

Zerspanungsmechaniker und Zerspanungsmechanikerin

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

Einleitung	5
1.1 Ziele der Projektagentur PA-BBNE	5
1.2 Die Materialien der Projektagentur	6
1.3 Berufliche Bildung für Nachhaltige Entwicklung	7
1.3.1 Die Standardberufsbildposition “Umweltschutz und Nachhaltigkeit”	7
1.3.2 Bildung für nachhaltige Entwicklung	8
1.4. Glossar	8
1.5 Quellenverzeichnis	9
2. Die Bedeutung der deutschen Industrie für die Nachhaltigkeit	10
2.1 Die Deutsche Industrie und die zwei Seiten einer Medaille	10
2.2 Der Beruf Zerspanungsmechaniker und Zerspanungsmechanikerin	11
2.3 Quellenverzeichnis	13
3. SDG 3: “Gesundheit und Wohlergehen”	14
Gesundheit und Arbeit	14
Arbeits- und Gesundheitsschutz	15
Kopie Gesunde Beschäftigte als Ressource	16
Gesundheitliche Risiken für Zerspanungsmechaniker/innen	16
Gefährdungen durch Kühlschmierstoffe	17
Maßnahmen für einen sicheren Einsatz von KSS	18
Alternativen suchen	18
Organisationsoptimierung für den sicheren Einsatz von Kühlschmierstoffen	18
Schulung von Mitarbeitern	19
Prüfung und Entsorgung von Kühlschmierstoffen	19
Betriebsanweisung	19
Weitere Maßnahmen zur Arbeitssicherheit	19
Auszubildende und Gesundheit	20
Rohstoffe und Materialien	21
3.6 Quellenverzeichnis	21
SDG 4: “Hochwertige Bildung”	23
“10 Goldene Handlungsregeln” für eine BBNE	23
Schritt 1 - Richtig anfangen:	
Identifizierung von Anknüpfungspunkten für BBNE	24
Schritt 2 - Selbstwirksamkeit schaffen:	
Eröffnung von Nachhaltigkeitsorientierten Perspektiven	24
Schritt 3 - Ganzheitlichkeit:	
Gestaltung transformativer Lernprozesse	25
Schritt 4 - Lernort Betrieb:	
Entwicklung nachhaltiger Lernorte	25
Quellenverzeichnis	26
SDG 7 „Bezahlbare und saubere Energie”	26
Energieerzeugung und Verbrauch in Deutschland	27

Gestaltungsspielraum für Zerspanungsmechaniker/innen	28
Energieerzeugung und -beschaffung von Erneuerbarem Strom	29
Photovoltaik	31
Energiespeicherung	32
Beleuchtung	33
Innenraumbeleuchtung von Fertigungsmaschinen	33
Rationelle Energienutzung und Energiesparen	34
Quellenverzeichnis	35
SDG 8 „Menschenwürdige Arbeit“	37
Das SDG 8 und Zerspanungsmechaniker*innen	39
Menschenwürdige Arbeit	39
DGB Index Gute Arbeit	40
BDA - Die Arbeitgeber	41
Prekäre Beschäftigungsverhältnisse	41
Kinderarbeit	42
Gender Pay Gap	42
Deutsches Sorgfaltspflichtengesetz	42
Europäisches Lieferkettengesetz	43
Quellenverzeichnis	44
SDG 9 „Industrie, Innovation und Infrastruktur“	46
SDG 9 und Zerspanungsmechaniker/-innen	47
Additive Fertigungsverfahren	48
Wie funktioniert additive Fertigung?	48
Einsatzgebiete und Vorteile der additiven Fertigungsverfahren	48
Potenziale der generativen Fertigung	49
Kühlschmierstoffe	50
Alternative zu KSS - Trockenzerspanung, Minimalmengenschmierung und Kühlung durch Gase	50
Ressourcen- und Energieeffizienz von MMS	52
Schmierstoffe für die Minimalmengenschmierung	53
Nachhaltige Kühlschmierstoffe	53
Schneidwerkstoffe der Zerspanung	55
Schnellarbeitsstahl (HSS) Unlegierte und legierte Werkzeugstähle,	55
Hartmetalle	55
Schneidstoffe mit beschichtetem Hartmetall	56
Beschichtung – CVD	56
Beschichtung – PVD	56
Cermets	57
Schneidkeramik	57
Bornitrid	58
Diamant	58
Verfahren für das Recycling von Wolframkarbid-Verbundwerkstoffen	59
Zinkverfahren	59
chemische Verfahren	60

Nachhaltigkeit und Schneidstoffe	60
Rohstoff Cobalt	60
Rohstoff Nickel	61
Fallbeispiel Izabal-Nickelmine	61
Recycling von Nickel	62
Rohstoff Mangan	62
Fallbeispiel Kalahari Mangan Feld in Südafrika	62
Rohstoff Titan	63
Fallbeispiel Madagaskar	63
Umwelt- und Gesundheitswirkungen von Titandioxid	63
Rohstoff Bor	64
Bor in der Stahlindustrie	64
Bor in der Automobilindustrie	64
Bor für die Werkzeugherstellung	64
Bor für erneuerbare Energien	65
Bor in der Halbleiterindustrie	65
Recycling und Substitutionsmöglichkeiten für Bor	66
Umwelt- und soziale Auswirkungen des Borabbaus	66
Rohstoff Wolfram	66
Verwendung von Wolfram in Europa	67
Recycling und Substitutionsmöglichkeiten für Wolfram	67
Fallbeispiel: Wolframabbau in Kolumbien	68
Alternativen zur Zerspanung	68
Elektrolytische Bearbeitung	68
Wasserstrahlschneiden	69
Laserschneiden	70
Laser und Nachhaltigkeit	71
Nachteile des Laserschneidens:	71
Quellenverzeichnis	72
SDG 12: “Nachhaltige/r Konsum und Produktion”	75
Ressourcenverbrauch	76
Bedeutung von Kreislaufwirtschaft	77
Ressourceneffizienz durch Werkstoffsubstitution	78
Nachhaltigkeits- und Gütesiegel	79
Quellenverzeichnis	80
SDG 13: “Maßnahmen zum Klimaschutz”	81
Klimaschutz und Zerspanungsmechaniker*innen	82
Emissionen im Prozess - Einsatz von Druckluft	82
Quellenverzeichnis	84

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. Das Impulspapier ist spezifisch für einen Ausbildungsberuf erstellt, fasst aber teilweise spezifische Ausbildungsgänge zusammen (z.B. den Fachmann und die Fachfrau zusammen mit der Fachkraft sowie die verschiedenen Fachrichtungen);
2. BBBNE-Hintergrundmaterial (HGM): Betrachtung der SDGs unter einer wissenschaftlichen Perspektive der Nachhaltigkeit im Hinblick auf das Tätigkeitsprofil eines Ausbildungsberufes bzw. auf eine Gruppe von Ausbildungsberufen, die ein ähnliches Tätigkeitsprofil aufweisen;
1. 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-erklart-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 auf 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 Zerspanungsmechaniker und Zerspanungsmechanikerin

Zerspanungsmechaniker/-innen arbeiten vorrangig im Maschinenbau, in der Metallbearbeitung bzw. Zerspanungstechnik und im Fahrzeugbau. Sie bearbeiten Kunststoffe und Metalle auf manuellen und automatisierten Fertigungssystemen in erster Linie in Werk- bzw. Fabrikhallen und in Werkstätten.

Das Gehalt als Zerspanungsmechaniker hängt von verschiedenen Faktoren ab. In welcher Region sich der Arbeitsplatz befindet, kann zum Beispiel eine Rolle spielen. Der Verdienst ist aber im Wesentlichen von persönlichen Bedingungen, wie Berufserfahrung, Qualifikation oder Verantwortungsbereich abhängig.

Daneben kommt es beim Gehalt auf die vertraglich festgelegten Konditionen an, beispielsweise ein 13. Monatsgehalt oder Urlaubsgeld. Aber auch die Branche des Unternehmens spielt beim Gehalt eine wichtige Rolle.

Für einen Zerspanungsmechaniker, dessen Gehalt eine tarifvertragliche Anlehnung hat, kann der Verdienst bei ca. 3.060,- bis 3.362,- Euro brutto im Monat liegen. (Statistisches Taschenbuch Tarifpolitik 2019)

Die Berufsgruppe der Zerspanungsmechaniker/-innen gehört zu den tarifgebundenen Berufen der IG Metall und ist dort über den Entgelttarifvertrag (ERA) gruppiert. Dieser Entgelttarifvertrag hat mit seiner Einführung in der Metall- und Elektroindustrie die bis dahin gültigen unterschiedlichen Regeln zur Entgeltfindung von ArbeiterInnen und Angestellten abgelöst. Seither gelten einheitliche Regeln für das Entgelt der Beschäftigten.

Neben der Berufserfahrung ist eines der wichtigsten Anforderungsmerkmale für die Lohneingruppierung der „Handlungs- und Entscheidungsspielraum“.

Zerspanungsmechaniker/-innen finden sich im branchenüblichen Kontext (Groß- und Klein-Serienfertigung an Fertigungsautomaten) überwiegend im Handlungs- und Entscheidungsspielraum Stufe 2-3 (“Die Erfüllung der Arbeitsaufgaben ist weitgehend vorgegeben” bzw. “Die Erfüllung der Arbeitsaufgaben ist teilweise vorgegeben”). Vorgaben in diesem Kontext sind Festlegungen durch betriebliche Organisation oder andere Personen z.B. in Form von Arbeits- oder Organisationsanweisungen oder Arbeitsaufträge. (IG-Metall, o.J.)

In der Entscheidungskette über Einkauf, verwendete Rohstoffe und deren Transport stehen Zerspanungsmechaniker/innen im branchenüblichen Handlungskontext eher weit hinten in der Rangfolge. Sie können also keinen direkten Einfluss auf die Kaufentscheidungen oder die Arbeitsorganisation ausüben.

Zwar gibt es Ausnahmen Unternehmen, insbesondere im KMU Bereich, bei denen die Zerspanung und der Einkauf eng zusammenarbeiten, die große Masse der Facharbeiter/innen ist in Konzernstrukturen beschäftigt (Berufe im Spiegel der Statistik,

2017). Das hat zur Folge, dass Entwicklungen zu mehr Nachhaltigkeit im Unternehmen von Zerspanungsmechaniker/innen häufig indirekt erfolgen. Eine Möglichkeit, wie das geschehen kann, ist Nudging.

Das Nudging („Anstupsen“) ist ein Instrument, das mit positiven Impulsen von Anbieter*innen arbeitet statt mit Vorschriften und Verboten zu handeln. Das Konzept des Nudgings macht sich verhaltenspsychologische Erkenntnisse zunutze, die dem Bedürfnis der Menschen nach Einfachheit, Bequemlichkeit und Gewohnheit entgegenkommen, um ihnen sanft den Weg zu einer alternativen Handlungsweise zu ebnen (UBA 2016). Durch dezente Anreize sollen die Gewohnheit Strukturen von Personen aufgebrochen und mühelos Verhaltensänderungen ermöglicht werden. Dabei wird die Wahlfreiheit der adressierten Personen aufrechterhalten, ein kleiner Schubser in die richtige Richtung soll es ihnen jedoch erleichtern, sich für die vorteilhaftere Option zu entscheiden.

- Die Veränderung einer gewohnten Ausgangssituation kann eine einfache Vorgehensweise im Nudging sein. Ist die Fortführung einer alten Gewohnheit für eine Person plötzlich mit mehr Aufwand verbunden, während sich eine alternative Handlungsoption bequem anbietet, wird die weniger umständliche Praxis schnell als neue Normalität akzeptiert (ebd).
- Ein anderer Ansatzpunkt zielt auf die Orientierung von Bürgern an sozialen Normen. Indem Personen die vorbildhaften Gewohnheiten anderer Menschen nahegelegt werden, können Nachahmungseffekte angeregt werden (ebd.).
- Das so genannte „Green Nudging“ kann Betrieben dabei helfen, klimafreundliches Verhalten bei ihren Mitarbeitenden zu etablieren (Bremer Energie-Konsens o.J.). Für das Beispiel Wasser könnte ein Sticker neben der Toilette freundlich darauf hinweisen, bei Bedarf die Sparspültaste zu verwenden.

Nudges können sowohl zur Förderung der Nachhaltigkeit, aber auch zur Förderung des Konsums eingesetzt werden. Letzteres ist eine Spezialität des Marketings, die durch Anreize einerseits den Produktabsatz des Unternehmens, welches im Wettbewerb zu anderen steht, zu fördern. Andererseits wird hier Nudging auch eingesetzt, um den Absatz generell zu steuern, ohne die Folgen für die Nachhaltigkeit zu beachten.

In einer zukunftsgerichteten Berufsausbildung spielen diese Einflussfaktoren noch keine Rolle, sie dient der Vermittlung der notwendigen beruflichen Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten, zusammen auch "berufliche Handlungsfähigkeit" genannt. Ziel ist es, nicht nur die Fachkräfte, sondern auch die Unternehmer von morgen zu bilden.

Diese Fachkräfte und Unternehmer von morgen sollen in die Lage versetzt werden die Potenziale der Veränderung hin zu mehr Nachhaltigkeit im Unternehmen zu erkennen und ihren Einfluss auf deren Umsetzung zielgerichtet zu erhöhen. Dazu dienen nachhaltige Kommunikation ebenso wie fundiertes Wissen über Lieferketten, Zusammenhänge zwischen den betrieblichen Wechselwirkungen und den SDGs sowie der planetaren Kreisläufe.

In den nachfolgend aufgeführten SDG's werden Bezugspunkte hergestellt, wie Aspekte der Nachhaltigkeit aufgegriffen und umgesetzt werden können damit

Zerspanungsmechaniker/-innen wichtige Beiträge zur Umsetzung der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie leisten können.

Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie überführt die [Ziele für nachhaltige Entwicklung](#) der Vereinten Nationen (UN 2015) in eine nationale Strategie. Am 10. März 2021 beschloss die Bundesregierung die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2021 (Bundesregierung 2021). 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 Berufsausbildung "Zerspanungsmechaniker/-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

2.3 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

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/ressourcenschonung-in-produktion-konsum/ressourcennutzung-in-deutschland>

- IG-Metall Tariflexikon
<https://www.igmetall.de/tarif/tariflexikon>
- Statistisches Taschenbuch Tarifpolitik (2019)
<https://www.wsi.de/de/statistisches-taschenbuch-15335.htm>
- Berufe im Spiegel der Statistik, 2017
<https://bisds.iab.de/Default.aspx>
- Bremer Energie-Konsens (o.J): Green Nudging. Online: <https://green-nudging.de>
- UBA (2016): Nudge-Ansätze beim nachhaltigen Konsum. Online:
www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3714_93_303_nudge-ansatze_konsum_bf.pdf

3. 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 "Zerspanungsmechaniker/-in" sind in Deutschland folgende Unterziele relevant.

- 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.

Kopie 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 Zerspanungsmechaniker/innen

Tätigkeiten an Zerspanungs Arbeitsplätzen können für die an dem Arbeitsprozess beteiligten Personen oft mit hohen gesundheitlichen Risiken verbunden sein. Die Gefährdungen potenzieren sich vor allem dann, wenn die Maschinen, die zur Zerspanung eingesetzt werden, in engen Räumen installiert sind. Die potenziellen Gefahren an einem derartigen Arbeitsplatz entstehen u.a. 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, Schleifen,
- Beeinträchtigung der Haut durch Kontakt mit Kühlschmierstoffen und Lösemitteln, Klebern (Allergien, Infektionen),

- Gefahr von Hauterkrankungen beim Nassschleifen chrom-nickel legierter Stähle in Verbindung mit Kühlschmierstoffen und deren allergieauslösendem Potential (z. B. durch Metallionen von Nickel, Chrom, Cobalt),
- Geruchsbelastung beim Bearbeiten von Gusswerkstoffen und Kunststoffen,
- Gesundheitsgefahren für die Atmungsorgane durch Einatmen von Stäuben und Dämpfen (flüchtige Lösungsmittel)

Gefährdungen durch Kühlschmierstoffe

Besonders der Einsatz von Kühlschmierstoffen (KSS) kann zu erheblichen Gefährdungen führen. Einige in KSS enthaltene Stoffe (Nitrosamine, Diethylenglykol, verschiedene Lösungsmittel), sind gesundheitlich bedenklich, jedoch können die Risiken minimiert werden, wenn die Richtlinien, Sicherheits- und Herstellungsvorschriften für den Umgang mit und den Einsatz von wassermischbaren Kühlschmierstoffen (Der Metallarbeiter, 2000), vor allem die TRGS (Technische Richtlinie Gefahrstoffe) 611, eingehalten werden.

Der beim Einsatz von KSS entstandene Anteil an Nitrosaminen wird seit Jahren reduziert und durch die TRGS 611 sehr stark beschränkt. Zur Reduzierung des Risikos der Bildung von Nitrosaminen werden dort eine Reihe von Verwendungsbeschränkungen ausgesprochen, die darauf basieren, nitrosierende Agenzien fernzuhalten und nitrosierbare sekundäre Amine durch geeignete Ersatzstoffe, z.B. primäre Amine, zu ersetzen.

Immer noch enthalten sind verschiedene giftige und mindergiftige (vor Allem in Form von Bioziden wie z.B. Formaldehyd Depotstoffe, Thiazole oder Isothiazolinone), also gesundheitsschädliche Stoffe, vor allem aber auch Allergene (besonders in Additiven oder Antioxidantien) (Koch 1996).

Gesundheitsschäden durch Allergene und andere Gifte können typischerweise durch den Hautkontakt mit dem flüssigen Kühlschmierstoff entstehen.

Ein großes Problem ist, dass die KSS durch schnelllaufende Werkzeuge vernebelt werden und Aerosole bilden. Diese gelangen beim Einatmen in den Körper: Kühlschmierstoffe, die nicht der TRGS 611 entsprechen, können krebserregend sein und über das Einatmen der Aerosole Lungenkrebs verursachen. Schuld sind hier die bereits erwähnten Nitrosamine, die entstehen können, wenn das Mittel nicht der TRGS 611 entspricht und daher sekundäre Amine enthalten kann.

Mikroorganismen in wassergemischten Kühlschmierstoffen (z.B. Schimmelsporen) können ebenfalls Atemwegsallergien auslösen.

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 darin enthaltene Nitrosamine Lungenkrebs verursachen.

Zusammenfassung der Risiken von Kühlschmierstoffen:

- direkter Kontakt mit KSS kann zu Erkrankungen der Haut führen (Kontaktekzem)
- Augenkontakt mit KSS kann zu unterschiedlich heftigen Reizungen der Augen führen
- Einatmen von Dämpfen oder Aerosolen von KSS, oftmals sind Reizungen und Erkrankungen der Atemwege die Folge
- Aufnahme einzelner Bestandteile der KSS über Luft und Haut kann zu Erkrankungen innerer Organe führen, z.B. Niere und Leber werden durch Diethylenglykol, oder die Nerven durch Lösungsmittel angegriffen.
- Kontakt mit verschmutzten, durch Mikroorganismen belasteten wassergemischten KSS, in denen sich krebserregende Nitrosamine gebildet haben.
- Da die KSS während des Bearbeitens in Bewegung sind und sich erwärmen, werden Dämpfe freigesetzt oder feinste Teilchen versprüht, sodass brennbare oder explosionsfähige Dampf-/Luft-Gemische entstehen können.
- Gefährdung der Umwelt bei nicht vorschriftsgemäßer Entsorgung

Maßnahmen für einen sicheren Einsatz von KSS

Für den Umgang mit Kühl-Schmierstoffen gibt es ausreichend Hinweise, wie dieser nachhaltig gestaltet werden kann (Safety eXperts, 2023)

Alternativen suchen

- Oberstes Ziel des Arbeitsschutzes ist es immer, Gefahren ganz und gar zu vermeiden. Das gilt auch für den Einsatz von KSS, denn u.a. die Trockenbearbeitung und die Minimalmengenschmierung sind mögliche Alternativen.
- Für die Trockenbearbeitung sind unterschiedliche Varianten denkbar:
 - Auf den Kühlschmierstoff wird vollständig verzichtet.
 - Minimalmengenschmierung durch Einsatz von Aerosolen
 - Kühlende Gase (z. B. Stickstoff) ersetzen die flüssigen Kühlstoff

Organisationsoptimierung für den sicheren Einsatz von Kühlschmierstoffen

- Anzahl der betroffenen Beschäftigten gering halten, z. B. durch räumliche Trennung der Arbeitsgänge mit KSS von anderen Tätigkeiten
- Begrenzung der Dauer und des Umfangs des Kontakts mit den KSS durch Arbeitsorganisatorische Maßnahmen z. B. durch Vorgabe einer bestimmten Zeit pro Schicht / Prozess
- Begrenzung der Gefahrstoffmengen, die am Arbeitsplatz bereitgehalten werden - Menge sollte Tagesbedarf nicht überschreiten
- Verhinderung von Fehlgebrauch von Arbeitsstoffen durch z. B. ausschließliche Verwendung von deutlich und aussagefähig beschrifteten Verpackungen für KSS
- Organisation ausreichender Lüftungsmöglichkeiten, Verlagerung der Arbeiten mit KSS in möglichst großen Räumen bzw. Hallen.

- Voraussetzungen für Sauberkeit am Arbeitsplatz schaffen: Mittel zur Beseitigung von Verschmutzungen müssen vorhanden sein und Behälter zur Abfallbeseitigung bereitstehen.

Schulung von Mitarbeitern

- Auch wenn die Organisation optimiert ist und die Kollegen gut informiert sind: Völlig ausschließen lassen sich Unfälle nicht.
- Regelmäßige Sicherheitsunterweisungen und das gemeinsame Besprechen der Sicherheitsdatenblätter zu den KSS erhöhen die Sicherheit am Arbeitsplatz. Vor allem in den Punkten 4 bis 8 der Sicherheitsdatenblätter sind wichtige Hinweise für Notfallmaßnahmen zu finden (Safety eXperts, 2023).

Prüfung und Entsorgung von Kühlschmierstoffen

- Kühlschmierstoffe verändern bei ihrem Einsatz ihre Eigenschaften: Sie nehmen Schmutz auf und werden dabei durch feste Bestandteile oder chemisch verunreinigt bzw. von Mikroorganismen befallen („verkeimt“). Damit verlieren sie ihre nützlichen Eigenschaften und werden zu einer langfristigen biologischen Gefahr für Mensch und Umwelt.
- Ein Prüfplan, in dem die Sollwerte für Kühlschmierstoffe festgehalten sind und dessen regelmäßige Kontrolle und Dokumentation, zeigt, ob die Vorgaben eingehalten werden.
- Wassergemischte und nicht-wassermischbare Kühlschmierstoffe müssen voneinander getrennt gesammelt, gelagert und entsorgt werden.

Betriebsanweisung

- Ein bewährtes Mittel, um auf Gefahren aufmerksam zu machen und Mitarbeiter über die erforderlichen Notfallmaßnahmen zu informieren, ist die Betriebsanweisung. Diese sollte dort aufgehängt werden, wo auch mit Kühlschmierstoffen gearbeitet wird, und zumindest in jährlichen Gefahrstoffunterweisung durchgegangen werden. (Safety eXperts, 2023)
- Weitere Informationen zum sicheren Umgang mit Kühlschmierstoffen finden sich auf der Homepage der Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. ([DGUV](#) o.J.)

Weitere Maßnahmen zur Arbeitssicherheit

Neben allgemeinen und organisatorischen Schutzmaßnahmen, die bei Tätigkeiten an Zerspanungsmaschinen 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 Zerspanungsarbeitsplatzes kann die Gefahrenpotenziale abschwächen. Dazu gehören die Installation von Ölnebel Absaugeinrichtungen, ausreichende Belüftung und die Einhaltung der vorgeschriebenen Mindestabstände zu anderen Maschinen. (Sichere Arbeitsplätze in Produktion und Industrie, 2021)

Hinzu können Arbeitsplatz bedingte Stressfaktoren 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 der Automaten (z. B. Drehautomaten) sowie schnelle und sichere Reaktionsfähigkeit beim Auftreten von Störungen.
- Schichtarbeit, insbesondere Wechselschichten
- Akkordarbeit
- 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).

Zerspanungsmechaniker/-innen, können durch Kenntnis von Ersatzrohstoffen (sogenanntes Öko-Aluminium (RoHS und REACH konform) EN AW-6026LF anstatt EN AW-2007), bei der Auswahl und Beschaffung von Rohstoffen und Materialien einen großen Einfluss ausüben, indem sie in Besprechungen und Planungssitzungen Möglichkeiten zur Kommunikation nachhaltigerer Alternativen auf die Tagesordnung rufen (siehe Nudging). Aufklärung, Innovation und Nachhaltigkeit werden zu immer größeren Säulen des Einkaufs. Sie leisten so einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit ihres Unternehmens (siehe auch SDG 12 und 13).

Darüber hinaus bildet u.a. das Lieferketten Sorgfaltspflichtgesetz (LkSG, 2002, s. hierzu das Kapitel [Deutsches Sorgfaltspflichtengesetz](#)) dafür einen gesetzlichen Rahmen.

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

3.6 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.
-

- BMWI Bundesministerium für Wirtschaft und Energie Öffentlichkeitsarbeit (2015): Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft
https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-und-digitale-wirtschaft.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D3
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (o.J.) Arbeitsschutzgesetz.
(<https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze-und-Gesetzesvorhaben/arbeitsschutzgesetz.html;jsessonid=B2EA53A9DFFF73A598D72099B8DBB006.delivery1-replication>)
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (o.J.) Arbeitsschutz
<https://www.bmas.de/DE/Arbeit/Arbeitsschutz/Technischer-Arbeitsschutz/technischer-arbeitsschutz.html>
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (o.J.) Produktsicherheitsgesetz
<https://www.bmas.de/DE/Arbeit/Arbeitsschutz/Produktsicherheit/produktsicherheitsgesetz.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%40attr_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](https://www.dserver.bundestag.de/btd/19/261/1926140.pdf)
- DGUV (o.J.): Praxishilfen für Tätigkeiten mit Kühlschmierstoffen, Ibkube;
<https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/kuehlschmierstoffe/praxishilfen/index.jsp>
- Sichere Arbeitsplätze in Produktion und Industrie, 2021
<https://www.weka.de/arbeitsschutz-gefahrstoffe/zerspanungsarbeitsplatz/>
- 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>
- gesund.bund.de (o.J.): Stress: Auswirkungen auf Körper und Seele. online:
<https://gesund.bund.de/stress>
- Koch et al.: Kontaktallergien bei Metallarbeitern. Dermatosen 44, 62-67 (1996). Der Metallarbeiter. Umwelt und berufsdermatologisches Bulletin. Hrsg. Fa. Asche AG, Nr. 89 (2000)
- Safety eXperts (2023): Kühlschmierstoffe: 8 Gefahren und Schutzmaßnahmen. Online:
<https://www.safetyxperts.de/gefahrstoffe-und-gefahren/kuehlschmierstoffe/>
- 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/wido
- Safety eXperts (2023): Kühlschmierstoffe: 8 Gefahren und Schutzmaßnahmen
<https://www.safetyxperts.de/gefahrstoffe-und-gefahren/kuehlschmierstoffe/>
- TU-Darmstadt (2019) - Ressourceneffizienz in der Zerspanung
https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/21518/1/Ressourceneffizienz_Zerspanung_Neuauf_l_2019_screen.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.

Quellenverzeichnis

- BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (2022): Digitalisierung und Nachhaltigkeit – was müssen alle Auszubildenden lernen? Online: www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/berufliche-bildung/rahmenbedingungen-und-gesetzliche-grundlagen/gestaltung-von-aus-und-fortbildungsordnungen/digitalisierung-und-nachhaltigkeit/digitalisierung-und-nachhaltigkeit
- Kastrup, Julia; Kuhlmeier, Werner; Nölle-Krug, Marie (2022): Aus- und Weiterbildung des betrieblichen Bildungspersonals zur Verankerung einer Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung. In: MICHAELIS, Christian; BERDING, Florian (Hrsg.): Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung. Umsetzungsbarrieren und interdisziplinäre Forschungsfragen. Bielefeld 2022, S. 173-189
- Költze, Horst (1993): Lehrerbildung im Wandel. Vom technokratischen zum humanen Ausbildungskonzept. In Cohn, Ruth C.; Terfurth, Christina (Hrsg.): Lebendiges Lehren und Lernen. TZI macht Schule. Klett-Cotta. S. 192 - 212
- Handke, Harald (2018): „Resonanzräume des Subpolitischen“ als wirtschaftsdidaktische Antwort auf ökonomisierte (wirtschafts-)betriebliche Lebenssituationen – eine Forschungsheuristik vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeitsidee. In bwp@Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online (Nr. 35), 2018, S. 1-23.
- Melzig, Christian; Kuhlmeier, Werner; Kretschmer, Susanne (Hrsg. 2021): Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung. Die Modellversuche 2015–2019 auf dem Weg vom Projekt zur Struktur. Bonn 2021. Online: <https://www.bibb.de/dienst/veroeffentlichungen/de/publication/show/16974>
- Schütt-Sayed, Sören; Casper, Marc; Vollmer, Thomas (2021): Mitgestaltung lernbar machen – Didaktik der Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung. In: Melzig, Christian; Kuhlmeier, Werner; Kretschmer, Susanne (Hrsg.): Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung. Die Modellversuche 2015–2019 auf dem Weg vom Projekt zur Struktur. S. 200-227. Online: <https://www.bibb.de/dienst/veroeffentlichungen/de/publication/show/16974>

SDG 7 „Bezahlbare und saubere Energie“

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

Das SDG 7 beinhaltet soziale und ökologische Anforderungen an den Klimaschutz. Für die Kreislauf- und Abfallwirtschaft sind daher vor allem 3 Unterziele wichtig (Destatis 2022):

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

Das SDG 7 “Bezahlbare und saubere Energie” beinhaltet soziale und ökologische Anforderungen an den Klimaschutz. Ökologische und das Klima schützende Anforderungen werden durch andere SDGs (insbesondere 13, 14 und 15) abgedeckt (Destatis 2022). “Saubere Energie”, wie dies in SDG 7 genannt wird, bedeutet heute für den Klimaschutz grundsätzlich der Umstieg auf erneuerbare Energien (EE), eine höhere Energieeffizienz und Energiesparen. Die Schnittmenge für das SDG 7 ergibt sich aus vier Nummern der Standardberufsbildposition (BiBB 2020):

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

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 und Erden	84,7
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

Gestaltungsspielraum für Zerspanungsmechaniker/innen

Der Zerspanungsmechaniker und die Zerspanungsmechanikerin haben über die Gestaltung von Produktionsprozessen Ansatzpunkte für die Senkung von Verbräuchen bzw. die Gewinnung von Energie. Besonders durch Ressourcenschonende Programmierung der Werkzeugmaschinen (nicht notwendige Beschleunigungen vermeiden, Drehrichtungsumkehr nicht aus vollem Lauf) und Kenntnisse über den Einfluss von Fertigungsparametern auf Energie- und Werkzeugverbrauch (Drehzahl, Vorschub, Schnittgeschwindigkeit) ebenso wie Auswirkungen des Einsatzes von verschiedenen Schneidstoffen auf die Umwelt (Gegenüberstellung HSS gegen Schneidkeramik) lassen sich enorme Energiesparpotenziale erschließen. Auch der Einsatz von automatischen Programmoptimierungssystemen (AFC von Heidenhain (Heidenhain, 2021) oder AVCM von Siemens (Siemens, o.J.)) ermöglichen eine deutliche Erhöhung des Zeitspanvolumens bei gleichzeitiger Reduktion des Werkzeugverschleißes und des Energieverbrauchs beim Spanen. Im Fokus der Betrachtung von Programmoptimierungssystemen stehen alle Prozesse mit hohen Schnittkräften und hohem Zeitspanvolumen.

Darunter fallen Spanprozesse im Allgemeinen aber auch die Bearbeitung schwer zerspanbarer Materialien wie Titan, korrosionsbeständige Nickelbasislegierungen (z.B. Inconel) und vieler anderer Werkstoffe, die wegen ihrer spezifischen Eigenschaften im Werkzeug- und Formenbau, der Luft- und Raumfahrtindustrie, der Medizintechnik und der Energietechnik eingesetzt werden. Durch die bei der Bearbeitung auftretenden Kräfte werden Maschine und Werkzeug extrem belastet, was den Verschleiß und den Energieverbrauch dramatisch erhöht. Ziel einer Verbesserung muss es deshalb sein, das Zeitspannvolumen zu erhöhen, gleichzeitig aber auch die Werkzeugstandzeiten zu verlängern und die Maschinenbelastung zu reduzieren.

Durch den Einsatz dieser modernen Technologie an Fertigungsautomaten lässt sich der Zielkonflikt zwischen Zeitoptimierung und Ressourcenoptimierung beim Spanen entschärfen.

Nicht zuletzt steht aber die Erkenntnis, dass über 33% der genutzten elektrischen Energie bei der Zerspanung als Standby Leistung verbraucht wird, ganze 38% entfallen für den Betrieb des Hydraulikaggregates, 24% entstehen bei Positioniervorgängen im Eilgang und nur 4,3% sind der tatsächlichen Prozessleistung zuzuordnen (Manuela Erika Redecker, 2010).

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 TWh (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 Wärmezeugung 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).

Photovoltaik

Photovoltaik ist die Umwandlung von Sonnenlicht in Strom. Dies geschieht mit Hilfe von PV-Modulen, in denen die Solarstrahlung Strom erzeugt. Der Strom wird über Leitungen zu einem Wechselrichter geführt, der den Gleichstrom aus den PV-Modulen in Wechselstrom umwandelt. Die Kosten der PV-Technologie sind bei höherer Leistung - trotz Preissteigerungen aufgrund des Krieges - deutlich günstiger als vor 20 Jahren. Für den Betrieb von Photovoltaik-Anlagen gibt es drei Betriebsmodelle:

- **Dachverpachtung:** Die einfachste Möglichkeit, von einem geeigneten Dach zu profitieren, ist die Verpachtung der Dachfläche an Dritte. Diese sind dann Betreiber der Anlage. Stadtwerke, Energieversorgungsunternehmen und Projektentwickler bieten bereits „schlüsselfertige“ Dachpachtlösungen an. Dabei baut der Betreiber auf seine Kosten die Anlage, bewirtschaftet sie und übernimmt das unternehmerische Risiko.

- **Eigenverbrauch mit Überschusseinspeisung:** Besonders attraktiv ist die Gestaltung des Eigenverbrauchs. Der Eigentümer errichtet die Anlage auf eigene Kosten und versucht, seine Stromnutzung so zu gestalten, dass bei Sonnenschein Strom entweder verbraucht oder in Batterien gespeichert wird.
- **Volleinspeisung:** In diesem Fall ist der Dacheigentümer auch Betreiber der PV-Anlage. Der gesamte erzeugte Strom wird in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist und der Anlagenbetreiber erhält für jede eingespeiste kWh die sog. Einspeisevergütung.

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 Cobalt-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. Die beiden folgenden Beispiele zeigen aber Probleme für die Nachhaltigkeit auf.

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.).

Innenraumbelichtung 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 Energiereferenzhalle 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 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.

- **Energieeffizienzkennzeichnung:** In der EU gibt die Energieeffizienzkennzeichnung 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.).

Quellenverzeichnis

- all-electronics.de "Optimierung des Beleuchtungskonzepts in einer Produktionshalle", <https://www.all-electronics.de/elektronik-entwicklung/optimierung-des-beleuchtungskonzepts-in-einer-produktionshalle.html>
- Batterieforum (o.J.): Lithium-Ionen-Batterien. Online: <https://www.batterieforum-deutschland.de/infportal/lexikon/lithium-ionen-batterien/>
- BMWK - EnVKV 2020 Energieverbrauchskennzeichnung von neuen Pkw <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energieverbrauchskennzeichnung-von-pkw.html>

- Bundesministerium für wirtschaft und Klimaschutz - BMWK (o.J.) Energieforschungsprogramm) <https://www.energieforschung.de/energieforschungspolitik/energieforschungsprogramm/foerderschwerpunkte>
- 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/>
- 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/>
- energieeffizienz-im-betrieb (o.J.): Praxisbeispiel: Hotel mit BHKW. Online: <https://www.energieeffizienz-im-betrieb.net/energiesparen-betrieb/bhkw-hotel.html>
- energieexperten (o.J.): Ratgeber: Kennwerte für den Stromverbrauch von Beleuchtungen. Online: <https://www.energie-experten.org/energie-sparen/energieverbrauch/stromverbrauch-berechnen/stromverbrauch-beleuchtung>
- energy.net (2017): Bedeutung der Beleuchtung beim Stromverbrauch in Unternehmen. Online: <https://www.energynet.de/2017/05/09/beleuchtung-unternehmen/>
- 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/>
- Fraunhofer ISI (2013): Industrielle abwärmennutzung. Online: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2013/Kurzstudie_Abwaermenutzung.pdf
- GRS Batterien (o.J.): Die Welt der Batterien - Funktion, Systeme, Entsorgung. Online: <https://www.grs-batterien.de/newsroom/bibliothek/>;
- Heidenhain - Dynamic Efficiency – effizient und prozesssicher bearbeiten 2021 https://www.heidenhain.de/fileadmin/pdf/de/01_Produnkte/Technische_Dokumentation/TI_Dynamic_Efficiency_ID1081192_de.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
- LEDONLINE (o.J.): Was sind die Vor- und Nachteile einer LED-Beleuchtung?. Online: <https://ledonline.de/blog/alle-vor-und-nachteile-einer-led-beleuchtung/>
- Manuela Erika Redecker, Dipl.-Ing. Kenngrößen der Energieeffizienz in der spanenden Fertigung <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=5f3122132682c&location=browse>
- Mein Klimaschutz (o.J.) CO2 durch Verkehrsmittel im Vergleich <https://www.mein-klimaschutz.de/unterwegs/a/einkauf/welches-verkehrsmittel-verursacht-im-vergleich-mehr-co2/>
- 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#>
- Siemens - Optimale und stabile Bearbeitung mit adaptiver Vorschubregelung <https://www.siemens.com/de/de/produkte/automatisierung/systeme/cnc-sinumerik/digitalisierung/produktionsoptimierung/adaptive-control-and-monitoring.html>
- Sokratherm (o.J.): Galvano Technik Breitenungen GmbH & Co. KG: Fallbeispiel: BHKW-Anlage Galvanik: Online:

https://www.sokratherm.de/wp-content/uploads/Fallbeispiel_GTB_Galvanotechnik_Breitungen_20_1_WME.pdf

- Statistisches Bundesamt - destatis, 2023
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/industrie/branchenabhaengiger-energieverbrauch-des#der-energiebedarf-des-verarbeitenden-gewerbes>
- Stromrechner (o.J.): Wie viel Strom produziert ein Atomkraftwerk? Online:
<https://stromrechner.com/wie-viel-strom-produziert-ein-atomkraftwerk/>
- Stromreport (2022) Deutscher Strommix - Stromerzeugung Deutschland bis 2022. Online:
<https://strom-report.de/strom/#>
- Tagesschau (2022): Gehört Wärmepumpen die Zukunft? Online:
www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/waermepumpe-klimaschutz-ukraine-energiepreise-viessmann-heizung-101.html
- Tagesschau (2023): Özdemir will Getreide-Biosprit verbieten. Online:
<https://www.tagesschau.de/wirtschaft/oezdemir-biosprit-ende-101.html>
- UBA Umweltbundesamt (2009): Beleuchtungstechnik mit geringerer Umweltbelastung Online:
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/UBA_Licht_Ausgabe_03.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2021): Naturschutz und Bioenergie. Online:
www.bmu.de/themen/naturschutz-artenvielfalt/naturschutz-biologische-vielfalt/naturschutz-und-energie/naturschutz-und-bioenergie
- UBA Umweltbundesamt (2021): Wie hoch sind die Treibhausgasemissionen pro Person in Deutschland durchschnittlich? Online:
<https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-hoch-sind-die-treibhausgasemissionen-pro-person>
- UBA Umweltbundesamt (2021) Projektionsbericht 2021 für Deutschland
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/projektionsbericht_2021_uba_website.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2022 a); Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren;
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren#allgemeine-entwicklung-und-einflussfaktoren>
- UBA Umweltbundesamt (2022b): Tempolimit. Online:
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/tempolimit#t>
- 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>
- Wikimedia (2020): Installierte PV-Leistung in Deutschland. online:
www.commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=90477752

SDG 8 „Menschenwürdige Arbeit“

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

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

Der Beruf des Zerspanungsmechanikers, der Zerspanungsmechanikern zu den klassischen MINT Berufen mit einem Frauenanteil von nur 5,6% (BWP, 21%). Obwohl der Beruf eindeutig zu den Industriebereufen des Maschinenbausektors gehört, kann ihm keine eindeutige Betriebsgrößentypik zugeordnet werden. So werden jährlich 66% der Zerspanungsmechaniker:innen in Betrieben ausgebildet, die weniger als 250 Mitarbeiter beschäftigen, 36% sind in Klein- und Kleinstbetrieben zu finden (Meike Baas/Martin Baethge, 2017). Dementsprechend vielfältig sind die Arbeitszeitmodelle der Beschäftigten. Abhängig vom Unternehmen kommen verschiedene Schicht-, Gleitzeit- und Überstundenmodelle zum Einsatz.

In KMU genauso wie in Großunternehmen zeigt sich 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 Erwerbspersonen 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/>
- BWP (2021, S27): Ausgabe 4-21 "Gender und Beruf" <https://www.bwp-zeitschrift.de/de/bwp.php/de/publication/download/17507>
- 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/ef22012en.pdf
- Europäische Kommission (2022): RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über die Sorgfaltspflichten von Unternehmen im Hinblick auf Nachhaltigkeit und zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937. Online: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:bc4dcea4-9584-11ec-b4e4-01aa75ed71a1.0007.02/DOC_1&format=PDF

- 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
- 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
- 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/Erlaeuterungen/erlaeuterungen-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 Zerspanungsmechaniker/-innen

Zerspanungsmechaniker/-innen sind Treiber der Innovation – nicht nur in der Metallverarbeitenden Industrie. Sie wirken insbesondere durch hochkomplexe Einzelfertigung als Enabler für Wissenschaft und Forschung und Medizintechnik. Die klein- und groß-Serienfertigung von Präzisionsbauteilen ist die Grundlage für Luft- und Raumfahrt und moderne Prozessleittechnik.

Nicht zuletzt durch die ständig steigenden Leistungsanforderungen an Bauteile, Prozesse und die Fertigungsumgebung ist der Begriff “Industrie 4.0” in den letzten Jahren immer stärker in den Fokus der Unternehmen gerückt.

Die technologischen Treiber („Enabler Technologien“) von Industrie 4.0 lassen sich vier Kategorien zuordnen:

- Cyber-Physische (Produktions-)Systeme, also Systeme aus miteinander vernetzten Geräten, Maschinen und beweglichen Gegenständen, die mittels IT und kontinuierlichem Datenaustausch – zum Beispiel über das Internet – gesteuert werden. Maschinen, Geräte und sogar Werkstücke sind umfassend mit Sensoren ausgestattet, die fortwährend Daten über Zustand, Standort, Prozessfortschritt, aber auch Nutzungsverhalten produzieren. 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 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. Die smarte Produktion schließt dabei Logistik mit ein (ebd.).
- Cloud-Technologien erlauben es, über das Internet von jedem Ort aus auf zentral gespeicherte Daten eines Prozesses zuzugreifen und diese Daten auch mittels bereitgestellter Verarbeitungs- und Analysesoftware zu bearbeiten. Erst durch Cloud-Technologien ist es möglich, die Menge an Daten, die von Cyber-Physischen Systemen permanent produziert werden, optimal zu bewältigen und produktiv zu nutzen (ebd.).
- Additive Fertigungsverfahren wie 3D-Visualisierung und vor allem 3D-Druckverfahren spielen eine wichtige Rolle für den Wandel zur Industrie 4.0. Sie erlauben 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. (BMW, 2015).

Zwei dieser Kategorien liegen im Haupteinsatzfeld von Zerspanungsmechanik:innen – bei der Fertigung von Bauteilen durch additive Verfahren und der Bedienung cyber-physischer Fertigungssysteme sind sie die zentrale Anlaufstelle in der Produktion der Industrie 4.0. Hauptaugenmerk liegt dabei auf der komplexen Rüstung und Einrichtung der Fertigungsautomaten für die verschiedenen Verfahrenstypen und der Ermittlung prozesssicherer Fertigungsparameter in Kooperation mit Fertigungstechnologien im laufenden Betrieb.

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 (EVA M+E-Studie, 2022).

Für die Zerspanungsmechaniker:innen sind dies Systemintegration, Prozessintegration, IT-gestützte Anlagenänderung und additive Fertigungstechniken. (BIBB, 2018).

Dadurch wird in Zukunft in der Industrie 4.0 auch die Kategorie “Integrierte Daten, Datenströme und Big Data” immer relevanter für dieses Berufsbild.

Additive Fertigungsverfahren

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 (IPH Hannover, o.J.).

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 kleine 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, 2019).

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, dem 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.

Kühlschmierstoffe

Kühlschmiermittel bestehen hauptsächlich aus Grundölen, die mit Additiven (Zusatzstoffen) kombiniert sind. Die Wahl der Additive bestimmt die Eigenschaften und damit den Einsatzbereich der Schmierstoffe.

KSS werden nach DIN 51385 in drei Hauptgruppen eingeteilt:

- nicht wassermischbare KSS,

Zu den nicht wassermischbaren Kühlschmiermitteln zählen zum Beispiel Bearbeitungsöl und Schneidöl. Der Einsatz dieser Schmierstoffe erfolgt vor allem, wenn hohe Schneidbelastungen eine deutliche Verringerung der Reibung erfordern.

- wassermischbare KSS

Für die Zerspanung mit hohen Schnittgeschwindigkeiten und großer Wärmeentwicklung bieten sich wassermischbare Kühlschmierstoffe an. Diese bestehen aus Basisölen, die durch den Zusatz von Emulgatoren wassermischbar werden. Im praktischen Einsatz zeichnen sie sich vor allem durch ihren ausgeprägten Korrosionsschutz und ihre besondere pH- und Biostabilität sowie durch die sehr gute Haut- und Umweltverträglichkeit aus.

- wassergemischte KSS

Sie verbinden die Vorteile guter Kühlung mit der ausgezeichneten Schmierung. Die Vorzüge liegen vor allem bei anspruchsvollen Zerspanungsprozessen, einem im

Vergleich zu den Emulsionen deutlich verringertem Verbrauch und einem sauberen Arbeitsumfeld durch die Abwesenheit von Ölnebeln.

Zu den größten Nachteilen von KSS gehört, dass sie nicht nur kostenintensiv, sondern auch eine erhebliche Belastung der Umwelt und vor allem eine gesundheitliche Belastung für die Mitarbeiter darstellen (Siehe SDG 3).

Alternative zu KSS – Trockenzerspanung, Minimalmengenschmierung und Kühlung durch Gase

Trockenbearbeitung stellt eine Alternative zur Vollstrahlkühlung dar und ist mit abgestimmten Parametern bei zahlreichen Fertigungsaufgaben möglich. Ein großer Vorteil: Durch den Wegfall der Vollstrahlkühlung bei der Metallzerspanung wird die Thermoschock Belastung der Werkzeugschneide eliminiert. Superharte Schneidstoffe können dadurch überhaupt erst eingesetzt werden, was weitaus höhere Schnittwerte als HSS und sogar Vollhartmetalle ermöglicht. Aber auch in klassischen Einsatzgebieten für Hartmetalle macht sich dieser Vorteil deutlich durch längere Werkzeugstandzeiten bemerkbar. Darüber hinaus hat in den letzten Jahren die Entwicklung von Schneidstoffe und Werkzeuggeometrien speziell für die Trockenbearbeitung weiteres Potenzial für Zerspanleistungen und Standzeiten geschaffen (zerspantechnik.de, o.J.).

Eine Weiterentwicklung der reinen Trockenbearbeitung ist die Minimalmengenschmierung (MMS). Dabei wird KSS als Aerosol zugeführt, also als feinste Tröpfchen im Druckluftstrom. Je Prozess Stunde werden hierbei deutlich weniger als 50 ml eingesetzt (BGI/GUV-I 718 D 2010). Dabei gilt als wesentlichstes Merkmal, dass Werkstück und Späne trocken bleiben, so dass die Verwendung des Begriffs Trockenbearbeitung gerechtfertigt ist (MT-Metallhandwerk.de, 2021).

Mit bloßem Auge ist, aufgrund dieser Mengenverhältnisse, jedoch häufig der Sprühnebel nicht mehr zu erkennen, was den Umgang mit dem MMS-System für Zerspanungsmechaniker:innen schwierig macht. Wird die Dosierung bis zur Sichtbarkeit erhöht, führt dies häufig zu Spänen, die in der Entsorgung nicht mehr als trockenes Material angenommen werden, sowie zur Verschmutzung der Maschine mit einer Schicht aus Schmiermittel und Feinspänen, welche die Reinigung der Maschine deutlich erschweren und die Lebensdauer von Gleitbahnen und Lagern beeinträchtigen können (ebd.).

Vorwiegend durch die deutliche Herabsetzung der Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück wird die Reduktion der Prozesstemperatur bei Minimalmengenschmierung erreicht. Die Energieaufnahme bei der Verdampfung hat nur marginalen Einfluss. Die an die Zerspanstelle herangeführte Luft unterstützt dabei den Spänetransport (ebd.).

Bei MMS-Systemen wird zwischen äußerer und innerer Zuführung des MMS-Gemisches unterschieden. Ein Beispiel für das Einsatzgebiet der äußeren MMS-Zuführung ist die Fräsbearbeitung, weil die Schnitttiefen so gering sind, dass eine ausreichende Benetzung des Werkzeugs jederzeit gewährleistet ist (ebd.).

Systeme mit innerer Zuführung werden häufig bei Bohr- und Reiboperationen eingesetzt, da bei großen Bohrungslänge/Durchmesser eine Versorgung von außen nicht mehr sichergestellt werden kann. Allerdings müssen auch Werkzeuge mit speziell für den Aerosol Transport gestalteten inneren Kanälen beschafft werden (ISF-Maschinenbau Dortmund 2004), was den Einsatz von KSS-Systemen zu einer Investition macht. Erst wenn durch Werkzeug- und Beschichtungsoptimierungen keine weiteren signifikanten Verbesserungen mehr erzielt werden können, ist ein Einsatz von Minimalmengenschmiersysteme darum sinnvoll (ebd.).

Eine weitere Alternative zur Vollstahlkühlung besteht in der Verwendung von MMS in Verbindung mit einer kryogenen Kühlung durch CO₂.

Die Schmierwirkung des Aerosols wird dabei durch die Kühlwirkung eines CO₂-Schneestrahls ergänzt. Das CO₂ liegt bei Umgebungstemperatur und etwa 60 bar in flüssiger Form vor und wird über Leitungen der Austrittsstelle zugeführt. Dort expandiert es schlagartig und bildet einen Schneestrahls mit einer Temperatur von bis -79 Grad Celsius. Untersuchungen am Institut für Produktionsmanagement der TU-Darmstadt konnten nachweisen, dass der Einsatz der kryogenen Kühlung bei der Titanzerspannung zu einer Senkung der maximalen Prozesstemperatur um bis zu 200 Grad Celsius führt (Welt der Fertigung 2017).

In Zeiten der Ressourceneffizienz spielt Minimalmengenschmierung eine immer größere Rolle und liefert vielversprechende Ansätze zur Lösung der Zielkonflikte zwischen ökonomischen und ökologischen Anforderungen. Der Einsatz dieser Technologie ist jedoch mit hohem Aufwand bzgl. der Prozessgestaltung verbunden. Eine sorgfältige Planung und Umsetzung kann jedoch zu erheblichen wirtschaftlichen, umweltschonenden und prozesstechnischen Vorteilen führen. (ebd.)

Ressourcen- und Energieeffizienz von MMS

Im Vergleich zur Emulsionsschmierung verdampft ein Großteil des Öls während der Bearbeitung und der sich bildende Rauch wird über Abluft- und Filteranlagen aus dem Maschinenraum entfernt. Eine Entsorgung des Mediums entfällt.

Verluste durch Verschleppung, die bei Emulsionsschmierung beträchtlichen Umfang erreichen können, sind bei der Minimalmengenschmierung durch die extreme Verringerung der Schmierstoff-Menge zu vernachlässigen (BGI/GUV-I 718).

Dadurch können kostentreibende Faktoren bei der konventionellen Überflutungsschmierung entfallen. Dies bewirkt:

- Reduzierung der eingesetzten Kühlschmierstoff-Mengen,
- Verringerung des Aufwandes zur Überwachung und Badpflege,
- Vermeidung von verbrauchten Kühlschmierstoff Anteilen, die aufgearbeitet bzw. entsorgt werden müssten,
- Verringerung des Reinigungsaufwandes der bearbeiteten Teile sowie
- problemloses Recycling der quasi trockenen Späne durch geringere Ölbelastung.

Die Kosten für die Entsorgung von Kühlschmierstoffen sowie Maschinenausfallzeiten während des Austauschvorgangs entfallen ebenfalls (ebd.).

Neben den Kostenvorteilen bestehen auch Ressourceneinsparpotenziale: der Verbrauch mineralöhlhaltiger Kühlschmierstoffe kann um 98 %, der Wasserverbrauch um 80% und der gesamte Energieverbrauch sowie der Ausstoß von CO₂ können um die Hälfte reduziert werden(WeltderFertigung, 2017).

Der Hauptteil der Energieeinsparpotenziale entsteht durch das Fehlen der für die Überflutungskühlung notwendigen Hochdruckpumpen, welche einen Arbeitsdruck von bis zu 80 bar erzeugen. MMS-Systeme dagegen arbeiten in der Regel mit einem Druck von 8 bis 10 bar und werden an das Druckluftnetz der Fertigungsstätten angeschlossen. Neben Kosteneinsparung muss jedoch auch auf die Prozesssicherheit geachtet werden. Andernfalls können die Kostenvorteile durch MMS aufgrund von Prozessunsicherheiten und dadurch erforderlichen zusätzlichen Prozessschritten wieder negiert werden (ebd.).

Die Umstellung eines Fertigungsprozesses auf Minimalmengenschmierung erfordert umfassende Anpassungsarbeit. In Untersuchungen am Fachgebiet für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der TU Darmstadt zur Drehbearbeitung von Vermicularguss (GJV) konnten deutliche Steigerungen der Werkzeugstandzeit durch Anwendung von MMS, jedoch nur unter Einhaltung enger Prozessparameter, nachgewiesen werden(Welt der Fertigung, 2017).

Schmierstoffe für die Minimalmengenschmierung

Bei der Minimalmengenschmierung handelt es sich um eine Verlustschmierung, das bedeutet, der eingesetzte Schmierstoff wird hohen thermischen und mechanischen Belastungen ausgesetzt und gelangt als Aerosol oder Dampf in den Arbeitsbereich. Zerspanungsmechaniker:innen sollten daher auf die toxikologische Unbedenklichkeit der Schmierstoffe besonderen Wert legen.

In der industriellen Fertigung kommen synthetische Esteröle und Fettalkohole mit günstigem Verdampfungsverhalten und einem hohen Flammpunkt zum Einsatz (vgl. BGI/GUV-I 718 D 2010).

Synthetische Ester werden bei Zerspanungsverfahren eingesetzt, bei denen neben der Trennwirkung besonders die Schmierwirkung zwischen Werkzeug und Werkstück und den abfließenden Spänen im Vordergrund steht. Beispiele hierfür sind das Gewindeschneiden, das Bohren, das Reiben und das Drehen. Trotz niedriger Viskosität haben sie einen hohen Siedebereich und Flammpunkt. Dadurch gelangt, im Vergleich zu konventionellen Mineralölen, wesentlich weniger Dampf in den Arbeitsraum. Esteröle sind sehr gut biologisch abbaubar und werden auf Grund ihrer geringen toxikologischen Eigenschaften in die Wassergefährdungsklasse 1 (WGK 1) oder „nicht wassergefährdend“ (nwg) eingestuft (ebd.).

Fettalkohole haben im Vergleich zu Esterölen bei gleicher Viskosität einen niedrigeren Flammpunkt und eine geringere Schmierwirkung. Sie kommen bevorzugt bei den Zerspanungsverfahren zum Einsatz, bei denen die Trennwirkung gegenüber der

Schmierwirkung im Vordergrund steht (Vermeidung von Aufbauschneiden). Beispiel hierfür ist die Bearbeitung von Buntmetallen. Auch Fettalkohole sind sehr gut biologisch abbaubar, toxikologisch unbedenklich und werden ebenfalls als “nicht wassergefährdend” (nwg) oder in die Wassergefährdungsklasse WGK 1 eingestuft (ebd.)..

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektes unter dem Namen „Forschung für die Produktion von Morgen“ wurden mehrere Fertigungsbereiche in Betrieben auf Minimalmengenschmierung umgestellt. Besonders gefördert wurden kleine und mittelständische Unternehmen (KMU), welche aus Kosten- bzw. Kapazitätsgründen eher selten eigene Forschung betreiben können. Die interessierten Unternehmen wurden über die Möglichkeiten und Grenzen der Trockenbearbeitung informiert und bei der Umsetzung in die Praxis unterstützt. In einem ausführlichen Abschlussbericht sind viele Beispiele aus zahlreichen Fertigungsbereichen mit Ergebnissen und Beschreibung der Vorgehensweise bei der Einführung der Minimalmengenschmierung festgehalten (Schmidt 2002).

Nachhaltige Kühlschmierstoffe

In den Betrieben der metallverarbeitenden Industrie werden in rund 90 % der Bearbeitungsprozesse wassermischbare Kühlschmierstoffe eingesetzt (Vgl. Betrieblicher Umweltschutz in Baden-Württemberg (2015)). Sie bestehen aus einem meist mineralölbasierten Grundöl und einem Additivpaket.

Neben innovativen Technologien wie der Minimalmengenschmierung oder der Trockenbearbeitung können der Kühlschmierstoff-Verbrauch und damit einhergehende Kosten und Umweltbelastungen über Ressourceneffizienz-Maßnahmen reduziert werden. Dazu zählen z. B. die Kühlschmierstoff-Pflege zur Standzeitverlängerung oder die Substitution von Kühlschmierstoffen mit adäquaten, z. B. mineralölfreien Alternativen (VDI Zentrum Ressourceneffizienz , 2017).

Eine Vielzahl an unterschiedlichen Ölen und Stoffen (z. B. Fette, Polymere, Salze) können eingesetzt werden, um KSS-Emulsionen herzustellen. Grundsätzlich wird in Stoffe und Öle mineralischen Ursprungs (abiotisch) sowie in Stoffe und Öle pflanzlichen oder tierischen Ursprungs (biotisch) unterschieden:

Mineralische Stoffe / Öle

- Natürliche Kohlenwasserstoffe (Solvent Raffinat, Hydrocracköle, Gas-To-Liquid-Öle)
- Synthetische Öle (Polyalphaolefine, Polyinternalolefine, Polyalkylenglykol, Polybuten)
- Synthetische Ester (Di(Carbonsäure)Ester, Polyolester)

Pflanzliche oder tierische Öle / Stoffe

- Synthetische Ester (Rapsölester, Rizinusölester, Palmölester, Tierfettester, Sojaölester, Sonnenblumenölester, Jojobaölester)

(In Anlehnung an Brinksmeier, E. et al. (2015), S. 621.)

Bioschmierstoffe oder auch biobasierte Schmierstoffe erfüllen die folgenden Mindestanforderungen (Vgl. DIN CEN/TR 16227):

- Erneuerbarkeit: Gehalt an nachwachsenden Rohstoffen beträgt mindestens 25 %.
- Biologische Abbaubarkeit: ≥ 60 % entsprechend OECD 301 für Öle (≥ 50 % für Schmierfette).
- Toxizität: nicht als „umweltgefährdend“ zu kennzeichnen, entsprechend CLP-Richtlinie 1272/2008/EG.
- Leistung: „Gebrauchstauglichkeit“. Sowohl der Schmierstoff-Hersteller als auch der Verbraucher des Produktes müssen sicherstellen, dass der empfohlene Schmierstoff für eine bestimmte Anwendung geeignet ist.

Biobasierte KSS können über Eigenschaften verfügen, die sie für spezielle Fertigungsschritte vorteilhafter machen als KSS auf Mineralölbasis wie z.B. ein besseres Schmiervermögen, ein höherer Flammpunkt, bessere Verdampfungseigenschaften und höhere Hautverträglichkeit (Effizienz-Agentur NRW (2008), S. 22.).

Schneidwerkstoffe der Zerspanung

Entscheidender Faktor bei der Vorbereitung eines Zerspanungsprozesses ist die Auswahl von Schneidstoff und Sorte. Allgemein sollte ein Schneidstoff für eine erfolgreiche Anwendung (sandvik.coromant.com, o.J.):

- hart sein, für Widerstand gegen Freiflächenverschleiß und Deformation
- zäh sein, für hohe Gesamtbruchfestigkeit
- nicht mit dem Werkstoff reagierend
- chemisch stabil sein, für Widerstand gegen Oxidation und Diffusion
- widerstandsfähig gegen plötzliche thermische Wechselbeanspruchung sein

Schnellarbeitsstahl (HSS) Unlegierte und legierte Werkzeugstähle,

Werkzeugstähle weisen eine geringe Warmhärte und daraus resultierend nur eine gering mögliche Schnittgeschwindigkeit auf, weshalb sie zur Herstellung von Werkzeugen (z.B. Hammer, Feile) genutzt werden. Je nach Legierungsbestandteilen besitzen Legierte Werkzeugstähle eine maximale Arbeitstemperatur von 400°C . Aufgrund ihrer guten Schneidhaltigkeit und des günstigen Preises werden aus ihnen verschiedenste Schneidwerkzeuge gefertigt (sandvik.coromant.com, o.J.).

Schnellarbeitsstähle (HSS: High Speed Steel) sind hochlegierte Werkzeugstähle und werden hauptsächlich bei Werkzeugen verwendet, die hohe Zähigkeit, große Spanwinkel, kleine Keilwinkel, hohe Schneidenfestigkeit und eine scharfe Schneide aufweisen müssen und bei denen die geringste mögliche Schnittgeschwindigkeit unwesentlich ist (ebd.).

Der hohe Verschleißwiderstand und die Härte ergeben sich aus dem martensitischen Grundgefüge und aus eingelagerten W-, Mo-, Cr- und V-Karbiden. Die Eigenschaften von HSS werden in erster Linie von den Legierungselementen W und Mo bestimmt.

In der industriellen Fertigung spielen sie inzwischen kaum noch eine Rolle, weshalb auch die problematischen Folgen für die Nachhaltigkeit - insbesondere die Umweltfolgen der Gewinnung der Legierungsmetalle - hier nicht besonders dargestellt sind (ebd.).

Hartmetalle

Hartmetalle sind Verbundwerkstoffe, die konventionell aus zwei Materialklassen bestehen: einem keramischen Hartstoff, bestehend aus Wolframcarbid -Partikeln und einem Metall (Cobalt, Co) als Bindemittel (IKS-Fraunhofer, 2022). Der Hartmetallkörper wird – entweder durch Verpressen von Pulver oder durch Spritzguss – zu einer Masse geformt und anschließend durch Sintern verdichtet (sandvik.coromant.com, o.J.).

Die WC-Korngröße ist einer der wichtigsten Parameter für die Einstellung des Härte/Zähigkeit-Verhältnisses einer Sorte; je feiner die Korngröße, desto größer die Härte bei einem bestimmten Bindemittelphasengehalt.

Die Menge und Zusammensetzung des Cobalt-Bindemittels beeinflusst die Zähigkeit der Sorte und die Widerstandsfähigkeit gegenüber plastischer Deformation. Bei gleicher WC-Korngröße führt eine höhere Menge an Bindemittel zu einer zäheren Sorte, die widerstandsfähiger gegen plastische Deformation ist. Ein zu geringer Bindemittelgehalt kann einen spröden Werkstoff ergeben.

Aus der Verwendung von Wolfram und Cobalt entstehen 2 gravierende Nachteile bei der Verwendung von Hartmetallen.

Ein Großer Nachteil ist die enorme Gesundheitsgefährdung bei der Herstellung. Bindemetalle, wie Cobalt, werden als gesundheitskritische CMR-Stoffe (cancerogen, mutagen, reproduktionstoxisch) eingestuft. Damit sind aufwändige Schutzmaßnahmen während der Produktion notwendig, was die Herstellung von konventionell zusammengesetzten Hartmetallen gravierend verteuert.

Die zweite Herausforderung besteht in der unsicheren Rohstoffbeschaffung. Wolfram und Cobalt zählen zu den Kritischen Rohstoffen (EU-Kommission, 2020)

Schneidstoffe mit beschichtetem Hartmetall

Derzeit sind 80-90 % aller Schneidwerkzeugeinsätze aus beschichtetem Hartmetall. Beschichtetes Hartmetall ist eine Kombination aus Hartmetall und Beschichtung z.B. Ti-Nitride, -Carbonitride oder -Carbide sowie Korund. Zusammen bilden sie eine Sorte, die speziell für deren Anwendung angepasst ist (sandvik.coromant.com, o.J.).

Beschichtung – CVD

Beim Chemical Vapor Deposition (CVD) Verfahren werden auf der Oberfläche eines Schneidwerkzeuges die eigentlich schneidenden Materialien in einem chemischen Dampfphasen-Prozess abgeschieden werden. Beschichtungsmaterialien sind z.B. Ti-Nitride oder -Carbide sowie Korund. CVD-beschichtete Sorten sind für Anwendungen entscheiden, bei denen die Verschleißfestigkeit ausschlaggebend ist wie z.B. bei

allgemeinen Drehbearbeitungen und dem Bohren in Stahl. Die CVD-Beschichtungen erhöhen die Widerstandsfähigkeit gegen Kolkverschleiß. Beim Bohren werden CVD-Sorten normalerweise in der Außenschneide eingesetzt (sandvik.coromant.com, o.J.).

- MT-Ti(C,N) - Seine Härte bietet Widerstand gegen Abrasionsverschleiß, was zu weniger Freiflächenverschleiß führt.
- CVD-Al₂O₃ - Chemisch inert mit geringer Wärmeleitfähigkeit, daher widerstandsfähig gegen Kolkverschleiß. Fungiert auch als Wärmeschutz zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen plastische Deformation.
- CVD-TiN - Verbessert die Verschleißfestigkeit und wird für die Verschleißerkennung eingesetzt (ebd).

Beschichtung – PVD

Beim Physical Vapor Dekomposition (PVD) werden die Ausgangsmaterialien in die Dampfphase überführt und lagern sich auf dem Schneidwerkzeug ab. PVD-beschichtete Sorten werden aufgrund ihrer zähen, aber trotzdem scharfen Schneidkanten auch für adhäsive Werkstoffe verwendet. Die Hauptanwendungsbereiche liegen bei Vollhartmetallfräsen und -bohrern sowie der Mehrzahl der Sorten für das Einstechen, Gewindeschneiden und Fräsen. PVD-beschichtete Sorten werden außerdem in großem Umfang bei Schlichtvorgängen sowie als Zentrumsschneidensorte beim Bohren eingesetzt(sandvik.coromant.com, o.J.).

- PVD-TiN - Titannitrid hat universelle Eigenschaften und eine goldene Farbe.
- PVD-Ti(C,N) - Titancarbonitrid ist härter als TiN und trägt zur Festigkeit gegen Freiflächenverschleiß bei.
- PVD-(Ti,Al)N - Titanaluminiumnitrid verfügt über einen hohen Härtegrad gepaart mit Widerstandsfähigkeit gegen Oxidation, was die gesamte Verschleißfestigkeit verbessert.
- PVD-Oxid - Wird wegen seiner chemischen Inertanz und erweiterten Widerstandsfähigkeit gegen Kolkverschleiß eingesetzt (ebd.).

Cermets

Cermet ist ein Hartmetall auf Basis von Titan Partikeln. Die Bezeichnung ist eine Zusammensetzung aus Keramik und Metall. Ursprünglich als eine Verbindung aus TiC und Nickel entstanden, sind moderne Cermets nickelfrei und verfügen über eine Struktur aus Kern Partikeln von Titancarbonitrid Ti(C,N), einer zweiten Hartphase von (Ti, Nb,W)(C,N) sowie Cobalt als Bindemittel(sandvik.coromant.com, o.J.).

Ti(C,N) verleiht Verschleißfestigkeit, die zweite Hartphase erhöht den Widerstand gegen plastische Verformung und das Cobalt bestimmt die Zähigkeit. Im Vergleich zu Hartmetall weist Cermet bessere Verschleißfestigkeit und geringere Neigung zum Kleben jedoch eine geringere Druck- und Wärmewechselfestigkeit auf. Cermets können für eine höhere Verschleißfestigkeit auch PVD-beschichtet sein (ebd.).

Cermet-Sorten werden bei klebenden Anwendungen eingesetzt, bei denen Aufbauschneidenbildung ein Problem darstellt. Ihr selbstschärfendes Verschleiß Muster

hält die Schnittkräfte selbst nach langen Schnittzeiten niedrig, was die Standzeit bei Schlichtvorgängen verlängert und enge Toleranzen sowie glänzende Oberflächen ermöglicht (ebd.). Typische Anwendungen sind das Schlichten von rostfreien Stählen, Kugelgraphitguss, Stählen mit niedrigem Kohlenstoffgehalt und ferritischen Stähle (ebd.).

Schneidkeramik

Keramiksorten sind meistens bei Hochgeschwindigkeits-Drehbearbeitungen in Verwendung sowie auch bei Einstech- und Fräsvorgängen. Die speziellen Eigenschaften jeder Keramiksorte ermöglichen bei richtigem Einsatz eine hohe Produktivität (sandvik.coromant.com, o.J.).

Alle keramischen Schneidwerkzeuge verfügen über eine ausgezeichnete Verschleißfestigkeit bei hohen Schnittgeschwindigkeiten. Allgemeine Beschränkungen der Keramiken betreffen ihre Wärmewechselfestigkeit und Bruchzähigkeit. Für eine Vielzahl von Anwendungen sind deshalb zahlreiche Keramiksorten verfügbar (ebd.).

Oxidkeramiken bestehen aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) und Zirkondioxid (ZrO_2), das zur Vermeidung von Rissen beigefügt wurde. Dadurch entsteht ein Werkstoff, der chemisch sehr stabil ist, dem es jedoch an Wärmewechselfestigkeit fehlt (sandvik.coromant.com, o.J.).

- Mischkeramiken sind teilchenverstärkt durch die Zugabe von kubischen Carbiden oder Carbonitriden (TiC, Ti(C,N)). Dadurch werden Zähigkeit und Wärmeleitfähigkeit verbessert.
- Whisker-verstärkte Keramiken verwenden Siliziumcarbid-Whisker (SiCw), um die Zähigkeit beträchtlich zu verbessern und ermöglichen auch den Einsatz von Kühlschmierstoff. Diese Keramiken sind ideal für die Bearbeitung von Ni-Legierungen.
- Siliziumnitridkeramik (Si_3N_4) stellt eine weitere Gruppe der keramischen Werkstückstoffe dar. Längliche Kristalle bilden ein selbstverstärktes Material mit hoher Zähigkeit. Siliziumnitrid-Sorten werden erfolgreich bei Grauguss eingesetzt, ihre mangelnde chemische Stabilität limitiert jedoch ihre Anwendung in anderen Werkstoffen.

Bornitrid

Polykristallines kubisches Bornitrid (CBN) zeichnet sich durch hohe Warmfestigkeit, eine gute Zähigkeit und Wärmewechselfestigkeit aus und wird bei sehr hohen Schnittgeschwindigkeiten eingesetzt. Es wird auf einen Hartmetall Träger aufgelötet, um eine Wendeschneidplatte zu bilden (sandvik.coromant.com, o.J.).

CBN-Sorten sind keramische Verbundwerkstoffe, die einen CBN-Anteil von 40-65 % aufweisen. Das keramische Bindemittel fügt dem CBN, das andernfalls sehr anfällig für chemischen Verschleiß ist, Verschleißfestigkeit hinzu. Eine andere Sortengruppe ist durch einen sehr hohen Anteil (85 bis fast 100 %) CBN gekennzeichnet. Diese Sorten verfügen über eine bessere Zähigkeit über einen Metallbinder (ebd.).

CBN kann für Hochgeschwindigkeitsschuppen von Grauguss eingesetzt werden – sowohl bei Dreh- als auch Fräsbearbeitungen.

CBN-Sorten werden hauptsächlich für die Schlichtbearbeitung beim Drehen gehärteter Stähle mit einer Härte von mehr als 45 HRC verwendet und kann zusätzlich für Hochgeschwindigkeitsschuppen von Grauguss eingesetzt werden – sowohl bei Dreh- als auch Fräsbearbeitungen. Über 55 HRC ist CBN das einzige Schneidwerkzeug, das die herkömmlichen Schleifmethoden ersetzen kann (ebd.).

Diamant

PKD ist eine Verbindung aus Diamantpartikeln und metallischem Bindemittel und ist der abriebfesteste aller Werkstoffe. Als Schneidwerkzeug ist es hochgradig verschleißfest, allerdings fehlt ihm bei hohen Temperaturen die chemische Stabilität, und der Kohlenstoff im Diamant diffundiert leicht ins Eisen (sandvik.coromant.com, o.J.).

PKD-Werkzeuge sind begrenzt auf NE-Materialien, wie z.B. hoch siliziumhaltiges Aluminium, Metallmatrix Verbundwerkstoffe (MMC) sowie mit Kohlenstofffasern verstärkte Kunststoffe (CFRP). PKD mit flüssigem Kühlschmierstoff kann außerdem bei Feinstschlichtanwendungen in Titan eingesetzt werden (ebd.).

Verfahren für das Recycling von Wolframkarbid-Verbundwerkstoffen

Das Recycling von WC-Verbunden bietet eine Vielzahl an ökologischen, wirtschaftlichen und strategischen Vorteilen. Beim Recycling lässt sich grundsätzlich zwischen direkten, semidirekten und indirekten Verfahrensvarianten unterscheiden, welche zum Teil seit Langem industriell umgesetzt sind und angewandt werden (Tamara Ebner et. el 2017).

Im Zuge direkter Recyclingmethoden erfolgt eine physikalisch-mechanische Zerlegung der WC-Verbunde, wodurch sowohl das Karbid als auch der Binder intakt gehalten und somit in Pulver zerlegt werden, deren Zusammensetzung jener des Ausgangsstoffes entspricht. Das heißt, dass kein chemischer Aufschluss, sondern eine physikalisch-mechanische Behandlung der Schrotte erfolgt. Ein typisches Beispiel für diese Route stellt der Zinkprozess dar (ebd.). Semidirekte (chemische) Varianten umfassen die Überführung einer Komponente in ein wässriges Medium, wohingegen die andere nach dem Prozess nach wie vor fest vorliegt. Das selektive Lösen des Binders lässt sich z. B. durch das Laugen mittels unterschiedlicher Säuren oder über elektrolytische Verfahren im sauren Medium realisieren. Das ungelöste WC kann wieder in der Erzeugung von Hartmetallen eingesetzt werden (ebd.)

Mit bis zu 75 % Energieeinsparungen und 40 % Verringerung des CO₂-Gesamtergebnisses unterstreicht dies die Wirtschaftlichkeit des Recyclingprozesses im Sinne des Energie- und Umweltmanagements (ceratizit.com, o.J.).

Zinkverfahren

Beim Zink-Verfahren wird Hartmetall mit Stücken von Zinkmetall in Graphittiegel chargiert und in einem Spezialofen verarbeitet. Die Technologie basiert auf der Reaktion des Kobaltbindemetalls mit dem eindiffundierenden flüssigen Zink. Das Hartmetall bläht sich dadurch auf und zerfällt in dünne Schichten. Es bleibt eine poröse Masse aus Wolframkarbid und Kobalt übrig. Nach dieser Reaktion wird das Zink bei hoher Temperatur verdampft und wiedergewonnen. Anschließend wird die poröse Masse zu Pulver zerkleinert. Danach erfolgt ein Feinmahlprozess und die Produktion einer homogenen Charge in einem Chargenmischer (ebd.).

Im Gegensatz zu den chemischen Verfahren findet beim Zink-Prozess keine chemische Umsetzung des Wolframkarbids und des Bindemetalls statt. Dies hat zur Folge, dass die ursprüngliche Wolframkarbidkorngröße des Hartmetalls sich nicht ändert und auch das Kobaltbindemetall wiedergewonnen wird. Da es sich beim Zink-Prozess nur um eine physikalisch-mechanische Modifikation ohne Veränderung der chemischen Zusammensetzung handelt, ist der Einsatz von sortenreinen und sauberem Schrott erforderlich, um ein Regenerat von hoher Qualität zu garantieren (Tamara Ebner et. el 2017).

- Thermische Behandlung von gebrauchtem Hartmetall mit Zink
- Recyceltes Pulver enthält über 99% des Wolframkarbids in seiner ursprünglichen Form
- Kosteneffizienter im Vergleich zu chemischen Verfahren
- Umweltfreundlich, da keine Nasschemie verwendet wird

chemische Verfahren

Alle Komponenten des gebrauchten Hartmetalls werden in ihre atomaren Bestandteile aufgelöst und nach Veredelung, Extraktion und Kristallisation und anschließenden thermischen pulvermetallurgischen Prozessen wieder in die Rohprodukte überführt. Der für den Prozess notwendige Energieeinsatz ist sehr gering. Kobalt fällt als separates Nebenprodukt des Prozesses an (ceratizit.com, o.J.).

Nachhaltigkeit und Schneidstoffe

Rohstoff Cobalt

Cobalt 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 o.J.).

Eine bergbauliche Besonderheit liegt beim Hauptproduzenten für Cobalt, der DRK vor. In der DRK liegt das Cobalterz 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 auch mit Kinderarbeit aufgrund der schlechten wirtschaftlichen Bedingungen vor Ort verbunden.

Cobalt wird aus Kupfer-Nickel-Erz gewonnen (s.o. Nickel). Aus dem Rohstein mit Cobalt, 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.

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). Zerspanungsmechaniker/-innen kommt somit eine hohe Verantwortung zu, wenn es um den großflächigen Einsatz beschichteter Wendeschneidplatten für Zerspanprozesse 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 eine 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.

Rohstoff Nickel

Nickel wird vor allem in Indonesien (1,6 Mio. t), Philippinen (0,3 Mio. t), Russland (0,2 Mio. t) und Kanada/Neukaledonien (0,2 Mio. t) und Australien (0,2 Mio. t) im Bergbau von Hartgestein gewonnen (statista 2023). Nickel kommt zumeist zusammen mit Eisen und Kupfer in Gesteinen vor, weshalb die Aufbereitungsprozesse miteinander verwoben sind (ISE o.J.). Durch Flotation wird das gemahlene Nickelerz aufkonzentriert, getrocknet durch Pressung und dann mit Kohle geröstet. Eisensulfid wird hierbei in Eisenoxid umgewandelt. Durch weitere Röstprozesse mit Koks und Silikaten wird Eisenoxid zu Eisensilikat verschlackt. Die Hütte erhält so Kupfer-Nickel-Feinstein mit

80% Kupfer und Nickel sowie 20% Schwefel. Kupfer und Nickel werden mit Natriumdisulfid (Na_2S) in zwei Phasen getrennt. Das Nickelsulfid wird geröstet und mit Koks zu Nickel reduziert.

Unter Normalbedingungen ist der überwiegende Teil des Nickels im Boden an Eisen- und Manganminerale gebunden. Für Pflanzen und Mikroorganismen ist Nickel ein essenzielles Spurenelement. Nickel besitzt jedoch auch toxische Eigenschaften und kann bei Menschen zu Kontaktallergien führen. Das Einatmen von anorganischen Nickelverbindungen kann zu Lungenkarzinomen führen. Im Tierexperiment wurden außerdem reproduktionstoxische und teratogene (fehlbildende) Wirkungen von Nickelverbindungen nachgewiesen. Nickel und seine Verbindungen sind für aquatische Organismen toxisch, wobei die Toxizität zwischen den einzelnen Arten deutlich schwankt (BGR, 2021).

Fallbeispiel Izabal-Nickelmine

Die Folgen des Bergbaus der größten Nickelmine Mittelamerikas an den Ufern des Izabal-Sees im Osten Guatemalas sind für Mensch und Natur immens. Menschen in der unmittelbaren Umgebung einer Mine leiden an Hautausschlägen und Atemwegserkrankungen, besonders Kinder. Laut Berichten von Fischern sterben immer mehr Seekühe, Fische und Schildkröten. 2017 färbte sich der See rot. Die Nickelkonzentration im Feinstaub nahe der Mine erreicht den Experten zufolge zwischen 150 und 800 Nanogramm - während die in Europa geltende Norm bei 20 liegt. (Tagesschau.de, 2022).

Recycling von Nickel

Produkte aus nickelhaltigen Edelstählen sind für den Langzeitgebrauch ausgelegt, jedoch können Nickel und nickelhaltige Legierungen in ihren ursprünglichen metallischen Zustand zurückversetzt oder in eine andere, aber immer noch wertvolle Produktform umgewandelt werden. Beispiele dafür sind nickelhaltiger Edstahlschrott, der in neuen Edelstahl umgewandelt wird, oder Nickel aus recycelten Batterien, das z. B. für nickelhaltigen Edelstahl oder erneut für die Herstellung von Batterien verwendet wird.

Rund 68 % des in den verbrauchten Konsumgütern enthaltenen Nickels werden recycelt und beginnen einen neuen Lebenszyklus (End-of-Life-Recyclingrate im Referenzjahr 2010, NICKEL INSTITUTE 2016). In Karbonstählen werden weitere 15 % des Nickelrücklaufs als Legierungsbestandteile weiterverwendet. Rund 17 % des Nickels landet in Form von ausgedienten metallhaltigen Gütern und Produkten sowie in Elektroaltgeräten jedoch immer noch auf Mülldeponien. Seit Beginn der Nickelproduktion im 18. Jahrhundert wurden bisher rund 60 Mio. t Nickel produziert. Davon sind noch immer 57 % im produktiven Einsatz (NICKEL INSTITUTE 2016).

Rohstoff Mangan

Mangan wird im Bergbau in Südafrika, Australien und Gabun gewonnen (ca. 58% der Bergwerksförderung von ca. 22-24 Mio.t, DERA 2019). Mangan ist mit Eisen

verschwistert, so dass es bei der Eisenherstellung zwischendurch meist als Ferro-Mangan (78% Mangan) abgetrennt wird (ISE o.J.). Dies erfolgt über die Reduktion oxidischer Eisen-Mangan-Erze mit Koks in elektrischen Öfen zu Ferro-Mangan. Reines Mangan wird durch Hydrometallurgie gewonnen (Oxidation, Laugung und Elektrolyse). Alternativ kann es durch Aluminothermie (Verbrennen mit Aluminiumpulver) gewonnen werden.

Fallbeispiel Kalahari Mangan Feld in Südafrika

Im Kalahari-Becken in der Provinz Northern Cape in Südafrika befindet sich das größte Manganerzvorkommen der Welt. Von dort kommt ein Großteil der Manganerzimporte Deutschlands. Der Bergbau führt in der Region zu Wassermangel und der Verschmutzung von Wasser, Luft und Böden. Die lokalen Gemeinden leiden dadurch unter Gesundheitsproblemen, wie Lungenkrankheiten. Besonders Kinder und Frauen sind von den Folgen der Manganminen betroffen, sei es durch gesundheitliche Schäden wie vermindertes Wachstum oder Belastungen durch die Pflege. Ein Minenarbeiter, der durch die Arbeit vor Ort an Manganismus erkrankt ist, beklagt: „Die Firma kannte die Gefahren von Mangan, aber sie haben uns nie davor gewarnt; [...] sie haben uns einfach langsam umgebracht und niemand wird jemals zur Rechenschaft gezogen werden.“ (SOMO & ActionAid, 2021)

Rohstoff Titan

Das Ausgangsmaterial für Titanmetall ist Titandioxid. Dieses wird aus verschiedenen Mineralen gewonnen, wobei Ilmenit (auch Titaneisen genannt) das häufigste ist. Die Titanproduktion erfolgte 2014 zu 90% aus Ilmenit und zu 10% aus Rutil. Aus dem Mineral Ilmenit wird das Titan mit Chlor und Kohle bei Temperaturen von 1.000 °C in Titan-tetrachlorid umgewandelt, um dann mit flüssigem Magnesium zu Titanschwamm reduziert zu werden. Der Prozess verbraucht sehr viel Energie und erzeugt hohe Emissionen (Miedler 2015). Weltweit werden 2021 Titanmineralien mit einem Gehalt an Titandioxid von ca. 7,8 Millionen Tonnen gewonnen (statista 2022) Die größten Produzenten sind China mit fast 40 % (3 Mio. t), Südafrika (1,1 Mio. t), Mozambique (ca. 1 Mio. t) und Kanada (0,6 Mio. t, statista 2022). Auch wenn keine aktuellen Daten für die spezifische Verwendung vorliegen, so haben ältere Untersuchungen gezeigt, dass mehr als die Hälfte der Produktionsmenge in Lacken eingesetzt wird, gefolgt von Polymeren und Papier (vgl. Forum-titandioxid o.J.) 70 % der Weltproduktion an Titandioxid wurden 2014 von fünf Herstellern der westlichen Welt hergestellt (JOT 2021).

Der Abbau von Titandioxid hat wie die meisten Mineralien, die im Bergbau gewonnen werden, die gleichen Probleme hinsichtlich der Umweltwirkungen und deren Folgen für die Beschäftigten als auch für die regionale Bevölkerung. Solange keine Umweltschutzauflagen vorhanden sind oder vorhandene nicht umgesetzt werden, führen Bergbauprojekte weltweit zu lokalen oder regionalen Umwelt- und Gesundheitsproblemen. Dies lässt sich auch an einem Beispiel für Titandioxid zeigen.

Fallbeispiel Madagaskar

Im Süden Madagaskars liegt eine gemeinschaftliche Titandioxid-Mine des Bergbaukonzerns Rio Tinto und dem madagassischen Staat. *“Mit einem großen Bergbauprojekt sollte ihre Armut bekämpft werden – das versprach die Regierung den umliegenden Gemeinden. Die Menschen, die von der Fischerei, dem eigenen Landanbau und von der Weberei aus Mahamy-Schilf leben, verlieren ihr Land, den Zugang zum Wald, die Versorgung mit sauberem Wasser. Ihr Einkommen hat sich seit dem Bau der Mine halbiert. Im Februar und März 2022 brachen nach starken Regenfällen zwei Dämme. Um den kompletten Einsturz zu verhindern, wurde aus dem Sammelbecken der Mine eine Million Liter Abwasser abgelassen. Die giftigen Abwässer verursachten ein Fischsterben. Ein Fischfangverbot wurde für fast drei Monate ausgesprochen. In unabhängigen Studien wurden flussabwärts deutlich erhöhte Blei- und Urankonzentrationen nachgewiesen (regenwald.org 2022:8).*

Umwelt- und Gesundheitswirkungen von Titandioxid

Möglicherweise könnten die Umweltwirkungen der Titandioxid-Herstellung deutlich gemindert werden, wenn natürliches Rutil für die Herstellung genutzt werden würde (Minenportal 2021). Eine Ökobilanz für Sovereign Metals Ltd. hat gezeigt, dass natürliches Rutil mit deutlichen Umweltvorteilen aufgearbeitet werden kann: *“Pro verwendeter Tonne natürlichen Rutils könnten im Vergleich zur Veredelung von Ilmenit durch Schmelzen und chemische Prozesse zu hochgradigen Titanrohstoffen wie Titanschlacke und synthetischem Rutil bis zu 2,8 Tonnen CO₂-Äquivalent eingespart werden” (ebd.)*

Alles in allem liegen jedoch nur wenige Informationen über die Umweltgefahren bei der Titandioxidgewinnung und der Titanverhüttung vor. Diese wird zum einen zum größten Teil in Ländern wie China und Mozambique gewonnen oder in China, Russland, Kasachstan verhüttet. Hier haben unabhängige Institutionen keinen ungehinderten Zugang. Andere Produzenten wie Norwegen, Kanada und Australien hingegen verfügen über hohe Umweltstandards. Deshalb ist es schwierig, die direkten Folgen des Bergbaus einzuschätzen. Allerdings ist die Informationslage über die Herkünfte meist nur schwierig zu bestimmen, insbesondere gilt dies für kleine Betriebe.

Rohstoff Bor

Bor-Materialien werden nach ihrem Gehalt an Bor-Oxid (B₂O₃) bewertet. Dieser variiert je nach Mineral bzw. Erz und ob Kalzium und Natrium vorhanden sind. Die Bor-Mineralien Colemanit, Kernit, Tincal und Ulexit machen rund 90 Prozent der in der Industrie weltweit verwendeten Borate aus.

Die US Geological Survey spricht von rund 300 Anwendungen für Borate. Dreiviertel des Verbrauchs geht danach in die Produktion von Keramiken, Reinigungsmitteln, Düngemitteln und Glasherstellung. Für Deutschland sind aber noch weitere Anwendungen relevant:

Bor in der Stahlindustrie

Bor wird häufig zur Herstellung von Aluminiumlegierungen verwendet, da es die Festigkeit und die Wärmebeständigkeit der Legierung erhöht. Es verbessert auch die

Schmelzformbarkeit und die Gießfähigkeit der Legierung, was die Verarbeitung erleichtert. Bor kann auch die Korrosionsbeständigkeit von Aluminiumlegierungen erhöhen und die Bildung von intermetallischen Phasen verhindern, die die Festigkeit beeinträchtigen können.

Bor in der Automobilindustrie

Diese Aluminiumlegierungen werden in vielen Teilen von Autos verwendet, wie zum Beispiel in der Karosserie, im Rahmen und im Motorblock. Auch in Abgasreinigungssystemen sind Borverbindungen zu finden, um die Emission von Schadstoffen zu reduzieren.

Borverbindungen werden darüber hinaus in der Herstellung von Batterien verwendet. Zum Beispiel in der Produktion von Lithium-Ionen-Batterien, die in Elektrofahrzeugen eingesetzt werden.

Bor für die Werkzeugherstellung

Bor wird zudem in der Produktion von Hochleistungs-Borcarbid-Werkzeugen verwendet, die für die Bearbeitung von harten Materialien wie Aluminium und Stahl verwendet werden. Das härteste Material mit Bor ist Bornitrid (CBN), es ist nach dem Diamant der härteste bekannte Schleifstoff.

Bor für erneuerbare Energien

Sogenannte Supermagnete verfügen über die höchste Haftkraft bei sehr kleinem Volumen. Sie werden auch Neodym-Eisen-Bor-Magnete (NdFeB-Magnete) genannt. Laut Umweltbundesamt bestehen 67 Prozent aus Eisen, 32 Prozent Neodym und 1 Prozent Bor.

Im Vergleich zu herkömmlichen Ferrit-Magneten bieten sie eine 16-fache Energiedichte. Verbaut werden sie beispielsweise in Windkraftanlagen, kommen aber auch in Pedelects, Industriemotoren sowie E-Autos zum Einsatz.

Bor ist aber auch eines der Elemente, die in Solarzellen benötigt werden. Es wird gerne für die sogenannte Dotierung genutzt. Diese steigert die Leitfähigkeit von Silizium und damit letztendlich die Leistung der Solarzelle. Alternativ nutzen Solar-Hersteller statt Bor auch Indium oder Gallium.

Bor in der Halbleiterindustrie

Borverbindungen werden in der Halbleiterherstellung als sogenannte Dotierelemente benötigt. Es wird in Siliziumkristalle eingebaut und erhöht – wie bei Solarzellen – die Leitfähigkeit. Auf diese Weise dotierte Halbleiter heißen p-Leiter oder p-dotierte Halbleiter. Eine Alternative zu Bor ist hier Phosphor.

Halbleiterhersteller Samsung hatte 2020 verkündet, dass das Unternehmen ein neues Halbleitermaterial entdeckt habe. Das Material heißt amorphisches Bor-Nitrit (α -BN), eine Verbindung aus Bor und Stickstoff mit einer amorphen Molekularstruktur. Ein Vorteil dieses amorphen Bor-Nitrits soll sein, dass es auf Wafer-Größe mit etwas unter 400 Grad Celsius auf Substrat wachsen kann, was als niedriger Wert gilt. Marktreif

ist die Technologie noch nicht. Bor-Nitrit könnte aber als Bindeglied zwischen der Graphen- und der Silizium-Technologie dienen.

Diese Länder sind die größten Produzenten von Bor

in 1.000 Tonnen

	2021	2022
Türkei	1700	2000
China	380	380
Chile	300	350
Bolivien	210	200
Deutschland	120	120

USGS Mineral Commodities 2022

Recycling und Substitutionsmöglichkeiten für Bor

Das Recycling von Bor ist bislang noch nicht wirklich realisiert (Technik-einkauf.de, o.J.).

Natriumpercarbonat kann Borate in Waschmitteln ersetzen und erfordert niedrigere Temperaturen, um hydrolysiert zu werden. In Beschichtungen wie Emaille können andere glaserzeugende Substanzen verwenden, wie beispielsweise Phosphate. Dämmersatzstoffe sind Zellulose, Schäume und Mineralwolle. In Seifen können statt Bor Natrium- und Kaliumsalze von Fettsäuren als Reinigungs- und Emulgiermittel eingesetzt werden (ebd.).

Umwelt- und soziale Auswirkungen des Borabbaus

Der Abbau von Bor kann wie jede andere Bergbautätigkeit sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Umwelt und die lokalen Gemeinschaften haben. Einige der wichtigsten Anliegen sind:

- Land- und Wassernutzung: Bergbauaktivitäten verändern die Landschaft und beeinträchtigen die Wasserressourcen, was zum Verlust von Lebensräumen und Wasserverschmutzung führt.
- Arbeitssicherheit und Einbeziehung der Gemeinschaft: Die Gewährleistung der Sicherheit der Arbeitnehmer und die Einbindung lokaler Gemeinschaften in den Entscheidungsprozess sind für die nachhaltige Entwicklung der Borindustrie von entscheidender Bedeutung und müssen kontinuierlicher Verbesserung unterliegen.

(turkpidya.com , o.J.)

Rohstoff Wolfram

Bei der Stahlproduktion bindet Wolfram den im Eisenerz enthaltenen Kohlenstoff an sich und bildet extrem harte Wolframcarbide aus. Die Metall- und Stahlindustrie verarbeitet deshalb über 80 Prozent des weltweit verfügbaren Angebots an Rohstoffen zu Hartmetallen und Superlegierungen. Diese kommen überall dort zum Einsatz, wo Material bei hohen Temperaturen besonders hart und fest sein muss.

So stellen Werkzeugbauer mit Wolframstählen hochpräzise Schneidwerkzeuge, Fräsen, Bohrkronen, Bohrer und Meißel her, die besonders hohen Belastungen standhalten. Autohersteller brauchen den Rohstoff zur Produktion von Katalysatoren und Glühkerzen für Dieselmotoren. Die Waffenindustrie verarbeitet wolframhaltige Hartmetalle zu Projektilen, Gewehrkugeln und panzerbrechender Munition. In Legierungen härtet das Element die Schaufeln von Turbinen oder Düsentriebwerken in der Luftfahrt.

Über 80 Prozent des zu diesen Zwecken abgebauten Wolframs stammen den Zahlen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) zufolge aus China. Mit weitem Abstand folgen Vietnam mit einem Anteil von 4,8, Russland mit 3,3 und Kanada mit 2,6 Prozent. Kleinere Beiträge leisten auch Bolivien, Ruanda, Usbekistan, Myanmar, Thailand, Brasilien, Kirgistan, die Mongolei, Uganda, Burundi, die Demokratische Republik Kongo, Australien sowie Nordkorea.

Selbst in Europa rentiert sich der Abbau von Wolfram bei den derzeit hohen Preisen für den Rohstoff. Für die häufigste Legierung Ferrowolfram etwa zahlen Einkäufer derzeit fast 70 Prozent mehr als noch vor einem Jahr. Deshalb bauen auch Minen in Portugal, Spanien, Großbritannien sowie im österreichischen Felbertal den Rohstoff ab. Aus der Alpenrepublik stammt immerhin ein Prozent des auf dem Weltmarkt angebotenen Wolfram.

Verwendung von Wolfram in Europa

Verwendung für	Anteil an der Gesamtmenge
Halbzeuge	8%
Stähle, Legierungen	9%
Chemikalien	11%
Hartmetall (Carbide)	72%

Trotz der großen Zahl Wolfram fördernder Staaten beurteilt die BGR die Versorgung der deutschen Wirtschaft mit dem Rohstoff aufgrund der marktbeherrschenden Stellung Chinas als kritisch. Da somit zudem zwangsläufig staatlich kontrollierte chinesische Bergbauunternehmen den Weltmarkt beherrschen, hält die BGR neben dem Länderrisiko auch die Anbieterkonzentration für sehr bedenklich. Dazu hat sie auch allen Grund.

Denn China hat die Ausfuhr von Wolfram bereits 2002 eingeschränkt. Derzeit steuert die Volksrepublik den Markt für Schwermetall mit Abbau- und Exportquoten, Zöllen und

fördert einzelne Bergwerksunternehmen, indem sie andere schließt oder mit den entstehenden Champions verschmilzt.

Daher haben europäische Länder wie Österreich, Spanien und Portugal ihre Wolframproduktion hochgefahren. Allerdings sind hier die Vorkommen deutlich niedriger.

Recycling und Substitutionsmöglichkeiten für Wolfram

“Sobald die heute bekannten Reserven an dem Schwermetall zu Ende gehen, könnte China diese wettbewerbsverzerrende Politik so weit verschärfen, dass Unternehmen in anderen Staaten sich nicht mehr mit ausreichend Wolfram eindecken können”, befürchten die Geologen Maren Liedtke und Michael Schmidt in einer Risikoanalyse der BGR. Das könnte schon bald der Fall sein. Denn bei der aktuellen Jahresförderung von gut 79.000 Tonnen Wolfram haben die Reserven in Höhe von 3,7 Millionen Tonnen nur eine Reichweite von etwas über 46 Jahren, so der Geological Survey der Vereinigten Staaten (technik-einkauf.de, 2017).

Fast zwei Drittel dieser Vorkommen lagern dabei in der Volksrepublik China. Nur in Russland und Vietnam gibt es noch größere Reserven. Kleinere Vorkommen gibt es auch in Australien, den USA, der Türkei, Bolivien, Südkorea, Myanmar, Uganda und Kasachstan. Allerdings reichen diese Lagerstätten nicht aus, um die protektionistische Rohstoffpolitik Chinas auszugleichen (ebd.).

Wolfram kommt in der Natur nur in Verbindung mit anderen Elementen, nicht aber in Reinform vor. Deshalb liegen zu den Ressourcen des Rohstoffs keine Zahlen vor.

Anders ist dies bei der Wiederverwertung des Materials. Die International Tungsten Industry Association schätzt, dass 30 bis 40 Prozent des weltweit angebotenen Materials aus dem Recycling stammen. Dies sowie die Tatsache, dass sich Wolfram in einzelnen Bereichen durch Molybdän oder abgereichertes Uran und Blei ersetzen lässt, könnten den Zeitpunkt noch eine Zeitlang aufschieben, an dem Unternehmen außerhalb Chinas der Wolframnachschub ausgeht (BGR, 2014)

Fallbeispiel: Wolframabbau in Kolumbien

Der Abbau von Wolfram, insbesondere der Tagebau, vernichtet zuvor landwirtschaftlich genutzte Flächen und stellt gerade für Kleinbauern eine Gefahr für die Ernährungssicherheit dar. Dem gegenüber stehen für die lokale Bevölkerung kaum neue Einkommensquellen durch den Bergbau. Überwiegend bringen die Unternehmen ausgebildete Arbeitskräfte mit. Der Bergbau schafft also trotz enormer Investitionssummen weniger Arbeitsplätze als die Landwirtschaft und die Industrie. In den beiden Departments, Cesar und Guajira, aus denen 90 Prozent der Kohleexporte Kolumbiens stammen, sinkt die landwirtschaftliche Nutzfläche deutlich. (Handlungsempfehlungen deutscher Nichtregierungsorganisationen, 2013)

Die Landfrage spielt auch im bewaffneten Konflikt eine zentrale Rolle. Der Flächenverbrauch für den Bergbau gefährdet die Landrückgabe. Diese spielt jedoch für

die Friedensverhandlungen mit der FARC-Guerilla und deren Umsetzung eine bedeutende Rolle (AK Rohstoffe, 2014).

Alternativen zur Zerspanung

Die Zerspanung ist ein energie- und ressourcenintensiver Prozess. Jedes Unternehmen kann jedoch über den Einsatz von erneuerbaren Energien einen wesentlichen Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten (vgl. Kap. SDG 6). Da bei der Zerspanung hochwertiger Metallabfall anfällt, kann durch ein umfassendes Recycling der Materialabfälle ein wesentlicher Beitrag zur Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz geleistet werden (vgl. SDG 12). Für die Zerspanung und das Schneiden werden jedoch geeignete Werkzeuge, Schmier- und Kühlmittel benötigt. Insbesondere die metallischen Rohstoffe der Schneidwerkstücke werden fast immer mit hohen Umweltbelastungen gewonnen (vgl. SDG 9). Ein weiterer Schritt zur Nachhaltigkeit sind deshalb Verfahren, die auf diese Materialien verzichten. Im folgenden werden deshalb drei Beispiele für alternative Verfahren gegeben.

Elektrolytische Bearbeitung

Das Unternehmen EMAG ECM will mit dem Verfahren das klassische Bohren, das Räumen und sogar das Fräsen ersetzen. ECM nutzt das physikalisch-chemische Verfahren der Elektrolyse. Dabei befinden sich Werkzeug und Werkstück in einer Elektrolytlösung. An beiden liegt eine Gleichspannung mit konstantem oder pulsierendem Strom an. Das Werkzeug bildet die Kathode und fährt an ein Werkstück, die Anode, heran. Der entstehende Elektronenstrom löst Metallionen vom Werkstück. Die gelösten Metallionen gehen dann an der Anode Reaktionen mit Teilen des gespaltenen Elektrolytes ein. An der Kathode reagiert der Elektrolyt Rest mit Wasser. Als Endprodukt fällt Metallhydroxid an, welches sich als Schlamm absetzt, der mit Filterpressen entwässert wird, um dann als Sondermüll entsorgt zu werden. Im Gegensatz zum Funkenerodieren kommt es hierbei nicht zu Werkzeugverschleiß und das Verfahren ist erheblich Energiesparender (produktion.de 2021).

Je nach Bearbeitungszweck lassen sich verschiedene Verfahren unterscheiden: Für das Entgraten und Verrunden von Verschneidungen eignet sich der Einsatz eines stehenden Werkzeugs. Bei der bewegten Kathode fährt das Werkzeug mit konstantem Vorschub in das Werkstück, vergleichbar mit dem Bohren und Räumen (stoba.one, 2019).

Für eine dreidimensionale Bearbeitung steht die Präzise Elektrochemische Metallbearbeitung (PECM) zur Verfügung, bei der das Werkzeug eine Negativform des herzustellenden Werkstücks aufweist. Beim PECM-Verfahren ist Vorschub und Pulselektronik eine oszillierende Bewegung überlagert, die bei einem deutlich kleineren Arbeitsspalt für genauere Toleranzen sorgt. Obwohl sich Werkzeug und Werkstück nie berühren, erzielt man hier Vorschübe bis zu vier Millimetern pro Minute beim Räumen; bei sehr filigranen Teilen sind es immer noch 0,2 Millimeter. Und das praktisch unabhängig vom Material, einzige Voraussetzung ist die elektrische Leitfähigkeit. Anders als bei der spanenden Bearbeitung spielt die Härte des Materials für Prozess und

Prozessdauer praktisch keine Rolle. Das spart auch Prozessschritte, weil die Weichbearbeitung vor dem Härten entfallen kann (production.de, 2021)..

ECM-Verfahren können mittlerweile in vielen Bereichen der klassischen Zerspaltung mit Vorteilen für Qualität und Wirtschaftlichkeit ergänzen oder sogar ersetzen. Der Werkzeugverschleiß ist wesentlich geringer als bei spanenden Fertigungsverfahren, aber auch das Werkstück selbst wird geschont, da es keinen mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt ist. Die Werkzeuge bestehen meist aus den gängigen Edelstählen und sind einerseits besonders korrosionsbeständig, lassen sich aber gut bearbeiten und müssen nicht gehärtet werden. Durch eine geschickte Werkzeugform lassen sich auch schwer zugängliche Stellen gut bearbeiten und komplizierte Formen sogar im Bauteilinneren realisieren (ebd).

Wasserstrahlschneiden

Das Wasserstrahlschneiden ist ein Verfahren, bei dem Materialien mit einem Hochdruck-Wasserstrahl geschnitten werden. Das Wasserstrahlschneiden wird beispielsweise in der Luft- und Raumfahrt und in Kfz-Werkstätten eingesetzt, um Formen und Teile effizient zu schneiden. Bei sehr harten Materialien wird dem Wasserstrahl ein körniges Schleifmittel zugegeben, um die Schneidkraft zu erhöhen. Fast jedes Material kann mit Wasserstrahlschneidern geschnitten werden. Zum Beispiel Kunststoffe, Metalle wie Stähle, Legierungen, Titan und Kupfer, Gummi, Glas, Beton, Keramik und Stein. Die Hauptvorteile des Wasserstrahlschneidens sind:

- Eine Hochdruckpumpe, die den Wasserdruck auf ca. 4.000 bar erhöht. Dadurch kann er fast jedes Material schneiden.
- Die Düse, die den Wasserstrahl sehr präzise und gezielt einstellt, damit er präzise schneiden kann. Diese Düse kann mit einer abrasiven Mischleitung ausgestattet werden, um sie mit dem Wasser zu vermischen.
- Schneidetische, mit denen die Position der Düse noch präziser eingestellt werden kann.
- Ein voreingestelltes Konfigurationsfenster, mit dem die Schnittform automatisch erstellt werden kann.
- Der Schneidprozess ist kalt, wodurch die Gefahr des Schmelzens, Zerreißen, Härtens oder Verformens ausgeschlossen ist. Die Abwesenheit von Hitze und Staub schafft eine noch sicherere und umweltfreundlichere Arbeitsumgebung.

Wasserstrahlschneiden ist vermeintlich nachhaltiger als die Verwendung von metallischen Sägen. Zum einen können die Hochdruckpumpen mit Strom aus erneuerbaren Quellen betrieben werden. Zum anderen gibt es keinen - oder nur sehr geringen - Materialverschleiß. Zudem ermöglichen die gängigen Aufbereitungstechnologien für das Abwasser eine vollständige Rückgewinnung reinen Wassers.

Laserschneiden

Beim Laserschneider werden hochenergetische, fokussierte Laserstrahlen eingesetzt, um Stahlbleche, Holz, Kunststoff und andere Materialien passgenau und schnell zu

schneiden. Diese Technologie ist weit verbreitet und eignet sich für die Massenproduktion von präzisen zweidimensionalen Teilen (justlaser.com, 2022). Laserschneider werden z. B. zum Gravieren, Laserschweißen, Rohrschneiden und Schneiden von Blechen und Platten eingesetzt.

Lasers sind Strahlungsquellen mit scharf gebündelten Strahlen bestehend aus einem aktiven Lasermedium, Pumpensystem und einem Resonator, einem System aus Spiegeln oder anderen optischen Elementen. Unterschieden wird dabei nach der Signalform (Dauerstrich- oder Puls laser) und der Art des Lasermediums (Gas-, Farbstoff-, Festkörper- oder Freie-Elektronen-Laser (FEL), vgl. blechbearbeitung-online.de 2023; 3DS.com, o.J.). Die Funktionsweise der einzelnen Lasertypen ist vergleichbar, da die Lichtverstärkung durch die Absorption und Abstrahlung von Energie erreicht wird. Diese wird über den Resonator gebündelt, wobei bei der Bearbeitung ein Laserstrahl mit einer hohen Leistungsdichte entsteht (ebd.).

Es gibt verschiedene Arten von Lasern und Verfahren, die für das Laserschneiden verwendet werden, die beiden häufigsten sind die folgenden (3DS.com o.J.):

- CO₂-Laser verwenden Kohlendioxid (CO₂), Helium (HE) und Stickstoff (N), um den Schneidprozess zu optimieren. Stickstoff hilft, die Energie zu verstärken, während Helium dazu beiträgt, die verbleibende Energie nach dem Schnitt zu zerstreuen. Diese Laser werden häufig bei Metallplatten eingesetzt, werden jedoch nicht empfohlen für Materialien, die ein hohes Reflexionsvermögen und eine hohe Wärmeabsorption aufweisen (ebd.).
- Faserlaser basieren auf dem Einsatz flexibler Glasfaserkabel, die Photonen zur Erzeugung des Strahls mit Hilfe von Seltenerdelementen wie Erbium, Neodym, Thulium oder Yttrium transportieren. Jedes Element erzeugt unterschiedliche Wellenlängen für verschiedene Anwendungen. Diese Laser eignen sich besonders zum Schneiden von reflektierenden Materialien wie Messing oder Gold und können aufgrund der Flexibilität des Faserkabels an Robotern angebracht werden (ebd.).

Laser und Nachhaltigkeit

Laserschneidmaschinen werden für eine langlebige Nutzung konzipiert. Laserelemente sind extrem langlebig und wartungsfrei, was eine Nutzung über viele Jahre ermöglicht und dadurch die Umwelt schont (justlaser.com, 2022). Bei Lasermaschinen werden geschlossene Wasserkreisläufe für die Kühlungen verwendet. Dadurch wird Wasser verlustarm und ressourcenschonend eingesetzt. Abluftsysteme fangen freiwerdende Schwebepartikel exakt und wirksam auf und leiten sie in Filtersysteme (ebd.). Für die Verarbeitung von Materialien sind keine zusätzlichen Betriebsmittel wie Schmiermittel, Lacke, Öle usw. notwendig (ebd.).

Es kommt bei der Materialbearbeitung zu keinerlei Verschleiß von Werkzeugmaterialien, wie dies zum Beispiel beim Fräsen, der Prägung oder der herkömmlichen Gravur der Fall ist. Dadurch ist auch kein Werkzeugwechsel notwendig (ebd.). Lasergravuren sind langlebig und dauerhaft, anders als Drucke, Etiketten oder ähnliches. Dadurch lassen sich Zusatzmaterialien ebenso einsparen, wie chemische Zusatzstoffe (bei Drucken),

Trägermaterialien usw. Es entsteht weniger Abfall bei gleichzeitig dauerhafter und nicht abwischbarer Beschriftung(ebd.).

Nachteile des Laserschneidens:

Beim Laserschneiden können sehr feine Partikel entstehen, die – je nach Zusammensetzung, Konzentration und Zeitraum – erhebliche Gesundheitsgefährdung darstellen können. Mit steigender Intensität der Parameter nimmt die Staubemission zu. Aufgrund der hohen Energiedichte beim Laserstrahlschneiden sind die Partikel besonders fein. Sie enthalten zudem Nanopartikel, die in der Lage sind, Zellmembranen zu durchdringen. Die höchsten Schadstoffemissionen treten beim Laserstrahlschneiden von Chrom-Nickel-Stahl auf. Beim Schneiden von verzinktem Stahl sind die Schadstoffemissionen wiederum höher als bei unlegiertem Stahl. Die Schadstoffemissionen reduzieren sich etwa um die Hälfte, wenn Stickstoff (Laserstrahlhochdruckschneiden) statt Sauerstoff (Laserstrahlbrennschneiden) als Schneidgas verwendet wird. (arbeitsschutz-schweissen.de, 2018)

Aus Sicht nachhaltiger Entwicklung sollten Laserschneidverfahren mit Wasserstrahltechnologie grundsätzlich verglichen werden, um die ökologischere Variante identifizieren zu können.

Eigenschaft	Wasserstrahlschneiden	Laserschneiden
Energiebedarf	sehr hoch	Sehr hoch
Materialverzug (therm. Einfluss)	Nein	Ja
Randaufhärtung (therm. Einfluss)	Nein	Ja
Genauigkeit	0,01-0,02 mm	0,01-0,1 mm
Geschwindigkeit	Mittel (linear abnehmend)	Sehr hoch (bei kleinen Materialdicken, exp. abnehmend)
Mögliche Materialstärken	300 mm	30 mm
Materialvielfalt	Sehr hoch	Hoch
Auch 3D Objekte realisierbar	Ja	Nein
Verbundstoffe bearbeitbar	ja	Nein
Einsatz von Schutzgasen	Nein	ja
Entstehung von Filterschlamm	Ja	Nein
Entstehung giftiger Dämpfe	Nein	Ja

Quelle: blechbearbeitung-online.de, 2023.

Dabei wird deutlich, dass der Einsatz von Laserschneidtechnologie erst bei Massenproduktion von sehr dünnen Werkstücken und Einsatz erneuerbarer Energien

Vorteile gegenüber dem Wasserstrahlschneiden bringt. Der Einsatz von Schutzgasen, entstehende Gesundheitsgefährdung durch Feinstäube sowie thermische Einflüsse auf die Werkstücke und geringe Materialvielfalt und Dicke sind jedoch deutliche Nachteile.

Quellenverzeichnis

- 3DS.com (o.J.): Laserschneiden: Vorteile und Unannehmlichkeiten
<https://www.3ds.com/de/make/solutions/blog/laser-cutting-advantages-inconvenients>
- AK Rohstoffe (2014): „Für eine umfassende EU-Initiative“,
https://www.fdcl.org/wp-content/uploads/2014/03/Fuer_eine_umfassende_EU-Initiative.pdf
- arbeitsschutz-schweissen.de (2018): THERMISCHES SCHNEIDEN: WELCHE GEFAHRSTOFFE DABEI ENTSTEHEN
<https://arbeitsschutz-schweissen.de/thermisches-schneiden-welche-gefahrstoffe-dabei-entstehen/?print-posts=pdf>
- Betrieblicher Umweltschutz in Baden-Württemberg (2015)
- BGI/GUV-I 718 (2010): Minimalmengenschmierung in der spanenden Fertigung
https://www.bghm.de/fileadmin/user_upload/Arbeitsschuetzer/Gesetze_Vorschriften/Informationen/209-024.pdf
- BGR (2021): Nickel - Informationen zur Nachhaltigkeit
https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/nickel.pdf
- BIBB (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
- blechbearbeitung-online.de (2023): Laserschneiden einfach und praxisnah erklärt
<https://blechbearbeitung-online.de/fertigungsbeispiele/laserschneiden/>
- BMWI (2015): Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft Impulse für Wachstum, Beschäftigung und Innovation
www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-und-digitale-wirtschaft.pdf
- Bundesamt für Umwelt - BAFU (o.J.): online:
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/fachinformationen/kreislaufwirtschaft.html>
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2014): Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klima - BMWK (o.J.): Digitale Transformation in der Industrie <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/industrie-4.0.html>
- ceratizit.com (o.J.): Umweltfreundlich, nachhaltig und wirtschaftlich
<https://www.ceratizit.com/int/de/offerings/services/special-operations/recycling.html>
- Deutscher Bundestag Drucksache (2022): Energieverbrauch der IKT-Infrastrukturen in Deutschland. Online: <https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-914208>
- elektroniknet / Arnold (2021) : Die Top-Ten-Kobalt-Produzenten
<https://www.elektroniknet.de/power/die-top-ten-kobalt-produzenten.187424.html>
- EMAF Ellen MacArthur Foundation (o.J.): How to build a Circular Economy.
<https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- EU-Kommission, (2020)
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474>
- 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

- 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>
- Forum-titandioxid (o.J.): TITANDIOXID: REDE UND ANTWORT <https://forum-titandioxid.de/>
- 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>
- Handlungsempfehlungen deutscher Nichtregierungsorganisationen, (2013): „Für eine demokratische und global gerechte Rohstoffpolitik. Handlungsempfehlungen deutscher NRO an Bundesregierung und Bundestag“, <https://www.germanwatch.org/sites/default/files/announcement/8183.pdf>
- Haufe Online Redaktion (2022): Verwaltung in Hamburg hat Papierverbrauch um neun Prozent gesenkt. Online: https://www.haufe.de/oeffentlicher-dienst/digitalisierung-transformation/verwaltung-in-hamburg-senkt-papierverbrauch-um-neun-prozent_524786_565510.html
- In Anlehnung an Brinksmeier, E. et al. (2015), S. 621. https://www.bafa.de/DE/Energie/Rohstoffe/Mineraloelstatistik/mineraloel_node.html
- IPH Hannover (o.J.) : Additive Fertigung als zukunftsweisendes Fertigungsverfahren <https://www.iph-hannover.de/de/dienstleistungen/fertigungsverfahren/additive-fertigung/>
- ISE (o.J.): Autobranche größter Treiber für Kobaltabbau <https://institut-seltene-erden.de/autobranche-groesster-treiber-fuer-kobaltabbau/>
- ISE Institut für Seltene Erden und Metalle (o.J.): Nickel. Online: <https://institut-seltene-erden.de/seltene-erden-und-metalle/strategische-sonder-metalle/nickel/>
- JOT (2021): Käfer ist Vorbild für strahlend weiße Oberflächen <https://www.jot-oberflaeche.de/zeitschrift/heftarchiv/artikel/kaefer-ist-vorbild-fuer-strahlend-weisse-oberflaechen-2908046.html>
- justlaser.com (2022): Wie nachhaltig arbeitet ein Laser? <https://www.justlaser.com/blog/wie-nachhaltig-arbeitet-ein-laser/>
- Minenportal (2021): Studien bestätigen, dass Sovereigns natürlicher Rutil die globalen CO₂-Emissionen der Titanbranche entscheidend senken könnte <https://www.minenportal.de/artikel/340889--Studien-bestaetigen-dass-Sovereigns-natuerlicher-Rutil-die-globalen-CO2-Emissionen-der-Titanbranche-entscheidend-senken-koennte.html>
- MT-Metallhandwerk.de, (2021): Trockenbearbeitung: Kleine Mengen mit großer Wirkung <https://www.mt-metallhandwerk.de/trockenbearbeitung-kleine-mengen-mit-grosser-wirkung-13022020>
- NICKEL INSTITUTE (2016): Nickel Recycling — Knowledge for a brighter future. https://nickelinstitute.org/media/2273/nickel_recycling_2709_final_nobleed.pdf
- Produktion.de (2019): Wo die additive Fertigung die konventionelle schlägt <https://www.produktion.de/technik/wo-die-additive-fertigung-die-konventionelle-schlaegt-123.html>
- produktion.de (2021): Strom statt Bohrer und Fräser: ECM als Alternative zur Zerspannung <https://www.produktion.de/fertigungsloesungen/strom-statt-bohrer-und-fraeser-ecm-als-alternative-zur-zerspannung-67-122.html>
- regenwald.org (2022:8): Regenwald Report03/2022 Madagaskar https://www.regenwald.org/uploads/regenwaldreport/pdf/RdR_03_2022_screen.pdf
- 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
- sandvik.coromant.com (o.J.): Schneidstoffsorten <https://www.sandvik.coromant.com/de-de/knowledge/materials/cutting-tool-materials>

- Schmidt, Jürgen (2002): Bericht zum Verbundprojekt Technologienetz Trockenbearbeitung. Online: <https://www.wbk.kit.edu/wbkintern/Forschung/Projekte/TTB/files/AbschlussBerichtTTB.pdf>
- Schulte, K.; Hesterberg, S (2001): Technologische Aspekte der Trockenzerspannung am Beispiel der Bohrungsbearbeitung In: Zerspanen im modernen Produktionsprozess , 2001, Dortmund
- SOMO& ActionAid (2021): Fallbeispiel Kalahari Mangan Feld in Südafrika https://www.somo.nl/nl/wp-content/uploads/sites/2/2021/06/ActionAid_MangaanRaport_Lowres.pdf
- Statista (2023): Minenproduktion von Nickel nach den wichtigsten Ländern im Jahr 2022. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37062/umfrage/produktion-von-nickel-weltweit-nach-laendern/>
- statista (2023): Minenproduktion von Nickel nach den wichtigsten Ländern im Jahr 2022 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37062/umfrage/produktion-von-nickel-weltweit-nach-laendern/>
- Statistisches Bundesamt - destatis (o.J.): Internationale Arbeitsorganisation (ILO)-Arbeitsmarktstatistik. Online: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Erwerbstaetigkeit/Methoden/Erlaeuterungen/erlaeuterungen-arbeitsmarktstatistik-ilo.html>
- stoba.one (2019): ECM-Elektrochemische Metallbearbeitung <https://www.stoba.one/customized-machinery/technologien/ecm>
- tagesschau.de (2022): Schmutziger Nickelabbau - Datenleak offenbart Bergbau-Geheimnisse <https://www.tagesschau.de/investigativ/schmutziger-nickelabbau-guatemala-101.html>
- Tamara Ebner et. el (2017):Ausgangsbedingungen und Verfahren für das Recycling von Wolframkarbid-Verbundwerkstoffe https://www.researchgate.net/publication/319492927_Ausgangsbedingungen_und_Verfahren_fur_das_Recycling_von_Wolframkarbid-Verbundwerkstoffen/fulltext/59aefb23458515150e473d45/Ausgangsbedingungen-und-Verfahren-fuer-das-Recycling-von-Wolframkarbid-Verbundwerkstoffen.pdf
- technik-einkauf.de, (2017): Kritische Rohstoffe <https://www.technik-einkauf.de/rohstoffe/kritische-rohstoffe/rohstoff-wolfram-stahlveredler-de-r-spitzenklasse-237.html>
- turkpidya.com (o.J.): Der Borbergbau in der Türkei <https://turkpidya.com/de/erkundung-von-bor-in-der-turkei-eine-fulle-von-moglichkeiten/#>
- UBA 2022: Verpackungsabfälle. Online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/verpackungsabfaelle>
- UMWELTBUNDESAMT (2021): Umweltprobenbank des Bundes. <https://www.umweltprobenbank.de/de/documents/profiles/analytes/10083>
- VDI Zentrum Ressourceneffizienz , (2017): Ökologische und ökonomische Bewertung des Ressourcenaufwands Wassermischbare Kühlschmierstoffe https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/1_Themen/h_Publikationen/Studien/Studie_Kuehlschmierstoffe_barrierefrei.pdf
- VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2021): Kunststoffrecycling 4.0: Künstliche Intelligenz und digitaler Zwilling spart Ressourcen. Online: <https://www.youtube.com/watch?v=LxafPcpqOf4>
- Vgl. DIN CEN/TR 16227 (DIN SPEC 51523):2011-10 (2011), S. 12.
- Weinert, K.; Hesterberg, S.; Wittkop, S. (2004): Einsatzmöglichkeiten der Trockenzerspannung und Minimalmengenkühlschmierung bei der Bearbeitung von hochlegierten, nichtrostenden Stahl. In: Werkstofftechnik, 32 (2001) 6, S. 578-582
- Welt der Fertigung (2017): Alternative zum Kühlschmierstoff. Online: <https://www.weltderfertigung.de/archiv/jahrgang-2017/ausgabe-juli-2017/alternative-zum-kuehlschmierstoff.php>
- Wolfram www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohstoffsteckbrief_wf.pdf

- zerspantechnik.de (o.J.): Stetig in Entwicklung: Schneidstoffe
<https://www.zerspanungstechnik.de/blog/2021/07/14/stetig-in-entwicklung-schneidstoffe/>

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 das Senken zur Aufnahme von Emissionen (Wasser, Boden, Luft) dienen.

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).

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.
- 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.

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 Zerspanungsmechaniker/-innen liegen also vor allem darin, für ihr einen nachhaltigen Einkauf zu organisieren, bei der Beschaffung auf nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energien zu 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.

Quellenverzeichnis

- BMUV Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2016): Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“: Online: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_11_2016_einfluss_der_nutzungsdauer_von_produkten_obsoleszenz.pdf
- BMUV Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2016): 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>
- Circular Futures (o.J.): – Plattform Kreislaufwirtschaft Österreich: SDGs & Kreislaufwirtschaft. Online: <https://www.circularfutures.at/themen/kreislaufwirtschaftspolitik/sdgs-and-kreislaufwirtschaft/>
- Global Resources Outlook (2019): UN-Ressourcenrat (International Resource Panel): Online: [https://resourcepanel.org/rGlobal-E-waste-Statistics-Partnership/\(globalewaste.org\)reports/global-resources-outlook](https://resourcepanel.org/rGlobal-E-waste-Statistics-Partnership/(globalewaste.org)reports/global-resources-outlook)
- ISO (o.J.): SO-14025:2006 Umweltzeichen und -deklarationen. Online: <https://www.iso.org/standard/38131.html>
- 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
- 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/>
- 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/>
- TÜV Sustainability Studie 2022 <https://www.tuev-verband.de/studien/sustainability-studie-2022>
- UBA Umweltbundesamt (2018): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Online: www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-nutzung-natuerlicher-ressourcen-bericht-fuer
- VDI ZRE (2021): Kunststoffrecycling 4.0: Künstliche Intelligenz und digitaler Zwilling spart Ressourcen. Online: <https://www.youtube.com/watch?v=LxafPcpqOf4>
- worldsteel (o.J.): Anerkennung für herausragende Leistungen im Bereich Sicherheit und Gesundheit 2022. Online: <https://worldsteel.org/safety-and-health-excellence-recognition/>

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 das Berufsbild sind hierbei vor allem das folgende Unterziel relevant:

- 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*

Klimaschutz und Zerspanungsmechaniker*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.

Emissionen im Prozess – Einsatz von Druckluft

Druckluft gehört zu den notwendigen Voraussetzungen für industrielle Zerspanprozesse. Besonders Automation, Spannsysteme und Werkzeugmaschinen können ohne sie nicht funktionieren. Der effiziente Einsatz von Energie ist eines der Hauptziele in der industriellen Druckluftherzeugung. Rund 20 Prozent des Stromverbrauchs in Betrieben entfallen im Schnitt auf die Bereitstellung und Lieferung von Druckluft an die jeweiligen Abnahmestellen (zerspanungstechnik.de, 2017a).

Druckluft ist ein universeller, jedoch auch relativ teurer Energieträger, denn ca. 95 % der Energie gehen als Abwärme verloren. Die Größe der Anlage ist abhängig von der Betriebsgröße und den damit verbundenen Nutzungsstunden der Druckluftanlage. (Bm o.J.). Druckluft-Anlagen verlieren auf verschiedene Wegen Energie, durch undichte Stellen, also etwa defekte Ventile oder Rohre und – vor allem bei großen Anlagen – durch ungenutzte Wärmeentwicklung. Aber auch ineffektive Druckluftgeräte, Verunreinigungen, Anschlussfehler und mangelnde Kompressoren-Regelung können für eine schlechte Energieeffizienz und dadurch für hohe Energiekosten sorgen.

Mit Ultraschall lassen sich über Luftschall unterschiedlichste Lecks erkennen und orten: Druck-, Vakuum- und jede Art von Gasleckage (Mittelstandsinitiative, Energiewende und Klimaschutz- KFZ o.J.). *“Das an den Leckstellen austretende Gas erzeugt dabei für den Menschen nicht hörbare Geräusche im Ultraschall-Frequenzbereich.” Diese durch Strömungsreibung verursachten Schallschwingungen werden von der Ultraschallsonde empfangen und vom Messgerät in Hörschall transformiert, der auf einem angeschlossenen Kopfhörer wiedergegeben und zusätzlich als Indikatorwert auf dem Display angezeigt werden kann. Das digitale Inspektionssystem ist auch zur Leckageortung bei mechanischen Inspektionen (per Körperschall bei Maschinenlagern, Schmierungen) und elektrischen Inspektionen (Schaltanlagen, Kabel & Isolatoren, Transformatoren, Stromunterbrechern) einsetzbar.”*

**Tabelle: Jährliche Energiekosten durch Leckagen im Rohrleitungssystem
(Energieeffizienz im Handwerk o.J.)**

Lochdurchmesser (mm)	Luftverlust bei 12 bar (l/s)	Energieverlust bei 12 bar (kWh)	Kosten bei 12 bar (€/a)
1	1,8	1,0	560
5	58,5	33,7	18.872
10	235,5	132,0	73.920

(Annahme: 6.000 Betriebsstunden p.a., Strompreis 14 Cent/kWh)

Folgende Tipps zum Umgang von Druckluft sollten beachtet werden:

- Der richtige Druck
- Energierückgewinnung nutzen
- Zentrale Kompressorsteuerung, Optimierung von Prozesstemperatur und Laufzeit
- Leckagen verhindern und reparieren (ein Pfeifen an Leistungen weist auf Leckagen hin)
- Kompressor, Filter richtig warten
- Minimierung der Standby-Wärmeabgabe bzw. Abschaltung der Anlage bei Nichtnutzung

In größeren Industriebetrieben wird die größte Energieersparnis erreicht, wenn die ohnehin entstehende Wärme (95%) an Kompressoren weiter genutzt wird. Dies erfolgt in der Regel für Heizung oder Warmwasser, gelegentlich auch für sogenannte Prozesswärme, also z.B. das Vorwärmen eines Werkstücks. Selten wird die erwärmte Kühlluft dafür eingefangen und weitergeleitet, effektiver ist ein Wärmetauscher-System, welches das erhitze Kompressor-Motoröl an einem Wasserkreislauf vorbei führt. (ebd.).

Bei geringen Nutzungsstunden der Anlage sollte zusätzlich der Einsatz von Werkzeugen und Geräten mittels Druckluft überprüft werden. So kann ein elektrisches Gerät deutlich energiesparender sein als die Verwendung von druckluftbetriebenen Werkzeugen, denn es entfällt die teuer und aufwendig aufbereitete Druckluft.

Quellenverzeichnis

- BIBB Bundesinstitut für Berufsbildung (2021): Vier sind die Zukunft. Online: <https://www.bibb.de/dienst/veroeffentlichungen/de/publication/show/17281>
- BMZ Bundesministerium für Wirtschaftliche Entwicklung und Zusammenarbeit (BMZ) 2022: Gemeinsam gegen Kinderarbeit. Online: <https://www.bmz.de/de/themen/kinderarbeit>
- Destatis Statistisches Bundesamt (2022): Indikatoren der UN-Nachhaltigkeitsziele. Online: <http://sdg-indikatoren.de/>
- 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
- Mittelstandsinitiative, Energiewende und Klimaschutz- KFZ o.J Beratungswerkzeuge der Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz

https://www.mittelstand-energiewende.de/fileadmin/user_upload_mittelstand/MIE_vor_Ort/Handwerk_Abschlussbrosch%

- My Climate (o.J.): Was sind CO₂-Äquivalente?
<https://www.myclimate.org/de/informieren/faq/faq-detail/was-sind-co2-aequivalente/>
- UNRIC Regionales Informationszentrum der Vereinten Nationen: UN-Klimachefin Espinosa: Rasche Maßnahmen gegen Klimawandel nötig. Online: <https://unric.org/de/klimakonferenz07062022/>
- zerspannungstechnik.de, 2017a : Einsparen oder wiederverwenden
<https://www.zerspannungstechnik.de/blog/2017/12/25/einsparen-oder-wiederverwenden/>

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)“