die TRGS (Technische Richtlinie Gefahrstoffe) 611, eingehalten werden.

Ein großes Problem ist, dass die KSS durch schnelllaufende Werkzeuge vernebelt werden und sich Aerosole bilden. Diese gelangen beim Einatmen in den Körper. Aber auch durch Hautkontakt können Gesundheitsschäden entstehen, vor allem allergische Reaktionen. Immer noch in KSS enthalten sind verschiedene giftige und mindergiftige, also gesundheitsschädliche Stoffe, vor allem aber auch Allergene.

Selbst wenn der Mechatroniker/die Mechatroniker nicht direkt an schnelllaufenden Werkzeugmaschinen arbeitet, sind die Dämpfe in der Luft der Werkstatthalle konzentriert.

Gesundheitsschäden durch Allergene und andere Gifte können typischerweise durch den Hautkontakt mit dem flüssigen Kühlschmierstoff entstehen, aber auch das Einatmen der Aerosole birgt große Gefahren: Kühlschmierstoffe, die nicht der TRGS 611 entsprechen, können krebserregend sein und über das Einatmen der Aerosole durch die darin enthaltenen Nitrosamine Lungenkrebs verursachen.

Neben allgemeinen und organisatorischen Schutzmaßnahmen, die bei Tätigkeiten an Anlagen und Maschinen zu beachten sind und in einer Gefährdungsbeurteilung festgelegt werden, spielt die persönliche Schutzausrüstung (PSA) eine große Rolle. Die geschlossene Arbeitskleidung ist bei jeder Tätigkeit an rotierenden Werkzeugmaschinen vorgeschrieben. Das Tragen von Schutzhandschuhen, Schutzbrille und Atemschutzmaske ist abhängig vom Gefahrenpotenzial der Substanzen, mit denen der Facharbeiter in Kontakt kommen könnte. Auch die detaillierte Planung im Vorfeld der Einrichtung eines Mechatronikerarbeitsplatzes kann die Gefahrenpotenziale abschwächen.

Die potenziellen Gefahren bei der Arbeit an elektrischen Anlagen entstehen u.a. durch:

- gefährliche Körperströme (elektrischer Schlag), z.B. beim Berühren von Anlagenteilen, die unter Spannung stehen
- überhöhte Temperaturen, die Verbrennungen, Brände oder das Entzünden einer möglicherweise explosiven Atmosphäre verursachen können
- Unterspannungen, Überspannungen und elektromagnetische Einflüsse, z.B. durch Einwirkung anderer Anlagenteile oder Blitzeinschlag
- Stromunterbrechungen und/oder Unterbrechung der elektrischen Anlage für Sicherheitszwecke, z.B. auch nicht ausreichende Organisation beim Wiedereinschalten der Anlage
- Lichtbögen, die Blendeffekte bis hin zur Schädigung der Augen, außergewöhnliche Drücke und/oder giftige Gase sowie Verbrennungen bzw. Brände verursachen können
- mechanische Bewegungen von elektrisch angetriebenen Betriebsmitteln

Das Tragen von persönlicher Schutzausrüstung (PSA) kann viele der aufgeführten Gefahrenquellen unterbinden. Auch die detaillierte Planung im Vorfeld der Einrichtung eines Arbeitsplatzes kann die Gefahrenpotenziale abschwächen.

Hinzu können Arbeitsplatz bedingte Stressfaktoren dazu kommen, die nachgewiesenermaßen zu Diabetes, erhöhten Leberwerten, Hautausschlägen, Magen- und Darmerkrankungen, Herzerkrankungen, Burnout und Depressionen führen (AOK, 2020; RKI 2022). Stressfaktoren (gesund.bund.de o.J.) sind:

- hohe Qualitätsansprüche
- Daueraufmerksamkeit beim Bedienen und Überwachen von Fertigungssystemen sowie schnelle und sichere Reaktionsfähigkeit beim Auftreten von Störungen.
- Schichtarbeit, insbesondere Wechselschichten
- Montageeinsätze an häufig wechselnden Standorten
- Konflikte am Arbeitsplatz, in der Partnerschaft oder der Familie,
- Überlastung oder Doppelbelastung durch Familie und Beruf,

- Termindruck, kritische Lebensereignisse, wie Trennung, Arbeitsplatzverlust, schwere Krankheit oder der Tod einer nahestehenden Person,
- wenig Freizeit und fehlender Ausgleich zur Arbeit,
- Schwierigkeiten damit abzuschalten,
- Reizüberflutung,
- eigene (Leistungs-)ansprüche und
- Sorgen und Ängste.

Auszubildende und Gesundheit

Eine repräsentative Befragung von Auszubildenden durch das Wissenschaftliche Institut der AOK hat herausgefunden (WiDO-monitor 2019), dass Azubis diverse Symptome mehrheitlich mit ihrem Arbeitsplatz in Verbindung bringen. Jeweils ein knappes Viertel gibt beispielsweise an, dass sie häufig oder immer unter Verspannungen, Kopfschmerzen oder Rückenschmerzen leiden. 43,2 Prozent der Befragten berichten, sich immer oder oft müde oder erschöpft zu fühlen. Körperliche Gesundheitsprobleme werden dabei häufiger genannt als psychische Symptome (43,5 gegenüber 36,5 Prozent). Insgesamt schätzen die Auszubildenden ihren Gesundheitszustand zwar eher als gut ein, benennen aber auch Gesundheitsbeschwerden, die für sie subjektiv mit dem Arbeitsplatz zusammenhängen. Dies gilt insbesondere für muskuloskelettale Beschwerden und die Überbeanspruchungen der Augen. Aus den Studienergebnissen resultiert, dass es seitens der Auszubildenden Bedarf an Maßnahmen zur betrieblichen Gesundheitsförderung gibt, die speziell auf sie und ihre Arbeitssituation zugeschnitten sind. Hierbei geht es um nachhaltige Verhaltensänderungen bei Themen wie Schlafhygiene, Ernährung und Bewegung sowie Stressmanagement.

Rohstoffe und Materialien

In der industriellen Produktion werden neben Energie (siehe SDG 7 – Saubere und bezahlbare Energie) vor allem zwei Basismaterialien eingesetzt: Metalle und Kunststoffe. Die Gewinnung und Herstellung dieser Basismaterialien ist fast immer mit Gefahren für die Umwelt verbunden, durch deren Eintrag in Wasser, durch Emission in die Luft und durch Schädigung bzw. Zerstörung von Landflächen oder der biologischen Vielfalt (siehe auch Abschnitt 2 sowie SDG 9, 12,13). Gerade bei der Gewinnung von Metallen in Minen und Hütten zur Herstellung von Halbzeugen können auch gesundheitliche Schädigungen der Arbeitnehmer und Arbeitnehmerinnen sowie der regionalen Anwohner verursacht werden. Ebenso sind zerstörerische Folgen für die Umwelt möglich. Zwei besonders gravierende Beispiele der letzten Jahre sind ein Dambruch in Brumdinho (Brasilien, Eisenschlamm-Absetzbecken, DW 2021) und in Kolontar (Ungarn, Aluminiumschlamm-Absetzbecken). Andererseits ermöglichen erst Maschinen und Antriebe uns ein Leben ohne Hunger (industrielle Landwirtschaft), in Wohlstand (Urlaub mit dem Auto, Bahn oder Flugzeug), in Sicherheit (Feuerwehr- und

Rettungsfahrzeuge) und mit einer guten Gesundheitsversorgung (Insulin-Pumpen und Beatmungsgeräte).

Industriekaufleute, die im Einkauf tätig sind, können bei der Auswahl und Beschaffung von Rohstoffen und Materialien einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit ihres Unternehmens leisten (siehe auch SDG 12 und 13). Einen gesetzlichen Rahmen bildet dafür u.a. das Lieferkettensorgfaltspflichtgesetz (LkSG, 2002, s. hierzu das Kapitel [Deutsches Sorgfaltspflichtengesetz](#)).

Die nachhaltige Beschaffung bedeutet u.a. in diesem Kontext (BME 2019):

- Entwicklung einer nachhaltigen Beschaffungsstrategie
- Bewertung von Lieferanten hinsichtlich Nachhaltigkeit anhand von Siegeln, Gütekriterien oder Managementsystemen
- Entsprechende Auswahl nachhaltiger Lieferanten
- Nutzung regionaler Anbieter zur Optimierung von Liefer-/Transportwegen
- Auswahl nachhaltiger, ressourcenschonender Produkte; z.B. Einkauf Erneuerbarer Energie; Umrüstung der Fahrzeugflotte auf alternative Antriebe

Quellenverzeichnis

- AOK (2020): Krankheiten durch Stress: So sehr kann die Belastung dem Körper schaden. Online:www.aok.de/pk/magazin/wohlbefinden/stress/stress-so-krank-kann-er-machen
- Axt, Tanja (2021): Verhaltens- und Verhältnisprävention im Kontext betrieblicher Gesundheitsförderung. Eine gesundheitspsychologische Perspektive. GRIN Verlag; 1. Edition. 28 S.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (o.J.) Arbeitsschutzgesetz. (<https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze-und-Gesetzesvorhaben/arbeitsschutzgesetz.html;jsessionid=B2EA53A9DFFF73A598D72099B8DBB006.delivery1-replication>)
- Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik e.V. (BME 2019): Leitfaden Nachhaltige Beschaffung. online: https://www.absthessen.de/pdf/BME_Leitfaden_Nachhaltige_Beschaffung_final.pdf
- Bruch, Heike; Kowalewski, Sandra (o.J.): Gesunde Führung. Online: <https://www.gesundebetriebe-aargau.ch/files/public/literatur/pdf/gesunde-fuehrung-wie-unternehmen-eines-gesunde-performancelkultur-entwickeln.pdf>.
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2022) Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz – (LkSG) https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBL&jumpTo=bgbl121s2959.pdf#_bgbl_%2F%2F*%5B%40_attr_id%3D%27bgbl121s2959.pdf%27%5D_1674487848498
- Deutscher Bundestag (2021): Drucksache 19/26140, 19. Wahlperiode, Unterrichtung durch die Bundesregierung, Erster Bericht der Nationalen Präventionskonferenz über die Entwicklung der Gesundheitsförderung und Prävention (Erster Präventionsbericht), mit Stellungnahme der Bundesregierung. Online: dserver.bundestag.de/btd/19/261/1926140.pdf
- Deutsche Welle (2021): Dammbbruch: Vales umstrittene Milliarden Entschädigung. Online: www.dw.com/de/dammbbruch-vales-umstrittene-milliardenentschaedigung/a-56482423
- Die Drogenbeauftragte der Bundesregierung Bundesministerium für Gesundheit (2012) Nationale Strategie zur Drogen- und Suchtpolitik. Online: <https://www.bundesdrogenbeauftragte.de/themen/drogenpolitik/nationale-strategie/>

- Domke, R.; Reinwald, E; Südwind e.V. Hrsg. (2020): Rohstoffe für Handys und Co.: Kupferabbau in Sambia. Online:
<https://www.suedwind-institut.de/alle-verfuegbaren-publikationen/fact-sheet-rohstoffabbau-f%C3%BCr-handy-und-co-kupferabbau-in-sambia.html>
- Forsa Politik- und Sozialforschung GmbH (2017): WhatsApp, Instagram und Co. – so süchtig macht Social Media DAK-Studie: Befragung von Kindern und Jugendlichen zwischen 12 und 17 Jahre. Online: <https://www.dak.de/dak/bundesthemen/onlinesucht-studie-2106298.html#/>
- gesund.bund.de (o.J.): Stress: Auswirkungen auf Körper und Seele. online:
<https://gesund.bund.de/stress>
- Robert Koch Institut – RKI (2022): Pressemitteilung: Krankheitsstudie zeigt: Herz-, Lungen- und Schmerzerkrankungen haben den höchsten Anteil: online:
https://www.rki.de/DE/Content/Service/Presse/Pressemitteilungen/2022/07_2022.html
- salus klinik Lindow (2022): Pathologischer PC-/Internet-Gebrauch. Online:
<https://www.salus-kliniken.de/lindow-psychosomatik/psychosomatik/indikation/pathologischer-pc-internetgebrauch/>
- WiDOMonitor (2019): Gesundheitszustand und Gesundheitsverhalten von Auszubildenden Eine bundesweite Repräsentativ-Umfrage unter Auszubildenden in kleineren und mittleren Unternehmen. Ausgabe 2/2019. Online:
https://www.wido.de/fileadmin/Dateien/Dokumente/Publikationen_Produkte/WidOmonitor/widomonitor_2019_2_azubis.pdf
- Meike Baas/Martin Baethge (2017): Bertelsmannstiftung - Entwicklung der Berufsausbildung in Klein- und Mittelbetrieben
https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/Entwicklung_Berufsausbildung_2017.pdf
- EVA M+E-Studie “Evaluation der modernisierten M+E-Berufe”, 2022
https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/2022/Evaluation_der_modernisierten_M_E-Berufe.pdf

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. Bildung ist die Grundlage dafür, dass Menschen ihre Situation individuell verbessern können. 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. Neben der individuellen Bildung als Ressource gilt es, Menschen für *nachhaltige Entwicklung* zu bilden, damit sie ihre eigenen Handlungen mit den Konsequenzen für die Umwelt verstehen und Veränderungen angehen können, um z.B. neue Entdeckungen zu machen oder Neues zu entwickeln – denn das ist die Grundlage von nachhaltiger Entwicklung (BMBF, 2022):

Insofern ist vor allem das Unterziel 4.7 relevant:

- *4.7 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 wider, 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 (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. Hierfür muss unbestritten immer auch der „Raum“ zur Verfügung stehen (Hantke 2018). 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.

SDG 4 und Mechatroniker:innen

Bildung ist heute mehr als nur Wissen: Bildung ist auch die Kompetenz, dieses 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 Zusammenhänge entlang der Gewinnung von Rohstoffen und Energie, industrieller Produktion und Entsorgung und den damit verbundenen Auswirkungen auf Menschen, Umwelt und Klima sind vielfältig und komplex. Aufgrund mangelnder Information werden in der öffentlichen Debatte falsche Schwerpunkte benannt und entsprechend gehandelt. Ein Beispiel ist die Diskussion über die Vor- und Nachteile der Elektroautos (vgl. KLIMA ARENA o.J.). Als Argumente gegen die Elektromobilität werden verschiedene Argumente gebracht: *Es dauert Jahre, bis das E-Auto einen ökologischen Vorteil hat; die Förderung von Lithium für Akkus ist extrem umweltschädlich; der CO₂-Ausstoß bei der Stromerzeugung sorgt dafür, dass das E-Auto keinen Vorteil mehr hat; E-Autos lohnen sich gar nicht wegen geringer Reichweite und zu langen Ladezeiten; das deutsche Stromnetz kann ja so viele Autos gar nicht gleichzeitig laden sowie es gibt es nicht genug Ladesäulen.* Alle diese Argumente - bis auf die Anzahl der Ladesäulen - wurden wissenschaftlich in vielen Studien widerlegt.
- Als erstes geht es bei der Nachhaltigkeitskommunikation im Bereich der Mechatronik darum, den Blick auf die Gesamt-Wertschöpfungskette betrieblicher Produktion zu erweitern und die Auswirkungen aufzuzeigen, die die Gewinnung, Verarbeitung, Nutzung und Entsorgung von Rohstoffen und industriellen Gütern mit sich bringt.
- Beispiele:
 - Der Abbau oder die Gewinnung von Rohstoffen ist immer mit negativen Auswirkungen auf Mensch wie Landvertreibungen, Zwangsumsiedlungen und eine zunehmende Verarmung der lokalen Bevölkerung und Umwelt wie Verseuchung des Trinkwassers und der Atemluft verbunden.
 - Die Produktion und Verarbeitung von Metallen ist sehr energieintensiv und damit verantwortlich für hohe Mengen an produziertem CO₂.
 - Durch Zerspanung hergestellte Bau- und Formteile aus Metall können unter Umständen durch die Anwendung moderner Technologien wie additiver Fertigung (3D-Druck) ersetzt werden. Durch den Einsatz regenerativer Filamente führt dieser Prozess noch einmal zu einer höheren Nachhaltigkeit der Bauteilentwicklung.
 - Durch die Einhaltung einer Abfallhierarchie, einer Rangfolge von Maßnahmen, die bei der Vermeidung von Abfällen jeglicher Art und Fraktion zu berücksichtigen sind, und der Wiederverwendung oder Reparatur von Gebrauchsgütern, Werkzeugen und Maschinen, können deutliche Effekte erzielt werden.
 - Durch einen erhöhten Fokus auf Recycle- und Wiederverwendbarkeit der eigenen Produkte kann negativen Effekten wie werkstofflicher oder funktionaler Obsoleszenz entgegengewirkt werden.

- Durch die energetischen Anforderungen des GEG, den flächendeckenden Einsatz von Smart Meter laut IME-VO und den steigenden Anteil an IT im Rahmen der digitalen Transformation entstehen Zielkonflikte zwischen deren Zielen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit und dadurch hervorgerufene Reboundeffekte (UBA , 2015)
- Ein weiteres Handlungsfeld der Abfallvermeidung ist die Aufarbeitung von Altprodukten und deren Vermarktung als Gebrauchtprodukte, um ebenfalls Lebensdauer zu verlängern und die Anschaffung von neuen Produkten zu vermeiden.

Als Beispiel hierfür gilt das Retrofitting. Hierbei wird bei Fertigungsautomaten (CNC-Dreh- und Fräsmaschinen, industrielle Palettier, Transport, Speicher- und Handlingsysteme so wie Roboter) die veraltete elektronische Steuerung durch eine aktuelle ersetzt sowie Antriebe und Schaltkomponenten getauscht, damit der Verschleißvorrat der mechanischen Komponenten, der bei Elektronikkomponenten oft noch sehr groß ist, aufgebraucht werden kann.

Die Herausforderungen im Bereich Mechatronik liegen also nicht nur darin, entsprechende nachhaltige Angebote unter Aspekten der Energie- und Kosteneffizienz zu gestalten, sondern auch die Betreiber von Industrieanlagen so zu beraten, dass sie diese Angebote dauerhaft annehmen.

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>

- UBA Umwelt Bundesamt (2015): Rebound-Effekte: Ihre Bedeutung für die Umweltpolitik
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_31_2015_rebound-effekte_ihre_bedeutung_fuer_die_umweltpolitik.pdf

SDG 7 „Bezahlbare und saubere Energie“

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

Das SDG 7 beinhaltet soziale, ökologische und ökonomische Anforderungen an den Klimaschutz. Für die Industrie sind daher vor allem folgende Unterziele wichtig::

- 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.”*

Im wesentlichen geht es im SDG 7 um den Umbau des bisherigen Energiesystems hin zu mehr Erneuerbare Energien und einer Verbesserung der Effizienz der Energienutzung, da ökologische und das Klima schützende Anforderungen schon durch andere SDG's (insbesondere 13, 14 und 15) abgedeckt werden. „Saubere Energie“, wie dies in SDG 7 genannt wird, bedeutet heute für den Klimaschutz grundsätzlich den Umstieg auf Erneuerbare Energien (EE) sowie eine höhere Energieeffizienz. Die Schnittmenge für das SDG 7 ergibt sich aus den Nummern 3a und 3b der Standardberufsbildposition:

- 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*

Energieerzeugung und Verbrauch in Deutschland

Im Jahr 2021 verbrauchte die Industrie knapp ein Drittel des Endenergieverbrauchs in Deutschland. Innerhalb der Organisation werden davon etwa zwei Drittel für "Prozesswärme" benötigt. Mechanische Energie zum Betrieb von Motoren oder Maschinen sorgt für circa ein Viertel des Verbrauchs. Die Raumwärme hat dagegen nur einen kleinen Anteil (UBA; 2022a)

	in Terawattstunden	in %
Gesamtenergieverbrauch	2.407	100
Industrie	699	29,0
Haushalte	670	27,8
Verkehr	653	27,1
Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	385	16,0

Industriebetriebe haben sowohl bei der Gestaltung ihrer Produktionsbedingungen (Gebäude, Maschinen, Fuhrpark etc.) wie auch in den Produktionsprozessen und den vor- und nachgelagerten Prozessen Einfluß auf den Energieverbrauch. Der Energieverbrauch verteilt sich auf verschiedene Energieträger. Hier sind auch Ansatzpunkte für die Substitution fossiler Energieträger gut erkennbar (SDG 7.2):

	in Terawattstunden	in %
Industrie gesamt	699	100
Stein-, Braunkohlen	115	16,4
Mineralölprodukte	25	3,6
Gase	250	35,7
Strom (inkl. erneuerbarer Energien)	213	30,4
Fernwärme	48	6,9
Erneuerbare Wärme	34	4,8
Sonstige Energieträger	15	2,2

Der Energieverbrauch in der Industrie ist nach Branchen sehr unterschiedlich (Statistisches Bundesamt - destatis, 2023):

	in Mrd. Kilowattstunden
Herstellung von Chemischen Erzeugnissen	304,7
Metallerzeugung und -bearbeitung	228,5
Kokerei und Mineralölverarbeitung	103,9
Herstellung v. Glas, Keramik, Verarbeitung v. Steinen	84,7

und Erden	
Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	69,9
Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	59,1
Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	36,1
Herstellung von Metallerzeugnissen	22,2
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	22,2
Maschinenbau	19,2

SDG 7 und Mechatroniker:innen

Mechatroniker:innen errichten Maschinen und Automatisierungsanlagen weltweit, dazu gehören Einzelteilfertigung, Montage, elektrische Installation, Inbetriebnahme und Konfiguration. Durch den stetig wachsenden Einsatz von IKT in der Industrie und die immer komplexer werdenden Anlagen ist es notwendig, so früh wie möglich in der Ausbildung für Verbräuche und Energieeffizienz zu sensibilisieren.

Das Thema „Ganzheitliche energetische Betrachtung von mechatronischen Antriebssystemen“ gewinnt durch die Problematik der Energiewende zunehmend an Bedeutung. Da abzusehen ist, dass es in den nächsten Jahrzehnten nicht möglich sein wird, den gesamten Strombedarf regenerativ zu erzeugen, spielt das Thema Energieeinsparung eine entscheidende Rolle. Durch die ganzheitliche energetische Betrachtung von mechatronischen Antriebssystemen kann ein Beitrag zur Energieeinsparung geleistet werden.

70 Prozent des in der Industrie verbrauchten Stroms wird in elektrischen Maschinen umgesetzt, wobei der Stromverbrauch der Industrie am Gesamtverbrauch Deutschlands einen Anteil von ca. 45 Prozent hat. (TH Nürnberg, 2014)

Mechatroniker:innen sind im Unternehmen eine der wichtigsten Einflussgrößen bei der Ergänzung des Energiemix im Unternehmen um erneuerbare Energie. Von der Montage von z.B. Solarkollektoren über das Verlegen der Stromleitungen bis hin zur Einrichtung von Wechselrichtern und modernen Speichersystemen liegen alle notwendigen Tätigkeiten im Fachspektrum von Metall- und Elektrotechnik und somit sehr nah an den Standardtätigkeiten des Mechatronikers, der Mechatronikerin. Weiterhin bietet die Gestaltung von Produktionsprozessen oft Ansatzpunkte für die Senkung von Verbäuchen bzw. die Gewinnung von Energie. Auch das Energiemonitoring und dessen Auswertung sind wichtige Stellglieder für die Optimierung der Energieeffizienz drastisch zu erhöhen. Sie sind dadurch in der Lage, bei der Ausstattung von Gebäuden, Produktionshallen und

sonstigen Liegenschaften sowie bei der Beschaffung von Maschinen und Anlagen Einfluss auf den zukünftigen Energieverbrauch zu nehmen.

Der Betrieb von Büros oder Fabrikhallen verbraucht viel Energie für Heizung, Lüftung, Klimatisierung oder Beleuchtung. Um diesen Energieverbrauch auf ein Minimum zu senken, empfiehlt es sich, die Steuerung der Gebäudefunktionen zu automatisieren. Auch die dafür notwendigen Fertigkeiten liegen im Fachspektrum der Mechatroniker:innen.

60% weniger Stromverbrauch bei der Beleuchtung, 40% weniger in der Klimatechnik und 25% Wärmeenergieeinsparung sind laut einer Studie der Hochschule Biberach 2015 durch Gebäudeautomatisierung möglich. Eine Gesamt-Primärenergieeinsparung von 40% ist erreichbar. Generell zählen Investitionen in die Gebäudeautomation zu denjenigen, die mit relativ geringen Mitteln hohe Einspareffekte erzielen. Allerdings gelte es, die aktuellen Standards zu beachten, die in der Norm DIN EN 15232 festgelegt sind.

Die Gebäudeautomation koordiniert und steuert die Energieströme, passt den Betrieb der gebäudetechnischen Anlagen den Nutzungserfordernissen an, sie kontrolliert und überwacht den optimalen Betrieb. Die Gebäudeautomation ist damit Basiswerkzeug für das Energiemanagement und geringen Energieverbrauch.

Zum Beispiel wird die Heizung automatisch ausgeschaltet, wenn im Raum ein Fenster geöffnet wird. Im Winter wird die Heizung unterstützt, indem in einem nicht genutzten Raum alle Jalousien hochgefahren werden, um die Wärme des Sonnenlichtes zu nutzen. Weitere Energieeinsparungen an fossilen Energieträgern ergeben sich daraus, dass mit Gebäudeautomation die Energieerzeugung aus regenerativen Quellen, zum Beispiel Solar oder Windenergie, optimal eingebunden werden kann. Das Automationssystem sorgt dafür, dass bei der Energieerzeugung ein möglichst hoher Anteil an regenerativer Energie berücksichtigt wird.

Doch auch ohne Solaranlage rechnet sich die Gebäudeautomation: Durch eine optimierte Regelung der Heizungsanlage können zwischen 15 und 30% eingespart werden. Bei der Warmwasseraufbereitung liegt das Potenzial zwischen 10 und 20%. Im Bereich Klimatechnik können zwischen 30 und 50% an Energie eingespart werden. In Bezug auf die Beleuchtung erfordert eine Verbesserung sogar bis zu 50% weniger Energieaufwand (ebd.).

Somit haben Mechatroniker:innen einen sehr großen, direkten Einfluss auf Energieerzeugung, Speicherung und Verwendung im modernen Industriebetrieb.

Energieerzeugung und -beschaffung von Erneuerbarem Strom

Die nachfolgenden Absätze beschreiben die Grundlagen der verwendeten Energieformen und eingesetzten Verfahren sowie wichtige Themen aus dem Bereich "Bezahlbare und

saubere Energie". Es ist Basiswissen im Sinne der Standardberufsbildposition "Umweltschutz und Nachhaltigkeit", welches heute in jeder Ausbildung vermittelt werden sollte, da kein Beruf mehr ohne die nachhaltige Nutzung von Energie auskommen kann.

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

Im Jahr 2022 wurden etwa neun Prozent mehr Strom aus erneuerbaren Quellen erzeugt als im Vorjahr. Die gesamte Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien wird mit etwa 256 Terawattstunden (TWh) zwar über der Erzeugung der Vorjahre liegen, jedoch unter dem Ziel des im Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG, 2021) avisierten Strommengenpfads von 269 TW (UBA, 2023).

Hauptpfeiler der erneuerbaren Stromproduktion waren auch im Jahr 2022 die Photovoltaik und die Windenergie: Die Stromerzeugung aus Photovoltaik-Anlagen stieg wegen des Anlagen Zuwachses im Vorjahr, aber auch wegen des sehr sonnigen Wetters um 23 Prozent auf 61 TWh deutlich an. Auch die Stromerzeugung aus Windenergie lag im Jahr 2022 mit 128 TWh (davon ca. 103 TWh aus Windenergieanlagen an Land und ca. 25 TWh aus Windenergieanlagen auf See) 12 Prozent höher als im windarmen Vorjahr. Im Wärmesektor gab es aufgrund der milden [Witterung](#) im Jahr 2022 und nicht zuletzt aufgrund der Einsparmaßnahmen infolge des Krieges in der Ukraine einen deutlichen Rückgang des gesamten Energieverbrauchs. Der Verbrauch erneuerbarer Energien für Wärmezwecke betrug dagegen mehr als 200 TWh, und damit etwa 1 Prozent mehr als 2021. Neben einer starken Zunahme der Nutzung von Umweltwärme und oberflächennaher Geothermie mittels Wärmepumpen (+13 Prozent gegenüber dem Vorjahr), stieg auch die Wärmeerzeugung aus Solarthermieanlagen (+11 Prozent) wegen der sehr sonnigen Witterung deutlich. Zusätzlich dürfte auch ein verstärkter Einsatz von Holz als Ersatz für Erdgas zum Wachstum der erneuerbaren Wärme beigetragen haben (ebd.).

Im Verkehr wurden Biokraftstoffe, trotz der von 2021 zu 2022 von 6 auf 7 Prozent gestiegenen *Treibhausgas-Minderungsquote, nur in einem ähnlichen Umfang wie im Vorjahr eingesetzt. Grund hierfür waren Quotenübertragungen aus dem Jahr 2021 und nochmals steigende UER-Anrechnungen, also die Möglichkeit, Emissionsminderungen auch in der Vorkette der Kraftstoffproduktion, anrechnen zu lassen. Vorläufige Daten zeigen, dass der Absatz von Biodiesel (inklusive hydrierter Pflanzenöle, HVO) leicht rückläufig war. Der Absatz von Bioethanol dagegen stieg leicht an. Erneuerbarer Strom

wurde im Verkehr im Jahr 2022 mit einem Zuwachs von 15 Prozent deutlich mehr eingesetzt als im Vorjahr. (UBA 2022 b).

In 2021 stammten 23% der gesamten Stromproduktion aus Windkraft, 9,8% aus der Photovoltaik, 8,8% aus Biomasse und 4% aus Wasserkraft. Braun- und Steinkohle lieferten 20,7% des Stroms, Erdgas 10,5% und die Kernenergie gut 13,3% (Stromreport 2022).

Die Kosten pro Kilowattstunde erzeugtem Strom sind in 2020 je nach Anlagentyp unterschiedlich (ISE 2021). Sie liegen etwa zwischen 3 (PV-Freiflächenanlagen) und 12 Cent (Wind Offshore). Zum Vergleich: Braunkohle Kraftwerke erzeugen Strom für 10 bis 15 Cent/kWh, modernste Gaskraftwerke haben Kosten von 8 bis 13 Cent/kWh. Mit anderen Worten: Die Erneuerbaren Energien sind großtechnisch kostengünstiger als fossile Kraftwerke zumal deren Stromgestehungskosten aufgrund steigender CO₂ Preise in der Zukunft noch zunehmen werden, während die Stromgestehungskosten von regenerativ erzeugtem Strom durch technologische Verbesserung z.B. beim Wirkungsgrad und aufgrund von Massenfertigung weiter sinken.

Aus heutiger Sicht ist in Deutschland der weitere Ausbau nur bei Sonnen- und Windenergie nachhaltig. Wasserkraft ist im Wesentlichen erschöpft, weitere Stauseen sollten aus Landschaftsschutzgründen nicht angelegt werden. Allerdings bedingt die Fluktuation der erneuerbaren Energieträger auch die Herausforderung, Energiespeicher zu bauen. Die kostengünstigste Möglichkeit wären Pumpspeicherkraftwerke. Nachteilig sind der Flächenbedarf und der Landschaftsverbrauch und auch die notwendigen geomorphologischen Voraussetzungen wie Höhenunterschied und Kessellage für das Speicherbecken sowie der Zugang zu Fließgewässern.

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

- **Solarenergie:** Solarenergie mit Hilfe von Photovoltaik ist mit rund 24% der EE-Stromproduktion (UBA 2022 c) seit 2007 stark ausgebaut worden und damit die jüngste breit genutzte erneuerbare Stromquelle. 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. Hauptsächlich werden zwei Arten für Photovoltaikanlagen genutzt: die Bodenmontage auf Freiflächen sowie die Dachmontage. Als dritte Art kann eine gebäudeintegrierte Anlage genannt werden, in der die Module direkt in ein Gebäude z.B. als Fassade integriert sind.
- **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 2022 aus Windenergie erzeugt (UBA 2022 c). 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 2021). Im Gegensatz dazu setzt die Bundesregierung auf den Ausbau der Nutzung von Umgebungswärme, wozu auch die bodennahe Erdwärme gehört (Tagesschau 2022).

Stromerzeugung aus industrieller Prozesswärme

Rund 30 Prozent des Endenergieverbrauchs in Deutschland entfallen auf die Industrie (699 TWh) , zwei Drittel davon als Prozesswärme (460 TWh). Eine große Wirkung auf die Energiebilanz geht dabei von wenigen Einzelanlagen in energieintensiven Branchen aus, wie der Chemieindustrie und der Metallherzeugung bzw. -bearbeitung. (BMWK, o.J.)

Für Produktions- und Verarbeitungsprozesse benötigt und erzeugt die deutsche Industrie Wärme. Bei Verbrennungsprozessen entstehen hohe Temperaturen von mehr als 1.000 Grad Celsius. Diese Abwärme kann direkt genutzt oder in den Prozess zurückgeführt werden und so den Energieverbrauch in Unternehmen senken.

Abwärme liegt meist als Luft-, Gas- oder Flüssigkeitsstrom oder in Form von diffuser Strahlungswärme vor. Je niedriger in einem nachgeschalteten Prozess die Temperatur für eine Wärmenutzung ist, desto mehr Abwärmequellen kommen infrage. Dazu zählen zum Beispiel Abwärme von Produktionsmaschinen oder -anlagen , Abwasser aus Wasch-, Färbe- oder Kühlungsprozessen, Kühlanlagen für die Kühlung von Motoren oder die in Produktionshallen anfallende Abluft.

Große Abwärmemengen stehen auf einem eher niedrigen Temperaturniveau von bis zu 150 Grad Celsius zur Verfügung. Sie entstehen insbesondere in Branchen, wie z.B. Metallherzeugung und Kokerei oder in der Nahrungsmittelindustrie oder aber in Prozessen, z.B. in Trocknungs- und Verbrennungsprozessen (Fraunhofer, 2013). Dabei gibt es von Trocknungsprozessen bis hin zur Gebäudeheizung ein breites und technisch ausgereiftes Anwendungsfeld. Liegen mehrere Abwärmeströme mit unterschiedlichen Temperaturniveaus vor, lohnt es sich unter Umständen, diese zusammenzuführen, obwohl die Spitzentemperaturen dabei gesenkt werden.

Über Wärmepumpen lässt sich das Temperaturniveau von Abwärmeströmen außerdem anheben. Insbesondere im Hochtemperaturbereich sind entsprechende Entwicklungen aktueller Forschungsgegenstand. (Industrie-Energieforschung 2022).

Im Film „Stromerzeugung aus industrieller Abwärme“²⁷³ des VDI Zentrum für Ressourceneffizienz zeigen zwei Unternehmen, wie sie aus dieser Ressource Strom erzeugen (<https://www.youtube.com/watch?v=nV6w1hnIcWM>).

Abwärme aus Stahlbearbeitung

Die Bilstein GmbH & CO. KG in Nordrhein-Westfalen (<https://www.bilstein-gruppe.de/>) bearbeitet Stahlbänder für die Möbel-, Werkzeug- und Automobilindustrie. Damit sich die Stahlbänder später verformen und somit weiterverarbeiten lassen, müssen sie erhitzt und danach wieder abgekühlt werden. Die bei diesem Rekristallisationsprozess freigesetzte Abwärme wird genutzt, um mit Hilfe einer ORC-Anlage Strom zu erzeugen. Der ORC-Prozess (Organic Rankine Cycle) ist eine verlässliche und seit langem erfolgreiche Technologie, um aus (Ab-) Wärme Strom zu erzeugen (E.ON; o.J.). Im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren reicht bei der ORC-Anlage die vergleichsweise niedrige Temperatur der Abwärme für die Stromerzeugung aus. Durch die effiziente Abwärmennutzung spart der Betrieb nicht nur Strom, sondern kann die Wärme auch zum Beheizen von Gebäuden verwenden sowie durch die schnellere Abkühlung seine Produktion beschleunigen.

Abwärme aus Zementindustrie

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

Energiespeicherung

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

Differenz und mögliche Frequenzschwankungen durch die sogenannte Regelernergie ausgeglichen werden. Möglichkeiten dazu sind:

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

Die Abschaltung ist aber unökologisch und unwirtschaftlich. Um dies zu vermeiden, bieten sich Energiespeicher an, die bei Bedarf zugeschaltet werden. Diese sind:

- Pumpspeicherkraftwerke: Kostengünstig, nur für gebirgige, dünn besiedelte Regionen (z.B. Norwegen, Öst. Alpen), benötigen einen Netzanschluss z.B. durch sehr lange und teure DC-Leitungen z.B. durch die Ost- und Nordsee bei norwegischen Speichern.
- Druckluft: Einfache Technologie, gut nutzbar bei Anbindung an Windkraftanlagen, aber nur begrenztes Speicherpotential und bisher eher ein Forschungsgegenstand.
- Schwungräder: Einfache Technologie, aber hohe Masse des Rades und noch in der Entwicklung.
- Chemisch als Wasserstoff: Elektrolyse von Wasser zur Stromerzeugung, gut erforscht für Kleinanlagen, derzeit erfolgt ein großtechnischer Aufbau, wichtiger Zielkonflikt: Wasserstoff ist auch relevant für die Stahl-, Zement- und chemische Industrie sowie zum Antrieb von LKWs (evt. Flugzeuge), teure Technologie.
- Chemisch als Methan: Elektrolyse von Wasser zur Stromerzeugung, dann Reduktion von CO_2 zu Methan (CH_4), relevant für Gebäudeheizungen, teure Technologie.

Allen obigen Technologien ist gemeinsam, dass die Umwandlung von Kraft oder innerer Energie immer mit hohen Verlusten aufgrund der Thermodynamik (Wärmeverluste) verbunden ist. Die wichtigste Batterie ist derzeit die Lithium-Ionen-Batterie. (GRS o.J., ISE 2021): Dieser Batterietyp dient sowohl für die Versorgung von Kleingeräten (Mobiltelefone, Tablet, Notebooks, Werkzeuge) als auch für Fahrzeuge und Fahrräder sowie als Hausspeicher (s.a.u.). Batterien im Kleinstbereich und für die Elektromobilität müssen ein geringes Gewicht beim höchsten Energiegehalt haben. Weitere Faktoren sind die Kosten, die Brandsicherheit, die Ladefähigkeit und die Lebensdauer. Die Kathode enthält Kobalt-Oxid (CoO), die Anode besteht zumeist aus leitendem Graphit. Als Elektrolyt dienen Li-organische Verbindungen (batterieforum o.J.). 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.

Im Folgenden wird an zwei Beispielen gezeigt, welche Verantwortung Industriekaufleute übernehmen sollten.

Cobaltgewinnung in der Demokratischen Republik Kongo

Aus Sicht der Nachhaltigkeit ist insbesondere die Gewinnung von Cobalt in Sambia und der Demokratischen Republik Kongo (statista 2022), dem wichtigsten aller Lieferländer, sehr gewichtig, da hier u.a. ein illegaler und umweltzerstörender Abbau stattfindet (FAZ-net 2022, Safe the Children 2021). Industriekaufleuten kommt somit eine hohe Verantwortung zu, wenn es um den Einkauf von Batterien geht. Dies gilt umso mehr, als aufgrund des Deutschen Sorgfaltspflichten Gesetzes (vgl. Kap. [Deutsches Sorgfaltspflichtengesetz](#)) Unternehmen verpflichtet sind, Menschenrechte u.a. über die gesamte Lieferkette hinweg zu beachten. Es reicht somit nicht, nicht nur auf die Seriosität des Lieferanten für Batterien, sondern auch auf die Lieferbeziehungen des Lieferanten für seine Rohstoffe zu achten. Es reicht nicht, sich auf Aussagen von Lieferanten zu verlassen (die nicht unbedingt ein Interesse haben, Umwelt- und Gesellschaftsprobleme ihrer Produktion zu verneinen, sondern unabhängige Quelle zu Rate zu ziehen. So hat z.B. UNEP 2010 einen Bericht veröffentlicht, der auf die Wasserverschmutzung durch Bergbau aufmerksam macht (ebd.). Bamana et. al. haben die Umweltfolgen des Cobalt-Abbaus auf lokale Gemeinschaften, in denen sich Handwerker zu einer (legalen) Bergbau-Genossenschaft zusammenschließen, in der Republik Kongo untersucht (ebd. 2021). Die Autoren bestimmten einen erhöhten Cobalt-Anteil im Blut der Bewohner, illegale Umsiedlungen, Landraub bei (häufig) fehlenden Eigentumstiteln, Korruption der lokalen Politik und Verwaltung oder Einschränkungen der Nutzung von Gemeinschaftsland für andere Gruppen wie z.B. Landwirte. Sie vermuten zudem eine Untergrabung der Menschenrechte sowie ein höheres Aufkommen an Gewalt.

Lithiumgewinnung für Batterien

Lithium ist ein Salz, das in verschiedenen Ländern in Salzseen (Chile und Argentinien) oder als Mineral (Australien) vorkommt (VW o.J.). Der größte Produzent ist Australien - 51.000 t - vor Chile - 13.000 t. Die bekannten Reserven übersteigen derzeit die Bedarfe um ein Vielfaches, weshalb diskutiert wird, ob Lithium ein "knappes" Metall ist oder nicht (ebd.). Lithium kommt vor allem in sehr ariden Gebieten vor, da es als lösliches Salz vor allem im Meerwasser zu finden ist und die heutigen Lithiumvorkommen über Jahrmillionen aus den Salzurückständen des Meeres stammen. Bei der Gewinnung sowohl aus Mineralien als auch aus salzhaltigem Tiefenwasser oder aus den sogenannten "Salaren" in Salzseen ist Wasser zur Aufbereitung und Abscheidung anderer Salze von entscheidender Bedeutung. Deshalb spielt insbesondere die Bereitstellung von Wasser, aber auch die Abwasser- und Rückstandsbehandlung eine wichtige Rolle. Aus

Argentinien liegen Berichte vor (deutschlandfunk 2019), dass die Gewinnung von Lithium mit vielen Umweltfolgen verbunden ist. Bauern beklagen, dass junge Lamas früh sterben und schon krank geboren werden. Ursache könnte Staub mit basischem Natriumhydroxid sein, welches zur Lösung der Salze benötigt wird (ebd.). Zudem werden durch Bohrungen die Süßwasserquellen kontaminiert und die Wasserstellen werden ungenießbar für die Tiere. Da es sich um eine sehr aride Region ohne viel Regen handelt, ist dies sehr bedenklich. Wie oben beschrieben, obliegt es den Industriekaufleuten beim Einkauf von Lithium-Ionen Batterien auch hier dem Deutschen Sorgfaltspflichtengesetz genüge zu tun.

Beleuchtung

Beleuchtung ist in allen Berufen ein Handlungsfeld, bei dem Energie eingespart werden kann. Der Standard für Energieeffizienz in der Beleuchtung sind LED-Lampen und LED-Röhren. In 2009 wurde die "Glühbirne" auf 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 bis hin zu LED-Lampen, die wiederum im Vergleich zur Glühbirne rund 70% bis 90% der Energie einsparen (enterga o.J., energieexperten o.J.).

Die Bedeutung des technischen Wandels weg von der Glühbirne (und auch der Halogenbirne) hin zur 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 (Sstromrechner.com o.J.).

Für Industrieunternehmen mit Büros und Produktionshallen sind 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.).

Innenraumbeleuchtung von Fertigungsmaschinen

Verbesserung des Wirkungsgrads der elektrischen Antriebe sowie die Senkung des Druckluftverbrauchs sind die ersten Ziele, wenn der Energieverbrauch von Maschinen reduziert werden soll. Wenig Aufmerksamkeit kommt bislang der effizienten und optimalen Beleuchtung zu. Durch die Verbesserung des Beleuchtungskonzepts lässt sich

jedoch eine signifikante Einsparung von Energie und deutlich vorteilhaftere Ausleuchtung der Maschine erreichen.

In diesem Beispiel hat man in der Fertigungsstätte der Leiterplatten-Anschlussklemmen von Phoenix Contact am Standort Blomberg ein Pilotprojekt zur grundlegenden Überarbeitung des Konzeptes der Hallen- und Maschinenbeleuchtung einer der Produktionshallen, die als Energierferenzhalle für die vollautomatisierte Fertigung dient, aufgesetzt. (all-electronics.de, 2015)

Anstatt der bisher 520 Leuchtstofflampen mit je 58 W Leistungsaufnahme für eine 2500 qm große Etage der Produktionshalle mit 17 Montagemaschinen für Anschlussklemmen für Leiterplatten, wurden vierzehn der Montagemaschinen mit je vier LED-Maschinenleuchten aus dem eigenen Produktportfolio ausgestattet, die eine Leistungsaufnahme von jeweils lediglich 5,5 W aufweisen.(ebd.)

Aufgrund der Integration der Beleuchtung direkt in die Maschinen ließen sich, je nach Auslastung der Fertigungsstätte und Position der Maschinen in der Halle, rund die Hälfte der Leuchtstofflampen ausschalten. Auf diese Weise reduzierte sich der Energieverbrauch für die Beleuchtung bis zu 45 Prozent sowie der gesamte Energieverbrauch für Beleuchtung und Maschinen um maximal 20 Prozent. (ebd.)

Die geringe Wärmeentwicklung der Leuchtstofflampen führte außerdem zu Kosteneinsparungen bei der Hallenkühlung an heißen Sommertagen, denn nach der Umsetzung des Beleuchtungskonzeptes konnte die Kühlung entweder später angestellt werden oder die aktivierte Kühlungsanlage verbraucht weniger Energie als bei komplett eingeschalteter Hallenbeleuchtung.(ebd.)

Durch gezielte Helligkeitssteuerung wie z.B. das Ausschalten oder Dimmen der Beleuchtung, wenn kein Maschinenbediener an der Maschine steht, konnte das Einsparpotenzial noch einmal gesteigert werden.(ebd.)

Eine weitere mögliche Stellschraube bei der Beleuchtung ist die Verwendung von Strom aus regenerativen Energiequellen. Eine eigene PV-Anlage auf dem auf dem Betriebsgelände in Verbindung mit einem Batteriespeicher kann einen erheblichen Anteil des benötigten Stroms aus Sonnenlicht bereitstellen. Allerdings ist die Solarstrahlung in den Wintermonaten nur gering. In diesem Falle könnte der Strom alternativ (oder zusätzlich) aus einer eigenen Windenergieanlage auf dem Werksgelände 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.
- **Energieeffizienz kennzeichnung:** In der EU gibt die Energieeffizienz kennzeichnung 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, auf Grund vergleichsweise besonders 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, Flachbildschirme 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.).

Energiesparen in der Holzverarbeitung

Durch die Einführung eines Energiemanagementsystems hat der Holzverarbeiter und Spielplatzausstatter Katz & Klumpp aus Fürnitz in Kärnten (<https://www.katzklumpp.at/>) große Energiesparpotenziale erschlossen. (Energieinstitut der Wirtschaft GmbH, 2021)

Dabei wurden für das Energieverbrauchsmonitoring Subzähler für wichtige Stromverbraucher und eine Biomasseheizung eingebaut, um den Verbrauch kontinuierlich zu überwachen und daraus Optimierungspotenziale abzuleiten. Der Tausch alter Fenster hat sich demnach als besonders dringliche Maßnahme erwiesen, was den Bedarf an Heizenergie um 30.000 kWh reduziert hat. Noch größere Einsparungen konnten durch Nutzung der Prozesswärme erreicht werden: Durch eine bessere Dämmung an den Wärmeverbrauchern und die Optimierung der Wärmeeinbringung in den Salzimprägnierungsprozess des Holzes konnte der spezifische Bedarf um 350 MWh pro Jahr gesenkt werden, das entsprach fast 27 Prozent des gesamten Energiebedarfs des Unternehmens. (ebd.)

Im Zuge der Einführung des Energiemanagementsystems war der Firma auch die Schulung der rund 30 Beschäftigten aus gutem Grund ein Anliegen: Organisatorische Maßnahmen, wie richtiges Lüften, das Schließen nicht benötigter Druckluftanschlüsse oder konsequentes Ausschalten nicht im Gebrauch befindlicher Geräte brachten bis zu 5 Prozent weniger Gesamtenergieverbrauch. Damit diese Maßnahmen nicht in Vergessenheit geraten, wurden Anleitungen an gut sichtbaren, stark frequentierten Stellen ausgehängt. (ebd.)

Energieeffizienz durch Blockheizkraftwerke

Blockheizkraftwerke (BHKW) verbinden die Erzeugung von Strom mit der Nutzung der hierbei entstehenden Abwärme (vgl. CO₂-Online o.J.), da die mechanische Stromerzeugung (wie auch die Kraftgewinnung im PKW) immer mit sehr hohen Wärmeverlusten verbunden ist. BHKW eignen sich nicht nur für Industrie- und große Gewerbeunternehmen, die für ihre Prozesse Wärme benötigen, sondern auch für Gewerbe- und öffentliche Bauten, die Heizwärme benötigen sowie für Mehr- und Einfamilienhäuser. Aufgrund der hohen Wärmeproduktion, die eine hohe Vorlauftemperatur zum Heizen ermöglicht, eignet sich ein BHKW auch sehr gut für ältere Gebäude mit den schweren Gusseisen-Heizkörpern.

Wie die absolute CO₂-Einsparung einer beispielhaften BHKW-Anlage aussehen kann, lässt sich aus der folgenden Tabelle ablesen. Diese zeigt eine Anlage mit einer Leistung von 999 kWel und einer angenommenen jährlichen Laufzeit von 5.000 Stunden. Aus den Energiebilanzen ergibt sich eine jährliche Einsparung von 700 Tonnen CO₂, was 22,1% entspricht – im Idealfall, zeigen die Werte der Tabelle doch ebenfalls ein Best-Case-Beispiel (Energas 2020):

	Einheit	BHKW-Modul (999kW; 5000h/a)	Gaskessel	GuD-Kraftwerk
Wirkungsgrad elektrisch	-	0,41	-	0,53
Wirkungsgrad thermisch	-	0,47	0,92	-
elektrische Energie	kWh	4.995.000	-	4.995.000
thermische Energie	kWh	5.725.976	5.725.976	
Brennstoffeinsatz	kWh	12.182.927	6.223.887	9.424.528
CO ₂ -Emission KWK	t CO ₂	2.461	-	-
CO ₂ -Emission, Referenz	t CO ₂	-	1.257	1.904
CO ₂ -Einsparung	t CO ₂	700 (22,1%)		

Ein Anwendungsbeispiel für BHKW aus der Industrie ist bei der Galvanotechnik Breitionen GmbH & Co. KG zu finden (Sokratherm; O.J). In der Fertigung des Unternehmens erfordern die auf ca. 80°C temperierten Galvanikbäder kontinuierlich Wärme und sowie einen wirtschaftliche und zuverlässige Stromversorgung. Dafür wurde ein BHKW installiert und eine Investition von ca. 260.000€ eingesetzt, die jedoch eine Amortisationsdauer von nur zwei Jahren aufweist.

Mobilität und Logistik

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

Dienstreisen als Mechatroniker

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).

Dienstreisen sind beim Mechatroniker in der Regel Autobahnfahrten von mehreren 100 km mit dem Firmentransporter, wobei sich Montageteams üblicherweise auch auf verschiedene öffentliche Verkehrsmittel wie die Bahn oder Fahrgemeinschaften in PKW aufteilen.

Bei Geschäftsreisen besteht vielfach die Wahl zwischen Bahn und Pkw-Nutzung. 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 zu Montageeinsätzen ins Ausland 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.

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).

Nutzungsverhalten

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

Kosten ein (mobile.de 2020). Denn bei hohen Geschwindigkeiten verbrauchen Fahrzeuge überdurchschnittlich viel Kraftstoff. Nach Angaben des ADAC verbraucht ein Mittelklasseauto um bis zu zwei Drittel mehr Kraftstoff, wenn es statt 100 km/h mit 160 km/h fährt (ebd.).

Nutzfahrzeuge: Elektrisch oder mit Brennstoffzellen?

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

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

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

Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge sind leiser, wartungsärmer und – bei Herstellung des Wasserstoffs aus regenerativen Quellen – CO₂-neutral. Umweltzonen und emissionsbedingte Durchfahrtsverbote stellen keine Probleme mehr dar. Zwar sind erste Fahrzeuge bereits auf dem Markt verfügbar, jedoch muss die Brennstoffzellenentwicklung bei einer Einführung bis 2025 deutlich beschleunigt werden (KIT 2020).

Gleichwohl ist die Entwicklung von Lkw-Antrieben auf Wasserstoffbasis branchenweit auf einem nie dagewesenen Höchststand. Etablierte Unternehmen, darunter Hersteller wie Hyundai oder Daimler Trucks, aber auch völlig neue Anbieter wie die US-amerikanische Firma Nikola, die in Kooperation mit IVECO und Bosch an der Marktreife von Brennstoffzellen-Lkws feilt, überbieten sich im Rennen um Effizienz, Reichweite und Fortschrittlichkeit. 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. VDI und VDE 2019).

Transport und Logistik

Im Zuge der Globalisierung erfolgt ein weltweit wachsender Gütertausch. Dadurch werden Zulieferketten länger und der Güterverkehrssektor 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.).

Der Deutsche Speditions- und Logistikverband e.V. hat bereits 2013 einen Leitfaden zur Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik veröffentlicht. Dieser Leitfaden will zu mehr Genauigkeit, Transparenz und Einheitlichkeit für die Berechnung von Energieverbräuchen und Treibhausgasemissionen in der Logistikbranche beitragen. Das heißt konkret: Wer seine Kraftstoff- und Energieverbräuche und die von ihm verursachten Emissionen berechnet, muss sich darüber im Klaren sein, welche Werte er verwendet, für welche Fahrzeuge und Strecken gerechnet wird, welche Umrechnungsfaktoren die richtigen sind und wie Verbrauch und Emissionen auf eine einzelne Sendung verteilt werden müssen.

Das notwendige Basiswissen zu Klimaschutz und Klimabilanzen (enthalten grundsätzliche Zusammenhänge, Begriffe und Standards) wird darin anschaulich vermittelt ebenso wie die Inhalte der Norm DIN EN 16258, die seit März 2013 in Kraft getretenen ist und an deren Entwicklung der Verband mitgewirkt hat.

Darüber hinaus bietet der Leitfaden feste Umrechnungsfaktoren und Rechenformeln, mit denen standardisiert Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen für eine bestimmte Transportstrecke ermittelt werden können, Beispiele für Allokation (Wie werden ermittelte Verbräuche und Emissionen auf Einzelsendungen verteilt?), zulässigen Methoden zur Ermittlung des Energieverbrauches (Messung und Berechnung) und Möglichkeiten es für die Messung des Energieverbrauchs gibt und welche in der EN-Norm vorgegeben sind.

Liegen keine Daten zu Fahrzeugverbrauch und Auslastung vor, kann mit Hilfe des entfernungs-basierten Ansatzes, unterteilt nach Lkw, Bahn, Schiff und Flugzeug, gerechnet werden. Eine einfache Abschätzung ist mit dem Online-Rechner von Carbon-Care möglich. Hierzu ein Beispiel (Schiff: eigene Berechnung mit carboncare o.J., Methodik: WtW Well to Wheel, d.h. Gewinnung des Erdöls, Produktion und Verteilung des Schweröls sowie Nutzung zum Antrieb des Schiffes; PKW: Berechnung mit myclimate.org):

- Ein Betrieb bezieht 50 Industriepumpen China. Diese werden von Shanghai nach Hamburg geliefert. Die Pumpen mit einem Gewicht von 50 kg pro Stück werden anschließend an 25 Unternehmen geliefert und montiert.
- Die Entfernung von Shanghai bis zum Hamburger Hafen beträgt 19.875 km Seeweg. Die Pumpen haben ein Gewicht von 2,5 t, der Container wiegt ca. 5 t. 25% des Containergewichts können den Pumpen zugerechnet werden, die anderen

75% werden anderen Produkten im Container zugerechnet. Hierbei fallen für die Pumpen und dem Containeranteil mit einem Gewicht von t ca. 270 kg CO₂-Äq durch den Schiffstransport an (ohne Berücksichtigung des Containergewichts).

- Anschließend werden 25 Fahrten zu den Kunden für die Installation der Pumpen durchgeführt. Die mittlere Distanz beträgt 400 km (Hamburg - Fulda), pro Montage beträgt die Strecke somit 800 km. Die Gesamtfahrleistung beträgt für 25 Fahrten zu den Unternehmen 20.000 km.
- Die Fahrzeuge der Monteure fahren mit Diesel, sie verbrauchen 6 l/100 km. Die THG-Emissionen belaufen sich ca. 5,6 t CO₂-Äq.
- Im Ergebnis zeigt sich, dass der Ferntransport weniger als 5% der Transportemissionen ausmacht.

THG-Emissionen durch die Lieferkette des Maschinenbausektors

58 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente an Treibhausgasen entstehen entlang der Produktions- und Lieferkette des deutschen Maschinenbaus von der Rohstoffgewinnung bis zu den eigenen Produktionsstandorten. In der Lieferkette sind die Treibhausgasemissionen um das Vierfache höher als an den eigenen Standorten (Scope 1+2). Etwa 215 Kilogramm an CO₂-Äquivalenten werden je 1.000 EUR Umsatz des deutschen Maschinenbausektors entlang der globalen Produktionskette verursacht. Der Automobil- und der Elektroniksektor liegen auf einem ähnlichen Niveau (Umweltbundesamt 2021c).

Luftschadstoffe entlang der Lieferkette machen an den eigenen Standorten max. 5 % der Emissionen aus. Ein Großteil der Luftschadstoffe wird in der Herstellung von Vorprodukten außerhalb Deutschlands ausgestoßen, wobei der Vorstufensektor mit der höchsten Luftschadstofffracht die metallverarbeitende und -erzeugende Industrie ist.

Im Jahr 2018 hat der deutsche Maschinenbau 63 % des Umsatzes im Export getätigt (156,3 Mrd. EUR). Damit besitzt der Sektor eine ähnlich hohe Exportquote wie der Automobilbau (65 %), die Chemieindustrie (62 %) oder die Elektronikindustrie (63 %). Mehr als die Hälfte der Exporte des Maschinenbaus ging 2018 in Europa-Staaten (57 %), von denen die beiden größten Abnehmer Frankreich und Italien sind. Weitere wichtige Exportmärkte sind Großbritannien, Niederlande, Polen und Österreich.(ebd.)

Die größten Exportländer für den deutschen Maschinenbau waren 2018 die USA und China mit einem Anteil von jeweils 11 % am Exportvolumen. Der Export ist auch der große Wachstumstreiber des deutschen Maschinenbaus. Zwischen 2008 und 2018 wuchs das Exportvolumen um 24 %, der Inlandsumsatz hingegen um lediglich 9 %.

Die Vorprodukte und Vorleistungen, die der deutsche Maschinenbausektor bei Lieferanten beschafft, stammen größtenteils aus dem Inland, das bedeutet, dass etwa 69 % des Beschaffungsvolumens in Deutschland bezogen werden. Im europäischen Ausland

werden etwa 16 % der bezogenen Vorleistungen beschafft. Die wichtigsten Lieferländer sind Italien und Frankreich. Etwa 3 % der Vorleistungen werden aus China bezogen.

Auf den tieferen Lieferkettenstufen verzweigen sich die Lieferketten vor allem innerhalb Europas und nach Asien sowie in die USA. Die wichtigsten Vorleistungssektoren des deutschen Maschinenbausektors sind der Maschinenbausektor selbst, sowie die metallverarbeitende Industrie. Weitere wichtige Vorleistungssektoren sind der Transportsektor, die chemische Industrie und die Elektronikindustrie(ebd.).

Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen des deutschen Maschinenbaus inkl. Lieferkette betragen im Jahr 2015 etwa 58,3 Mio. Tonnen Kohlendioxid (CO₂)-Äquivalente. Die Menge entspricht den Pro-Kopf-Emissionen von ca. 5,3 Mio. Bundesbürgerinnen und Bundesbürgern (11,0 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Kopf) (Umweltbundesamt 2021d).

- **Lieferkettenverteilung:** Etwa 6 % der Emissionen entstehen an den eigenen Standorten des Maschinenbaus und 94 % in der vorgelagerten Produktions- und Lieferkette. In der Treibhausgasbilanzierung von Unternehmen werden üblicherweise die Emissionen, die durch den Bezug von Energie (v.a. Strom und Fernwärme) entstehen, den Standortemissionen zugerechnet (sog. Scope 2-Emissionen). Bei dieser Betrachtung beträgt der Anteil der Emissionen von Scope 1 und 2 knapp 19 % im Vergleich zu 81 % Anteil der Emissionen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette. Damit sind die Scope 3-Emissionen in der Lieferkette mehr als viermal so hoch wie die Standortemissionen Scope 1 und 2 (Umweltbundesamt 2021a).
- **Geografische Verteilung:** Die Hälfte der Treibhausgasemissionen des deutschen Maschinenbaus entsteht außerhalb Deutschlands, d.h. 29,1 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Den größten Anteil hiervon besitzt China mit knapp zwei Fünfteln der Emissionen (28 %). Dort nehmen der Stromverbrauch der Lieferanten und Vorlieferanten sowie die Metallverarbeitung den größten Anteil ein. Weitere 7 % der Emissionen außerhalb Deutschlands entstehen jeweils in Russland und in den USA. Der deutsche Maschinenbau importiert zwar wenige Güter aus Russland, jedoch verzweigen sich die tieferen Lieferkettenstufen in die metallverarbeitende Industrie und in den Rohstoffabbau des Landes. In den USA nehmen der Stromverbrauch bei Lieferanten und Vorlieferanten sowie die Rohstoffgewinnung den größten Anteil ein (ebd.).
- **Sektorale Verteilung:** Der dominierende Sektor in der Treibhausgasbilanz des deutschen Maschinenbaus ist die Strom- und Energieversorgung mit einem Anteil von insgesamt 40 %. Darin zeigt sich die Bedeutung von Energieeffizienzmaßnahmen sowohl an den eigenen Standorten als auch bei Lieferanten und Vorlieferanten. Besonders in Ländern mit einem hohen oder

wachsenden Kohlestromanteil am Strommix, wie China, Indien, Polen und der Tschechischen Republik, sind Energieeffizienzmaßnahmen besonders wirkungsvoll bei der Reduktion von Treibhausgasen. Die Metallverarbeitung entlang der Wertschöpfungskette des Maschinenbaus macht ein Viertel der Treibhausgasemissionen aus. Auch hier sind Energieeffizienzmaßnahmen entlang der Lieferkette ein geeignetes Handlungsfeld, ebenso die Steigerung der Ressourceneffizienz bei der Metall- verarbeitung sowie die Steigerung des Anteils von Altmetallen bei der Metallerzeugung (Umweltbundesamt 2021a).

Luftschadstoff Stickoxid

Entlang der Produktions- und Lieferkette des deutschen Maschinenbaus entstehen 154.500 Tonnen Stickoxidemissionen (NO_x). Stickoxide (NO_x) reizen die Atemwege, tragen zur Bildung von Ozon bei und spielen eine Rolle bei der Entstehung von Feinstaub. (ebd.)

- **Lieferkettenverteilung:** An den eigenen Standorten des deutschen Maschinenbaus entstehen 4 % der Stickoxidemissionen, während 94 % der Emissionen in der vorgelagerten Produktions- und Lieferkette aufkommen. In der vorgelagerten Lieferkette des deutschen Maschinenbaus entstehen 900-mal so viele Emissionen wie an den eigenen Standorten (ebd.).
- **Geografische Verteilung:** Mehr als die Hälfte an Stickoxidemissionen des deutschen Maschinenbaus entsteht außerhalb Deutschlands (56 %). Ein Fünftel dieser Emissionen entfallen auf China (21 %), insbesondere in der Transportkette und in der Metallverarbeitung. Frankreich und Russland besitzen einen Anteil von etwa 5 % an den ausländischen Stickoxidemissionen des deutschen Maschinenbaus. Auch hier nimmt die Metallerzeugung und -verarbeitung den höchsten Posten ein. (ebd.).
- **Sektorale Verteilung:** Etwa 37 % der Stickoxidemissionen des deutschen Maschinenbaus gehen auf Transporte zurück. Schiffstransporte sind zwar das klimafreundlichere Transportmittel im Vergleich zur Luftfracht und zum Transport auf der Straße, dennoch sind damit erhebliche Schadstoffemissionen neben Stickoxiden auch von Feinstaub und Ruß verbunden. Auch LKW-Transporte tragen zum Ausstoß von Stickoxiden bei. Die Stickoxidemissionen in der Transportkette verteilen sich je hälftig auf das Inland und auf das Ausland. Weitere 31 % der Stickoxidemissionen in der Produktions- und Lieferkette des deutschen Maschinenbaus sind auf den Sektor der Metallerzeugung und -verarbeitung zurückzuführen. (ebd.).

Quellenverzeichnis

- all-electronics.de "Optimierung des Beleuchtungskonzepts in einer Produktionshalle", <https://www.all-electronics.de/elektronik-entwicklung/optimierung-des-beleuchtungskonzepts-in-einer-produktionshalle.html>
- 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>
- Bamana, Gabriel; Miller; Joshua D; Young, Sera L.; Dunn, Jennifer B. (2021): Behebung der Datenlücke bei der Analyse des sozialen Lebenszyklus: Erkenntnisse aus einer Fallstudie zum Kobaltabbau in der Demokratischen Republik Kongo. Online: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332221006552#fig2
- Batterieforum (o.J.): Lithium-Ionen-Batterien. Online: <https://www.batterieforum-deutschland.de/infportal/lexikon/lithium-ionen-batterien/>
- bfp (2022): Online: Der Nutzfahrzeugbereich wird hydrogen. www.fuhrpark.de/der-nutzfahrzeugbereich-wird-hydrogen
- Bilstein-Gruppe o.J.: Nachhaltigkeitsbericht 2022. Online: https://www.bilstein-gruppe.de/cms/wp-content/uploads/2016/12/BILSTEIN_GROUP_Nachhaltigkeitsbericht_2022_DE_V1.01_interaktiv.pdf
- Bundesministerium für wirtschaft und Klimaschutz - BMWK (o.J.) Energieforschungsprogramm) <https://www.energieforschung.de/energieforschungspolitik/energieforschungsprogramm/foerderschwerpunkte>
- Bundesregierung o.J.b: Klimaschonender Verkehr. Online: www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschonender-verkehr-1794672
- car-wiki (o.J.): CO2 Ausstoß (Emissionen) des VW Transporter. Online: <https://carwiki.de/vw-transporter-co2-ausstoss/>
- CO2-Online (o.J.): Blockheizkraftwerk: Funktionsweise, Wirkungsgrad, Vor- und Nachteile. Online: <https://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen/blockheizkraftwerk-kraft-waerme-kopplung/blockheizkraftwerk-funktionsweise-wirkungsgrad/>
- 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/>
- Deutsche Speditions- und Logistikverband e.V. DSLV (2013): Leitfaden: Berechnung von reibhausgasemissionen in Spedition und Logistik <http://www.co2-sachverstaendiger.de/pdf/DSLVL-Leitfaden%20Berechnung%20von%20THG-Emissionen%20in%20Spedition%20und%20Logistik.pdf>
- Deutschlandfunk (2019): Kehrseite der Energiewende. Online: <https://www.deutschlandfunk.de/lithium-abbau-in-suedamerika-kehrseite-der-energiewende-100.html>
- E.On (o.J.): <https://www.eon.com/de/geschaeftskunden/technologie/orc-loesungen.html>
- E.On (o.J.): <https://www.eon.com/de/geschaeftskunden/technologie/orc-loesungen.html>
- EcoTransIT (o.J.): Emissionsrechner für Treibhausgase und Luftschadstoffe. Online: <https://www.ecotransit.org/de/emissionsrechner/>
- Energas (2020): Blockheizkraftwerke und CO2-Einsparung – wie genau funktioniert das?. Online: <https://www.energas-gmbh.de/co2-einsparung/>
- Energieeffizienz durch Gebäudeautomation mit Bezug zur DIN V 18599 und DIN EN 15232

- Energieinstitut der Wirtschaft GmbH "ENERGIEEFFIZIENZ FÜR BETRIEBE"
https://www.energieinstitut.net/sites/default/files/b4c_4eneff_a5_0.pdf
- entega (o.J.): Stromspartipps. Online: <https://www.entega.de/blog/stromverbrauch-kuehlschrank/>
- entega (o.J.): STROMVERBRAUCH VON LICHT: LEUCHTEN IM VERGLEICH. Online:
<https://www.entega.de/blog/stromverbrauch-licht/>
- 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.ima.fraunhofer.de/de/abteilungen/b3/umwelt_ressourcenlogistik/dienstleistungen/umwelt_und_ressourcen/klimaschutz.html
- Fraunhofer ISI (2013): Industrielle abwärmenutzung. Online:
https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2013/Kurzstudie_Abwaermenutzung.pdf
- GRS Batterieforum (o.J.): Lexikon. Online
- GRS Batterien (o.J.): Die Welt der Batterien – Funktion, Systeme, Entsorgung. Online:
<https://www.grs-batterien.de/newsroom/bibliothek/>;
https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Verband/Fachverbaende/Elektroinstallationssysteme/Studie_Energieeffizienz_durch_Gebaeudeautomation/Kurzfassung-ZVEI-Studie-Energieeffizienz-durch-Gebaeudeautomation.pdf
- Industrie-Energieforschung (2022):
<https://www.industrie-energieforschung.de/forschen/abwaerme>
- 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
- Katz & Klumpp (o.J.) Fallbeispiel: Energiesparen in der Holzverarbeitung Online:
(<https://www.katzklumpp.at/>)
- KIT – Karlsruher Institut für Technologie (2020): Neue Produktionstechnologie für schwere Nutzfahrzeuge. Online:
https://www.kit.edu/kit/pi_2020_108_neue-produktionstechnologie-fur-schwere-nutzfahrzeuge.php-9b537c7dd20b?t=1583241728000
- LEDONLINE (o.J.): Was sind die Vor- und Nachteile einer LED-Beleuchtung?. Online:
<https://ledonline.de/blog/alle-vor-und-nachteile-einer-led-beleuchtung/>
- Mein Klimaschutz (o.J.) CO2 durch Verkehrsmittel im Vergleich
<https://www.mein-klimaschutz.de/unterwegs/a/einkauf/welches-verkehrsmittel-verursacht-im-vergleich-mehr-co2/>
- National Geographic; Voss, Jens (2022): Sollte Biokraftstoff verboten werden? Online:
www.nationalgeographic.de/umwelt/2022/07/sollte-biokraftstoff-verboten-werden
- Pflanzenforschung.de/ Anabel Mechela (2020): Photosynthese 2.0 Von der Jagd nach mehr Effizienz bis zum künstlichen Blatt
<https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/journal/photosynthese-20#>
- Phoenix Contact (o.J.) Fallbeispiel: Innenraumbeleuchtung von Fertigungsmaschinen, Online:
<https://www.phoenixcontact.com/de-de/>
- Rohrdorfer (o.J.): Online: <https://www.rohrdorfer.eu/nachhaltigkeit/>

- 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
- Sokratherm (o.J.): Galvano Technik Breiten GmbH & Co. KG: Fallbeispiel: BHKW-Anlage Galvanik: Online: https://www.sokratherm.de/wp-content/uploads/Fallbeispiel_GTB_Galvanotechnik_Breiten_20_1_WME.pdf
- statista (2022): Firmenwagen in Deutschland. Online: <https://de.statista.com/themen/7320/firmenwagen/#:~:text=In%20Deutschland%20gab%20es%20im,von%20rund%2010%20C7%20Prozent.>
- UBA Umweltbundesamt (2021): Wie hoch sind die Treibhausgasemissionen pro Person in Deutschland durchschnittlich? Online: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-hoch-sind-die-treibhausgasemissionen-pro-person>
- UBA Umweltbundesamt (2022b): Tempolimit. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/tempolimit#t>
- Wikimedia (2020): Installierte PV-Leistung in Deutschland. online: www.commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=90477752
- statista (2022): Höhe der Treibhausgas-Emissionen im deutschen Güterverkehr nach Verkehrsträgern im Jahr 2019. online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/881600/umfrage/co2-emissionen-im-deutschen-gueterverkehr-nach-verkehrsmitteln/>
- statista (2022a): Minenproduktion von Cobalt in ausgewählten Ländern in den Jahren 2020 und 2021. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/38452/umfrage/produktion-von-cobalt-in-ausgewaehlten-laendern/#:~:text=Die%20F%C3%B6rderung%20von%20Kobalt%20in,Kobaltf%C3%B6rderung%20auf%20rund%20170.000%20Tonnen.>
- 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
- TH Nürnberg (2014) Ganzheitliche energetische Betrachtung von mechatronischen Antriebssystemen <https://www.th-nuernberg.de/einrichtungen-gesamt/kompetenzzentren/energietechnik/projekte/>
- UBA (2015): EU sagt Leerlaufverlusten den Kampf an. Online: www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/leerlaufverluste
- UBA Umweltbundesamt (2021a): Naturschutz und Bioenergie. Online: www.bmu.de/themen/naturschutz-artenvielfalt/naturschutz-biologische-vielfalt/naturschutz-und-energie/naturschutz-und-bioenergie
- UBA Umweltbundesamt (2021b): Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel in Deutschland. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/bild/vergleich-der-durchschnittlichen-emissionen-0>
- UBA Umweltbundesamt (2021c): Die globale Umweltinanspruchnahme des deutschen Maschinenbaus - Fallstudie zu den weltweiten Wertschöpfungsketten https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba_maschinenbau_bf.pdf

- UBA Umweltbundesamt (2021d): Treibhausgasemissionen pro Person in Deutschland <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-hoch-sind-die-treibhausgasemissionen-pro-person>
- UBA Umweltbundesamt (2022 a); Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren; <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektor-en#allgemeine-entwicklung-und-einflussfaktoren>
- UBA Umweltbundesamt (2022 b) Mehr grüner Strom und mehr erneuerbare Wärme im Jahr 2022 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/mehr-gruener-strom-mehr-erneuerbare-waerme-im-jahr>
- UBA Umweltbundesamt (2022 c): Erneuerbare Energien in Zahlen. **Online:** <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen>
- UBA Umweltbundesamt (2022h): Spezifische Emissionen des Straßenverkehrs. **Online:** <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs>
- UBA Umweltbundesamt (2022i) „Power-to-Liquids“ – nachhaltige Kraftstoffe für den Luftverkehr <https://www.umweltbundesamt.de/themen/power-to-liquids-nachhaltige-kraftstoffe-fuer-den>
- UBA Umweltbundesamt (o. J.B): Bioenergie. **Online:** <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/bioenergie#bioenergie-ein-weites-und-komplexes-feld->
- Umweltbundesamt (2014): ÖKOBILANZ ALTERNATIVER ANTRIEBE – ELEKTROFAHRZEUGE IM VERGLEICH. **Online:** www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0440.pdf
- UNEP (2010): Sick Water -THE CENTRAL ROLE OF WASTEWATER MANAGEMENT IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT . **Online:** <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9156/Sick%20Water.pdf>
- Unwerth (2020) : Turbo für Brennstoffzellen <https://oiger.de/2022/03/28/turbo-fuer-brennstoffzellen/182601>
- VDI Zentrum für Ressourceneffizienz (o.J.) <https://www.youtube.com/watch?v=nV6w1hnIcWM>
- Volvo (o.J.): Elektro-Lkw von Volvo Trucks. <https://www.volvotrucks.de/de-de/trucks/alternative-antriebe/elektro-lkw.html>
- VW o.J.: Glossar Batterie. **Online:** <https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2019/09/battery-glossary--assembly--research-and-strategy.html>

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,

Unternehmerverantwortung, Sozialpartnerschaft, Mitbestimmung und gerechte Verteilung des erwirtschafteten Wohlstands, werden die Voraussetzungen dafür geschaffen, dass wir auch in Zukunft noch Wachstum, Wohlstand und Beschäftigung haben.“

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

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

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

- 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.; Statistisches Bundesamt - Destatis o.J.)
- 8.7 Sofortige und wirksame Maßnahmen ergreifen, um Zwangsarbeit abzuschaffen, moderne Sklaverei und Menschenhandel zu beenden und das Verbot und die Beseitigung der schlimmsten Formen der Kinderarbeit, einschließlich der Einziehung und des Einsatzes von Kindersoldaten, sicherstellen und bis 2025 jede Form von Kinderarbeit ein Ende setzen
- 8.8 Die Arbeitsrechte schützen und sichere Arbeitsumgebungen für alle Arbeitnehmer, einschließlich der Wanderarbeitnehmer, insbesondere der

Wanderarbeitnehmerinnen, und der Menschen in prekären Beschäftigungsverhältnissen, fördern.

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

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

Das SDG 8 und Mechatroniker:innen

Mechatroniker:innen sind in Groß- und Kleinunternehmen angestellt. Obwohl der Beruf eindeutig zu den Industrierufen gehört, kann ihm keine eindeutige Betriebsgrößentypik zugeordnet werden. So werden jährlich 56% der Mechatroniker:innen in Betrieben ausgebildet, die weniger als 250 Mitarbeiter beschäftigen, 33% sind in Klein- und Kleinstbetrieben zu finden (Meike Baas/Martin Baethge, 2017), dementsprechend vielfältig sind die Arbeitszeitmodelle der Beschäftigten. Abhängig vom Einsatzort - ob in der Werkshalle oder im Montageeinsatz kommen verschiedene Schicht-, Gleitzeit- und Überstundenmodelle zum Einsatz. Gerade letztere spielen im Instandhaltungs- und Montageeinsatz eine übergeordnete Rolle. Fertigstellungstermine sind oft sehr lang im Voraus geplant und nachgelagerte Bereiche sind dringend davon abhängig, dass die Maschinen rechtzeitig in Betrieb genommen werden. Da sind Überziehungen zur Regelarbeitszeit keine Seltenheit.

Die Dringlichkeit von Reparaturen - und damit auch eine Begründung für Arbeitszeiten weit über das normale Maß hinaus - liegt in den hohen Stillstandskosten bei Produktionsstörungen. Bereits der einstündige ungeplante Stillstand einer Maschine eines herstellenden Unternehmens kann bis zu 260.000 USD (entspricht ~220.000 EUR) kosten. Bei einem eintägigen Maschinenausfall wären dies bereits 2 Millionen USD (entspricht ~1,7 Millionen EUR). In der Automobilindustrie hingegen wirft der ungeplante Stillstand einer Maschine bereits nach einer Minute Kosten zwischen 22.000-50.000 USD (entspricht ~18.000-42.000 EUR) auf (adtance.com, o.J.).

Hinzu kommen Kosten für einen technischen Fachexperten, der die Reparatur der Maschine durchführt – den Mechatroniker, die Mechatronikerin. Des Weiteren muss bedacht werden, dass Produktionsmitarbeiter weiter bezahlt werden müssen, obwohl Sie während dem Stillstand ihrer Arbeit an der Maschine nicht nachgehen können.

Über alle Sektoren hinweg haben 82% der Unternehmen in den vergangenen drei Jahren mindestens 1 und durchschnittlich 2 ungeplante Ausfälle erlebt. Ungeplante Ausfallzeiten, ausgelöst durch Benutzerfehler, liegen jedoch im produzierenden Gewerbe mit 23% deutlich über den 9% in den übrigen Sektoren. Damit ist der Bereich der Produktion und die dortige Produktivität von Maschinen und Anlagen am stärksten von ungeplanten Ausfallzeiten betroffen. Dies liegt jedoch keinesfalls an einer in dieser Industrie niedrigeren Kompetenz der Mitarbeiter, sondern an der breiten Masse an Maschinen, die Wartungen und Inspektionen von Servicetechnikern benötigen und noch nicht mit entsprechender Technik ausgerüstet sind, welche solche Ausfallzeiten verhindern könnte (ebd.).

Gerade in Großunternehmen zeigt sich jedoch deutlich der Fachkräftemangel. Der Einsatz von Leiharbeitern kann eine mögliche Lösung sein, ebenso wie die Integration von ausländischen Arbeitskräften. Seit 2015 nimmt die Zahl der in Zeitarbeit Beschäftigten, mit einer durch die Corona Pandemie bedingten Flachung der Kurve, stetig zu (iab, 2023). n. Für Erwerbsspersonen sind befristete Arbeitsverträge potenziell eine Brücke in den Arbeitsmarkt und ein mögliches Sprungbrett in eine permanente Beschäftigung. Risiken bestehen aus individueller Sicht vor allem in der mit Befristungen verbundenen Unsicherheit mit Blick auf Beschäftigungs- und Einkommensperspektiven und möglichen Drehtüreffekten zwischen Arbeitsmarkt und Arbeitslosigkeit (ebd.).

Für Beschäftigte aus Drittstaaten sieht das Bundesarbeitsministerium (BMAS) ein großes Risiko in der Zeitarbeit in den vielfach kurzen Beschäftigungsverhältnissen. Etwa 40 Prozent aller Leiharbeitnehmer sind beispielsweise weniger als sechs Monate beschäftigt. Anders als bei EU-Bürgern hing der Aufenthaltsstatus von Menschen aus Drittstaaten aber daran, dass sie beschäftigt blieben. Laut Ministerium könne es bei einer Kündigung somit sein, dass die Betroffenen ihren Aufenthaltstitel verlieren und wieder ausreisen müssten (businessinsider.de, 2022).

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“.

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 (vertiefende Ausführungen, s.a. SDG 3).

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 (Mini-Jobs"), 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)

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 (Statistisches Bundesamt - Destatis 2022) anlässlich des Equal Pay Day am 7. März 2022 weiter mitteilt, erhielten Frauen mit durchschnittlich 19,12 Euro einen um 4,08 Euro geringeren Bruttostundenverdienst als Männer (23,20 Euro). Nach einem Urteil des Bundesarbeitsgerichtes vom 16.02.2023 müssen Frauen bei gleicher Arbeit

auch gleich bezahlt werden, eine individuelle Aushandlung der Lohn- oder Gehaltshöhe ist damit nicht wirksam (Zeit Online 2023).

Deutsches Sorgfaltspflichtengesetz

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

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

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

Das Lieferkettengesetz rückt internationale Menschenrechtsabkommen und lieferkettentypische Risiken in den Blick: Dazu zählen bspw. das Verbot von Kinderarbeit, der Schutz vor Sklaverei und Zwangsarbeit, die Vorenthaltung eines gerechten Lohns, der Schutz vor widerrechtlichem Landentzug oder der Arbeitsschutz und damit zusammenhängende Gesundheitsgefahren. Es werden zudem internationale

Umweltabkommen benannt. Sie adressieren die Problembereiche Quecksilber, persistente organische Schadstoffe und die grenzüberschreitende Verbringung gefährlicher Abfälle und ihre Entsorgung. Zu den jetzt gesetzlich geregelten Sorgfaltspflichten der Unternehmen gehören Aufgaben wie die Durchführung einer Risikoanalyse, die Verankerung von Präventionsmaßnahmen und das sofortige Ergreifen von Abhilfemaßnahmen bei festgestellten Rechtsverstößen. Die neuen Pflichten der Unternehmen sind nach den tatsächlichen Einflussmöglichkeiten abgestuft, je nachdem, ob es sich um den eigenen Geschäftsbereich, einen direkten Vertragspartner oder einen mittelbaren Zulieferer handelt. Bei Verstößen kann die zuständige Aufsichtsbehörde Bußgelder verhängen. Unternehmen können von öffentlichen Ausschreibungen ausgeschlossen werden.

Europäisches Lieferkettengesetz

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

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

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

Quellenverzeichnis

- Agenda 2030: siehe Vereinte Nationen 2015. Online: <https://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf>
- BDA (o.J.): ARBEITSBEDINGUNGEN IN DEUTSCHLAND MIT SPITZENWERTEN [ARBEITSBEDINGUNGEN IN DEUTSCHLAND MIT SPITZENWERTEN](#)
- BMAS Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2022): Sorgfaltspflichtengesetz - Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten. Online: <https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze-und-Gesetzesvorhaben/gesetz-unternehmerische-sorgfaltspflichten-lieferketten.html>
- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022): Digitalisierung und Nachhaltigkeit – was müssen alle Auszubildenden lernen? Online: <https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/berufliche-bildung/rahmenbedingungen-und-gesetzliche-grundlagen/gestaltung-von-aus-und-fortbildungsordnungen/digitalisierung-und-nachhaltigkeit/digitalisierung-und-nachhaltigkeit>
- BMZ Bundesministerium für Wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit (BMZ) 2021: Das Lieferkettengesetz. Online: <https://www.bmz.de/de/entwicklungspolitik/lieferkettengesetz>
- BMZ Bundesministerium für Wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit (BMZ) 2022: Gemeinsam gegen Kinderarbeit. Online: <https://www.bmz.de/de/themen/kinderarbeit>
- Bundesregierung (2017): Online: Nationaler Aktionsplan Umsetzung der VN-Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte. Online: <https://india.diplo.de/blob/2213082/a20dc627e64be2cbc6d2d4de8858e6af/nap-data.pdf>
- Bundesregierung (2022): Grundsatzbeschluss 2022 zur Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. Online: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/992814/2146150/16d54e524cf79a6b8e690d2107226458/2022-11-30-dns-grundsatzbeschluss-data.pdf?download=1>
- Bundesregierung 2021: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2021. Online: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/archiv/nachhaltigkeitsstrategie-2021-1873560>
- businessinsider.de (2022): „Zeitarbeit ist kein Schmuttelkind auf dem deutschen Arbeitsmarkt“: Wie ein Ökonom über die Leiharbeit mehr Fachkräfte gewinnen will <https://www.businessinsider.de/politik/deutschland/zeitarbeit-ist-kein-schmuddelkind-auf-dem>

[-deutschen-arbeitsmarkt-wie-ein-oekonom-ueber-die-leiharbeit-mehr-fachkraefte-gewinnen-will-a/](#)

- carboncare (o.J.): CO₂-Emissionenrechner. Online:
<https://www.carboncare.org/co2-emissions-rechner.html>
- DGB (2022): Index Gute Arbeit - Jahresbericht 2022, Ergebnisse der Beschäftigtenbefragung. Online:
<https://index-gute-arbeit.dgb.de/++co++b20b2d92-507f-11ed-b251-001a7a160123>
- DGB Deutscher Gewerkschaftsbund (o.J.): Decent work - menschenwürdige Arbeit. Online:
www.dgb.de/themen/++co++6157a9a0-2961-11df-48e5-001ec9b03e44
- 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
- Europäische Kommission (2022): RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über die Sorgfaltspflichten von Unternehmen im Hinblick auf Nachhaltigkeit und zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937. Online:
https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:bc4dcea4-9584-11ec-b4e4-01aa75ed71a1.0007.02/DOC_1&format=PDF
- iab (2023): Wandel der Erwerbsformenstruktur – Alte und neue Trends
<https://doku.iab.de/forschungsbericht/2023/fb0123.pdf>
- ILO Internationale Arbeitsorganisation (o.J.): Erholung von der Krise: Ein Globaler Beschäftigungspakt. Online;
https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_norm/---relconf/documents/publication/wcms_820295.pdf
- ILO Internationale Arbeitsorganisation 2021: UN startet Internationales Jahr zur Abschaffung der Kinderarbeit 2021. Online:
https://www.ilo.org/berlin/presseinformationen/WCMS_766477/lang--de/index.htm
- 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
- KLIMA ARENA (o.J.): Fünf Fragen zum Elektroauto. Online:
<https://klima-arena.de/die-klima-arena-alt/mythen-zum-elektroauto/>
- myclimate.org: CO₂-Rechner für Ihre Autofahrten. Online:
https://co2.myclimate.org/de/car_calculators/new
- statista (2021): Arbeitsunfälle in Deutschland. Online:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/6051/umfrage/gemeldete-arbeitsunfaelle-in-deutschland-seit-1986/>
- Statistisches Bundesamt - destatis (2022): Gender Pay Gap. Online:
<https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Qualitaet-Arbeit/Dimension-1/gender-pay-gap.html>
- Statistisches Bundesamt - destatis (2023): Bedeutung der energieintensiven Industriezweige in Deutschland.
<https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/produktionsindex-energieintensive-branchen.html>
- Statistisches Bundesamt - destatis (o.J.): Internationale Arbeitsorganisation (ILO)-Arbeitsmarktstatistik. Online:
<https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Erwerbstaetigkeit/Methoden/Erlaeuerungen/erlaeuerungen-arbeitsmarktstatistik-ilo.html>
- VENRO Verband Entwicklungspolitik und Humanitäre Hilfe (2021): Vier Jahre Nationaler Aktionsplan Wirtschaft und Menschenrechte (NAP). Online:

<https://venro.org/publikationen/detail/vier-jahre-nationaler-aktionsplan-wirtschaft-und-menschenrechte-nap>

- Vereinte Nationen (1948): Resolution der Generalversammlung 217 A (III). Allgemeine Erklärung der Menschenrechte. Online: <https://www.un.org/depts/german/menschenrechte/aemr.pdf>
- Vereinte Nationen 2015: Resolution der Generalversammlung „Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“. Online: <https://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf>
- Zeit Online (2023): Lohnunterschiede bei gleicher Arbeit rechtswidrig. Online: www.zeit.de/arbeit/2023-02/lohngleichheit-bundesarbeitsgericht-frauen-urteil-diskriminierung?

SDG 9 „Industrie, Innovation und Infrastruktur“

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

In SDG 9 geht es um die Etablierung nachhaltiger und widerstandsfähiger Infrastrukturen und die Förderung einer inklusiven und nachhaltigen Industrialisierung. Industrien sollen nachhaltiger werden – mit einem effizienteren Ressourceneinsatz und unter vermehrter Nutzung sauberer und umweltverträglicher Technologien und Industrieprozesse. Exemplarisch sollen hier zwei Unterziele betrachtet werden (Destatis o. J.):

- Unterziel 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
- Unterziel 9.c: den Zugang zur Informations- und Kommunikationstechnologie erheblich erweitern ...

SDG 9 und Mechatroniker/-innen

Mechatroniker*innen sind als Allrounder sowohl auf dem Technologiefeld Mechanik, als auch Elektronik tätig. Sie montieren, warten und reparieren komplexe Anlagen und Systeme. Sie analysieren mit computergestützten Mess- und Prüfsystemen, stellen Fehler und Störungen fest und beheben deren Ursachen. Im Rahmen des Dokumentationsmanagements sind sie die verlässlichste Quelle für Anpassungen und Modernisierung komplexer Industrieanlagen. Ihre Tätigkeit erstreckt sich auf die Systeme der Regelungs- und Automatisierungstechnik sowie auf die Mechanik und Elektropneumatik und auch auf Hydraulik. Dabei halten sie hochmoderne Fertigungsanlagen z.B. in der Halbleiterproduktion und Automobilbranche instand (Bundesagentur für Arbeit, o.J.).

Mechatroniker*innen bilden die Schnittstelle zwischen Handwerk und Innovation in modernen Industrieunternehmen, egal ob KMU oder Konzern.

Die M+E-Industrie gehört zu den wichtigsten Wirtschaftszweigen und stärksten Ausbildungsbranchen in Deutschland. Eine Ausbildung für eine Tätigkeit in M+E-Berufen ist bei Jugendlichen gefragt (EVA M+E-Studie 2022).

An der Spitze steht dabei der Ausbildungsberuf Industriemechaniker/-in mit knapp 9.800 neuen Ausbildungsverträgen im Jahr 2021 an der Spitze. Es folgen die Berufe Mechatroniker/-in mit knapp 7.500, Elektroniker/-in für Betriebstechnik mit gut 6.200, Zerspanungsmechaniker/-in mit knapp 4.000, Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik mit 2.100, Konstruktionsmechaniker/-in mit 2.000 und Werkzeugmechaniker/-in mit 1.800 neuen Ausbildungsverträgen (ebd.).

In den industriellen M+E-Berufen hat sich in den letzten zehn Jahren zudem ein starker struktureller Wandel vollzogen: Während in den metalltechnischen Ausbildungsberufen ein deutlicher Rückgang zu erkennen ist: Industriemechaniker/-in -17,3 Prozent, Werkzeugmechaniker/-in -34,1 Prozent, Zerspanungsmechaniker/-in -17,1 Prozent, findet sich ein Zuwachs beim Mechatroniker/-in mit +14,2 Prozent sowie bei einigen elektrotechnischen Berufen wie Elektroniker/-in für Betriebstechnik +14,6 Prozent; Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik +34 Prozent und Fachinformatiker/-in +73,3 Prozent statt (ebd.).

Mechatroniker/-innen haben in einigen Unternehmen die Ausbildung zum Industriemechaniker/-innen (zumindest zeitweise) zurückgedrängt oder gar komplett ersetzt. Vor allem für Instandhaltungsaufgaben in der Produktion erscheint die Ausbildung zum Industriemechaniker/-innen immer weniger geeignet.

Die Aufgabenstellungen in der Instandhaltung sind verstärkt durch die Durchdringung digitalisierter Tools geprägt, mit denen auf Shopfloor-Ebene gearbeitet wird:

- zustandsbasierte Analysen (Condition Maintenance),
- vorausschauende Instandhaltung (Predictive Maintenance),
- Prozessüberwachung (mit Visualisierungstools),
- Prozesssteuerung (unter anderem mit MES) und
- Qualitätsmanagement (Statistical Process Control etc.).

Diese Durchdringung ist verbunden mit der Übernahme „klassischer“ Aufgabenstellungen für die Aufrechterhaltung der Produktion, wie das Nachlegen von Teilen oder das Reinigen und Warten von Produktionseinrichtungen. Für diese Aufgabenstellungen werden je nach Bedeutung der eingesetzten Automatisierungslösungen anstatt Industriemechaniker/-innen zunehmend Mechatroniker/-innen und Elektroniker/-innen (EBT oder EAT) ausgebildet. (ebd.)

Basierend auf der zunehmenden Implementierung und Nutzung digital gestützter Technologien wurden die industriellen Metall- und Elektroberufe (M+E-Berufe) sowie der/die Mechatroniker/-in in Deutschland im Jahr 2018 teilnovelliert, um sie an den digitalen Wandel anzupassen. Die drei wesentlichen Neuerungen umfassen eine neue integrative Berufsbildposition „Digitalisierung der Arbeit, Datenschutz und Informationssicherheit“ (Berufsbildposition Nr. 5 in der Ausbildungsordnung), eine moderate Aktualisierung der betrieblichen Lerninhalte von zwei weiteren Berufsbildpositionen zu Industrie 4.0-relevanten Herausforderungen sowie sieben optional wählbare kodifizierte Zusatzqualifikationen (ebd.).

Für die Mechatroniker:innen sind dies Programmierung, IT-Sicherheit, digitale Vernetzung von Cyber-Physikalischen Systemen und additive Fertigungstechniken. (BIBB, 2018).

Es zeigt sich deutlich, dass der Fachkräftemangel sich auch im Bereich der Mechatronik zeigt. Der Mechatronikerberuf, der an sich schon Mechanik und Elektronik miteinander verbindet, wird in Zukunft auch IT-Themen weitgehend mitbearbeiten. Diese Breitenwirksamkeit sorgt dafür, dass in Zukunft Mechatroniker:innen immer mehr Einfluss auf Entwicklung, aber auch auf die Gestaltung von Lebenszyklen durch Industrie 4.0 hergestellte Produkte haben und dadurch die Innovationen von morgen vorantreiben werden.

Industrie und Infrastruktur mit Digitalisierung modernisieren

Sowohl bei der Nachrüstung der Industrie für eine verbesserte nachhaltige Produktion als auch bei der Modernisierung der Infrastruktur ist die Digitalisierung von größter Bedeutung (Unterziel 9.4). Die Steuerung der Infrastrukturnetze, die Strom-, Gas- und Wasserversorgung, Bahnen und Flugzeuge (und zukünftig auch PKWs), die Produktion in Industrie und Gewerbe, das Gebäudemanagement und die Logistik – all dies sind Bereiche, die auf Digitalisierung angewiesen sind. In Politik und Forschung haben hierbei der Begriff Industrie 4.0 geprägt (BMWK o.J.): *“Industrie 4.0 bezeichnet die intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen in der Industrie mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologie.”*

Auch wenn die Digitalisierung in Deutschland schon ein teilweise hohes Niveau erreicht hat, so sind die Defizite nicht zu leugnen (Unterziel 9.c). So fehlen in Gewerbezentren im ländlichen Raum oft Internetanschlüsse mit ausreichender Übertragungsgeschwindigkeit, Schulen verfügen für hunderte Schüler nur über Anschlüsse im höheren MBit-Bereich, auf vielen Bahnstrecken gibt es keinen Netzempfang und in der Corona-Zeit war das Fax ein unverzichtbares Mittel für die Bekämpfung einer nationalen Notlage.

Mit der Digitalisierung in der Industrie kann u.a. eine bedarfsorientierte und effizientere Produktion angestrebt werden (On-Demand-Produktion), indem durch die digitale

Vernetzung mit den Kund*innen nur Produkte hergestellt werden, die auch nachgefragt und abgenommen werden. So können Ressourcen, Energie und Lagerflächen für Produkte eingespart werden.

- Produktionsprozesse können in einem virtuellen Modell („digitaler Zwilling“, s.Bsp. unten) abgebildet werden, um damit Produkte und Prozesse über den gesamten Lebenszyklus zu optimieren.
- Beim Cloud Computing (s.Bsp. unten) werden Prozesse der Datenübertragung, -verarbeitung und -speicherung aus dem Unternehmen in externe Strukturen verlagert. Auf diese Weise können u.a. Investitionskosten optimiert sowie Datensicherungs- und -zugriff auf aktuellstem Stand ortsunabhängig organisiert werden.

Digitalisierung und digitale Innovationen bieten in der Industrie sehr große Chancen für Klima und Umwelt, wenn digitale Lösungen für unterschiedliche Anwendungsbereiche genutzt werden. So kann beispielsweise die Netzeffizienz über Smart Grids gesteigert werden, um die fluktuierende Produktion erneuerbarer Energien effizienter zu machen. Wenn Geschäftsreisen wegfallen, weil sich Menschen online treffen, oder wenn Energie eingespart wird, weil Computer virtuell verschaltet werden oder bestimmte Dienste nicht individuell, sondern über Clouds genutzt werden, ergeben sich Chancen zur Energieeffizienz.

Der digitale Branchenverband Bitkom stellt sieben Anwendungsbereiche heraus, in denen durch Digitalisierung die Energieeffizienz gesteigert und der Ressourceneinsatz reduziert werden kann. Genannt werden Fertigung (Industrie und produzierendes Gewerbe), Mobilität, Energie, Gebäude, Arbeit & Business, Landwirtschaft, Gesundheit. So können in der Fertigung durch die Simulation von physischen Produkten und Prozessen (digitaler Zwilling) Ressourcen eingespart werden, oder im Bereich Mobilität durch intelligente Verkehrssteuerung und Optimierung, intelligente Logistik und vernetzter Individualverkehr THG-Emissionen reduziert werden. Durch die Nutzung digitaler Kollaborationsplattformen und digitaler Services lassen sich gefahrene Kilometer reduzieren und der Energieverbrauch in Büroräumen senken. Der Energieverbrauch von Gebäuden lässt sich durch datenbasierte Überwachung und Automatisierung aller energiebezogenen Prozesse (z. B. Heizung, Kühlung und Beleuchtung) deutlich senken (bitkom 2021).

Ein wesentliches Grundelement einer widerstandsfähigen Infrastruktur ist die Energieversorgung, und für die Industrie vor allem ein zuverlässiges Stromsystem. Hier hat sich in den letzten Jahrzehnten ein spürbarer Wandel ergeben. Während die konventionelle Stromerzeugung der Nachfrage folgte, muss das Stromsystem nun zunehmend die wetterabhängige Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen integrieren. Die erforderliche Flexibilisierung des Gesamtsystems wird

über den Ausbau und die bessere Auslastung der Stromnetze sowie den Wettbewerb von flexiblen Erzeugern, Verbrauchern und Speichern am Strommarkt erreicht. Für einen großräumigen Ausgleich von Erzeugung und Nachfrage wird der Ausbau der Stromnetze vorangetrieben. Dadurch und durch die verstärkte Anbindung an die Netze der europäischen Nachbarn können die kostengünstigsten Erzeugungsorte erschlossen werden. Damit wird auch die Klimaanpassung des Stromversorgungssystems unterstützt, z. B. wenn es zukünftig zu stärkeren zeitlichen und regionalen Ungleichgewichten von Stromangebot und -nachfrage kommt. Treten Engpässe im Netzbetrieb auf, müssen die Netzbetreiber das jeweils effizienteste Mittel zur Behebung ergreifen und können dazu z. B. auf Erzeuger und Speicher (im Rahmen des Redispatch) und flexible Lasten (im Rahmen der Verordnung zu abschaltbaren Lasten) zugreifen (Ausführlich - vgl. SDG 7).

Cyber-Physische (Produktions-)Systeme

Systeme aus miteinander vernetzten Geräten, Maschinen und beweglichen Gegenständen, die mittels IT und kontinuierlichem Datenaustausch – zum Beispiel über das Internet – gesteuert werden, bezeichnet man als Cyber-Physische (Produktions-)Systeme. Geräte und Objekte sind mit Sensoren ausgestattet, die fortwährend Daten über Zustand, Standort, Prozessfortschritt, aber auch Nutzungsverhalten aufzeichnen. Durch die Vernetzung können Planung und Steuerung von Fertigungs- und Logistik-Prozessen automatisiert und autonomisiert werden. Robotik und Automatisierung wirken dabei zusammen. In Cyber-Physischen Produktions-Systemen, kurz CPPS, wird das Produkt als intelligentes Werkstück zum aktiven Element des Produktionsprozesses. Smarte Produkte erwachsen aus smarten Produktionsprozessen (BMW, 2015).

Integrierte Daten, Datenströme und Big Data

Sie entstehen durch die Vernetzung von Maschinen und Objekten zum Beispiel während der Produktion oder während der Nutzung eines Produkts und allgemein durch die große Anzahl an Transaktionen, die permanent über das Internet laufen, in einem nie dagewesenen Ausmaß. Zum Erfolgsfaktor wird künftig, dass im Sinne einer horizontalen und vertikalen Integration alle verfügbaren Daten miteinander verknüpft werden – über die verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette (horizontal) hinweg und zwischen den Akteuren der Lieferkette (vertikal). Die Kombination und die Auswertung dieser Daten durch innovative Analysetools sind die Basis für ein optimales und ganzheitliches Management des Produktlebenszyklus, von der Entwicklung und Produktion, über den Betrieb, bis hin zur Demontage und dem Recycling. Smarte Produktion schließt dabei Logistik mit ein (talend, o.J.).

Additive Fertigungsverfahren

Verfahren wie 3D-Visualisierung und vor allem 3D-Druckverfahren spielen eine wichtige Rolle für den Wandel zur Industrie 4.0. Sie erlaubt die vollständige Individualisierung von Produkten. Der Kunde mit seinen individuellen Wünschen rückt in den Mittelpunkt, Produkte werden für seine Bedürfnisse maßgeschneidert. Außerdem werden Formen möglich, die in anderen Produktionsverfahren, wie beispielsweise dem Zerspanen, nur sehr aufwändig und mit hohem Materialverbrauch gefertigt werden können. (IPH Hannover, o.J.)

Wie funktioniert additive Fertigung?

Bei der Additiven Fertigung wird ein Bauteil anhand einer 3D-CAD-Datei erzeugt. Es gibt Verfahren, bei denen das zu erzeugende Bauteil direkt in allen drei Raumrichtungen gefertigt wird. In der Regel erfolgt die Fertigung jedoch schichtweise, indem zunächst eine Ebene des Bauteils gefertigt wird. Über das Hinzufügen weiterer Schichten in der dritten Raumrichtung entsteht das dreidimensionale Bauteil. Durch Aufschmelzen oder chemische Aushärteprozesse wird ein Stoffzusammenhalt geschaffen, bevor die nächste Schicht aufgetragen wird (ebd.).

Einsatzgebiete und Vorteile der additiven Fertigungsverfahren

Generative Fertigungsverfahren finden insbesondere in Bereichen Anwendung, in denen geringe Stückzahlen, eine komplizierte Geometrie und ein hoher Individualisierungsgrad gefordert sind. Dies ist im Werkzeugbau, in der Luft- und Raumfahrt oder bei medizinischen Produkten der Fall. In der Luftfahrt können beispielsweise durch innenliegende Strukturen Gewichtsreduktionen erreicht werden. Für diese Bereiche bieten generative Fertigungsverfahren einige Vorteile, wie die Werkzeuglose und formlose Fertigung, die Möglichkeit der Erzeugung komplizierter Geometrien, eine flexible Produktion, die Möglichkeit sehr kleiner Strukturen zu fertigen, Potentiale Material einzusparen und Gewicht zu reduzieren. Insgesamt bieten die generativen Fertigungsverfahren auch Chancen für die Automatisierung der Produktion. Allerdings haben additive Fertigungsverfahren auch einige Nachteile. Dies sind zum einen notwendige Nachbearbeitungsschritte, wenn eine hohe Oberflächengüte oder die Einhaltung von Toleranzen gefordert ist, zum anderen lange Prozesszeiten, da das Bauteil meist Schicht für Schicht erzeugt wird (ebd.).

Die generativen Fertigungsverfahren sind nicht für alle Anwendungen gleichermaßen geeignet. Im Bereich der standardisierten Massenproduktion sind konventionelle Fertigungsverfahren der additiven Fertigung vorzuziehen. Wenn bei Bauteilen Toleranzen eingehalten werden müssen oder eine bestimmte Oberflächengüte erreicht werden muss, ist bei den 3D-Fertigungsverfahren in der Regel eine Nachbearbeitung notwendig.

Potenziale der generativen Fertigung

Die besonderen Vorzüge der 3D-Fertigung liegen darin, dass anders als bei den konventionellen Fertigungsverfahren die Fertigung ohne Werkzeug und ohne Form erfolgt. Die gewünschte Geometrie wird direkt aus 3D-CAD-Daten erzeugt. Dies ermöglicht eine schnelle Fertigung von Prototypen (rapid prototyping), von Endprodukten (rapid manufacturing) und Werkzeugen und Formen (rapid tooling) und erhöht die Flexibilität in der Produktion. (Produktion.de o.J.)

Des Weiteren ist es möglich, verschiedene Bauteile auf einer Maschine zu fertigen – unter Umständen sogar gleichzeitig. Da die Fertigung werkzeuglos erfolgt, können die zu fertigenden Teile ohne Aufwand individualisiert werden.

Die additiven Fertigungsverfahren finden insbesondere in der Luft- und Raumfahrt, im medizinischen Bereich (Prothetik), der Automobilbranche und dem Werkzeugbau Anwendung, da in diesen Branchen Anforderungen an die Bauteile gestellt werden, welche die generative Fertigung begünstigen. Durch 3D-Fertigungsverfahren können Geometrien erzeugt werden, die mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht oder nur mit hohem Aufwand erzeugt werden können. Diese sind abhängig vom gewählten additiven Fertigungsverfahren – beispielsweise innenliegende und konturnahe Kühlkanäle, Hinterschnitte, innen liegende Strukturen, unterschiedliche Wandstärken, Freiformflächen oder Strukturen in sehr kleinen Größen (ebd.).

Ein weiterer Vorteil der additiven Fertigung ist, dass der Fertigungsprozess automatisiert abläuft. Für den Fertigungsprozess ist es nicht erforderlich, dass ein Mitarbeiter die Maschine bedient. Nur das Vorbereiten der Maschine und das Entnehmen des Bauteils, sowie eine mögliche Nachbehandlung, müssen manuell erfolgen.

Anwendungsmöglichkeiten entlang der Wertschöpfungskette

Insgesamt betrachtet ermöglichen die beschriebenen Schlüsseltechnologien und Treiber radikal veränderte Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette, angefangen bei Forschung und Entwicklung über Produktion und Vertrieb bis hin zu Dienstleistungen rund um die Nutzung eines Produkts. Bei Produktentwicklung und Produktionsengineering führen immer stärker individualisierte Produkte zu steigenden Wertschöpfungsanteilen. In einer Industrie 4.0-Umgebung werden Daten aus der Produktion und der Nutzung von smarten Produkten laufend von den Entwicklern genutzt. Moderne dreidimensionale Simulationstechniken erlauben es, die Eigenschaften von Bauteilen und Produkten schon während der Entwicklungs- und Designphase zu testen. Zudem wird die Herstellung von maßgeschneiderten Prototypen und Modellen durch 3D-Druckverfahren erheblich vereinfacht (BMW 2015).

Im Ergebnis werden dadurch eine wesentlich kürzere Entwicklungszeit und ein ganzheitlicher Entwicklungsansatz möglich. Bei Letzterem werden neben der reinen

Nutzbarkeit eines Produkts auch Produktionsprozesse, Wartung und Recycling mitgedacht.

In der Fertigung werden Maschinen mehr und mehr lernfähig. Durch die Kommunikation von Maschine zu Maschine oder von Objekt zu Objekt wird eine eigenständige, auftragsspezifische Bearbeitung von Produkten, die automatische Initiierung von Folgeaufträgen, aber auch eine selbständige Anforderung von Wartungsdienstleistungen möglich. Sobald Probleme auftreten, sucht ein CPPS selbständig nach den besten Alternativen, ohne dass ein Mensch in den Prozess eingreifen muss (ebd.).

Die Folgen: Betriebsmittel und Werkstoffe können effizienter geplant und genutzt werden, zudem treten weniger Fehler auf. Durch CPPS in Verbindung mit 3D-Druckverfahren ist eine Kleinstserienfertigung bis hin zur „Losgröße 1“ ohne Kostennachteile möglich. Die deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) schätzt, dass Unternehmen durch den Einsatz von CPPS ihre Produktivität um 30 Prozent steigern könnten (ebd.).

Cloud-Computing

Unter Cloud Computing wird die Bereitstellung von IT-Infrastruktur (Hard- und Software) verstanden, auf die eine Person durch ein Netzwerk zugreifen kann, ohne selbst eine ähnlich umfangreiche lokale IT-Infrastruktur zu nutzen. In der Cloud (meistens im Internet) werden Rechenleistung, Speicherkapazität, Anwendungssoftware oder Datenbankdienste zur Verfügung gestellt. Diese müssen nicht lokal bei den Anwendern installiert sein, sondern können über das Internet abgerufen werden. Es handelt sich also um ein Modell, bei dem IT-Ressourcen über das Internet zur Verfügung gestellt werden.

Als Cloud Computing Beispiele sind die Apple iCloud, Google Drive, Microsoft OneDrive, Amazon Web Services und Open Telekom Cloud etc. zu nennen. Auch werden beispielsweise Software-Anwendungen zur Zeiterfassung, Buchhaltung usw., als Cloud Dienste angeboten.

Cloud Computing in Rechenzentren bietet auf unterschiedlichen Ebenen, Potenziale für eine effiziente Nutzung:

- effiziente Endgeräte
- Klimatisierung und Kühlung
- Unterbrechungsfreie Stromversorgung
- Sektorkopplung
- Datenmanagement, Netzwerkarchitekturen, Software
- energieeffiziente Programmierung

Während des Betriebes von Rechenzentren mit Cloud Computing sind möglichst effiziente Endgeräte hilfreich, die kaum Energie verschwenden. Das betrifft sowohl die Möglichkeiten zur aktiven Einschränkung des Energieverbrauchs durch Nutzer (etwa durch physische Power Switches anstatt Standby) aber auch das Design zur Minimierung des Energieverbrauchs während des aktiven Betriebs. Die Klimatisierung und Kühlung im laufenden Betrieb spielt eine wichtige Rolle (z.B. freie Kühlung mit Außenluft statt elektronische Klimatisierung, Flüssigkeitskühlung von Prozessoren, Platinen oder ganzen Servern statt Luftkühlung über Ventilatoren).

Bei der Stromversorgung können Lithium-Ionen-Akkus für die unterbrechungsfreie Stromversorgung eingesetzt werden, auch Brennstoffzellen können eine Notstromversorgung über längere Zeiträume gewährleisten. Durch den Verzicht auf dieselbetriebene Notstromaggregate reduzieren sich THG-Emissionen. Laut Bundestagsausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (Deutscher Bundestag Drucksache 2022) hängt der Energiebedarf der IKT-Infrastrukturen vor allem von deren Energieeffizienz ab. Dabei besteht die Möglichkeit, den Verbrauch bei der IKT-Hardware, der Klimatisierung und Kühlung der Stromversorgung sowie dem Management von Netzwerkarchitekturen und Software einzusparen. Auch Endgeräte tragen laut Bericht neben Rechenzentren und Telekommunikationsnetzwerken zum IKT-bedingten Gesamtenergieverbrauch bei. Während der Energieverbrauch in diesem Bereich lange Zeit zurückging, scheint sich der Trend wieder in Richtung Mehrverbrauch zu bewegen. Politische Möglichkeiten wie Verbrauchskennzeichnungen sollten daher ausgeschöpft werden. Hinzu kommt ein fehlendes Bewusstsein bei Nutzer*innen, welche Rechenleistung beispielsweise mit einem Klick im Browser angestoßen wird. Hier muss mehr Aufklärung betrieben werden, um den Energieverbrauch zu reduzieren.

Zentral für nachhaltiges Cloud-Computing ist die Betrachtung des Beitrags von Rechenzentren zur Stromnetzstabilisierung, indem effiziente Klimatisierungsverfahren wie beispielsweise auch die solare Kühlung und Abwärmenutzung, die Entwicklung von Recyclingverfahren für Elektronikschrott, energie- und ressourceneffiziente Software eingesetzt werden.

Digitaler Zwilling zur Ressourcenschonung

Verpackungsabfälle sind eine bisher weitgehend ungenutzte Ressource in Deutschland. Von den ca. 19 Mio. t Verpackungsabfällen in 2019 gingen ca. 72% in das Recycling, insgesamt betrug der Verwertungsquote fast 97% (UBA 2022). Allerdings wurden ca. 5,3 Mio. energetisch verwertet, d.h. sie dienten als Brennstoffersatz in Müllverbrennungsanlagen. Aber auch die stoffliche Verwertung ist nicht immer hochwertig, wenn z.B. aus Verpackungsmaterial ein anderes "Einwegmaterial" wie z.B. Blumentöpfe hergestellt werden, die nach dem Auspflanzen gleich wieder Abfall werden

(GREEN24). Es stellt sich somit die Frage, wie man hochwertige, langlebige Produkte aus Verpackungsabfall herstellen kann. Dabei können digitale Zwillinge und künstliche Intelligenz (oder auch Artificial Intelligence) den Werkzeugbau optimieren. Ihr Einsatz führt zur Einsparung von Material, Energie und Zeit in der Produktion. Außerdem tragen die Technologien dazu bei, Wertstoffkreisläufe zu schließen.

Kunststoffprofile aus PVC

Das Unternehmen Veka AG aus Nordrhein-Westfalen produziert Kunststoffprofile aus PVC für Rollläden oder Schiebetüren. Um die passenden Profile herzustellen, muss ein Extrusionskopf hergestellt werden, der den Kunststoff in die geeignete Form bringt (VDI ZRE 2021). Dies ist allerdings ein langwieriger und Ressourcen intensiver Prozess, es dauert ca. ein halbes Jahr und benötigt bis zu 12 Versuche, das Profil zu optimieren. Dabei wird insgesamt viel Energie und 10t überschüssiges PVC Material verwendet (ebd. 2021). Dieses wird zwar in einen internen Kunststoffkreislauf zurückgeführt, was aber wiederum Energie kostet, die eingespart werden kann. Um das zu reduzieren, wurde eine Lösung mit digitalen Zwillingen des Extrusionskopfes entwickelt. Somit wird nicht mehr mit realen Materialien ausprobiert, wann der Extrusionskopf passt, sondern durch wiederholte Simulationen in einem Computer.

Durch sie konnte der Ressourcenverbrauch in der Fertigungsphase der Werkzeugköpfe halbiert werden. Jährlich werden so rund 1.000 kWh elektrische Energie beim Anfahren neuer Produktionen eingespart, was 408 kg CO₂-Äquivalenten entspricht (ebd.2021).

Chemiefässer aus Rezyklat

Die Firma BBM Maschinenbau hat sich auf die Herstellung von Kunststoff-Hohlkörpern spezialisiert. Sie haben die Produktion so weit verbessert, dass bei den Fässern die Innen- und Außenschicht aus neuem Kunststoff, der Rest allerdings zu 80% aus Recyceltem besteht (VDI ZRE 2021). Das ermöglicht bessere Einsatzmöglichkeiten für die Fässer aus Rezyklat, da sie bisher meist für kurzlebige oder Produkte minderer Qualität verwendet wurden. Durch die innere Beschichtung sind diese aber stabil und können beispielsweise auch mit Chemikalien befüllt werden (ebd. 2021).

Eine KI hat insofern daran mitgewirkt, dass auf wiederholte Versuche verzichtet werden konnte, bei denen durch das häufige Ausprobieren ein geeignetes Fass gefunden werden sollte. Dieses Vorgehen kostet sowohl Energie als auch Materialien. Stattdessen werden digitale Kopien des Wendelverteilers erstellt, der die beiden Kunststoffsorten zusammenführt. Diese werden jeweils etwas abgeändert, sodass tausende Variationen und der mögliche Produktionsprozess simuliert werden. Anschließend sucht eine intelligente Software die stabilsten Ergebnisse mit dem höchsten Rezyklat-Anteil heraus und analysiert diese auf Gesetzmäßigkeiten. Schließlich wird nach ungefähr 10 Generationen ein optimaler Wendelverteiler und damit ein ressourceneffiziente Kunststoff-Hohlkörper erstellt (ebd. 2021).

Industrie und Kreislaufwirtschaft

Bei der vorgesehenen Transformation von einer linearen Wirtschaft hin zu einer zirkulär organisierten Kreislaufwirtschaft spielt die Industrie eine entscheidende Rolle. Das zentrale Ziel einer zirkulär organisierten Kreislaufwirtschaft ist es, möglichst viele Abfälle zu vermeiden, indem Altprodukte wieder- oder weiterverwendet, repariert oder aufgearbeitet werden.

Dieser alternative Ansatz zum bestehenden Wirtschaftsmodell wird im Englischen Circular Economy genannt. Kreislaufwirtschaft wird nachfolgend beschrieben:

“Ziel ist die Gestaltung eines Systems, in dem Ressourcen nicht “endverbraucht” werden, sondern so lange wie möglich, mit höchstmöglichem Wert, im Kreislauf gehalten werden. Hierzu müssen zum Beispiel Wertstoffkreisläufe geschlossen werden”(BAFU, o.J.).

Die Ellen MacArthur Foundation, einer der führenden Think Tanks in diesem Bereich, hat dafür drei Prinzipien definiert. Sie basieren auf bestehenden Modellen und Theorien wie Cradle to Cradle und der Performance Economy (EMAF; o.J.):

- Eliminieren von Abfall im Designprozess ([Link](#))
- Wiederverwendung von Materialien ([Link](#))
- Regenerieren natürlicher Systeme ([Link](#))

Um diese Art der Abfallvermeidung zu realisieren, kommt der Industrie eine zentrale Rolle zu. Schon bei der Entwicklung, beim Design und Konstruktion von Produkten muss dafür auf die Reparierbarkeit, verlängerte Lebensdauer und Dekonstruktionsmöglichkeiten orientiert werden. Erst entsprechend konstruierte Erzeugnisse eröffnen Chancen auf eine möglichst große Rückführung von Materialien in den Wirtschaftskreislauf.

Allerdings ist auch in einer kreislaforientierten Gesellschaft die Entstehung von Reststoffen und Abfall nicht in Gänze vermeidbar. Kreislauffähiges Wirtschaften zielt dabei darauf ab, mittels Recycling unvermeidbarer Abfälle anfallende Reststoffe optimal zu nutzen und Abfallströme ressourceneffizient zu Sekundärrohstoffen aufzubereiten und anschließend in den Produktionskreislauf zurückzuführen.

Voraussetzung dafür ist jedoch eine Infrastruktur, die über Strukturen, Prozesse und Verfahren verfügt, die die Aufarbeitung oder den Rückbau von Produkten sowie die Rückgewinnung und Verarbeitung von Materialien zum Gegenstand haben (weitere siehe Ausführungen zu SDG 12).

Quellenverzeichnis

- BIBB Bundesinstitut für Bildung und Forschung (2018): Metall- und Elektroberufe zukunftsfest gestaltet https://www.bibb.de/de/pressemitteilung_81176.php
- bitkom (2021): Klimaeffekte der Digitalisierung Studie zur Abschätzung des Beitrags digitaler Technologien zum Klimaschutz. Online: https://www.bitkom.org/sites/main/files/2021-10/20211010_bitkom_studie_klimaeffekte_der_digitalisierung.pdf
- Bundesamt für Umwelt - BAFU (o.J.): online: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/fachinformationen/kreislaufwirtschaft.html>
- Bundesagentur für Arbeit, o.J.: Berufsbild Mechatroniker/in <https://web.arbeitsagentur.de/berufenet/beruf/2868>
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klima - BMWK (o.J.): Digitale Transformation in der Industrie <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/industrie-4.0.html>
- BMWK (2015): Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft Impulse für Wachstum, Beschäftigung und Innovation https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-und-digitale-wirtschaft.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D3
- Destatis (o.J.) : Sustainable Development Goals / Agenda 2030 https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Internationales/Thema/allgemeines-regionalen/SDGs/_inhalt.html
- Deutscher Bundestag Drucksache (2022): Energieverbrauch der IKT-Infrastrukturen in Deutschland. Online: <https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-914208>
- EMAF Ellen MacArthur Foundation (o.J.): How to build a Circular Economy. <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- EVA M+E-Studie (2022): Evaluation der modernisierten M+E-Berufe https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/2022/Evaluation_der_modernisierten_M_E-Berufe.pdf
- Fraunhofer (o.J.): MBSE für Cyberphysische Produktionssysteme <https://www.ipk.fraunhofer.de/de/kompetenzen-und-loesungen/digital-engineering/modellbasiertes-systems-engineering/mbse-cpps.html>
- GREEN24: Recycling Pflanztöpfe. Online: <https://www.green24.de/Anzucht-Vermehrung/Pflanztoepfe-Anzuchttoepfe/Vierkanttoepfe/11-x-11-cm/100-Stck-Recycling-Pflanztoepfe-Profi-11x11x12cm-Farbe-Taupe-RC-Vierecktopf::3206.html>
- IPH Hannover (o.J.): Additive Fertigung als zukunftsweisendes Fertigungsverfahren <https://www.iph-hannover.de/de/dienstleistungen/fertigungsverfahren/additive-fertigung/>
- Produktion.de (o.J.): Das sind die wichtigsten additiven Fertigungsverfahren <https://www.produktion.de/technik/das-sind-die-wichtigsten-additiven-fertigungsverfahren-264.html>
- talend.com (o.J.): Was ist Datenintegration? <https://www.talend.com/de/resources/what-is-data-integration/>

- UBA 2022: Verpackungsabfälle. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlt-er-abfallarten/verpackungsabfaelle>
- VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2021): Kunststoffrecycling 4.0: Künstliche Intelligenz und digitaler Zwilling spart Ressourcen. Online: <https://www.youtube.com/watch?v=LxafPcpqOf4>
- BIBB Pressemitteilung (2028) “Metall- und Elektroberufe zukunftsfest gestaltet” https://www.bibb.de/de/pressemitteilung_81176.php

SDG 12: “Nachhaltige/r Konsum und Produktion”

“Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen”

SDG 12 bezieht sich sowohl auf den individuellen Konsum (notwendige Veränderung unserer Lebensstile) als auch auf die Umgestaltung der Wertschöpfungsmuster, die unserer Produktion zugrunde liegen. Die wichtigsten Unterziele sind:

- 12.2 Bis 2030 die nachhaltige Bewirtschaftung und effiziente Nutzung der natürlichen Ressourcen erreichen
- 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
- 12.5 Bis 2030 das Abfallaufkommen durch Vermeidung, Verminderung, Wiederverwertung und Wiederverwendung deutlich verringern
- 12.8 Bis 2030 sicherstellen, dass die Menschen überall über einschlägige Informationen und das Bewusstsein für nachhaltige Entwicklung und eine Lebensweise in Harmonie mit der Natur verfügen

Voraussetzung für die Umsetzung dieses Anspruches ist eine entsprechende Bildung und darauf basierende Kompetenzentwicklung der handelnden Personen, im privaten wie auch im beruflichen Kontext. Nachhaltiges Handeln bezieht sich auf alle Aspekte, die dazu führen, dass sowohl innerhalb des Ausbildungsbetriebes, als auch bei Kundinnen und Kunden oder Lieferant*innen Arbeits- und Organisationsmittel so eingesetzt werden, dass sie unter Berücksichtigung der vorhandenen Ressourcen und der Budgetvorgaben wirtschaftlich und nicht klimaschädlich eingesetzt werden, wie es der Rahmenlehrplan (KMK Kultusministerkonferenz 2016) vorgibt.

Im Kontext von SDG 12 sind in der Produktion dabei zunächst Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Lieferketten ebenso angesprochen wie die Vermeidung beziehungsweise der ressourcenschonende Umgang mit den eingesetzten Materialien und Rohstoffen, wie auch eine verantwortungsbewusste Entsorgung von Reststoffen(Abfällen). Aus Sicht

eines Unternehmens werden im engeren Sinne als Ressourcen Betriebsstoffe, Werkstoffe, Kapital, Personal, Know-how und Zeit angesehen.

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

SDG 12 und Mechatroniker:innen

Die digitale Transformation in der Entwicklung und Herstellung von Produkten, auch bekannt unter dem Schlagwort Industrie 4.0, wird zunehmend eine zentrale Herausforderung für die Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland. Die erfolgreiche Gestaltung dieser vierten industriellen Revolution ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandorts Deutschlands.

Die zweite große Herausforderung ist die notwendige Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourcenverbrauch, die nur durch eine zunehmend effizientere Nutzung der natürlichen Ressourcen in den Unternehmen erreicht werden kann. Die optimale Ausgestaltung der Wechselwirkung zwischen digitaler Transformation und Ressourceneffizienz sowie die konsequente Nutzung der daraus entstehenden Potenziale für eine Senkung des Verbrauchs von Material und Energie sind daher von entscheidender Bedeutung (VDI, 2017).

Im Jahr 2014 nahmen die Kosten für Materialaufwendungen mit rund 43 % den mit Abstand größten Kostenblock im verarbeitenden Gewerbe ein. Die Kosten für Personal lagen demgegenüber bei knapp 19 %, die für Energie bei 1,9 %. Obwohl im Vergleich zu den Materialaufwendungen die Energiekosten einen deutlich geringeren Anteil an der Bruttowertschöpfung ausmachen, sind diese nicht zu vernachlässigen. Denn in Deutschland entfielen 2014 29 % (2.514 PJ) der gesamten Endenergie auf das verarbeitende Gewerbe (Statistisches Bundesamt, 2016).

Vor diesem Hintergrund ist Ressourceneffizienz in der Produktion ein wichtiger Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen, denn Einsparungen im Bereich Material und Energie machen sich wirtschaftlich deutlich bemerkbar. Gleichzeitig stellt Ressourceneffizienz eine zentrale Thematik der Politik dar. Eine Motivation dafür ist die Rohstoffsicherung - Deutschland ist als rohstoffarmes Land von Importen abhängig. Der Bedarf an Rohstoffen ist heute doppelt so hoch wie 1970 (BMUB, 2016) und es werden zunehmend sogenannte „kritische“ Rohstoffe (wie Magnesium oder Silizium) für Hightech-Produkte eingesetzt. Ein weiterer wichtiger Motivationsfaktor besteht aber in der Tatsache, dass der Verbrauch an Rohstoffen und Energie ursächlich für viele globale

Umwelt- und Nachhaltigkeitsprobleme ist, wie etwa den Klimawandel, die Emission von Schadstoffen in der Umwelt, aber auch für lokale und regionale Umweltfolgen des Abbaus von Rohstoffen. (UBA, 2015) Diese Problematik wird auf globaler Ebene durch das Wirtschaftswachstum bevölkerungsreicher Schwellenländer gravierender. Weltweit stellt sich daher die Frage nach dem gerechten Zugang zu Rohstoffen für alle Nationen und vor allem nach den Grenzen des Planeten im Hinblick auf die Tragfähigkeit der Umwelt.

Möglichkeiten zur Verringerung des Verbrauchs von Materialien und Energie bieten sich prinzipiell auf allen Ebenen der Wertschöpfungskette:

- Auf der Prozessebene können durch bessere Steuerung bzw. Auslastung von Maschinen Energieverbräuche und Materialverluste verringert werden.
- Auf der Produktebene können eine bessere Wartung und ein vorausschauender Austausch von Komponenten die Lebensdauer verlängern und durch eine Kennzeichnung von Bestandteilen kann das spätere Recycling erleichtert werden.
- Die Digitalisierung von Produkten und Nutzeranwendungen kann u. a. durch das Zusammenwachsen von Produkten und Dienstleistungen zu ganz neuen Systemlösungen bzw. -innovationen führen (Fraunhofer IPA und Dr. Wieselhuber & Partner GmbH, 2015).

Auf allen drei Ebenen sind Mechatroniker direkt und unmittelbar beteiligt. Durch die gezielte Innovation von Fertigung, Automation und Produktion stellen sie das Bindeglied zwischen politischem Rahmen, Ingenieurtechnik und der operativen Ebene dar.

Nachhaltiges Handeln als Mechatroniker:in startet mit der Kenntnis der Materialien, die genutzt werden, und ihrer Herkunft. Auch gesellschaftliche Aspekte müssen bei der Gestaltung von Lieferketten und bei der Materialauswahl berücksichtigt werden.

Ein Beispiel: Der Einsatz seltener Erden oder wertvoller Rohstoffe, die unter menschenunwürdigen Bedingungen und wenig umweltfreundlichen Rahmenbedingungen gewonnen, teilweise über große Strecken bei vernichtender Ökobilanz über die Weltmeere transportiert werden.

Eine nachhaltig ausgerichtete Produktentwicklung berücksichtigt Aspekte der Energieeffizienz und der klimaneutralen Produktion bereits während der Konstruktionsphase. Weiter zählt, wie man das Produkt an den Markt bringt, wie man es zu den Kunden transportiert, und in welchen Verpackungseinheiten dies geschieht.

Berücksichtigen muss man auch die Einsatz-Rahmenbedingungen, die Wirkungsgrade der eingesetzten Technologien und damit die konstruktiven Anforderungen an das Produktdesign, sodass in Summe ein energie- und ressourceneffizienter Betrieb möglich ist. Wenn zum Beispiel ein Elektromotor oder eine Bewegungsachse sehr schnell

beschleunigt oder abgebremst und dabei große Gewichte bewegt werden, wird viel Energie umgesetzt. Ebenso wird in Stillstandszeiten, in denen eine Maschine in einem Standby-Modus verharrt, unnötige Energie verbraucht.

Und natürlich braucht es die Auseinandersetzung mit Sensorik, Regelungstechnik und energieeffizienter Antriebstechnik. So ist das nachhaltige Systemverständnis für Mechatroniker:innen ein breit angelegtes Querschnittsthema, das Chancen der Digitalisierung, berufliches Gesamtverständnis und die Grundkenntnis ökonomischer Zusammenhänge erfordert.

Ressourcenverbrauch

Gegenwärtig steigen sowohl der 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 (siehe auch Abschnitt 2). 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.

Jedes Produkt wird aus stofflichen Ressourcen hergestellt und hierfür werden Energieressourcen benötigt. Auf jede und jeden entfällt ein Rohstoffkonsum von rund 16 t pro Jahr (UBA 2018: S. 41). Der größte Teil mit rund 7 t stammt aus dem Hoch- und Tiefbau: für unsere Wohnungen und Straßen, aber auch für öffentliche Gebäude, Industrie, Gewerbe, Hotel und Sportanlagen. Die fossilen Energieträger Öl, Kohle und Gas betragen mehr als 4,5 t pro Kopf zur Erzeugung von Strom, Wärme und Warmwasser. Auf Biomasse – vor allem für die Ernährung – entfallen 3,4 t. Der Pro-Kopf-Verbrauch von metallischen Rohstoffen beträgt immerhin noch 1 t pro Kopf. Die vier Typen der Rohstoffe werden vor allem von Industrie und Gewerbe, dem Staat und von privaten Haushalten nachgefragt (98 %). Der Konsum umfasst hier in 2014 rund 800 Mio. t, davon entfielen auf die privaten Haushalte 76 % bzw. mehr als 600 Mio. t. Etwas mehr als ein Drittel verbraucht das Wohnen (Neubau und Sanierung, Gas und Strom, Wohnungseinrichtung) bzw. Ernährung (je rund 190 Mio. t). An dritter Stelle steht der Freizeitkonsum mit 19 % bzw. rund 115 Mio. t, hierunter fallen auch die Errichtung von privaten Freizeiteinrichtungen (Sporthallen, Hotelanlagen), aber auch Sportschuhe, Mountain-Bikes, Spielekonsolen und Handys. Auch wenn Kleidung nur 3 % des Ressourcen Konsums ausmacht, sind dies immerhin 18 Mio. t bzw. 220 kg pro Kopf und Jahr. In diesem Wert sind aber auch alle Produktionsmittel eingerechnet, denn Baumwolle muss angebaut, geerntet, verarbeitet und transportiert werden. Hierzu braucht man Energie, Wasser und vieles mehr. Der Ressourcen-Rucksack eines T-Shirts ist somit viel größer als das eigentliche Gewicht (ca. 150 g).

Zusammenfassend kann man feststellen: Unser Ressourcenverbrauch ist zu hoch. Die Ressourcen der Erde sind begrenzt und wir haben nur eine Erde. 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 weg von der linearen Produktionsweise hin zu einer Kreislaufwirtschaft 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.).

Bedeutung von Kreislaufwirtschaft

Bei der Transformation von einer linearen Wirtschaft hin zu einer zirkulär organisierten Kreislaufwirtschaft spielt die Infrastruktur der Abfallwirtschaft eine entscheidende Rolle. Das zentrale Ziel einer zirkulär organisierten Kreislaufwirtschaft ist es möglichst viele Anfälle zu vermeiden, indem Altprodukte wieder- oder weiterverwendet, repariert oder aufgearbeitet werden. Um diese Art der Abfallvermeidung zu realisieren kommt den Entsorgungsbetrieben eine zentrale Rolle zu, indem sie z.B. wiederverwendbare Altprodukte aus der gängigen Abfallbehandlung wie der thermischen Verwertung ausschleusen und als Gebrauchsgüter anbieten.

Allerdings ist auch in einer kreislaforientierten Gesellschaft die Entstehung von Reststoffen und Abfall nicht in Gänze vermeidbar. Kreislauffähiges Wirtschaften zielt dabei darauf ab, mittels Recycling unvermeidbarer Abfälle anfallende Reststoffe optimal zu nutzen und Abfallströme ressourceneffizient zu Sekundärrohstoffen aufzubereiten und anschließend in den Produktionskreislauf zurückzuführen. Dabei versteht man unter Recycling die Rückführung von Produktions- und Konsumabfällen in den Wirtschaftskreislauf. Voraussetzung dafür ist jedoch eine Infrastruktur, die über Prozesse und Verfahren verfügt, die in der Lage ist, verschiedenste Materialien sortenrein zu trennen und in unterschiedliche Fraktionen aufzuteilen. Besonders digitale Technologien bergen durch intelligente Datenanalyse, Robotik, Sensorik und Automatisierung großes Potenzial, hochwertige Fraktionen zu gewinnen. Mit ihrer Hilfe

lassen sich potenzieller Sekundärrohstoffe effektiv und effizient erkennen, abtrennen und fraktionieren (siehe auch SDG 9).

Bei fast neun von zehn Unternehmen hat die Abfallvermeidung höchste Priorität. Fast zwei Drittel achten bei der Materialauswahl auf Umweltfreundlichkeit, nutzen erneuerbare Energien oder geben an, ihre Produkte und Dienstleistungen so ressourcenschonend wie möglich herzustellen oder zu erbringen. Erst 48 Prozent haben ein energieeffizientes Gebäudemanagement und 38 Prozent gestalten Dienstreisen klimagerecht, zum Beispiel mit einer Bevorzugung von Bahnreisen oder einem CO₂-Ausgleich.

Der Anteil an Unternehmen mit einer Nachhaltigkeitsstrategie, die die genannten Maßnahmen umsetzen, ist in jedem einzelnen Punkt deutlich höher als der von Firmen ohne Nachhaltigkeitsstrategie. So achten zum Beispiel 94 Prozent der Unternehmen mit Strategie auf die Vermeidung von Müll - ohne Strategie sind es 81 Prozent. (TÜV Sustainability Studie, 2022).

Ressourceneffizienz durch Werkstoffsubstitution

Eine zuverlässige Versorgung mit Rohstoffen wie strategischen Metallen, Edelmetallen und Seltenen Erden ist für das Exportland Deutschland von höchster Wichtigkeit. Als rohstoffarmes Land ist die Industrie in Deutschland auf den Import fast aller für Hochtechnologien wichtigen Ausgangsstoffe angewiesen. Um die Abhängigkeiten und die sich abzeichnenden Versorgungsengpässen von Rohstoffen zu verringern und den steigenden Rohstoffkosten zu begegnen, ist es notwendig, vorhandene Wertstoffe sowohl zu recyceln als auch durch neu zu entwickelnde Werkstoffe zu ersetzen (VDI ZRE 2013:6).

Zudem ist es wichtig, Rohstoffe so ressourceneffizient wie möglich einzusetzen. In diesem Sinne muss auch die Verwendung von Werkstoffen in Produkten entlang der gesamten Wertschöpfungskette ressourcenschonend und effizient erfolgen. Eine vielversprechende Strategie dafür stellt die Werkstoffsubstitution dar, mit der verschiedene Ziele verfolgt werden:

- Unabhängigkeit von kritischen Rohstoffen,
- Vermeidung des Einsatzes toxischer/umweltschädigender Substanzen,
- Effizienzsteigerungen durch neue Werkstoffe,
- Anpassung an die Änderung von Kundenanforderungen (B2B, B2C).

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).

Nutzungsverlängerung von Werkzeugmaschinen - Retrofitting

Im Zuge der Digitalisierung und Industrie 4.0 stellt sich häufig die Frage, wie mit bestehenden Maschinen umgegangen werden soll. Der Wille zum Umdenken und die Motivation, den Weg in die digitale Zukunft zu beschreiten, ist vorhanden, doch ist der Maschinenpark aus einer Zeit, als das heutige Ausmaß der Digitalisierung noch nicht absehbar war. Digitale Schnittstellen zur externen Verarbeitung sind daher nur eingeschränkt oder gar nicht vorhanden. Bei einer Lebensdauer von Maschinen im Bereich von Jahrzehnten ist dieses Problem in jeder Branche allgegenwärtig.

Unternehmen, die die Vorteile von erhöhter Produktivität und Rentabilität im Rahmen von Industrie 4.0 nutzen möchten, stehen vor der Entscheidung zwischen einem vorzeitigen Ausmustern ihrer Maschinen oder alternativ diese Maschinen umzurüsten bzw. upzugraden z.B. mit erneuerten Antrieben, Steuerungen oder zusätzlicher Sensorik.

Diese Alternative wird als Retrofitting bezeichnet. Der Begriff Retrofit bezeichnet im Allgemeinen die Modernisierung und Nachrüstung von bestehenden Anlagen und Betriebsmitteln. Digitaler Retrofit meint die nachträgliche Ausstattung von Maschinen oder Anlagen mit moderner Sensorik und Kommunikationstechnik (IPH-Hannover, o.J.).

Digitales Retrofitting

Die zunehmende Digitalisierung und Umstellung auf Industrie 4.0 machen eine Anpassung des bestehenden Maschinenparks oft unabdingbar. Das digitale Retrofitting stellt dabei meist eine kostengünstige Alternative zur Neuanschaffung dar, da Anlagen und Maschinen durch die Auf- bzw. Nachrüstung mit zeitgemäßen Technologien aus der Sensor- oder Kommunikationstechnik auf den neuesten Stand gebracht werden können, um sie im Bereich von Industrie 4.0 und Anwendungen für das Internet of Things (IoT) einsetzbar zu machen. Laut einer Umfrage des Forschungsinstituts für Rationalisierung der RWTH Aachen (fir) zieht die Mehrheit der befragten innerbetrieblichen Instandhaltungsabteilungen ein Retrofitting von Maschinen und Anlagen der Neuanschaffung vor (IPH-Hannover, o.J.).

Analoges Retrofitting

Gerade bei Werkzeugmaschinen (z.B. CNC -Dreh-, Fräs- oder Biegemschienen) altern einzelnen Bestandteile unterschiedlich schnell. Bei qualitativ hochwertigen Werkzeugmaschinen ist oftmals die Elektronik veraltet und störungsanfällig, die Mechanik aber in einem guten Zustand. Um die Produktivität, die Sicherheit und den Wert der Maschine zu erhalten oder gar zu steigern, ist daher ein Steuerungsumbau empfehlenswert. Dabei werden alle im Schaltschrank befindlichen elektrischen

Betriebsmittel (Sicherungen, Netzteile, Ansteuerungen, ...) durch moderne Betriebsmittel ersetzt. Zusätzlich werden Messsysteme und die zentrale Steuerung getauscht. Durch Ausnutzung des oft enormen Verschleißvorrates der Mechanik der CNC-Maschine kann ihre Lebensdauer auf diese Weise verdoppelt werden. Im Zuge eines Retrofit der Maschine können optional z. B. auch die Antriebsmotoren, -verstärker Maschinenanzeigen der neuesten Generation eingesetzt werden. Beim analogen retrofitting werden auch die Verschleißteile, die Lager, Gleitführungen oder Hydraulikelemente an der Maschine ersetzt. Dies erhöht sich Sicherheit der Maschine und oft auch die Produktivität (Maschinenmarkt Vogel, o.J.).

Beispielsweise kann bei einer Deckel FP2 mit Grundigsteuerung (Dialog 11, Baujahr 1989) durch analoges Retrofitting mit dem Einbau einer modernen Heidenhainsteuerung TNC320 und passenden Achsantrieben inklusive einer neuen Antriebsspindel und Messsysteme nicht nur die Fräsgenauigkeit (Toleranz bei 50% Eingriff des Fräasers von +/-0,1mm vorher auf +/-0,05mm) verdoppelt werden. Auch kommen anstatt 2,5D nun echt 3D Bahnsteuerzyklen zum Einsatz. Mit der aktuellen TNC320 Steuerung kann die CNC-Maschine nun auch in vorhandene MES-Systeme integriert und somit zentral überwacht- und steuerbar gemacht werden. Ein zusätzliches digitales Retrofitting könnte z.B. durch Schwingungssensorik und Einbindung in IoT-Netze ermöglichte vorbeugende Wartung die Standzeit und Ausfallsicherheit noch weiter erhöht werden. Am Ende steht eine nahezu neuwertige, hochproduktive Maschine mit Gewährleistung und detaillierter Dokumentation zur Verfügung. Die Einsparung gegenüber einer Neuanschaffung einer gleichwertigen Maschine (ca. 80000,-€) liegt mit 44000,-€ bei über 45%. Da die Retrofit Arbeiten in der Regel vor Ort stattfinden, können zusätzlich sogar die Logistikkosten abgezogen werden (FPS Werkzeugmaschinen, o.J.).

Lebensdauererlängerung durch Obsoleszenzmanagement

Der Begriff „Obsoleszenz“ leitet sich vom lateinischen Begriff „obsolescere“ ab und wird übersetzt mit „abnutzen“ und „veralten“ (Wortbedeutung.info, o.J.). Die Normung definiert den Begriff „Obsoleszenz“ wie folgt (IEC 62402): „*transition of an item from available to unavailable from the manufacturer in accordance with the original specification*“.

Der VDMA brachte 2017 das Einheitsblatt 24903 „Obsoleszenzmanagement – Informationsaustausch zu Änderungen und Abkündigungen von Produkten und Einheiten“ heraus. Es enthält technische Regeln und Vereinbarungen, die von VDMA-Mitgliedern für die Umsetzung eines Obsoleszenz-Managements erarbeitet wurden. Damit legte der VDMA erstmals die Grundlage für ein digitales Obsoleszenzmanagement in der gesamten Lieferkette, um den wachsenden und auch komplexer werdenden Herausforderungen der Industrie 4.0 begegnen zu können (DKE, 2021). Ob und wann ein Produkt obsolet wird, unterliegt aber weitaus mehr Faktoren. Die Industrie managt die Lebenszyklen ihrer Produkte entlang der Marktentwicklung.

Nach grober Schätzung des VDMA kündigt allein die Elektronikindustrie pro Jahr über 100.000 Bauelemente (VDMA, o.J.).

Der rasante, technische Fortschritt elektronischer Bauteile spielt ebenso eine Rolle wie die Vernetzung von Maschinen, Anlagen und Werkzeugen mit Software und Kommunikationsschnittstellen in der Industrie 4.0 und dem Industrial Internet of Things (IIoT). Durch neue Funktionsanforderungen werden alte Bauteile obsolet, die Nachfrage sinkt und die Produktion wird letztlich eingestellt. Bei Grundstoffen sind es Gesetze, die die Verwendung aus ökologischen Gründen einschränken oder untersagen. Software erreicht den Punkt, an dem sie mit neuer Hardware nicht mehr kompatibel ist oder die Anforderungen an Funktion beziehungsweise Kompatibilität nicht mehr erfüllt.

Obsoleszenz ist die Nichtverfügbarkeit von Material, Komponenten, Produkten, Prozessen und Wissen und betrifft im Maschinenbau besonders Elektronik, Mechanik und Software. Durch ein gezieltes Obsoleszenz-Management (OM) können Folgen der Nichtverfügbarkeit minimiert oder vermieden werden. Obsoleszenz Management ist nicht neu: in Wehrtechnik, Schienenverkehr, Luftfahrt und Kraftwerkstechnik ist es ein Muss und damit auch genormt (DIN EN 62402). Die Elektronikindustrie kennt dies durch die regelmäßige Abkündigung elektronischer Bauteile, vor allem Halbleiterchips, durch die Hersteller.

Durch zunehmenden globalen Einkauf von Komponenten und Baugruppen und den hohen Preisdruck auf die Zulieferer wird es immer schwieriger, eine langjährige Verfügbarkeit von Ersatzteilen sicherzustellen und diese Verfügbarkeit auch bezahlt zu bekommen. Etablierte Zulieferfirmen werden aufgekauft oder fusionieren mit der Folge, dass neue Eigentümer – oft im Ausland – die Ersatzteilverfügbarkeit nicht mehr für relevant halten. Ein vertraglicher Anspruch mag vorhanden sein, aber dieser muss erst einmal durchgesetzt werden. Werden Firmen geschlossen, dann sind in der Regel auch deren Ersatzteile nicht mehr erhältlich. Das Thema ist also wichtig zum einen für Lieferanten von Anlagen als auch für Betriebe, die darauf angewiesen sind, dass Anlagen und Maschinen laufen. Besonders kritisch sind Kombieffekte; beispielsweise ist eine Baugruppe als Ersatzteile noch verfügbar, der notwendige Konfigurations-PC aber nicht. Man denke nur an Diskettenlaufwerke, serielle und parallele Schnittstellen, die vor Jahren noch Standard waren und nun völlig obsolet sind, von bestimmten Laufwerkstypen wie ZIP ganz zu schweigen (DKE, o.J.).

Der Hauptnutzen des Obsoleszenz-Management ist die Vermeidung von operativen Ausfall bei unplanmäßiger Instandsetzung durch Mangel an Ersatzteilen. Kommt es zum Ausfall, ist keine Zeit dafür da, lange nach Ersatzmöglichkeiten zu suchen oder etwas Neues zu entwickeln. Sind Zulassungen erforderlich, muss auch die erforderliche Prüfungszeit eingeplant werden. Kommen dann noch Abhängigkeiten wie Schnittstellen und Software dazu, ist der Schaden maximal.

Somit gilt es, den Obsoleszenz Risiken durch ein professionelles und proaktives Vorgehen vorzubeugen. Denn nur auf das, was man weiß, kann man adäquat reagieren. Besonders wichtig ist der Einfluss des Obsoleszenz-Management auf die mittel- und langfristige Finanz- und Investitionsplanung. Das Obsoleszenz Management liefert die Zahlen, wann welche Anlagen abzulösen sind oder mit welchen Maßnahmen und Kosten weiter betrieben werden können.

Ziel des OM ist der Übergang des bisherigen reaktiven Verhaltens zum proaktiven und geplanten Vorgehen. Das führt zur frühzeitigen Entscheidung, wie man mit den Obsoleszenz Risiken umgeht und welche Maßnahmen nötig sind.

Entscheidet man sich für eine Verlängerung der Nutzungsdauer, so kann es ggf. sinnvoll sein, Ersatzteile von anderen Firmen oder sogar Gebrauchtteile aufzukaufen – bevor es andere tun. Andernfalls kann man rechtzeitig die Investitionen für den Austausch oder Teilnachbau (Neu-Invest, Re-Invest) einplanen. Vielfach besteht auch die Möglichkeit, Ersatzteile nachbauen zu lassen (GMP - German Machine Parts, o.J.).

Die Instandhaltung in einem Betrieb kümmert sich darum, dass die Anlagen laufen und betriebsbereit sind. Dazu gehören selbstverständlich die Beschaffung der Ersatzteile und auch die Planung der Wartungsintervalle. Stellt man bei der Bestellung von Ersatzteilen fest, dass es diese nicht mehr gibt, ist es zu spät. Genau da liegt der Unterschied: Obsoleszenz Management ist ein Managementprozess und in der Unternehmensführung verankert. Entscheidend ist das Wissen darüber, ab wann keine Ersatzteile mehr verfügbar sind. Es geht um die langfristige Planung und Risikominimierung, die Verfügbarkeit und die anzuwendenden Gegenmaßnahmen, unabhängig von der aktuellen Betriebssituation. Die typischen Herausforderungen bei der Einführung sind:

- Ein Regelprozess existiert noch nicht und muss geschaffen werden
- Informationen über kritische Teile und kritische Abhängigkeiten sind nicht oder nicht strukturiert verfügbar
- Die Instandsetzung arbeitet in erster Linie operativ und nicht strategisch
- Informationen über die Verfügbarkeit von Ersatzteilen fehlen; das stellt sich in der Regel erst bei der Beschaffung heraus.
- Die vorhandenen IT-Systeme sind dafür nicht ausgelegt

Wie bei vielen Vorsorgemaßnahmen entstehen durch das Obsoleszenz-Management Kosten. Die Kosten hierfür und seine Maßnahmen sind insgesamt jedoch viel geringer als der Ausfall und seine Folgen. Insofern ist OM ökonomisch gerechtfertigt und gehört zur guten Unternehmensführung (ebd.).

Lebensdauer von Konsumprodukten

Ein Weg, die Emissionen aus der Herstellung von Produkten zu verringern, ist die Verlängerung der Nutzungsdauer. Mechatroniker*innen selbst oder in Zusammenarbeit

mit anderen Berufsbildern können hier sehr viel Einfluss nehmen. Diese ist jedoch sehr unterschiedlich je nach Produkttyp wie die folgenden drei Beispiele für Konsumprodukte zeigen:

- **Hochwertige Haushaltsgeräte:** Die Lebensdauer von Haushaltsgeräten ist unterschiedlich. Man kann nicht erwarten, dass ein Produkt für 200 Euro die gleiche Qualität hat wie ein Produkt von 1.000 Euro. Die Abschreibungsdauer von gewerblich genutzten Haushaltsgeräten liegt zwischen 7 und 10 Jahren (ebd.). Auch wenn insbesondere Spül- und Waschmaschinen eine komplexe Elektronik, bewegliche Teile und Dichtungen haben, werden sie zumeist so lange genutzt, wie sie störungsfrei funktionieren, da ein Austausch nicht zu einem viel besseren Produkt führt. Ausnahmen sind die Energieeffizienz und die Wassersparsamkeit, die sich bei Modellen, die viel älter sind als 10 Jahre, erheblich unterscheiden.
- **Informationselektronik mit mechanischen Komponenten wie z.B. Laufwerken:** Die Nutzungsdauer von Geräten der Informationselektronik ist deutlich kürzer. Der Grund hierfür ist die schnelle Entwicklung der IT, deren Leistung sich alle zwei oder drei Jahre verdoppelt. Das Öko-Institut nimmt eine durchschnittliche Lebensdauer von 5 Jahren aufgrund einer breiten Befragung an (ebd. 2020), die Abschreibungsdauer wurde vom BMF auf 3 Jahre festgelegt (BMF o.J.). Smartphones unterliegen noch weitaus schnelleren Produktzyklen, nahezu jeder Hersteller bietet einmal im Jahr eine neue Auflage an, mit dem Versprechen, ein noch besseres und noch schnelleres Produkt hergestellt zu haben. Das Öko-Institut geht von einer Lebensdauer von 2,5 Jahren aus, die Abschreibungsdauer des BMF liegt bei 5 Jahren (ebd.). Für Fernsehgeräte nimmt das Öko-Institut eine Lebensdauer von 6 Jahren an, das BMF hat die Abschreibungsdauer auf 7 Jahre angesetzt (ebd.).

Jedes der oben genannten Produkte hat einen unterschiedlichen ökologischen Rucksack. Hierunter versteht man die Umweltwirkungen, die mit der Herstellung und der Nutzung des Produktes verbunden sind. Der Rucksack kann sich auf die Nutzung von Wasser (z.B. Lebensmittel), Fläche (bei Produkten aus nachwachsenden Ressourcen wie z.B. Lebensmittel, Bekleidung, Mobiliar aus Holz) oder Treibhausgasen (alle Produkte) beziehen. Zumeist wird der letztere zum Vergleich herangezogen. Für die Größe des Rucksacks sind folgende Aspekte von Bedeutung:

- **Ressourcennutzung in der Nutzungsphase (Großgeräte):** Haushaltsgeräte benötigen Strom um zu funktionieren oder Wasser (Spül- oder Waschmaschinen). Der THG-Wert von Wasser ist zwar sehr gering (es werden nur Pumpen und Filter benötigt), weshalb der Strom zur Nutzung im Verhältnis zu den Emissionen aus den Herstellungsprozessen gesehen werden muss. Das Umweltbundesamt hat ermittelt, dass etwa 80% der gesamten Umweltbelastung einer Waschmaschine während des Gebrauchs entstehen (UBA 2016). Die Emissionen aus der

Herstellung der Materialien (sehr viel Metall), die Produktion, der Transport und die Entsorgung fallen nicht ins Gewicht. Auch wenn es kaum Ökobilanzen zu Industrieanlagen (von Prozessen der Stahlherstellung oder der Zementindustrie abgesehen) gibt, so ist dies ein deutlicher Hinweis, dass es bei produzierenden Anlagen vor allem auf die Energie zum Betrieb der Anlagen ankommt.

- Ressourcennutzung in der Nutzungsphase (IT-Geräte): Bei den IT-Geräten ist die Sachlage jedoch anders. Sie zeichnen sich inzwischen durch einen sehr geringen Stromverbrauch bei hoher Leistung aus. Für den CO₂-Rechner des Umweltbundesamtes hat das Öko-Institut ein THG-Potential von 100 kg CO₂-Äq für ein Smartphone abgeschätzt (Öko-Institut 2020:13). Unter der Annahme einer Leistungsaufnahme von 31 Watt pro Tag und einer Nutzungsdauer von 2,5 Jahren verbraucht ein Smartphone nur ca. 30 kWh. bei einem Strommix von 0,4 kg CO₂-Äq/kWh führt dies zu Emissionen deutlich unter 12 kg CO₂-Äq - ein Achtel der Emissionen der Herstellung. Die Herstellung eines Laptops ist mit etwas mehr als 300 kg CO₂-Äq emissionsintensiver. Das Öko-Institut schätzt eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 2 Stunden (keine gewerbliche Nutzung), 13 Watt Leistungsaufnahme und 5 Jahre Lebensdauer. Dies führt zu einem Stromverbrauch von 50 kWh und zu THG-Emissionen von 20 kg CO₂-Äq.

Nachhaltigkeits- und Gütesiegel

Im Ausbildungsbetrieb kann auf unterschiedlichen Ebenen angesetzt werden, um die negativen ökologischen Auswirkungen der industriellen Produktion zu reduzieren. Hierzu zählen die Konstruktion und Produktion von Erzeugnissen mit langer Lebensdauer und Dekonstruierbarkeit, die Nutzung alternativer Energiequellen wie auch der Einsatz nachwachsender Rohstoffe.

Als Orientierung für nachhaltige Industrie können Gütezeichen und Siegel dienen. Maßnahmen zur Verbesserung der Verbraucherinformationen (z.B. ökologische Vorteile von langlebigen Produkten) und Erhöhung der Informationspflichten der Hersteller (z.B. eindeutige Deklaration von Verschleißteilen) sind weitere wichtige Instrumente, um die Kaufentscheidung zu Gunsten von langlebigen Produkten zu beeinflussen (BMUV 2016).

Nachfolgend sind einige relevante Siegel und Normen aufgeführt:

- VDA COSAX: Dies steht für Corporate Sustainability Assessment Exchange, ist der Name des geplanten standardisierten Prüf- und Austauschmechanismus zur Evaluierung von Nachhaltigkeitsanforderungen und Gesellschaftsverantwortung in der automobilen Lieferkette. Vorbild ist das TISAX®-Verfahren, der von der Automobilindustrie definierte Standard für Informationssicherheit. Ethische, soziale und ökologische Aspekte sollen bei COSAX gleichberechtigt nebeneinander stehen - dazu zählen die Bereiche Unternehmensethik,

Umweltstandards, Arbeitsbedingungen und Menschenrechte, Löhne und Sozialleistungen sowie Arbeits- und Gesundheitsschutz.

- SMETA, das Audit für Nachhaltigkeit in der Lieferkette nach SEDEX: "SEDEX ist die Abkürzung für Supplier Ethical Data Exchange". Das Audit dient dazu, die Arbeitsbedingungen und die Umweltleistungen in einem Unternehmen zu verbessern. Zudem wird die Lieferkette untersucht und es werden Möglichkeiten zur Verbesserung aufgezeigt (Sedex o.J.).
- Die DIN ISO 26000 „Leitfaden zur gesellschaftlichen Verantwortung von Organisationen“: Der Leitfaden ist eine Einführung für alle Arten von Organisation, um die Institutionen mit der Struktur DIN ISO 26000 vertraut zu machen. Hierbei geht es um eine gesellschaftliche Verantwortung, die Unternehmen übernehmen müssen (BMUV o.J.).
- ISO 14001 (Quentic o.J.): Die weltweit angewendete und akzeptierte ISO 14001 legt als Standard die Anforderungen an ein UMS fest. Sie wurde 1996 von der internationalen Organisation für Normen veröffentlicht und ist Teil einer Normenfamilie, die zahlreiche weitere Normen zu verschiedenen Bereichen des Umweltmanagements beinhaltet. Hierzu zählt u.a. das Energiemanagementsystem nach ISO 50001.
- Ein Energiemanagementsystem nach ISO 50001 kann unabhängig von der Größe oder Branche in allen Unternehmen eingeführt werden (Quentic o.J.). Damit soll die energiebezogene Leistung kontinuierlich verbessert werden. Mit der Einführung eines Energiemanagementsystems im Unternehmen werden alle energierelevanten Abläufe und Vorgänge analysiert und optimiert. Auf diese Weise führen Sie eine Systematik ein, um die Energieströme transparenter zu machen. Darauf basierend können nun konstant Energieeinsparpotenziale ermittelt werden und diese – wenn möglich bzw. betriebswirtschaftlich sinnvoll – umgesetzt werden.
- Blauer Engel (ebd. o.J.): Der Blaue Engel hat eine Vielzahl von Produkten zertifiziert. Ein Beispiel sind biologisch abbaubare Schmierstoffe und Hydraulikflüssigkeiten (DE-UZ 178). Das Umweltzeichen für biologisch abbaubare Schmierstoffe und Hydraulikflüssigkeiten gibt dem Anwender die Möglichkeit, diejenigen Produkte auszuwählen, die z. B. überwiegend aus nachwachsenden Rohstoffen (pflanzliche oder tierische Öle) bestehen und die sich insbesondere durch eine gute biologische Abbaubarkeit auszeichnen.
- Umweltsiegel der europäischen Union EMAS I, II, III und IV Eco-Management and Audit Scheme, kurz EMAS, ist ein internationales und anspruchsvolles System für nachhaltiges Umweltmanagement. EMAS wird als Gütesiegel der Europäischen Union geführt und ist auch bekannt als EU-Öko-Audit oder Öko-Audit (EMAS o.J.).

- ISO 14025 - DIN EN ISO 14025 (häufig kurz: ISO 14025, vgl. ISO o.J.)
„Umweltkennzeichnungen und Deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren“ ist die Basis für Umweltkennzeichnungen nach Typ III. Die ISO 14025 regelt unter anderem, wie Typ III-Umweltdeklarationen und Typ III-Umweltdeklaration Programme erstellt werden und legt für deren Erstellung insbesondere die Anwendung der DIN EN ISO 14040-Normenreihe fest. So sollen Vergleiche zwischen Produkten gleicher Funktion – auf Grundlage quantifizierter Umweltinformationen aus dem Lebensweg eines Produktes ermöglicht werden.
- Safety and Health Excellence Recognitions: Im Rahmen seines Engagements für höchste Sicherheits- und Gesundheitsstandards zeichnet worldsteel jedes Jahr im Oktober einige seiner Mitgliedsunternehmen aus, die nachweislich die Sicherheit und den Gesundheitsschutz für alle in der Stahlindustrie Beschäftigten verbessert haben (worldsteel o.J.). Die ausgezeichneten Unternehmen fallen in vier Kategorien: Sicherheitskultur und -führung, Arbeitssicherheitsmanagement, Gesundheitsmanagement am Arbeitsplatz und Prozesssicherheit Management.

Zur Recherche nach Siegeln für Konsument*innen empfiehlt sich die Webseite „Siegelklarheit“, eine Initiative der deutschen Bundesregierung, die eine Orientierung zu einer Vielzahl von Gütezeichen gibt (Siegelklarheit o.J.). Auf der Webseite kann nach Gütesiegeln für Computer-Hardware und für Mobiltelefone gesucht und recherchiert werden, welche Phasen des Produktlebensweges vom Siegel abgedeckt werden, wobei Rohstoffproduktion, Herstellung, Transportwege, Nutzungsphase und End-of-Life unterschieden werden.

Die Herausforderungen für Industriekaufleute liegen also vor allem darin, für ihr einen nachhaltigen Einkauf zu organisieren, bei der Beschaffung sich auf nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien orientieren, bei der Weiterbildung des Personals neben Fachkenntnissen auch Kenntnisse und Fähigkeiten zur nachhaltigen Entwicklung zu vermitteln sowie das Verhalten von Endnutzer*innen und die organisatorischen Abläufe im Betrieb kennen.

Rohstoffe, Kritikalität und Nachhaltigkeitsrisiken

Während auf der Welt der Gesamtmaterialverbrauch steigt, laut UNEP auf 95 Gigatonnen im Jahr 2019 (UNEP 2021), sank die inländische Materialverwendung in Deutschland 2018 auf 1.3 Gigatonnen, was nach zwischenzeitlicher Steigerung nur leicht über dem Verbrauch von 2010 lag (UBA). Im selben Zeitraum stieg das BIP kontinuierlich an. Das Verhältnis dieser beiden Werte gibt Auskunft über die Effizienz der Wirtschaftsleistung, die höher liegt bei geringerem Materialeinsatz, was wiederum auf einen geringeren Ressourcenverbrauch schließen lässt.

Die globalen Materialströme stehen in vielfacher Hinsicht in Wechselwirkung mit nachhaltiger Entwicklung, mit ökologischen, sozial-kulturellen und wirtschaftlichen Faktoren. Vertiefende Informationen dazu finden sich in einer Zusammenstellung der UNEP, United Nations Environment Programme, 2021: The use of natural resources in economy (UNEP 2021). Darauf näher einzugehen, würde hier den Rahmen sprengen.

Bei zahlreichen Metallen und Industriemineralien ist Deutschland stark oder vollständig von Importen abhängig (Tagesschau 20.10.22) Dies wird von Industrie und Politik besonders für den Bereich der sogenannten Zukunftstechnologien, zu denen auch die Komponenten der Digitalisierung zählen als kritisch betrachtet (ebd.). Zur Entwicklung der Rohstoff-Resilienz bestehen Bestrebungen und Aktivitäten, in Europa Vorkommen wirtschaftlich zu erschließen (Hoppenhaus 2022).

Für den Bereich der “Kritischen Rohstoffe” existiert seit 2020 auf EU-Ebene ein [Aktionsplan zu kritischen Rohstoffen](#) (EU-Kommission 2020), für die darin enthaltene [Liste kritischer Rohstoffe 2020](#) wurden 83 Materialien dahingehend untersucht, an welcher Stelle der Wertschöpfungskette Kritikalität sichtbar wird: bei der Förderung und/oder Verarbeitung. Die wirtschaftliche Bedeutung und die Versorgungssicherheit in der EU 27 sind hierfür die wichtigsten Parameter (ebd.). In einer [Zukunftsstudie](#) über kritische Rohstoffe für strategische Technologien und Sektoren für die Zeiträume bis 2030 und bis 2050 werden Bezüge zwischen wichtigen technischen Produkten und deren Rohstoffbedarfen veranschaulicht (EU-Kommission 2020b). Der Aktionsplan befasst sich mit den derzeitigen und künftigen Herausforderungen. Es werden darin Maßnahmen vorgeschlagen, um die Abhängigkeit Europas von Drittländern zu verringern, die primären und sekundären Versorgungsquellen zu diversifizieren sowie die Ressourceneffizienz zu steigern und die Kreislaufwirtschaft zu stärken. Zudem soll eine verantwortungsvolle Rohstoffbeschaffung weltweit gefördert werden. Die Maßnahmen werden uns beim Übergang zu einer grünen und digitalen Wirtschaft helfen. Zugleich werden sie Europas Widerstandsfähigkeit und die offene strategische Autonomie bei den Schlüsseltechnologien erhöhen, die für einen solchen Wandel notwendig sind. (Europäische Kommission 2020)

Der (weltweite) Maschinenbausektor setzt nennenswerte Mengen an Rohstoffen ein, deren Gewinnung mit hohen Potentialen der Umweltgefährdung und weiteren Nachhaltigkeitsrisiken behaftet ist. Bei einigen der Rohstoffe sind die Gesamtmengen für den Maschinenbau größer als die Gesamtmengen des Automobilsektors, wie dies beispielsweise bei Zink, Tantal, Neodym und Kobalt der Fall ist. Die Gewinnung der Rohstoffe weist erhebliche Risiken von Umweltverschmutzungen und Verletzungen von Menschenrechten auf und trägt im schlimmsten Fall zur Finanzierung von bewaffneten Konflikten bei.

Die Analyse zum Einsatz von ausgewählten Rohstoffen mit hohen Umwelt- und Nachhaltigkeitsrisiken zeigt, dass der weltweite Maschinenbausektor ein großer Nachfrager dieser Rohstoffe ist. Sowohl beim industriellen Einsatz von Zink als auch von Tantal macht der globale Maschinenbausektor jeweils etwa ein Viertel aus. Der Anteil des deutschen Maschinenbaus beträgt dabei jeweils ca. 2 % (UBA 2021 c). Bei anderen untersuchten Rohstoffen ergeben sich ähnliche Anteile. Oft werden Wasser und Böden beim Abbau mit Schwermetallen und anderen gefährlichen Substanzen im Bergbau und bei der Verhüttung schwer verunreinigt. Damit einher gehen potenzielle Verletzungen von Menschenrechten, zum Beispiel durch verunreinigtes Trinkwasser oder durch Landraub (UBA 2021a).

Ein erster Schritt ist die Bestandsaufnahme über Materialien und Rohstoffen, die in den verbauten Komponenten der produzierten Maschinen enthalten sind.

- Welche Materialien sind zu welchen Mengen enthalten?
- Gibt es Informationen darüber, wo diese herkommen?

Studien und Leitfäden helfen bei der Prüfung, welche Rohstoffe besonders hohe Umwelt- und Nachhaltigkeitsrisiken in der Förderung besitzen. Beispiele dafür sind Dehoust, G. et al. (2020), Chapman et al (2013), die Leitfäden des International Council on Mining and Metals (ICMM), die Leitfäden der Weltbank (www.ifc.org/ehsguidelines) (EZB, 2020).

In einem nächsten Schritt gilt es, geeignete Maßnahmen zu definieren, um diese Risiken zu verringern. Grundsätzlich lassen sich die Maßnahmen strukturieren:

- Reduktion des Materialeinsatzes zum Beispiel durch verändertes Produktdesign
- Steigerung des Recycling-Anteils der eingesetzten Materialien. Dazu gehört nicht nur der Einsatz von Recyclingmaterialien, sondern auch die Sicherstellung, dass die Materialien von ausgedienten Maschinen und Anlagen dem Recycling zurückgeführt werden (können) und so der Anteil sekundärer Rohstoffe auf dem Rohstoffmarkt erhöht wird (UBA 2021 c).
- Zusammenarbeit mit (Rohstoff-)Lieferanten zur Sicherstellung einer nachhaltigen Förderung der betreffenden Rohstoffe. Dies reicht vom direkten Bezug von Rohstoffen über gemeinsame Projekte mit Lieferanten bzw. Vorlieferanten bis hin zu regelmäßigen Schulungen und Prüfungen. Ein wichtiges Element hierbei können auch Abnahmegarantien bei Lieferanten sein, wenn diese Nachhaltigkeitsstandards implementieren (Dehoust et al. 2020, S. 35f.).
- Bezug von zertifizierten Rohstoffen, zum Beispiel zertifizierter Kautschuk (Hausman 2019, S. 40-45).

- Mitwirkung in Brancheninitiativen, die die nachhaltige Gewinnung von Rohstoffen adressieren, wie zum Beispiel die Aluminium Stewardship Initiative.
- Weiterhin gilt es Branchenlösungen anzustreben, wie zum Beispiel gezielte Partnerschaften mit Förderländern sowie Partnerschaften mit dem Bergbausektor (Dehoust et al. 2020, S. 36f.).

Eine besondere Herausforderung für die Nachhaltigkeit und das SDG ist das mangelhafte Recycling wichtiger, endlicher Metalle. Dies wird an ausgewählten Beispielen gezeigt.

Zink

Schon im Altertum wurde Zink mit Kupfer zu Messing legiert. Es steht an der 24. Stelle der Elemente in der Erdkruste und zählt somit zu den häufig vorhandenen Metallen. Die weltweite Jahresproduktion beträgt mehr als 10 Mio. t pro Jahr (statista 2023). Die größten Produzenten sind China (4,2 Mio. t), Peru (1,4 Mio. t) und Australien (1,3 Mio. t) (vgl. ISE - Zink, o.J). Zink wird durch das Rösten von Zinksulfiden gewonnen, wobei sehr große Mengen an Schwefeldioxid entstehen, die jedoch zu Schwefelsäure oder Gips verarbeitet werden können. Die wichtigsten Anwendungen sind Messing als Konstruktionsmetall, als Baumaterial (Zinkbleche), Zinkdruckguss-Bauteile, die Verzinkung als Korrosionsschutz sowie die Batterietechnik (ebd.).

Kategorie	Daten
Einsatz im deutschen Maschinenbau	Zink wird hauptsächlich zum Korrosionsschutz von Stahl- und Eisenteilen eingesetzt („verzinkte Stahlbleche“) sowie in Batterien.
Anteil Maschinenbau	Weltweit werden 24 % des industriell eingesetzten Zinks vom Maschinenbau verwendet. Auf den deutschen Maschinenbau entfallen wiederum etwa 10 %. Er verwendet folglich etwa 2,4% des weltweiten Zinks. Zum Vergleich: der Automobilbau verwendet etwa 16 % des weltweiten Zinks.
Herkunft	Der vom deutschen Maschinenbau eingesetzte Zink (Primärrohstoff) stammt zu 38 % aus China. Weitere wichtige Herkunftsländer sind Peru (11 %), Australien (7 %), die USA und Indien (jeweils 6 %). Ein Großteil der Zinkminen befinden sich demnach in Ländern mit schwacher Umweltschutz-Governance

Nachhaltigkeitsaspekte bei der Rohstoffgewinnung	Hohes aggregiertes Umweltgefährdungspotential (aggregated Environmental Hazard Potential aEHP), insbesondere durch die Gefahr saurer Grubenwässer (Acid mine Drainage) und in Folge die Freisetzung von geogenen Schwermetallen, Einsatz von toxischen Chemikalien bei der Erzaufbereitung, Energieaufwand der globalen Zinkproduktion ist vergleichsweise hoch Die End-of-Life-Recyclingrate von Zink liegt global bei 45 %, in Europa bei mehr als 60 %.
--	---

(vgl. ISE - Zink, o.J)

Recycling von Zink

Zink- und zinkhaltige Produkte lassen sich nach ihrer Nutzungszeit zu fast 100 % ohne Qualitätsverlust recyceln und wiederverwenden. Das recycelte Zink (Sekundärzink) hat dieselben hochwertigen Eigenschaften wie aus Zinkerzen gewonnenes Primärzink (GBG, 2021). Ausgangsmaterial zur Rückgewinnung von Zink sind vor allem Zinkbleche sowie Teile aus verzinktem Stahl, Messing und Zinkdruckguss. (zink.de, o.J.).

Das Recyceln von Zink ist in der Regel energetisch günstiger und klimaschonender als die Gewinnung aus Erzen: Zur Erzeugung einer bestimmten Menge Sekundärzink sind nur etwa 5 % der Energie nötig, die für dieselbe Menge Primärzink aufgebracht werden muss (GBG, 2021). Das Recyceln von Zink ist somit wirtschaftlich sinnvoll und trägt auf ideale Weise zur Schonung der Ressourcen und zur Kreislaufwirtschaft bei.

Die eingesetzten Recyclingverfahren sind so vielfältig wie die Herkunft der Sekundärrohstoffe.

Stahlschrott mit anhaftender Verzinkungsschicht wird in der Stahlindustrie eingeschmolzen. Bei den dazu erforderlichen hohen Temperaturen verdampft das Zink und wird im Stahlwerksstaub abgeschieden. Durch den pyrometallurgischen Wälzprozess wird der Zinkgehalt von 20 bis 30 % des Stahlwerksstaubs in einem sogenannten Wälzoxid auf über 60 % angereichert und so als Sekundärrohstoff in die Zinkindustrie zurückgeführt. Die weitere Verarbeitung zur Zinkgewinnung erfolgt dann in der hydrometallurgischen Primärzinkgewinnung (zink.de, o.J.).

Messingschrotte werden direkt in der Messingindustrie recycelt. Metallische Zinkschrotte werden sortiert, geschreddert und zu Zinklegierungen verarbeitet. (ebd.)

Zinkblech an Dach und Fassade hält bis zu hundert Jahre und länger. Wird ein Gebäude nach der Nutzungsphase abgerissen oder umgebaut, ist das Zink wieder ein wertvoller Rohstoff für die Zinkgewinnung (ebd.).

Grundsätzlich wird zwischen Neu- und Altschrotten in der Zinkindustrie unterschieden. Neuschrotte wie Angüsse aus dem Zinkdruckgussbereich oder Verschnitt der Zinkblechherstellung werden vielfach wieder der Wertschöpfungskette im Produktionsunternehmen zugeführt, Altschrotte werden auf Deponien gezielt gesammelt und der Zinkproduktion erneut zugeführt. Alt- und Neuschrotte können immer wieder ein- bzw. umgeschmolzen werden – ein nachhaltiger Materialkreislauf (GBG, 2021).

Tantal

Coltan – Columbit-Tantalit – ist das bekannteste Tantalerz und eine Vergesellschaftung von Niob und Tantal. Im Jahr 2022 wurden weltweit 2.000 Tonnen Tantal aus Minen oder Zinnschlacken gewonnen. Die größte Menge davon ist Coltan mit 860 Tonnen in der DRK Demokratischen Republik Kongo (USGS 2023). Eine bergbauliche Besonderheit liegt beim Hauptproduzenten in der DRK vor. Hier liegen Kobalterz und Coltan oberirdisch in einem sehr weichen Gestein vor. Es wird sowohl von global tätigen Minenkonzernen, von lokalen Genossenschaften oder durch Zwangsarbeit von Milizen abgebaut (kleiner handwerklicher Bergbau, vgl. Save the Children 2022). Der sogenannte artesiale Kleinbergbau (ASM) ist die Einkommensgrundlage für mehr als 200.000 Menschen in der Region. Er ist jedoch zumeist illegal und nicht reguliert (analog dem Goldrausch in Alaska). Dieser Bergbau ist aufgrund der schlechten wirtschaftlichen Bedingungen vor Ort auch mit Kinderarbeit verbunden. Die Tantalerze und die werden mit mechanischen und magnetischen Verfahren aufbereitet. (BGR 2021).

Tantal zählt zu den Übergangsmetallen und bietet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten besonders im Bereich der Elektronik für Kondensatoren (37% des Tantalverbrauchs, BGR 2021). Hierbei stehen besonders die Mikrocondensatoren im Vordergrund, z.B. für Hörgeräte oder Smartphones, also immer dort, wo nur wenig Platz für Bauteile ist. Weiterhin wird es aufgrund seiner chemischen Trägheit als Verkleidungsmaterial für chemische Prozesse genutzt (oder zur Auskleidung von Wasserreservoirs) sowie für Pumpen oder Wärmetauscher für aggressive Flüssigkeiten(ISE – Tantal o.J.). Eine weitere Verwendung sind Superlegierungen z.B. für Turbinen und Flugzeugtriebwerke. Die Verwendung von Tantal ist allerdings mit Blick auf die Arbeitsbedingungen, die politisch problematischen Umstände bei der Förderung und die zugleich sehr geringe Recyclingquote kritisch zu sehen.

Kategorie	Daten
-----------	-------

Einsatz im deutschen Maschinenbau	wird in Kondensatoren und anderen elektronischen Komponenten eingesetzt sowie für Legierungen von Maschinenbauteilen, z.B. Schneidwerkzeuge
Anteil Maschinenbau	23 % des weltweiten Maschinenbausektors am Einsatz von Tantal- bzw. Tantal-Vorprodukten beteiligt. Zum Vergleich: Der Anteil des Automobilsektors weltweit beträgt 8 %. Der deutsche Maschinenbau verwendet etwa 2 % des Rohstoffes Tantal.
Herkunft	Etwa 70 % des vom deutschen Maschinenbau verwendeten Tantals (Primärrohstoff) stammt aus dem Kongo und aus Ruanda – Ländern mit schwacher Umweltschutz Governance.
Nachhaltigkeitsaspekte bei der Rohstoffgewinnung	<ul style="list-style-type: none"> · Gewinnung im Kleinbergbau, oftmals verbunden mit mangelnder Kontrolle und unzureichenden Sicherheits- und Umweltstandards und ausbeuterischen Arbeitsbedingungen, · in Zentralafrika zusätzlich verbunden mit der Finanzierung von lokalen Konflikten. Der Recyclinganteil (End-of-Life-Recycling) liegt unter 1 %.

(ISE - Tantal o.J.)

Recycling von Tantal aus Elektroschrott

Durch das bifa Umweltinstitut wurden Rahmen der KMU-Innovationsoffensive Ressourcen- und Energieeffizienz (IRETA, 2017) die folgenden Recyclingwege untersucht und bewertet:

- Chemischer Transport
- Elektrochemische Abscheidung
- Hydrometallurgisches Lösen bzw. Leaching

Die drei Recyclingstrategien haben gemeinsam, dass Leiterplatten mit Tantal-Kondensatoren im ersten Verfahrensschritt erkannt und entstückt, sowie die so gewonnenen Tantal-Kondensatoren im zweiten Verfahrensschritt mechanisch aufbereitet werden (bifa Umweltinstitut, o.J.).

Die drei Szenarien unterscheiden sich in der Weiterverarbeitung der aufbereiteten Tantal-Fraktion bis hin zur Gewinnung eines Tantal-Konzentrats. Durch das Recycling von Tantal werden all die Emissionen vermieden, die bei der konventionellen Herstellung von Tantal aus Primärrohstoffen entstehen würden. In allen Umweltwirkungen der Ökobilanz zeigt sich, dass alle untersuchten Recyclingwege aufgrund dieser Umwelt-Gutschriften mit einer Entlastung der Umwelt verbunden sind. Aus Sicht der Ökobilanz schneidet dabei die elektrochemische Abscheidung insgesamt besser ab als die beiden anderen Alternativen, wenn auch nur mit geringen ökologischen Vorteilen gegenüber dem hydrometallurgischen Lösen (ebd.).

Lithium

Lithium wird vor allem in Australien (46% Weltmarktanteil, 55.000 t), Chile (24%, 26.000 t) und China (16%, 14.000 t) gewonnen. In Australien wird es im Bergbau (Hartgestein), in Chile aus Sole, in Bolivien aus Salzseen gewonnen. Perspektivisch können Argentinien, Simbabwe und Bolivien aufgrund ihrer Vorkommen und Reserven wichtige Förderländer werden (IG 2022).

In Chile und Argentinien wird unterirdisches Salzwasser (Salare) an die Oberfläche gepumpt und das Wasser in großen flachen Becken auf den Salzseen durch Sonneneinstrahlung verdampft (VW o.J.). Zur Aufbereitung wird kein Trinkwasser genutzt, allerdings führt das Abpumpen dazu, dass Grundwasser in die Salare nachströmt – konsequenterweise sinkt der Grundwasserspiegel und führt an der Oberfläche zu Trockenheit mit Schäden für die Vegetation und die Landwirtschaft. Das Lithium wird mit Natriumcarbonat aus der Salzlösung gefällt (ISE o.J.).

In Australien wird Lithium z.B. im Bergbau aus Hartgestein in Greenbushes gewonnen (Ein Drittel des Weltbedarfes, DLF 2022). Im Tagebau werden die üblichen Bergwerkspraktiken wie Bohren, Sprengen, Mahlen, Flottieren und Entwässerung angewendet, um die Gangart abzutrennen. Das ca. 6%ige Nasskonzentrat wird unter Druck mit Natriumcarbonat oder Schwefelsäure ausgelaugt. Im Ergebnis erhält man Lithiumcarbonat von 98 und mehr Prozent Reinheit (Mineral Processing o.J.).

Anschließend wird in beiden Fällen das LiCO_3 mit Salzsäure in LiCl umgewandelt zu LiCl und dieses abschließend mit Schmelzflusselektrolyse reduziert zu metallischem Lithium (Mineral Processing o.J. und ISE - Lithium o.J.).

Die Elektrifizierung der Mobilität, die zunehmende Eigenstromversorgung von Haushalten mit PV und Batteriespeichern und auch große Netzspeicher zur Speicherung von Strom aus EE-Anlagen führt dazu, dass das Aufkommen an zu recycelten Batterien immer mehr steigen wird. Das ISI geht davon aus, dass europaweit in 2030 etwa 230.000

t Altbatterien anfallen werden. Bis 2040 kann die Menge auf 1.500.000 anwachsen (Szenarienbreite: 600.000 bis 2.500.000 t) (Fraunhofer ISI 2021:2).

Kategorie	Daten
Einsatz im deutschen Maschinenbau	Lithium ist im Maschinenbau ein wichtiger Bestandteil in Schmiermitteln. Einsatz in der Batterietechnik und Keramik Komponenten
Anteil Maschinenbau	Der Maschinenbau weltweit besitzt einen Anteil von 22 % am industriell eingesetzten Lithium. Etwa 2 % des weltweiten Lithiums verarbeitet der deutsche Maschinenbau. Zum Vergleich: Der globale Automobilsektor benötigt 10 % des weltweit eingesetzten Lithiums.
Herkunft	Lithium, welches als Rohstoff oder in Vorprodukten vom deutschen Maschinenbau eingesetzt wird, stammt zurzeit vorrangig aus Australien (41 %). Weitere wichtige Lieferländer in der Lieferkette des deutschen Maschinenbaus sind Chile (34 %) und Argentinien (16 %).
Nachhaltigkeitssaspekte bei der Rohstoffgewinnung	Die Lithiumgewinnung aus Salzseen gefährdet lokale Ökosysteme aufgrund des hohen Wasserverbrauchs durch die offene Verdunstung der dortigen Salzsole. Zudem besteht ein hohes Umwelt-Gefährdungspotential durch Störfälle aufgrund von extremen Naturereignissen (Erdbeben). Bislang gibt es noch kein ausreichendes Recycling, z.B. aus Batterien.

(Mineral Processing o.J. und ISE - Lithium o.J.)

Recycling von Lithium-Batterien

Die Recyclingkapazitäten liegen derzeit im niedrigen zweistelligen Kilotonnen Bereich pro Jahr. Mit einer Steigerung der Recyclingkapazitäten kann auch eine größere Unabhängigkeit von den Rohstofflieferanten erreicht werden: *“Der Beitrag des Recyclings zur Deckung der Rohstoffnachfrage der Batterieproduktion [kann sich] in Europa bis 2040 auf über 40% für Kobalt und auf über 15% für Lithium, Nickel und Kupfer belaufen. Ein effizientes Batterierecycling kann also dazu beitragen, den CO₂-Fußabdruck von Batterien insgesamt zu reduzieren und langfristig die Abhängigkeit von Rohstoffimporten zu reduzieren”* (ebd.:3).

Einer der größten Recycler von wiederaufladbaren Batterien ist Umicor. Das Unternehmen betreibt eine Recyclinganlage in Hoboken (Belgien) mit einer Kapazität von 7.000 für Lithium-Ionen-Batterien (umicor o.J.). Ursprünglich wurde die Anlage 2011 in Betrieb genommen und kleine Li-Batterien von Computern u.a. recycelt. Anschließend erfolgte ein "Upgrade" um Li-Autobatterien zu recyceln. In 2022 wurde die Anlage erneut modernisiert mit dem Ziel, höhere Ausbeuten zu erzielen. Durch einen neuen metallurgischen Prozess - Batterierecycling ist eigentlich ganz ähnlich wie die Hüttentechnologie nur dass sie von wesentlich höheren Konzentrationen des "Erzes" ausgeht - konnte die Ausbeute von Kobalt, Nickel und Kupfer auf über 95% gesteigert werden. Auch das Lithium kann nun "zum großen Teil" (keine Angabe von Zahlen) zurückgewonnen werden (ebd.).

Kobalt

Kobalt wird vor allem in der Demokratischen Republik Kongo (DRK, 60% der Weltproduktion, ca. 90-100.000 t von 2019-22), Russland (6.300 t in 2020), Australien (5.700 t, 2019), den Philippinen (4.700 t, 2019) sowie Kanada und Kuba (3.800 bzw. 3.200 t, 2019) gewonnen (elektroniknet / Arnold 2021; ISE - Cobalt o.J.).

Kobalt wird aus Kupfer-Nickel-Erz gewonnen. Aus dem Rohstein mit Kobalt, Nickel, Kupfer und Eisen wird mit Natriumcarbonat und Natriumnitrat der Schwefel entfernt und es bilden sich u.a. Arsensulfate und Arsenate, die mit Wasser ausgelaugt werden. Die zurückbleibenden Metalloxide werden mit Schwefel- oder Salzsäure behandelt, Nickel, Cobalt und Eisen gehen in Lösung. Mit Chlorkalk wird Cobalhydroxid gefällt und durch Erhitzen in Cobaltoxid umgewandelt. Mit Koks oder Aluminiumpulver wird es zu Cobalt reduziert. Die Koksreduktion führt immer zu hohen CO₂-Emissionen. Da die Aluminiumproduktion sehr energieaufwändig ist (Schmelzflusselektrolyse), hängt der CO₂-Rucksack der Cobaltgewinnung auch davon ab, ob das Aluminium mit einem hohen Anteil an erneuerbarem Strom z.B. aus Wasserkraft gewonnen wird.

Kategorie	Daten
Einsatz im deutschen Maschinenbau	Kobalt wird hauptsächlich in elektronischen Bauteilen in der Akkutechnologie verwendet. Ein weiterer Einsatz im Maschinenbau ist die Verwendung in Schneidwerkzeugen. Zudem wird es für korrosionsbeständige Legierungen bei Stahlkomponenten sowie bei Lacken und anderen Oberflächenveredelungen eingesetzt.

Anteil Maschinenbau	Der globale Maschinenbausektor bezieht etwa 20 % des Bedarfs an Kobalt aller Sektoren. Zum Vergleich: Der Anteil des Fahrzeugbausektors beträgt 7 %. Der Anteil des deutschen Maschinenbaus am eingesetzten Kobalt beträgt 2 %.
Herkunft	Das Kobalt, das sich in Gütern des deutschen Maschinenbaus findet, stammt zu 54 % aus der DR Kongo. Der Anteil anderer Lieferländer liegt im einstelligen Prozentbereich. Kobalt aus China für den deutschen Maschinenbau macht 8 % aus, Australien 5 %. Kobalt wird damit zurzeit überwiegend in Ländern mit schwacher Umweltschutz-Governance abgebaut.
Nachhaltigkeitssaspekte bei der Rohstoffgewinnung	Die Gewinnung von Kobalt weist hohe Umweltgefährdungspotentiale durch saure Grubenwässer und die Freisetzung von geogenen Schwermetallen und Radionukliden in Gewässer und Böden auf. Kobalt wird auch im Kleinbergbau gewonnen. Damit verbunden sind geringe Arbeits- und Sicherheitsstandards, ungeordnete Bergwerksschließung und Nachsorge sowie teilweise die Finanzierung von Konfliktparteien, insbesondere im Kongo.

(ISE - Cobalt o.J.)

Recycling von Kobalt

Kobalt (bzw. Kobaltverbindungen oder -legierungen) werden aus einer Reihe von Anwendungen nach der Gebrauchsphase zurückgewonnen: verbrauchte Katalysatoren, Hartmetall- und Superalloy-Schrott sowie aus Lithium-Ionen-Batterien.

Kobalt ist einer der Hauptbestandteile moderner Lithium-Ionen-Batterien, die in Elektrofahrzeugen und Smartphones weit verbreitet sind. Die Nachfrage nach Kobalt ist stark und wird voraussichtlich nur in den kommenden Jahren zunehmen.

Jährlich werden global ca. 30.000 Tonnen Kobalt in kleinen Batterien (Smartphones ca. 30g, Laptops ca. 600g usw.) für portable Anwendungen eingesetzt; nur ein kleiner Teil findet den Weg in professionelle Recyclingstrukturen (Hagelüken, Christian, 2018)

In Hoboken/Belgien verfügt Umicore z.B. über eine pyrometallurgische Anlage mit 7.000 Tonnen Jahreskapazität Batterie Material: Zwischenprodukt ist eine Cu-/Ni-/Co-reiche Legierung, die in Olen/Belgien weiterverarbeitet wird: Produkte sind Kupfer sowie

hochreine Kobalt- und Nickelsalze in Batteriequalität (Umicore, o.J.). In Deutschland hat die Fa. Accurec in 2016 in Krefeld eine Recyclinganlage für Li-Ionen-Batterien errichtet: Produkte z.Zt. u.a. „Schwarze Masse“ (Graphit mit Co, Mn, Ni etc.) sowie Al und Cu (Accurec, o.J.).

Eine neue, umweltfreundliche Methode zur Rückgewinnung von Kobalt aus gebrauchten Lithium-Ionen-Batterien haben Forscher der Universität Linnaeus entwickelt. Mit einem Lösungsmittel, gewonnen aus Urin und Essigsäure, können über 97 Prozent des Kobalts zurückgewonnen werden. Die Forscher sehen ein gutes Potenzial für eine großtechnische Anwendung (Linnaeus University, 2023).

Elektroschrott - Risiko und Ressource

Auch die Entsorgung von Geräten hat katastrophale Folgen. Elektroschrott landet auf illegalen Mülldeponien im Ausland und hat dort erhebliche soziale und Umweltauswirkungen zur Folge. In Deutschland fallen pro Kopf und Jahr ca. 22 kg Elektroschrott an. Diese Menge beinhaltet entsorgte Computer, Flachbildschirme, Waschmaschinen, Handys und vieles mehr. Im internationalen Vergleich liegt diese Menge weit über dem Durchschnitt: weltweit fallen ca. 6 kg pro Kopf und Jahr an. Nur 35-40 Prozent des Elektroschrotts in Deutschland werden recycelt, 1,03 Millionen Tonnen Elektrogeräte werden deutschlandweit jährlich nicht erfasst, landen im Restmüll oder werden illegal exportiert (AK Rohstoffe 2020).

Ein Teil des Elektroschrotts aus Deutschland wird illegal in Länder wie Ghana, Nigeria, Pakistan, Tansania oder Thailand verschifft. Seit Jahren steigt die Menge illegal in Entwicklungs- und Schwellenländer verschifften Elektroschrotts kontinuierlich an (Global Ewaste Monitor 2017). Zwar verbietet dies das Elektro- und Elektronikgerätegesetz, das u. a. auf europäische Vorgaben aus der WEEE-Richtlinie (Elektro- und Elektronikgeräte-Abfall-Richtlinie) zurückgeht. Das Verbot wird jedoch umgangen, indem die Ware als noch funktionstüchtig deklariert wird. Defekte Geräte werden häufig mit bloßen Händen und einfachsten Werkzeugen zerlegt und Metalle z. B. mithilfe brennbarer Hilfsmaterialien wie Autoreifen herausgelöst. Kinder, Frauen und Männer gefährden so ihre Gesundheit, um mit verwertbaren Rohstoffen (z. B. Kupfer aus PVC-Kabeln) ihren Lebensunterhalt zu bestreiten. Ohne ausreichende Vorkehrungen geraten dabei Schwermetalle und andere Schadstoffe in Boden und Luft (Basel Action Network 2018).

Hinzu kommt, dass wertvolle, darin enthaltene Rohstoffe nicht recycelt werden. planet wissen (ebd. 2019) zitiert Schätzungen der Vereinten Nationen, wonach weltweit jedes Jahr zwischen 20 und 50 Millionen Tonnen Elektromüll anfallen. Die Zunahme von Elektroschrott liegt vor allem darin, dass Geräte durch technische Innovationen ausgetauscht werden, obwohl sie noch funktionsfähig sind, wenn sich beispielsweise die

Leistung neuer Rechner verdoppelt, oder technische Innovationen herkömmliche Technik ablösen (Flachbildschirme versus Röhrenmonitore, Smartphones statt Handys etc.).

Große Mengen Energie verschlingt allerdings auch die Nutzung all dieser Geräte und Infrastrukturen, wie Rechenzentrum und Server Infrastruktur bis hin zu sämtlichen mobilen und stationären Endgeräten, obwohl in einigen Bereichen bereits Effizienzsteigerungen erreicht werden können. Obwohl Geräte und Technologien effizienter werden, reduziert sich der Konsum von IKT-Produkten nicht, hier zeigen sich Rebound-Effekte. Laut BMUV (BMUV 2016) entstehen diese, wenn durch Effizienzsteigerungen eine größere Nachfrage entsteht, wodurch geplante Einsparungen nicht in voller Höhe erzielt werden. Problematisch sind auch Rabatt-Aktionen und Angebote für günstige Einkäufe, insbesondere auch im Weihnachtsgeschäft. Der Cyber Monday verspricht Schnäppchen über den Online-Verkauf, während die Kosten dafür, bei der Herstellung und beim Ressourcenabbau, der globale Süden trägt.

Quellenverzeichnis

- (FPS Werkzeugmaschinen, o.J.): DECKEL- UND DMG-FRÄSMASCHINEN <https://www.fpsgermany.com/>
- Accurec (o.J.): ACCUREC-Recycling GmbH <https://accurec.de/recyclingeffizienz>
- Basel Action Network (2018): A Report of the e-Trash Transparency Project Holes in the Circular Economy: WEEE Leakage from Europe. Online: wiki.ban.org/images/f/f4/Holes_in_the_Circular_Economy-_WEEE_Leakage_from_Europe.pdf
- BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2021): Tantal. Online: https://www.geozentrum-hannover.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/tantal.pdf
- bifa Umweltinstitut (o.J.): Ökobilanz Tantal-Recycling https://www.bifa.de/news/detailseite/news/oekobilanz-tantal-recycling?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=3c1ea7a1de24ad8aa63fd0b8aa913647
- BMF (o.J.): AfA- Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter. Online: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/Ergaenzende-AfA-Tabellen/AfA-Tabelle_AV.html
- BMUB (2016b): Kurzinfo Ressourceneffizienz [online]. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) [abgerufen am: 3. Feb. 2017], verfügbar unter: www.bmub.bund.de/themen/wirtschaftprodukte-ressourcen-tourismus/ressourceneffizienz/kurzinfo/
- BMUV Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (o.J.): Die DIN ISO 26000 „Leitfaden zur gesellschaftlichen Verantwortung von Organisationen“. Online: <https://www.bmas.de/DE/Service/Publikationen/Broschueren/a395-csr-din-26000.html>
- BMWK (2022): Österreichisches Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMWK): FTI-Initiative Kreislaufwirtschaft – Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft. Online: <https://fdoc.ffg.at/s/vdb/public/node/content/8nKEL-hcRnqkwYOL8MHgXg/1.0?a=true>

- BMZ Bundesministerium für Wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit (2022): Zusammenarbeit mit Ländern in Afrika, berufliche Bildung fördern. Online: www.bmz.de/de/laender/zusammenarbeit-mit-laendern-in-afrika/berufliche-bildung-18136
- Chapman et al (2013), <https://zfin.org/ZDB-PUB-130712-16>
- Circular Futures (o.J.): - Plattform Kreislaufwirtschaft Österreich: SDGs & Kreislaufwirtschaft. Online: <https://www.circularfutures.at/themen/kreislaufwirtschaftspolitik/sdgs-and-kreislaufwirtschaft/>
- Dehoust, G. et al. (2020), <https://elib.dlr.de/105702/>
- DIN ISO 26000: Leitfaden zur gesellschaftlichen Verantwortung von Organisationen. Online: <https://www.bmas.de/DE/Service/Publicationen/a395-csr-din-26000.html>
- DKE (2021): Obsoleszenzmanagement: Kurze Produktzyklen und lange Betriebszeiten <https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/industry/obsoleszenzmanagement>
- DLF Deutschlandfunk (2022): Down Unders neuer Rohstoffboom. Online: <https://www.deutschlandfunkkultur.de/australien-wirtschaftsboom-export-lng-lithium-100.html>
- elektroniknet; Arnold, Heinz (2021): Die Top-Ten-Kobalt-Produzenten. Online: <https://www.elektroniknet.de/power/die-top-ten-kobalt-produzenten.187424.html>
- EMAS (o.J.): EMAS - Zukunft mit System. Online: <https://www.emas.de/>
- EU-Kommission (2020b): Zukunftsstudie - Kritische Rohmaterialien. Online: [Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study](https://ec.europa.eu/commission/press-corner/detail/de/ip_20_1542)
- Europäische Kommission (2020): Kommission kündigt Maßnahmen an, um Europa sicherer und nachhaltiger mit Rohstoffen zu versorgen. Online: https://ec.europa.eu/commission/press-corner/detail/de/ip_20_1542
- EZB (2020): Leitfaden zu Klima- und Umweltrisiken <https://www.bankingsupervision.europa.eu/ecb/pub/pdf/ssm.202011finalguideonclimate-relatedandenvironmentalrisks~58213f6564.de.pdf>
- Fraunhofer IPA und Dr. Wieselhuber & Partner GmbH "Geschäftsmodell-Innovation durch Industrie 4.0 Chancen und Risiken für den Maschinen- und Anlagenbau", 2015 https://www.wieselhuber.de/migrate/attachments/Geschaeftsmodell_Industrie4.0-Studie_Wieselhuber.pdf
- Fraunhofer ISI (2020): Recycling von Lithium-Ionen Batterien: Chancen und Herausforderungen für den Maschinen- und Anlagenbau. Online: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2021/VDMA_Kurzstudie_Batterierecycling.pdf
- GBG (2021): ZINK IM KREISLAUF https://www.gdb-online.org/wp-content/uploads/2021/06/GDB_Factsheet_Zink-Recycling.pdf
- Global Ewaste Monitor (2017): E-Waste.. Online: globalewaste.org
- Global Resources Outlook (2019): UN-Ressourcenrat (International Resource Panel): Online: <https://resourcepanel.org/rGlobal-E-waste-Statistics-Partnership>
(globalewaste.org)eports/global-resources-outlook
- GMP - German Machine Parts (o.J.): Obsoleszenz Management im Maschinen- und Anlagenbau https://www.german-machine-parts.com/images/PDFs/Obsoleszenz_Management_im_Maschinen-und_Anlagenbau.pdf
- Hagelüken, Christian, (2018): Recycling of Li-Ion batteries – imperative for sustainable e-mobility aabc europe, Mainz, 29.1.-1.2. 2018
- Hoppenhaus, Kerstin (2022): Kritische Rohstoffe in Europa: Der Schatz am Storeknuten, RiffReporter. Online: https://www.riffreporter.de/de/umwelt/phosphor-neues-vorkommen-norwegen-kritische-rohstoffe-versorgung-sichern-europa?utm_source=pocket-newtab-global-de-DE

- ICMM (o.J.): Leitfäden des International Council on Mining and Metals (ICMM). Online: <https://www.icmm.com/>
- IG (2022): Die 8 größten Lithiumproduzenten der Welt nach Ländern. Online: <https://www.ig.com/de/trading-strategien/die-8-groessten-lithiumproduzenten-der-welt-nach-laendern-221202>
- IPH-Hannover (o.J.): Retrofit: Modernisierung von Anlagen und Maschinen <https://www.iph-hannover.de/de/dienstleistungen/digitalisierung/retrofit/>
- IRETA (2017): Effiziente Rückgewinnung von Tantal aus Elektroaltgeräten – Forschungsprojekt gestartet
https://www.energie.fraunhofer.de/de/presse-medien/aktuelle-presseinformationen/presseinformationen-2016/PI_161213_ISC.html
- ISE Institut für Seltene Erden und Metalle (o.J.): Cobalt, Preis, Geschichte, Vorkommen, Gewinnung und Verwendung. Online: <https://institut-seltene-erden.de/seltene-erden-und-metalle/strategische-metalle-2/kobalt/>
- ISE Institut für Seltene Erden und Metalle (o.J.): Lithium, Preis, Geschichte, Vorkommen, Gewinnung und Verwendung. Online: <https://institut-seltene-erden.de/seltene-erden-und-metalle/strategische-metalle-2/lithium/>
- ISE Institut für Seltene Erden und Metalle (o.J.): Tantal. Online: <https://institut-seltene-erden.de/seltene-erden-und-metalle/strategische-metalle-2/tantal/>
- ISE Institut für selten Erden und Metalle (o.J.): Zink. Online: <https://institut-seltene-erden.de/seltene-erden-und-metalle/basismetalle/zink/>
- ISI Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (2021): Recycling von Lithium-Ionen-Batterien: Chancen und Herausforderungen für den Maschinen- und Anlagenbau. Online: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2021/VDMA_Kurzstudie_Batterierecycling.pdf
- ISO (o.J.): SO-14025:2006 Umweltzeichen und -deklarationen. Online: <https://www.iso.org/standard/38131.html>
- Karl-Martin Hentschel, Handbuch Klimaschutz, 2020, S33 ff
- KMK Kultusministerkonferenz (2016): Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung. Online: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2015/2015_06_00-Orientierungsrahmen-Globale-Entwicklung.pdf
- Linnaeus University (2023): New method for recycling lithium-ion batteries reduces energy needs and environmental harm
<https://lnu.se/en/meet-linnaeus-university/current/news/2023/new-method-for-recycling-lithium-ion-batteries/>
- Maschinenmarkt Vogel (o.J.): Was ist Retrofit? Definition, Vorteile und Schritte
<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/was-ist-retrofit-definition-vorteile-und-schritte-a-928e88b141017d6ccfe1771f6e81eb3b/>
- Mineral Processing (o.J.): Boom – Neue Zeitrechnung für Lithium. Online: https://www.at-minerals.com/de/artikel/at_Boom-2849518.html
- My Climate (o.J.): Was sind CO₂-Äquivalente. Online: www.myclimate.org/de/website/fEq/detail/was-sind-co2-aequivalente/
- Öko-Institut (2020): Der Digitale Fußabdruck. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/elektrogeraete/waschmaschine-waschtrockner#unsere-tipps>
<https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Digitaler-CO2-Fussabdruck.pdf>

- Quentic (o.J.): Schritt für Schritt zur ISO 14001 Zertifizierung. Online: <https://www.quentic.de/whitepaper/iso-14001/>
- Quentic (o.J.): Whitepaper ISO 50001. Online: <https://www.quentic.de/whitepaper/iso-50001/>
- Rohstoffnutzung und ihre Folgen [online]. Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau, [abgerufen am 30. März 2017] verfügbar unter: www.umweltbundesamt.de/daten/rohstoffe-als-ressource/rohstoffnutzungihre-folgen
- savethechildren (2022): KINDERRECHTSVERLETZUNGEN BEIM KOBALTABBAU UND WIE DAGEGEN VORGEGANGEN WERDEN KANN. Online: <https://www.savethechildren.de/news/studie-kinderrechtsverletzungen-beim-kobaltabbau-und-wie-dagegen-vorgegangen-werden-kann/>
- Sedex (o.J.): SMETA, das weltweit führende Audit. Online: <https://www.sedex.com/solutions/smeta-audit/>
- Siegelklarheit (o.J.): GEZIELT INFORMIEREN. BEWUSST EINKAUFEN. NACHHALTIG HANDELN. Online: <https://www.siegelklarheit.de/>
- statista 2023: Minenproduktion von Zink in den wichtigsten Förderländern im Jahr 2022. Online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37044/umfrage/produktion-von-zink-weltweit-nach-laendern/>
- Statistisches Bundesamt (2016): Produzierendes Gewerbe. Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden 2014. Version des 03. Jun. 2016, Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden, Fachserie 4, Reihe 4.3.
- Tagesschau (20.10.22): Schlüsseltechnologien- Wie abhängig Deutschland bei Rohstoffen ist. Online: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/weltwirtschaft/rohstoffe-abhaengigkeit-foerderung-import-101.html>
- TÜV Sustainability Studie 2022 <https://www.tuev-verband.de/studien/sustainability-studie-2022>
- U.S. Geological Survey (2023): Mineral Commodity Summaries, January 2023: Tantalum. Online: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-tantalum.pdf>
- UBA Umweltbundesamt (2016): Waschmaschine und Wäschetrockner. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energieverbrauchskennzeichnung/waschmaschinen-waschtrockner>
- UBA Umweltbundesamt (2018): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Online: www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-nutzung-natuerlicher-ressourcen-bericht-fuer
- UBA Umweltbundesamt (2021a): Grundwasserbeschaffenheit <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/grundwasserbeschaffenheit>
- UBA Umweltbundesamt (2021b): Konsum und Umwelt: Zentrale Handlungsfelder. Online, Bedarfsfelder: www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/konsum-umwelt-zentrale-handlungsfelder#bedarfsfelder_und_Konsummuster
- UBA Umweltbundesamt (2021c): Die globale Umweltinanspruchnahme des deutschen Maschinenbaus – Fallstudie zu den weltweiten Wertschöpfungsketten https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba_maschinenbau_bf.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2022): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Bericht für Deutschland 2022. Online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/fb_die_nutzung_natuerlicher_ressourcen_2022_0.pdf
- Umicore (o.J.) :Umicore stellt neue Generation von Recyclingtechnologien für Li-Ionen-Batterien vor und gibt Vereinbarung mit ACC bekannt

<https://www.unicore.de/de/presse/news/unicore-stellt-neue-generation-von-recyclingtechnologien-fur-li-ionen-batterien-vor-und-gibt-vereinbarung-mit-acc-bekannt/>

- UNEP (2021): The use of natural resources in the economy: A Global Manual on Economy Wide Material Flow Accounting. Online: www.ressourcepanel.org/file/downloads/unep_material_flow_accounting_manual.pdf AK Rohstoffe c/o PowerShift e.V (2020): 12 Argumente für eine Rohstoffwende. Online: <http://power-shift.de/12-argumente-fuer-eine-rohstoffwende/>
- UNRIC (o. J.): Regionales Informationszentrum der Vereinten Nationen: SDG 13 Maßnahmen zum Klimaschutz. Online: unric.org/de/17ziele/sdg-13/
- VDE (2019): IEC 62402 <https://www.vde-verlag.de/iec-normen/247699/iec-62402-2019.html>
- VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017) Studie: Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 – Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/1_Themen/h_Publikationen/Studien/Studie_Ressourceneffizienz_durch_Industrie_4.0.pdf
- VDMA (2017): VDMA 24903:2017-12 Obsoleszenzmanagement – Informationsaustausch zu Änderungen und Abkündigungen von Produkten und Einheiten <https://www.beuth.de/de/technische-regel/vdma-24903/281802112>
- Weltbank (o.J.): Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitsrichtlinien. Online: www.ifc.org/ehsguidelines
- worldsteel (o.J.): Anerkennung für herausragende Leistungen im Bereich Sicherheit und Gesundheit 2022. Online: <https://worldsteel.org/safety-and-health-excellence-recognition/>
- Wortbedeutung.info (o.J.): Obsoleszenz – Definition <https://www.wortbedeutung.info/Obsoleszenz/>
- zink.de (o.J.): Hochleistungswerkstoff Zink <https://www.zink.de/zink/materialkreislauf/recycling/>

SDG 13: “Maßnahmen zum Klimaschutz”

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

Der Klimawandel ist längst keine Bedrohung einer fernen Zukunft mehr, sondern in weiten Teilen der Welt bereits deutlich spürbar. Nicht nur die Länder des globalen Südens sind von extremen Wetterereignissen wie Dürren oder Überschwemmungen betroffen. Auch in den Industrienationen, die vor allem für die Klimaerwärmung verantwortlich sind, zeigen sich erste Folgen. Das SDG 13 widmet sich einerseits der Bekämpfung des Klimawandels. Dieser wird realistisch betrachtet nicht mehr aufzuhalten sein. Eine Erwärmung der Erde noch in diesem Jahrhundert um 2,7 °C scheint wahrscheinlich (UN 2021). Deshalb zielt SDG 13 auch auf die Klimaanpassung und auf die Reduzierung der Klimaauswirkungen ab. Ebenso fordert es Aufklärung und Sensibilisierung (Destatis 2022).

Für die Industrie sind hierbei vor allem diese Unterziele relevant:

- 13.1 Die Widerstandskraft und die Anpassungsfähigkeit gegenüber klimabedingten Gefahren und Naturkatastrophen in allen Ländern stärken.

- 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 des SDG 13 mit der Standardberufsbildposition liegen vor allem in der Reduzierung der direkten und indirekten Emissionen (Belastung der Umwelt) sowie der nachhaltigen Nutzung von Energie (BIBB 2021:6f.):

- *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*

SDG13 und Mechatroniker:innen

Das 2015 im Klimaabkommen von Paris festgeschriebene Ziel ist es, den weltweiten Temperaturanstieg auf deutlich unter 2 Grad Celsius, möglichst auf 1,5 Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter zu beschränken (BMZ 2022). Erschwingliche und ausbaufähige Lösungen dafür sind bereits jetzt verfügbar. Immer mehr Menschen greifen auf erneuerbare Energien zurück. Staatliche Maßnahmen reduzieren die Emissionen von Treibhausgasen und stärken die Anpassung an den Klimawandel. Der Klimawandel ist jedoch eine globale Herausforderung, der keine nationalen Grenzen kennt. Für die Lösung dieses globalen Problems ist daher eine Koordination auf internationaler Ebene unverzichtbar (UNRIC 2022).

Verursacht wird der Klimawandel durch die Emission von verschiedenen Gasen, den sogenannten Treibhausgasen. Ihnen gemeinsam ist ihre Undurchlässigkeit für die (Infrarot-)Wärmestrahlung der Erde, was zur Erderwärmung führt. Die verschiedenen Treibhausgase tragen unterschiedlich stark zum Klimawandel bei und bleiben zudem unterschiedlich lange in der Atmosphäre. Das IPCC (International Panel for Climate Change) definiert deshalb das Global Warming Potential (GWP, die erwärmende Wirkung für den Klimawandel) eines Stoffes in hundert Jahren im Vergleich zu Kohlendioxid CO₂ wie folgt (vgl. My Climate (o.J.):

- Kohlendioxid CO₂: 1 (Bezugswert)

- Methan CH₄: 28
- Stickstoffdioxid N₂O: 265
- FCKW (verboten) > 12.000

Klimaschutz und Klimaneutralität sind stark verknüpft mit Prozessverständnis, wie zum Beispiel thermische Prozesse, die ressourceneffizient geführt werden, welche Materialien eingesetzt werden und wie man das Gewicht der Komponenten reduziert, wie man Bewegungsabläufe und den Maschineneinsatz steuert, wie man Traglasten optimiert und Überspezifikation vermeidet. Schon beim Design eines Produkts muss es das Ziel sein, Rohstoffe einzusparen. Beispielsweise sollten Maschinen, Anlagen und Geräte modular aufgebaut sein, so dass man Einzelteile herausnehmen und sie ersetzen kann.

Mechatroniker/-innen haben im Rahmen ihrer Tätigkeit und in Abhängigkeit von ihrem Einsatzgebiet vielfältige Einflussmöglichkeiten und ggf. Entscheidungsspielraum Maßnahmen für den Klimaschutz anzustoßen bzw. umzusetzen (Beispielhafte Maßnahmen sind in den Ausführungen zu SDG 7, 9 und 12 aufgeführt), da sie mit vielen anderen Berufsbildern zur Umsetzung von komplexen technischen Lösungen zusammenarbeiten müssen. Ihre Tätigkeiten finden sich deshalb in allen Bereichen des Klimaschutzes, die sich unter die Begriffe Energiewende (Hauswärmewende), Verkehrswende, Industriegewende und Agrarwende zusammenfassen lassen (Handbuch Klimaschutz, 2020 S. 19 ff). In all diesen Bereichen sind Mechatroniker:innen direkt beteiligt und fungieren als Bindeglied für die nachgelagerten Professionen:

- Grundlage für unser Wirtschaften und unser alltägliches Leben ist eine stabile und nachhaltige Energieversorgung. Bei der Nutzung von Wind, Wasser und Erdwärme erfolgt immer eine "mechanische" Behandlung von Energie und eine elektronische Steuerung, die ohne Mechatroniker nicht zu realisieren wäre.
- Die Verkehrswende wird entweder elektrisch oder basiert auf Wasserstoff. In beiden Fällen wird chemische Energie in Kraft umgewandelt und dies ist die Domäne der Mechatroniker in Zusammenarbeit mit Elektroniker*innen und Chemiker*innen. Darüber hinaus wird es eine Transformation von traditionellem Verkehrswesen hin zu Technologien wie autonomes Fahren oder Liefern mit Drohnen oder Robotern geben.
- Alle Güter müssen produziert werden und sind somit auf Fertigungsanlagen angewiesen, die ihrerseits Energie und Rohstoffe nutzen. Dieser Bereich ist gleichfalls eine Domäne der Mechatroniker*innen wären diese Systeme nicht möglich. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Transformation von Produktionsprozessen und Energieeinsatz sowie der Vermeidung von CO₂ durch Minderung der Grundstoffintensität oder Grundstoffsubstitution.

- Die Agrarwende ist vor allem die Digitalisierung der landwirtschaftlichen Maschinen, Geräte und Prozesse. Hier ist eine Industrialisierung zu beobachten, die ohne Digitalisierung nicht denkbar wäre, denn immer weniger Menschen produzieren immer mehr Agrargüter. Die Herausforderung der Mechatroniker*innen liegt hierbei vor allem darin, den Maschinen- und Gerätepark zu digitalisieren.

Energiewende

Nur wenn jederzeit genug erneuerbarer Strom zur Verfügung steht, kann die Transformation in den anderen Sektoren gelingen. Notwendig ist eine Verdoppelung der Stromproduktion in Deutschland bis 2038, davon sollen über 90 Prozent aus Wind- und Sonnenenergie stammen, ein Ausbau der örtlichen Stromnetze für die Elektroautos und für die Stromeinspeisung durch Photovoltaik und Möglichkeiten, die Schwankungen im Energiesystem auszugleichen, die durch die Nutzung von erneuerbaren Energien größer werden. Dazu braucht es tägliche Batteriespeicher und Stauseen sowie neuartige Speicher für die wöchentlichen Schwankungen. Hinzu kommen Wasserstoff und E-Brennstoffe, die aus grünem Strom hergestellt, in Gaskavernen gelagert und vor allem im Winter zur Strom- und Wärmeherzeugung eingesetzt werden. (ebd.)

Der Energiesektor steht vor der großen Aufgabe, so schnell wie möglich alle Kohlekraftwerke abzuschalten, da diese die größten Treibhausgasquellen in Deutschland sind. Die Energiewirtschaft ist für 30% der in Deutschland produzierten THG-Emissionen verantwortlich. Diese setzen sich hauptsächlich aus den Emissionen von Kohlekraftwerken (24% der gesamten THG) und Gaskraftwerken (4% der gesamten THG) zusammen. Im April 2023 gingen die letzten Atomreaktoren vom Netz, und auch die Erdgaskraftwerke müssen mittelfristig abgeschaltet werden, da sie viele Emissionen verursachen. In den nächsten Jahren wird die klassische Stromerzeugung also stark zurückgehen. Gleichzeitig wird der Stromverbrauch rasant ansteigen, weil neue Verbraucher wie Wärmepumpen und Elektroautos hinzukommen. Die anderen Sektoren können nur klimaneutral werden, wenn genug erneuerbare Energie zur Verfügung steht. Die Umstellung des Energiesektors und der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung haben deshalb höchste Priorität (Hentschel 2020, S.33 ff).

Beispiel: Substitution von Seltenen Erden in Magneten

Sowohl die Energiewende als auch die Verkehrswende mit der Elektromobilität sind auf leistungsfähige Permanentmagneten für die Motoren angewiesen. Meist werden Magneten eingesetzt, die ihre guten magnetischen Eigenschaften den Elementen wie Neodym und Dysprosium aus der Elementgruppe der Seltenen Erde verdanken. Doch auf dem Weltmarkt sind diese Rohstoffe knapp. Sie gehören zu den "kritischen Rohstoffen", denn der Ausbau von Zukunftstechnologien hängt davon ab, ob ausreichende Mengen

gewonnen (bzw. für Deutschland importiert) werden können (Fraunhofer Gesellschaft o.J.).

Potenzielle Alternativen zu Generatoren mit Permanentmagneten sind mehrpolige Synchrongeneratoren und Kurzschlussläufer-Induktionsgeneratoren. Eine weitere Option ist der Einsatz von Hybridantriebsgeneratoren, bei denen ein kleinerer Permanentmagnet als in Standardsystemen verwendet wird. Dies könnte zu einer Verringerung des Einsatzes von Neodym, Praseodym und Dysprosium um bis zu zwei Drittel pro Turbine führen. In Zukunft könnten auch supraleiterbasierte Generatoren, wie im EU Projekt EcoSwing getestet, eine Alternative darstellen (INEA 2020).

EcoSwing arbeitet an der Demonstration eines supraleitenden, kostengünstigen und leichten Antriebsstrangs für eine moderne 3,6-MW-Windturbine (ebd.). Ziel ist es, die Vorteile der Verwendung supraleitender Materialien in Windkraftanlagen in Thyborøn in Dänemark zu demonstrieren. Dieser Generator ist der erste direkt angetriebene supraleitende Generator in voller Größe für eine Windturbine und verspricht einen Schrittwechsel in der Generatorentwicklung. Der direkte Vorteil ist eine erwartete Gewichtseinsparung von mehr als 40 % im Vergleich zu konventionellen Direktantriebsgeneratoren. Für die gesamte Gondel bedeutet dies 25 % weniger Gewicht und natürlich auch proportional weniger Materialeinsatz. Ein besonders willkommener Nebeneffekt ist, dass die von EcoSwing entwickelte Technologie nahezu ohne seltene Erden auskommt, d.h. mit Rohstoffen, die nur begrenzt verfügbar sind und deren Preise schwanken (ebd.).

Verkehrswende

Der Verkehr soll bis 2035 treibhausgasneutral werden. Möglichst viel Güter- und Personenverkehr wird auf Schienenverkehr, Schiffe, Busse und Fahrräder verlagert. Der restliche Personenverkehr findet überwiegend mit Elektroautos statt. Im Güterverkehr werden LKWs auf elektrische Antriebe (Oberleitungen und/oder Batterien) oder E-Brennstoffe umgestellt (Hentschel 2020, S.33 ff).

Der Verkehrssektor ist für 22% der gesamten THG Emissionen in Deutschland verantwortlich. Drei Viertel der Verkehrsemissionen entstehen durch Benzin- und Dieselfahrzeuge im Straßenverkehr, wobei PKWs etwa zwei Drittel und LKWs etwa ein Drittel ausmachen. Die dritte große Quelle sind Flugzeuge, die bei der Verbrennung von Kerosin Treibhausgase ausstoßen und 4% der gesamten THG-Emissionen in Deutschland erzeugen. Zusätzlich haben auch die Kondensstreifen negative Effekte auf das Klima. Zum Verkehr zählen auch die Emissionen von Raffinerien, da diese überwiegend Treibstoffe für den Verkehr produzieren (Prinzip Well-to-Wheel). Viel kleiner ist der Beitrag von Bahn und Schiffsverkehr.(ebd.).

Beispiel: Substitution von Lithium durch Eisenphosphat oder Wasserstoff

Zentral für die Verkehrswende ist die Elektromobilität. Bisher werden fast alle Fahrzeuge mit Lithium-Ionen-Akkus ausgestattet. Allerdings entwickelt sich die Batterietechnik derzeit sehr schnell, denn der zukünftige Bedarf für die Elektrifizierung ist riesig: Es gibt geschätzt 1,4 Mrd. PKWs (live-counter o.J.). Auch wenn diese Schätzung auf Basis von älteren Erhebungen und den Produktionszahlen der PKW-Hersteller basiert und mit Unsicherheiten behaftet ist, ist der PKW-Markt einer der wichtigsten Konsummärkte.

Lithium-Ionen-Batterien haben Vorteile (hohe Energiedichte, geringes Gewicht, hohe Zyklenzahl u.a.), aber auch Nachteile: Einen hohen Preis (u.a. wegen der Nutzung von Cobalt in der Elektrode) und eine geringe Marktverfügbarkeit (Nachfrage übersteigt das Angebot). Deshalb liegt es für die Industrie nahe, Alternativen zu suchen. Derzeit sind zwei Konzepte mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen im Wettbewerb miteinander:

- **Lithium-Eisenphosphat-Batterien** (Energieexperten 2019; Pylontech o.J.; Chemie-Schule o.J. und RCT Power o.J.): Diese Batterien befinden sich derzeit in einer intensiven Phase der Weiterentwicklung und werden vermutlich ein Ersatz für die Lithium-Ionen-Batterien in vielen Bereichen (Wohnungen, LKW, gewerbliche Anlagen mit geringeren Stromverbräuchen) sein. Anstelle von Cobalt wird Eisen in der Kathode verwendet, die Anode besteht aus Graphit. Sie benötigen nur 80 g Li (4,5 Gewichts-%, LiCo-Batterien 160 g Li) für 1.000 Wh und haben ein geringes Brandrisiko aufgrund der geringen Energiedichte (<90 Wh/kg) sowie keinen freien Sauerstoff in der Redoxreaktion. Der Memory-Effekt ist vernachlässigbar, der Wirkungsgrad beträgt 93-98%. Sie haben zudem eine hohe Zyklenfestigkeit (mehr als 6.000) bei geringem Kapazitätsverlust (5%). Zum Vergleich: Ein Blei Akku hält rund 600 Ladezyklen. Lithium-Phosphat-Batterien werden sowohl für mobile als auch stationäre Anwendungen verwendet, sowohl im Eigenheim Bereich als Speicher für PV-Strom bis hin zu Großanlagen. Tesla ist hierbei einer der Vorreiter. Das Unternehmen hat 2017 in Australien den (damaligen) größten Energiespeicher mit Lithium-Batterien errichtet: 100 MW Leistung und 125 MWh Speicherkapazität (Erneuerbare Energien 2021). Inzwischen gibt es aber ein Speichersystem mit einer Kapazität bis zu 300 MWh (Ingenieur.de 2021).
- **Brennstoffzellen:** 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). 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.

Industriewende

Die Kraftwerke der Industrie werden nach und nach abgeschaltet und der Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen. Die Industrieanlagen werden weitgehend in Richtung Elektrifizierung und/oder Wasserstoffwirtschaft umgebaut. Dies gilt besonders für die Grundstoffindustrien wie Zement, Stahl und Chemie. Wirtschaftszweige, in denen das nicht möglich ist, werden so weit wie möglich auf Ersatzprodukte umgestellt. (Hentschel 2020, S.33 ff). Das Kyoto-Protokoll nennt folgende Treibhausgase: Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), und Lachgas (N₂O) sowie die fluorierten Treibhausgase (F-Gase): wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), und Schwefelhexafluorid (SF₆). Seit 2015 wird Stickstofftrifluorid (NF₃) zusätzlich einbezogen. In Deutschland entfallen 87,1 Prozent der Freisetzung von Treibhausgasen auf Kohlendioxid, 6,5 Prozent auf Methan, 4,6 Prozent auf Lachgas und rund 1,7 Prozent auf die F-Gase (im Jahr 2020). Die Emissionen von Stickstofftrifluorid sind verschwindend gering. (UBA, 2022)

Der Industriesektor verursacht 22 Prozent der Emissionen in Deutschland. Zwei Drittel davon sind bedingt durch den Energieverbrauch und können durch Elektrifizierung und Verwendung grüner Brennstoffe vermieden werden. Industriekraftwerke- und maschinen sind für 8%, die Stahl- und Metallherstellung für 6% der gesamten in Deutschland erzeugten THG-Emissionen verantwortlich.

Problematisch sind jedoch Emissionen, die durch chemische Prozesse entstehen: Die Zementherstellung kann beispielsweise nur klimaneutral werden, wenn weniger Zement verbaut wird. Die Größenordnung an erzeugten THG beträgt 4% der gesamten THG Emissionen in Deutschland. Die Chemieindustrie verbraucht bisher große Mengen an fossilen Rohstoffen, die durch elektrisch erzeugte grüne Rohstoffe ersetzt werden müssen.

Maßnahmen, die zum Klimaschutz beitragen, sind so vielfältig wie die Einsatzmöglichkeiten von Mechatroniker:innen in der Wirtschaft - ob im Energiesektor bei der Wartung- und Instandhaltung von Kraftwerken oder der Errichtung und Wartung von Windenergie- oder PV-Anlagen, im Verkehrssektor bei der Herstellung, Wartung und Instandhaltung von Fertigungsstraßen zur Serienproduktion von z.B. Elektroautos oder Industriesektor bei der Optimierung und Modernisierung von Fertigungsanlagen - Mechatroniker:innen sind direkt involviert.

Beispiel: Abwärmenutzung bei Stahl- und Zementherstellung

Die Bilstein GmbH & CO. KG in Nordrhein-Westfalen (Bilstein-Gruppe o.J) bearbeitet Stahlbänder für die Möbel-, Werkzeug- und Automobilindustrie. Damit sich die Stahlbänder später verformen und somit weiterverarbeiten lassen, müssen sie erhitzt und danach wieder abgekühlt werden. Die bei diesem Rekrystallisationsprozess freigesetzte Abwärme wird genutzt, um mit Hilfe einer ORC-Anlage Strom zu erzeugen. Der ORC-Prozess (Organic Rankine Cycle) ist eine verlässliche und seit langem erfolgreiche Technologie, um aus (Ab-) Wärme Strom zu erzeugen (E.ON; o.J.). Im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren reicht bei der ORC-Anlage die vergleichsweise niedrige Temperatur der Abwärme für die Stromerzeugung aus. Durch die effiziente Abwärmenutzung spart der Betrieb nicht nur Strom, sondern kann die Wärme auch zum Beheizen von Gebäuden verwenden sowie durch die schnellere Abkühlung seine Produktion beschleunigen.

Die Portland-Zementwerke Gebr. Wiesböck & Co. GmbH (Rohrdorfer o.J.) in Oberbayern produziert Zement für die Bauindustrie. Dafür werden die benötigten Rohstoffe zusammen mit Zusatzstoffen in einem Drehrohrofen zu Zement-Klinkern gebrannt. Die 400 °C heißen, staubhaltigen Abgase aus dem Drehrohrofen werden zum einen genutzt, um die Roh- und Hilfsstoffe für den Brennprozess vorzuwärmen. Zum anderen werden sie in einen Abhitzekeßel geleitet, um Wasserdampf zu erzeugen. Der Dampf betreibt anschließend eine Turbine, die über einen Generator Strom erzeugt. Das Kraftwerk kann

damit 30 % des benötigten Stroms selbst produzieren. Das entspricht einer Einsparung von 80.000 t CO₂ pro Jahr.

Agrarwende

Die Landwirtschaft ist neben dem Energiebereich und der Industrie ebenfalls ein wichtiger Verursacher von Treibhausgasen in Deutschland. In der Landwirtschaft werden neben Kohlendioxid auch Methan und Lachgas freigesetzt, die aufgrund ihrer hohen klimaschädigenden Wirkung besonders problematisch sind. Klimagase entstehen sowohl in der Viehzucht als auch beim Ackerbau. Das Umweltbundesamt hat berechnet, dass die Emissionen aus der Landwirtschaft einen Anteil von etwa 8,2 Prozent an den gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland ausmachen (UBA 2021b).

Wiederkäuende Rinder, Mist- und Güllelagerung sowie gedüngte Felder sind wesentliche Quellen für die Freisetzung von Methan, Lachgas und Ammoniak. Weiterhin fallen in der Landwirtschaft Lebensmittelabfälle an, der größte Teil der Energieaufwendungen zur Produktion dieser Lebensmittel geht dabei verloren (es sei denn, die Abfälle können als Viehfutter genutzt werden).

Darüber hinaus trägt auch die Änderung bei der Landnutzung zur Emission klimaschädigender Gase bei. In der Biosphäre stellen Böden und deren Vegetation ein komplexes Speichersystem von Kohlenstoff und dessen Verbindungen dar. Durch intensive landwirtschaftliche Nutzung (z.B. Trockenlegung von Mooren oder Viehzucht bzw. Sojaanbau auf Urwaldflächen) wird ebenfalls Kohlendioxid freigesetzt.

Beispiel: Digitalisierung von Geräten und Maschinen

Der Einsatz digitaler Technologien in der Landwirtschaft findet immer weitere Verbreitung – sowohl im Stall als auch auf dem Feld. Beispiele sind der Einsatz von Sensoren für mehr Tierwohl in der Milchwirtschaft, autonome Fütterungssysteme, die Nutzung von Drohnen für den teilflächenspezifischen Pflanzenschutz oder der Einsatz von Feldrobotern zur Unkrautbekämpfung.

Typisch für die Digitalisierung der Landwirtschaft generell sind folgende zwei Eigenschaften: Zum einen kann die landwirtschaftliche Produktion aufgrund der verfügbaren Daten mit einer sehr hohen Präzision erfolgen (teilflächenspezifische Bewirtschaftung / Precision Farming). Zum anderen werden die landwirtschaftlichen Entscheidungen, die zuvor weitgehend von den Landwirten aufgrund ihres Wissens und ihrer Erfahrungen gefällt wurden, zunehmend von einem vernetzten System übernommen, das selbstständig Entscheidungsparameter aus mathematischen Modellen zusammenstellt und verarbeitet (Smart Farming, Behrendt et al. 2022).

In der Politik wird Digitalisierung als Lösungsansatz angesehen, um den vielfältigen Herausforderungen an die Landwirtschaft (Wettbewerb und Preisdruck auf

internationalen Märkten, Arbeitskräftemangel, natürliche Optimierungsgrenzen) erfolgreich zu begegnen. Darüber hinaus werden in der Digitalisierung vielfältige Potenziale für den Umwelt-, Ressourcen- und Klimaschutz gesehen, die den ökologischen Fußabdruck der Landwirtschaft erheblich reduzieren könnten (Kehl et al. 2021). Chancen ergeben sich vor allem in folgenden Bereichen:

- **Reduzierter Energieverbrauch:** Diese ergeben sich u.a. durch teilflächenspezifische Bewirtschaftungsmaßnahmen. Dabei werden Maßnahmen wie Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz und Düngung gezielt dort vorgenommen, wo es notwendig ist, und nicht großräumig auf dem gesamten Feld. Ein solches Vorgehen ermöglicht Kraftstoffeinsparungen und dadurch verringerte Treibhausgasemissionen (Kehl et al. 2021, S. 11). Des Weiteren sind Energieeinsparungen durch den Einsatz von automatischen Lenksystemen möglich. Derartige Lenksysteme nutzen Satellitensignale zur automatischen Übernahme der Traktorsteuerung, wodurch Mehrfachüberfahrten vermieden werden. Dies reduziert den Kraftstoffverbrauch (sowie Arbeitszeit und Ressourceneinsatz) bei der Feldebewirtschaftung.
- **Reduzierter Düngemittleinsatz:** Nitrat-Düngemittel zersetzen sich teilweise bakteriell zu N_2O , einem Gas mit einer sehr hohen Klimawirksamkeit. Die Menge an eingesetzten Düngemitteln kann durch verschiedene digitale Technologien und Anwendungen verringert werden. Bei Düngestreuern und Gülleverteilern sind Geräte mit einer automatischen Teilbreitenschaltung bereits weit verbreitet. Mit dieser Technologie kann eine dynamische Anpassung von Streubreite und Ausbringmenge vorgenommen werden (z.B. bei schmalen Feldstreifen). Einsparpotenziale lassen sich insbesondere dann realisieren, wenn Düngemaßnahmen teilflächenspezifisch erfolgen, anstatt Düngemittel großflächig auf dem Feld auszubringen. Hierzu werden Applikationskarten erstellt, auf denen festgehalten wird, welche Nährstoffbedarfe in welchen Bereichen eines Feldes vorhanden sind. Die Informationen hierfür werden mittels Bild- und Sensordaten erhoben. Studien gehen davon aus, dass die teilflächenspezifische Düngung einen signifikanten Beitrag zur Minderung des landwirtschaftlichen Zielkonflikts zwischen steigenden Anforderungen an ökonomische Effizienz einerseits und ökologische Nachhaltigkeit andererseits leisten kann (Speckle et al. 2020).
- **Reduzierter Pestizideinsatz:** Potenziale bestehen auch hier zum Einen bei Geräten mit einer automatischen Teilbreitenschaltung (Möglichkeit der Deaktivierung einzelner Spritzdüsen Segmente), um eine möglichst präzise und sparsame Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln auf dem Feld zu ermöglichen (Motsch et al. 2021). Zum Anderen werden digitale Technologien eingesetzt, um eine teilflächenspezifische Anwendung von Pestiziden zu ermöglichen. So werden

beispielsweise Drohnen eingesetzt, um Unkrautnester im Feld zu identifizieren, die dann gezielt bekämpft werden können. Große Chancen werden auch der autonomen Feldrobotik zugerechnet. Dabei fahren Feldroboter autonom über die Fläche. Mithilfe von Sensoren nehmen sie Informationen über den Pflanzenbestand auf, verarbeiten die gesammelten Daten in Echtzeit und können so Nutzpflanzen von Unkräutern unterscheiden. Die auf diese Weise lokalisierten Unkräuter werden daraufhin vom Roboter mechanisch beseitigt. Laut Kehl et al. (2021) haben wissenschaftliche Untersuchungen durchschnittliche Herbizideinsparungen von rund 40 % ermittelt, wenn digitale Technologien verwendet werden.

- **Verringerung von Treibhausgasemissionen:** Mittels digitaler Lösungen können Treibhausgase verringert werden. Hervorzuheben sind die automatisierte Fütterung, die durch eine Futteroptimierung zur Methanreduzierung beitragen kann, die teilflächenspezifische Bodenbearbeitung und teilflächenspezifische Stickstoffdüngung, die die Bildung von Distickstoffoxid verringern können, sowie automatisierte Lenksysteme, die Kraftstoffeinsparungen und damit die Reduzierung von Kohlendioxidemissionen ermöglichen.

Quellenverzeichnis

- Behrendt, Siegfried; Gegner, Kathrin (2022): Ökologische Effekte smarterer Landwirtschaftsmaschinen und Software im landwirtschaftlichen Pflanzenbau. Berlin. (Im Erscheinen)
- 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>
- Bilstein-Gruppe o.J.: Nachhaltigkeitsbericht 2022. Online: https://www.bilstein-gruppe.de/cms/wp-content/uploads/2016/12/BILSTEIN_GROUP_Nachhaltigkeitsbericht_2022_DE_V1.01_interaktiv.pdf
- E.On (o.J.): <https://www.eon.com/de/geschaeftskunden/technologie/orc-loesungen.html>
- Energieexperten (2019): Wie gut sind Lithium-Eisen-Phosphat-Stromspeicher? Online <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/stromspeicher/lithium-eisen-phosphat>
- Chemie-Schule (o.J.): Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator. Online: <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator>
- Fraunhofer Gesellschaft (o.J.): Leitprojekt: Kritikalität Seltener Erden. Online: <https://www.fraunhofer.de/de/forschung/fraunhofer-initiativen/fraunhofer-leitprojekte/abgeschlossene-leitprojekte/fraunhofer-seltene-erden.html>
- Hentschel, Karl-Martin (2020I): Handbuch Klimaschutz, S33 ff
- INEA Innovation and Network Agency der EU-Kommission (2020): EcoSwing. Online: <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-energy/wind/ecoswing> , bzw.:
- Ingenieur (2021 online): Ranking: Batteriespeicher <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/batterie-die-groessten-energiespeicher-der-welt/>
- Kehl, Christoph; Meyer, Rolf; Steiger, Saskia (2021): Digitalisierung der Landwirtschaft: gesellschaftliche Voraussetzungen, Rahmenbedingungen und Effekte. Teil II des Endberichts zum

- TA-Projekt. TAB-Arbeitsbericht Nr. 194. Hg. v. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Online: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000142951/146338637>
- 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
 - live counter (o.J.): Weltbestand an Autos. Online: <https://live-counter.com/autos/>
 - Motsch, V.; Hauser, L.; Schuster, J.; Bauer, A.; Bauer, T.; Brunner, M. et al. (2021): Dissemination of precision farming technologies in Austria in the context of energy savings potential. A survey on the mechanization of Austrian arable farms. In: Andreas Meyer-Aurich et al. (Hrsg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus Informations- und Kommunikationstechnologien in kritischen Zeiten. 41. GIL-Jahrestagung 08.-09. März 2021
 - Pyolontech: GreenAkku o.J.: PYLONTECH LiFePO₄ Speicher 48V - 2,4 kWh - US2000 C. Online: [https://greenakku.de/Batterien/Lithium-Batterien/48V-Lithium/PYLONTECH-LiFePO₄-Speicher-48V-2-4-kWh-US2000-C::3276.html](https://greenakku.de/Batterien/Lithium-Batterien/48V-Lithium/PYLONTECH-LiFePO4-Speicher-48V-2-4-kWh-US2000-C::3276.html)
 - RCT Power (o.J.): 3 GRÜNDE FÜR LITHIUM-EISENPHOSPHAT BATTERIESPEICHER. Online: www.rct-power.com/de/newsreader-1393/batteriespeicher-lithium-eisenphosphat.html
 - Rohrdorfer (o.J.): Online: <https://www.rohrdorfer.eu/nachhaltigkeit/>
 - Speckle, Johannes; Angermair, Wolfgang; Brohmeyer, Franziska; Brüggemann, Lena; Spicker, Andreas; Pauli, Sebastian A. (2020): Teilflächenspezifische Düngung als Reaktion auf wachsende gesellschaftliche Anforderungen und als Beitrag zur Entspannung des Widerspruchs zwischen Ökonomie und Ökologie. In: Gandorfer et al. (Hrsg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier. 40. GIL-Jahrestagung.
 - UBA Umweltbundesamt (2021b): Emissionsquellen. Online: www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen#landwirtschaft
 - UBA Umweltbundesamt (2022h): Spezifische Emissionen des Straßenverkehrs. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs>
 - Umweltbundesamt (2022g) Welche Treibhausgase betrachtet das UBA für die internationale Berichterstattung? <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase>
 -

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

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

Impressum

Herausgeber

IZT – Institut für Zukunftsstudien und
Technologiebewertung gemeinnützige GmbH

Schopenhauerstr. 26, 14129 Berlin
www.izt.de

Projektleitung

Dr. Michael Scharp
Forschungsleiter Bildung und Digitale Medien am IZT

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

Förderhinweis

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

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

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Lizenzhinweis



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