

TEXTE

55/2023

Umweltrisiken und - auswirkungen in globalen Lieferketten deutscher Unternehmen

Branchenstudie Maschinenbau

von:

Carolin Grüning, Bibiana García, Pia van Ackern, Katja Kriege, Daniel Weiss, Theresa Jentsch
adelphi, Berlin

Norbert Jungmichel, Stella Veneziano
Systain Consulting GmbH, Berlin

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 55/2023

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3720 14 103 0
FB000809

Zwischenbericht

Umweltrisiken und -auswirkungen in globalen Lieferketten deutscher Unternehmen

Branchenstudie Maschinenbau

von

Carolin Grüning, Bibiana García, Pia van Ackern, Katja
Kriege, Daniel Weiss, Theresa Jentsch
adelphi, Berlin

Norbert Jungmichel, Stella Veneziano
System Consulting GmbH, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

adelphi research gGmbH
Alt Moabit 91
10559 Berlin

Abschlussdatum:

Februar 2023

Redaktion:

Fachgebiet I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen, nachhaltiger Konsum
Christoph Töpfer

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2023

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Umweltrisiken und -auswirkungen in globalen Lieferketten deutscher Unternehmen

Die Studie untersucht Risiken für negative Umweltauswirkungen entlang der globalen Lieferketten des deutschen Maschinenbaus. Sie soll Unternehmen der Branche bei der Umsetzung umweltbezogener Sorgfaltspflichten in ihren Lieferketten unterstützen. Die Analyse basiert auf einer erweiterten multiregionalen Input-Output-Modellierung, ergänzt um Literaturrecherchen zu ausgewählten Rohstoffen und Prozessen. Die Ergebnisse werden geografisch, sektoral und nach Lieferkettenstufe aufbereitet und umfassen die Umweltthemen Treibhausgase, Luftschadstoffe, abiotische und biotische Rohstoffe, Fläche, Wasser, wassergefährdende Stoffe sowie Abfälle. Die ausgewählten maschinenbaurelevanten metallischen Rohstoffe Eisen und Stahl, Bauxit und Aluminium sowie Kupfer werden entlang ihrer Lieferkette von der Rohstoffgewinnung bis zur Metallverarbeitung vertieft betrachtet. Zudem werden die Prozesse der Galvanisierung und Metalllegierung sowie der in diesem Zusammenhang benötigte Rohstoff Vanadium fokussiert. Die Studie zeigt zudem exemplarisch Zusammenhänge zwischen Risiken für negative Auswirkungen auf die Umwelt und Menschenrechte auf. Auf Grundlage der Analyseergebnisse der Studie werden Ansatzpunkte und Maßnahmen zur Minderung von Umweltrisiken und zur Umsetzung umweltbezogener Sorgfaltspflichten formuliert.

Abstract: (Risks for) environmental impacts along global upstream supply networks of German businesses – Sector study for the mechanical engineering sector

The study examines risks for negative environmental impacts along the global supply chains of the German machinery and equipment manufacturing sector. It aims to support companies in the sector to conduct environmental due diligence in their supply chain. The analysis is based on extended multi-regional input-output modelling, supplemented by literature research on selected raw materials and processes. The results are presented geographically, sectorally and by stage of the supply chain and includes potential negative impacts related to the environmental topics of greenhouse gases, air pollutants, abiotic and biotic raw materials, land, water, substances hazardous to water, and waste. The selected metallic raw materials of relevance to mechanical engineering – iron and steel, bauxite and aluminium, and copper – are examined in depth along their supply chain from raw material extraction to metal processing. In addition, the processes of galvanization and metal alloying as well as the raw material vanadium required in this context are focused on. The study also shows exemplary correlations between risks for negative impacts on the environment and human rights. Based on the analysis results of the study, starting points and measures for mitigating environmental risks and implementing environmental due diligence are formulated.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis.....	11
Abkürzungsverzeichnis.....	13
Zusammenfassung.....	15
Summary.....	19
1 Einleitung.....	23
1.1 Hintergrund und Ziele.....	23
1.2 Ziele der Studie und Anwendungshinweise.....	23
1.3 Bezug der Studie zum Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz.....	24
1.4 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Studie.....	25
1.4.1 Übersicht über erfasste Umweltthemen.....	25
1.4.2 Kriterien zur Bewertung für negative Umweltauswirkungen.....	27
1.4.3 Methodisches Vorgehen.....	30
1.4.4 Aufbau der Studie.....	31
2 Analyse der Fokussektoren.....	32
2.1 Überblick zum Fokussektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen.....	32
2.2 Überblick zum Fokussektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen.....	34
2.3 Umweltthemen entlang der Lieferkette der beiden Fokussektoren.....	36
2.3.1 Übersicht relevanter Umweltthemen und Vorleistungssektoren in der Lieferkette.....	36
2.3.2 Zusammenhänge zwischen Risiken für negative Auswirkungen auf die Umwelt und Menschenrechte.....	38
2.3.3 Treibhausgase.....	42
2.3.3.1 Fokussektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern, Antriebselementen.....	42
2.3.3.2 Fokussektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen.....	44
2.3.3.3 Ergänzungen.....	46
2.3.4 Luftschadstoffe.....	46
2.3.4.1 Fokussektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern, Antriebselementen.....	47
2.3.4.2 Fokussektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen.....	50
2.3.4.3 Ergänzungen.....	54
2.3.5 Abiotische und biotische Rohstoffe.....	55

2.3.5.1	Fokusektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern, Antriebselementen	55
2.3.5.2	Fokusektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen.....	57
2.3.6	Fläche	59
2.3.6.1	Fokusektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern, Antriebselementen	60
2.3.6.2	Fokusektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen.....	61
2.3.6.3	Ergänzungen	62
2.3.7	Wasser	63
2.3.7.1	Fokusektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern, Antriebselementen	63
2.3.7.2	Fokusektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen.....	65
2.3.7.3	Ergänzungen	67
2.3.8	Wassergefährdende Schadstoffe	68
2.3.8.1	Fokusektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern, Antriebselementen	69
2.3.8.2	Fokusektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen.....	71
2.3.8.3	Ergänzungen	73
2.3.9	Abfälle	74
2.3.9.1	Fokusektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern, Antriebselementen	75
2.3.9.2	Fokusektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen.....	78
2.3.9.3	Ergänzungen	81
3	Fokusrohstoffe und -prozesse	82
3.1	Auswahl von Rohstoffen und Prozessen: Vorgehen	82
3.2	Aufbau der Fokus-Kapitel.....	82
3.3	Metallische Rohstoffe und Metallverarbeitung.....	84
3.3.1	Rohstoff Eisen und Stahl	84
3.3.2	Rohstoff Bauxit und Aluminium.....	87
3.3.3	Rohstoff Kupfer	92
3.3.4	Metallverarbeitung	94
3.4	Galvanisierung/ Metalllegierungen	98
3.4.1	Galvanisierung	98
3.4.2	Rohstoff Vanadium	100
4	Ansatzpunkte und Maßnahmen zur Minderung von Umweltrisiken und zur Erfüllung umweltbezogener Sorgfaltspflichten	103

4.1	Maßnahmen, um Risiken für negative Auswirkungen zu identifizieren und zu bewerten.	103
4.1.1	Breit angelegte Risikoanalyse und vertiefte Risikoanalyse für prioritäre Themen.....	103
4.1.2	Verbindung des eigenen Unternehmens zu potenziellen oder tatsächlichen negativen Auswirkungen bestimmen und Handlungsfelder für Maßnahmen priorisieren.....	106
4.1.3	Verbindung des eigenen Unternehmens zu potenziellen oder tatsächlichen negativen Auswirkungen bestimmen und Handlungsfelder für Maßnahmen priorisieren.....	106
4.2	Beseitigen, Vermeiden und Mindern von (potenziellen) negativen Auswirkungen.....	107
5	Quellenverzeichnis	123

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Due-Diligence-Prozesse und Maßnahmen	25
Abbildung 2:	Wertschöpfungsanteile direkter Lieferanten und tieferer Lieferkettenstufen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebs-elementen nach Ländern (in Mio. EUR).....	33
Abbildung 3:	Sektorale Verteilung der Wertschöpfung entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebs-elementen.....	34
Abbildung 4:	Wertschöpfungsanteile direkter Lieferanten und tieferer Lieferkettenstufen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen (in Mio. EUR).....	35
Abbildung 5:	Sektorale Verteilung der Wertschöpfung entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen	36
Abbildung 6:	Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebs-elementen.....	43
Abbildung 7:	Sektorale Verteilung der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebs-elementen.....	44
Abbildung 8:	Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen	45
Abbildung 9:	Sektorale Verteilung der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen	46
Abbildung 10:	SO ₂ -Emissionen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebs-elementen (in 1.000 t SO ₂ -Äquivalenten).....	47
Abbildung 11:	Sektorale Verteilung der Emissionen von SO ₂ -Äquivalenten der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebs-elementen.....	48
Abbildung 12:	Emissionen von Feinstaub entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebs-elementen (in 1.000 t Feinstaub PM _{2,5} -Äquivalenten)	49
Abbildung 13:	Sektorale Verteilung der Emissionen an Feinstaub-PM _{2,5} -Äquivalenten entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebs-elementen.....	50
Abbildung 14:	SO ₂ -Emissionen entlang der Wertschöpfungskette des Werkzeugmaschinenbaus (in 1.000 t SO ₂ -Äquivalenten).....	51

Abbildung 15:	Sektorale Verteilung der Emissionen von SO ₂ -Äquivalenten in der Wertschöpfungskette des Werkzeugmaschinenbaus.....	52
Abbildung 16:	Emissionen von Feinstaub entlang der Wertschöpfungskette des Werkzeugmaschinenbaus (in 1.000 t Feinstaub PM _{2,5} -Äquivalenten)	53
Abbildung 17:	Sektorale Verteilung der Emissionen von Feinstaub-PM _{2,5} -Äquivalenten entlang der Wertschöpfungskette des Werkzeugmaschinebaus.....	54
Abbildung 18:	Materialinanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen (in 1.000 Tonnen DEU)	56
Abbildung 19:	Sektorale Verteilung der Materialinanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen.....	57
Abbildung 20:	Materialinanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette der Herstellung von Werkzeugmaschinen (in 1.000 Tonnen DEU).....	58
Abbildung 21:	Sektorale Verteilung der Materialinanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen	59
Abbildung 22:	Flächeninanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen.....	61
Abbildung 23:	Flächeninanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen.....	62
Abbildung 24:	Wasserverbrauch entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen.....	64
Abbildung 25:	Sektorale Verteilung des Wasserverbrauchs in der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen.....	65
Abbildung 26:	Wasserverbrauch entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen (in 1.000 m ³)	66
Abbildung 27:	Sektorale Verteilung des Wasserverbrauchs entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen	67
Abbildung 28:	Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen anhand von acht ausgewählten Schwer- und Halbmetallen (in Tonnen DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser).....	70
Abbildung 29:	Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern,	

	Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen anhand von acht ausgewählten Schwer- und Halbmetallen (Bewertung mittels DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser).....	71
Abbildung 30:	Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen anhand von acht ausgewählten Schwer- und Halbmetallen (in Tonnen DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser).....	72
Abbildung 31:	Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen anhand von acht ausgewählten Schwer- und Halbmetallen (Bewertung mittels DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser)	73
Abbildung 32:	Verteilung des Abfallaufkommens entlang der Wertschöpfungskette bei der deutschen Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen nach Abfallklassen.....	76
Abbildung 33:	Abfallaufkommen gesamt entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen (in 1.000 Tonnen)	77
Abbildung 34:	Sektorale Verteilung des Abfallaufkommens in der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen.....	78
Abbildung 35:	Verteilung des Abfallaufkommens entlang der Wertschöpfungskette bei der deutschen Herstellung von Werkzeugmaschinen nach Abfallklassen	79
Abbildung 36:	Abfallaufkommen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen (in 1.000 Tonnen)	79
Abbildung 37:	Sektorale Verteilung des Abfallaufkommens entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen	81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Farbliche Unterlegung der Umwelt-Governance-Indices.....	28
Tabelle 2:	Leitfragen und Quellen zur Einschätzung von Schwere und Eintrittswahrscheinlichkeit einer negativen Umweltauswirkung	29
Tabelle 3:	Überblick über untersuchte Umweltthemen	37
Tabelle 4:	Umweltrelevante Sektoren in der Lieferkette der untersuchten Fokusektoren	38

Tabelle 5:	Zusammenhänge zwischen Umweltauswirkungen, menschenrechtlichen Auswirkungen und Menschenrechten (Beispiele)	40
Tabelle 6:	(Umwelt-)Governance-Kontext – Stahl und Eisen.....	85
Tabelle 7:	Eckdaten zur (Umwelt-)Governance – Bauxit/Aluminium	89
Tabelle 8:	Eckdaten zur (Umwelt-)Governance – Kupfer.....	92
Tabelle 9:	(Umwelt-)Governance-Kontext – Metallverarbeitung	96
Tabelle 10:	(Umwelt-)Governance-Kontext – Galvanisierung	98
Tabelle 11:	(Umwelt-)Governance-Kontext – Vanadium	101

Abkürzungsverzeichnis

AEMR	Allgemeine Erklärung der Menschenrechte
ASI	Aluminium Stewardship Initiative
AWS	Alliance for Water Stewardship
AZE	Alliance for Zero Extinction
BOD	Biochemical Oxygen Demand (dt. biochemischer Sauerstoffbedarf)
CDP	Carbon Disclosure Project
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CO₂-eq	CO ₂ -Äquivalente
COD	Chemical Oxygen Demand (dt. chemischer Sauerstoffbedarf)
CSR	Corporate Social Responsibility
DCB	1,4-Dichlorbenzol
DESTATIS	Statistisches Bundesamt
DEU	Domestic Extraction Used
DGCN	Deutsches Global Compact Netzwerk
DR Kongo	Demokratische Republik Kongo
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
ENCORE	Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure
EPI	Environmental Performance Indicator
EU	Europäische Union
EUROSTAT	European Statistical Office (dt. Statistisches Amt der Europäischen Union)
EUR	Euro
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (dt. Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen)
FKZ	Förderkennzeichen
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
HCl	Salzsäure
HF	Fluorwasserstoff
IAI	International Aluminium Institute
ICA	International Copper Association
ICMM	International Council on Mining and Metals
ILO	International Labour Organization
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRMA	Initiative for Responsible Mining Assurance
ISO	International Organization for Standardization (dt. Internationale Organisation für Normung)
LBMA	London Bullion Market Association
kg	Kilogramm

km2	Quadratkilometer
km3	Kubikkilometer
KPIs	Key Performance Indicators
LkSG	Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz
m3	Kubikmeter
Mio	Million
Mrd	Milliarde
MRIO	Multi-regional Input-Output
MRIO-Analyse	Multi-regionale Input-Output-Analyse
Mt	Megatonnen
NatuReS	Natural Resources Stewardship Programm
NGO	Non Governmental Organization
NMVOG	Non-methane volatile organic compound (dt. flüchtige organische Verbindungen ohne Methan)
NOx	Stickstoffoxide (Sammelbezeichnung)
OECD	Organisation for Economic Co-Operation and Development (dt. Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
OECD-Leitfaden	OECD-Leitfaden für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln
OECD-Leitsätze	OECD-Leitsätze für multinationale Unternehmen
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PM	Particulate matter
PFAS	Netzmittel Perfluorierte und polyfluorierte Alkylsubstanzen
POPs	Persistent organic pollutants (dt. persistente organische Schadstoffe)
SOx	Schwefeloxide
SO2	Schwefeldioxid
RMI	Responsible Minerals Initiative
t	Tonnen
THG	Treibhausgase
UBA	Umweltbundesamt
UN	United Nations (dt. Vereinte Nationen)
UNDRIP	UN-Deklaration zu den Rechten indigener Völker
UN-Leitprinzipien	Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte der Vereinten Nationen
UNO	äquiv. UN; United Nations Organization (dt. Vereinte Nationen)
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.
VOC	Volatile organic compounds (dt. flüchtige organische Verbindungen)
WGI	Worldwide Governance Indicator
WWF	World Wide Fund For Nature

Zusammenfassung

Das im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) durchgeführte Forschungsprojekt „Innovative Werkzeuge für das Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement in der Wertschöpfungskette“ (FKZ 3720 13 103 0) soll Unternehmen bei der praktischen Umsetzung des Konzepts der umweltbezogenen und menschenrechtlichen Sorgfalt in der Lieferkette unterstützen. In einer Reihe von Branchenstudien werden Risiken für negative Umweltauswirkungen entlang der Lieferketten der deutschen Wirtschaft beschrieben und illustriert. Die vorliegende Studie zum deutschen Maschinenbau ist die zweite Publikation in der Reihe von Branchenstudien.¹ Bei der Risikobeschreibung soll zudem eine integrative Perspektive auf Umwelt- und Menschenrechtsrisiken in Lieferketten gestärkt werden. Das Forschungsprojekt wird von adelphi in Zusammenarbeit mit Systain bearbeitet.

Die vorliegende Studie widmet sich dem deutschen Maschinenbau. Die Studie:

- ▶ gibt einen Überblick über Risiken für negative Umweltauswirkungen auf den einzelnen Stufen der vorgelagerten internationalen Wertschöpfungskette des deutschen Maschinenbaus und beschreibt tatsächliche negative Auswirkungen;
- ▶ analysiert im Detail die mit ausgewählten Rohstoffen, Prozessen und Wertschöpfungsstufen verbundenen Risiken für negative Umweltauswirkungen;
- ▶ zeigt exemplarisch, welche Verbindungen zwischen (potenziellen) negativen Umwelt- und menschenrechtlichen Auswirkungen bestehen können und
- ▶ zeigt Handlungsansätze und Beispielmaßnahmen auf und gibt Aufschluss über weitere Branchenaktivitäten und Initiativen.

Die Studie soll die bisherigen Aktivitäten der Bundesregierung in Bezug auf die praktische Umsetzung umweltbezogener Sorgfaltspflichten von Unternehmen in Deutschland flankieren und anreichern. Sie geht über die im Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG) genannten umweltbezogenen Sorgfaltspflichten hinaus und versteht die Auseinandersetzung mit Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Wertschöpfungskette als eigenständiges Handlungsfeld. Gleichwohl soll sie zu einem integrativen Verständnis von umweltbezogener und menschenrechtlicher Sorgfaltspflicht beitragen, da vielschichtige Zusammenhänge zwischen beiden Themen bestehen (vgl. Scherf et al. 2019).

Die vorliegende Studie betrachtet im Speziellen die „Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen“ (Fokussektor 1; WZ08-18.15 gemäß der Klassifikation der Wirtschaftszweige) und die „Herstellung von Werkzeugmaschinen“ sowie die „Herstellung von sonstigen Werkzeugmaschinen“ (Fokussektor 2; WZ08-28.41 und WZ08-28.49). Methodisch setzt die Studie auf einen Mix aus ökologisch erweiterten, multiregionalen Input-Output-Modellen, einschlägigen Studien, Online-Tools und Expertinnen- und Experteninterviews.

In der Studie werden die folgenden Umweltthemen für die Wertschöpfungsketten des deutschen Maschinenbaus analysiert:

¹ Die vorliegende Studie zum deutschen Maschinenbau entspricht insbesondere in den Kapiteln 1 und 4 der Publikation „Umweltrisiken und -auswirkungen in globalen Lieferketten deutscher Unternehmen der Automobilindustrie“ (Weiss et al. 2022).

- ▶ **Treibhausgase:** Die steigende Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre insbesondere durch die Nutzung fossiler Energieträger führt zu einem Anstieg der bodennahen Lufttemperatur im globalen Mittel. Die meisten Emissionen entstehen auf der Ebene der indirekten Lieferanten, d. h. Vorleistungsprozesse auf den tieferen Wertschöpfungsstufen (tier 2-n): In den beiden untersuchten Fokussektoren machten die Emissionen auf diesen tieferen Stufen drei Viertel bzw. zwei Drittel aus. Dagegen verursacht die Stufe der direkten Lieferanten (tier 1) etwa ein Viertel bzw. ein Drittel der Gesamtemissionen. Die meisten Emissionen entlang der Wertschöpfungskette entfallen auf Lieferanten und Vorlieferanten in Deutschland. Die meisten Treibhausgasemissionen entstehen in den Vorleistungssektoren der Stromerzeugung, der Metallherzeugung und -verarbeitung sowie der Förderung von Energieträgern.
- ▶ **Luftschadstoffe (Schwefeldioxidäquivalente und Feinstaub der Partikelgröße PM2,5-Äquivalente):** Die Verbrennung fossiler Energieträger verursacht säurebildende Abgase, insbesondere Schwefeldioxid und Stickoxide. Die Versauerung von Böden und Gewässern kann Pflanzen schädigen. Hohe lokale Konzentrationen von Schwefeldioxid und Stickstoffoxiden können zudem zu Atemwegserkrankungen führen und die menschliche Gesundheit gefährden. Jeweils knapp ein Viertel der Emissionen von SO₂-Äquivalenten entstehen auf der Stufe der direkten Lieferanten bei beiden Fokussektoren. Bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen gehen die Emissionen an SO₂-Äquivalenten mit einem Anteil von 51 % vorrangig auf Deutschland zurück, vor allem auf der Stufe der direkten Lieferanten. Bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen beträgt der Anteil 44 %. Die Emissionen entstehen in beiden Fokussektoren vor allem durch die Stromerzeugung durch fossile Energieträger sowie in der Metallherzeugung und -verarbeitung. Feinstaub kann ebenfalls Atemwegserkrankungen auslösen. Bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen entstehen etwa 22 % der Feinstaubemissionen auf der Stufe der direkten Lieferanten. Bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen ist der Anteil auf der ersten Lieferkettenstufe mit 50 % deutlich höher. Treiber bei beiden Fokussektoren sind wie bei den Schwefeldioxidemissionen die Vorleistungen aus der Stromerzeugung und der Metallherzeugung und -verarbeitung.
- ▶ **Abiotische und biotische Rohstoffe:** Die Gewinnung von Rohstoffen ist häufig mit erheblichen Eingriffen in die Natur verbunden und geht oft mit Schadstoffeinträgen in Wasser, Luft und Boden einher. Etwa drei Viertel der extrahierten Ressourcen sind mit der Gewinnung fossiler Energieträger verbunden, welche sowohl für den Energiebedarf als auch für die Herstellung von Chemikalien und Kunststoffen aus fossilen Quellen beansprucht werden. Der restliche Anteil der Materialinanspruchnahme ist auf nicht-metallische und metallische Mineralien inklusive deren Gewinnung zurückzuführen. Geografisch ist die höchste Ressourceninanspruchnahme für beide Fokussektoren in den USA und Kanada mit einem Anteil von etwa einem Drittel zu verorten. Bemerkenswert ist die Ressourceninanspruchnahme auf der direkten Lieferkettenstufe beim Werkzeugmaschinenbau für Rohstoffe für Sande und Steine, insbesondere in Polen, Deutschland und Südamerika. Hintergrund hierfür sind Materialien für Beschwerungs- und Befestigungselemente bei den Werkzeugmaschinen.

- ▶ **Fläche:** Die Beanspruchung von Böden kann je nach Nutzungsform und -intensität erhebliche negative Auswirkungen auf die Umwelt haben. In erster Linie kann die Flächeninanspruchnahme zur Verdrängung von natürlichen und wertvollen Ökosystemen und damit zum Verlust der lokalen Artenvielfalt führen. Die Flächeninanspruchnahme erfolgt fast ausschließlich auf den tieferen Lieferkettenstufen des deutschen Maschinenbaus. Geografisch sind die höchsten Flächeninanspruchnahmen in Deutschland und China zu verorten.
- ▶ **Wasser:** Die Entnahme von großen Wassermengen aus (natürlichen) Wasserreservoirs kann lokale Wasserknappheiten verschärfen. Dies ist insbesondere bei der Wasserentnahme aus dem Grundwasser oder Gewässern in Regionen mit Wasserknappheitsrisiken kritisch. Die fehlende Verfügbarkeit von Wasser kann lokal den Anbau von Nahrungsmitteln, die Fischerei und die Trinkwasserversorgung beeinträchtigen und zu Beeinträchtigungen der biologischen Vielfalt führen. Bereits auf der Stufe der direkten Lieferanten – und damit im unmittelbaren Einflussbereich der Maschinenbauunternehmen – sind Länder bzw. Regionen mit hohem Wasserverbrauch bei gleichzeitig hohen Knappheitsrisiken zu finden, beispielsweise in China, Spanien, der Türkei und in Indien. Dies betrifft vor allem die Metallerzeugung und -verarbeitung und die Stromerzeugung entlang der Wertschöpfungskette.
- ▶ **Wassergefährdende Stoffe (Schwermetalleinträge):** Hohe Konzentrationen von Schwermetallen im Wasser gefährden sowohl Ökosysteme als auch die menschliche Gesundheit. Bei Überschreitung bestimmter Konzentrationen können Wachstumsstörungen bei Pflanzen und Organismen, Störungen bei der Reproduktion von Lebewesen und der mikrobiologischen Stoffumsetzung auftreten, die zum Absterben von Arten führen. Bereits auf der Stufe der direkten Lieferanten sind Schwermetalleinträge ins Wasser zu verzeichnen. Dies ist insbesondere kritisch in Ländern mit mangelnder Umweltgesetzgebung bzw. unzureichender Implementierung von Umweltstandards. Sektoral von Bedeutung ist hierbei der Vorleistungssektor der Metallerzeugung und -verarbeitung.
- ▶ **Abfälle:** Abfälle stellen eine Gefahr für die Umwelt dar. Ansammlungen von Abfällen nehmen Flächen in Anspruch, können zu Schadstoffemissionen in Luft, Wasser und Böden führen und können somit Ökosysteme gefährden. Abfälle entstehen entlang der gesamten vorgelagerten Wertschöpfungskette des Maschinenbaus – sowohl bei der Rohstoffgewinnung als auch in den Produktionsprozessen. Die Abfälle bei der Gewinnung von fossilen Energieträgern für die energetische und stoffliche Verwertung machen etwa ein Drittel aus, ebenso die Abfälle bei der Gewinnung von mineralischen Rohstoffen. Weitere Abfälle sind auf die Prozesse der Metallerzeugung und -verarbeitung zurückzuführen. Kritisch ist insbesondere das Aufkommen von gefährlichen Abfällen in Ländern mit unzureichender Umwelt-Governance. Besonders Russland und China treten hier bei der Analyse der beiden Fokussektoren hervor. Sektoral sind die höchsten Abfallaufkommen in den Vorleistungen bei der Gewinnung von fossilen Energieträgern und der Gewinnung von metallischen Rohstoffen zu verzeichnen.

Neben der Analyse einzelner Umweltthemen enthält die Studie auch eine vertiefte Betrachtung ausgewählter Rohstoffe und Prozesse, die Unternehmen bei der Umsetzung der

umweltbezogenen und menschenrechtlichen Sorgfalt weiter unterstützen soll. Mithilfe der vertieften Betrachtung sollen auch mögliche Lücken in der Aussagekraft der multiregionalen Input-Output-Analyse geschlossen werden, insbesondere im Hinblick auf die Umweltauswirkungen im Rohstoffabbau.

Zusätzlich werden für die folgenden maschinenbaurelevanten Rohstoffe und Prozesse die Risiken für negative Umweltauswirkungen entlang vorgelagerter Wertschöpfungsstufen erfasst und illustriert:

► Metallische Rohstoffe und Metallverarbeitung:

- Rohstoff Eisen und Stahl
- Rohstoff Bauxit und Aluminium
- Rohstoff Kupfer
- Metallverarbeitung

► Galvanisierung/Metallegierungen:

- Galvanisierung
- Rohstoff Vanadium

Auf Basis der Analyseergebnisse werden in zehn Steckbriefen ausgewählte Handlungsansätze und Maßnahmen vorgeschlagen, die Unternehmen nutzen können, um negative Umweltauswirkungen in der Lieferkette zu beseitigen, zu vermeiden oder zu mindern, und die Bestandteile eines kohärenten Sorgfaltspflichtenmanagements sein können:

1. Steuerung: Verankerung eines nachhaltigen Lieferkettenmanagements im Unternehmen
2. Steuerung: Definition von klaren Zielen in der Lieferkette
3. Kommunikation: Interner Wissensaufbau und Austausch zu Umweltthemen und Maßnahmen in der Lieferkette
4. Kommunikation: Transfer von Wissen zu Umweltthemen und Maßnahmen an (Vor-) Lieferanten
5. Dialog: Austausch mit (potenziell) Betroffenen als Input zur Risikoanalyse und zur effektiven Lösungsfindung
6. Pilotprojekte: Umsetzung von Veränderungen in der Lieferkette und anschließende Ausweitung
7. Einkauf und Lieferantenmanagement: Zertifizierungen und Standards bei Produzenten und/oder Rohstoffen
8. Allianzen: Unternehmens- und branchenübergreifende Ansätze zur Schaffung nachhaltigerer Lieferketten
9. Stoffkreisläufe: Einsatz von Sekundärrohstoffen und Recycling von Rohstoffen
10. Transparenz über die eigene Lieferkette für das Management (potenzieller) negativer Auswirkungen

Die Steckbriefe nehmen Erkenntnisse aus dem Austausch mit Branchenvertreterinnen und Branchenvertretern auf und greifen auf die eigenen Praxiserfahrungen des Projektkonsortiums zurück.

Summary

The research project "Innovative tools for environmental and sustainability management in the value chain" (FKZ 3720 13 103 0), conducted on behalf of the German Federal Environment Agency (UBA), aims to support companies in the practical implementation of the concept of environmental and human rights due diligence in the supply chains. In a series of industry studies, risks of negative environmental impacts along the supply chains of the German industry are described and illustrated.² In addition, the studies aim to strengthen an integrative perspective on environmental and human rights risks in supply chains. The research project is being conducted by adelphi in cooperation with Systain.

This study is dedicated to the German mechanical engineering sector. It:

- ▶ provides an overview of risks for negative environmental impacts at the individual stages of the upstream international value chain of German mechanical engineering and describes actual negative impacts;
- ▶ analyses in detail the risks for negative environmental impacts associated with selected raw materials, processes and stages of the value chain;
- ▶ shows examples of the links that can exist between (potential) negative environmental and human rights impacts; and
- ▶ shows approaches for action and example measures and provides information on further sector activities and initiatives.

The study is intended to accompany and enrich the previous activities of the Federal Government with regard to the practical implementation of environmental due diligence by companies in Germany. The study goes beyond the environmental due diligence requirements of the German Supply Chain Due Diligence Act (Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz – LkSG) and understands the management for risks of negative environmental impacts in the value chain as an independent field of action. Nevertheless, it is intended to contribute to an integrative understanding of environmental and human rights due diligence, as there are complex interrelationships between the two topics (cf. Scherf et al. 2019).

This study looks specifically at the "manufacture of bearings, gears, gearing and driving elements" (focus sector 1; WZ08-18.15 according to the classification of economic activities) and the "manufacture of machine tools" as well as the "manufacture of other machine tools" (focus sector 2; WZ08-28.41 and WZ08-28.49). Methodologically, the study relies on a mix of ecologically extended, multi-regional input-output models, relevant studies, online tools and expert interviews.

The study analyses the following environmental issues for the value chains of the German mechanical engineering sector:

- ▶ **Greenhouse gases:** The increasing concentration of greenhouse gases in the atmosphere, in particular due to the use of fossil fuels, leads to an increase in the global average ground-level air temperature. Most emissions occur at the level of indirect suppliers, i. e.

² This study on the German machinery and equipment manufacturing sector is the second publication in the series of sector studies. Especially in chapters 1 and 4 it resembles the first publication on environmental risks and impacts in global supply chains of German companies in the automotive (Weiss et al. 2022).

intermediate processes at lower stages of the value chain (tier 2-n): In the two focus sectors studied, emissions at these lower levels accounted for three quarters and two thirds respectively. In contrast, the direct supplier stage (tier 1) represents about a quarter and a third of total emissions, respectively. Suppliers and upstream suppliers in Germany account for most of the emissions along the value chain. Most greenhouse gas emissions occur in the intermediate input sectors of electricity generation, metal production and processing, and the extraction of energy sources.

- ▶ **Air pollutants (sulphur dioxide equivalents and particulate matter of particle size PM2.5 equivalents):** The combustion of fossil fuels causes acidifying exhaust gases, especially sulphur dioxide and nitrogen oxides. Acidification of soils and waters can damage plants. High local concentrations of sulphur dioxides and nitrogen oxides can also lead to respiratory diseases and endanger human health. Almost a quarter of the SO₂-equivalent emissions are generated at the direct supplier level in each of the two focus sectors. In the manufacture of machine tools, the emissions of SO₂ equivalents are primarily attributable to Germany with a share of 51 %, especially at the level of direct suppliers. In the manufacture of bearings, gears, gearwheels and drive elements, the share is 44 %. Emissions in both focus sectors are primarily caused by electricity generation from fossil fuels and in metal production and processing. Fine dust can also trigger respiratory diseases. In the production of bearings, gears, gearwheels and drive elements, about 22 % of particulate matter emissions occur at the direct supplier stage. In the manufacture of machine tools, the share at the first supply chain level is significantly higher at 50 %. As with sulphur dioxide emissions, the drivers in both focus sectors are intermediate inputs from power generation and metal production and processing.
- ▶ **Abiotic and biotic raw materials:** The extraction of raw materials is often associated with considerable interventions in nature and is often accompanied by pollutant inputs into water, air and soil. About three quarters of the extracted resources are associated with the extraction of fossil fuels, which are claimed both for energy needs and for the production of chemicals and plastics from fossil sources. The remaining share of material use is due to non-metallic and metallic minerals, including their extraction. Geographically, the highest resource use for both focus sectors is in the USA and Canada, with a share of about one third. Noteworthy is the resource use at the direct supply chain level in machine tool manufacturing for raw materials for sands and stones, especially in Poland, Germany and South America. The background to this is materials for weighting and fastening elements in the machine tools.
- ▶ **Land:** The use of land can have a significant negative impact on the environment, depending on the form and intensity of use. First and foremost, land use can lead to the displacement of natural and valuable ecosystems and thus to the loss of local biodiversity. Land take occurs almost exclusively at the lower supply chain levels of the German mechanical engineering sector. Geographically, the highest land use is in Germany and China.
- ▶ **Water:** The extraction of large quantities of water from (natural) water reservoirs can exacerbate local water shortages. This is particularly critical in the case of water extraction

from groundwater or water bodies in regions with water scarcity risks. The lack of water availability can locally affect food cultivation, fisheries and drinking water supplies and lead to impairments of biodiversity. Already at the level of direct suppliers - and thus in the direct sphere of influence of the mechanical engineering companies - countries or regions with high water consumption and simultaneously high scarcity risks can be found, for example in China, Spain, Turkey and India. This applies above all to metal production and processing and power generation along the value chain.

- ▶ **Substances hazardous to water (heavy metal discharges):** High concentrations of heavy metals in water endanger both ecosystems and human health. If certain concentrations are exceeded, growth disturbances in plants and organisms, disturbances in the reproduction of living organisms and the microbiological conversion of substances can occur, leading to the death of species. Heavy metal inputs into water can already be recorded at the level of direct suppliers. This is particularly critical in countries with inadequate environmental legislation or insufficient implementation of environmental standards. The intermediate input sector of metal production and processing is of sectoral importance here.
- ▶ **Waste:** Waste poses a threat to the environment. Accumulations of waste take up land, can lead to pollutant emissions to air, water and soil, and can thus endanger ecosystems. Waste is generated along the entire upstream value chain of mechanical engineering - both in the extraction of raw materials and in production processes. Waste from the extraction of fossil fuels for energy and material recovery accounts for about one third, as does waste from the extraction of mineral raw materials. Further waste is attributable to the processes of metal production and processing. The generation of hazardous waste in countries with inadequate environmental governance is particularly critical. Russia and China in particular stand out here in the analysis of the two focus sectors. Sectorally, the highest waste volumes are found in intermediate inputs in the extraction of fossil energy sources and the extraction of metallic raw materials.

In addition to the analysis of individual environmental topics, the study also contains an in-depth examination of selected raw materials and processes, which should further support companies in the implementation of environmental and human rights due diligence. With the help of the in-depth consideration, possible gaps in the informative value of the multi-regional input-output analysis are also to be closed, especially with regard to the environmental impacts in raw material extraction.

In addition, the risks for negative environmental impacts along upstream stages of the value chain are recorded and illustrated for the following raw materials and processes relevant to mechanical engineering:

- ▶ Metal raw materials and metal processing:
 - Raw material iron and steel
 - Raw material bauxite and aluminium
 - Raw material copper

- Metal processing
- ▶ Electroplating/metal alloys:
 - Electroplating
 - Raw material vanadium

Based on the results of the analysis, ten fact sheets propose selected approaches and measures that companies can use to eliminate, avoid or mitigate negative environmental impacts in the supply chain and that can be components of a coherent due diligence management:

1. Governance: anchoring sustainable supply chain management in the company
2. Governance: definition of clear objectives in the supply chain
3. Communication: internal knowledge building and exchange on environmental issues and measures in the supply chain
4. Communication: transfer of knowledge on environmental issues and measures to (upstream) suppliers
5. Dialogue: Exchange with (potentially) affected parties as input to risk analysis and effective solution finding
6. Pilot projects: Implementation of changes in the supply chain and subsequent scaling up
7. Purchasing and supplier management: certifications and standards for producers and/or raw materials
8. Collaborative actions: Cross-company and cross-sector approaches to create more sustainable supply chains
9. Material cycles: use of secondary raw materials and recycling of raw materials
10. Transparency about one's own supply chain for the management of (potential) negative impacts

The fact sheets incorporate findings from the exchange with sector representatives and draw on the project consortium's own practical experience.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Ziele

Das im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) durchgeführte Forschungsprojekt „Innovative Werkzeuge für das Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement in der Wertschöpfungskette“ (FKZ 3720 13 103 0) soll Unternehmen bei der praktischen Umsetzung des Konzepts der umweltbezogenen und menschenrechtlichen Sorgfalt in der Lieferkette unterstützen. In einer Reihe von Branchenstudien sollen Risiken für negative Umweltauswirkungen entlang der Lieferketten von Branchen der deutschen Wirtschaft beschrieben und illustriert werden. Die vorliegende Studie zum deutschen Maschinenbau ist die zweite Publikation in der Reihe von Branchenstudien.³ Bei der Risikobeschreibung soll zudem eine integrative Perspektive auf Umwelt- und Menschenrechtsrisiken in Lieferketten gestärkt werden. Das Forschungsprojekt wird von adelphi in Zusammenarbeit mit Sustain Consulting bearbeitet.

Die vorliegende Studie ergänzt die Analyse „Die globale Umweltinanspruchnahme des deutschen Maschinenbaus. Fallstudie zu den weltweiten Wertschöpfungsketten“ (Jungmichel et al. 2021) sowie den „Umwelatlas Lieferketten. Umweltwirkungen und Hot-Spots in der Lieferkette“ (Jungmichel et al. 2017). In der hier vorliegenden Studie wurden zwei Fokussektoren des Maschinenbaus untersucht: die Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebs-elementen als bedeutender Untersektor für Komponenten im Maschinenbau (Fokussektor 1) und die Herstellung von Werkzeugmaschinen als Untersektor des Maschinenbaus mit der Herstellung von Anlagen (Fokussektor 2). Die Auswahl im Rahmen des Projekts erfolgte anhand von Kriterien wie u. a. Umsatz und der Anzahl an Unternehmen. Für Untersektoren des Maschinenbaus, die Fahrzeuge bzw. fahrzeugähnliche Maschinen herstellen – z. B. Landmaschinen, Bau- und Bergwerksmaschinen sowie Logistikfahrzeuge – sei auf die Studie zum Automobilsektor und die dortigen Fokusthemen wie Bereifung, Batterien, Metalle verwiesen (Weiss et al. 2022).

1.2 Ziele der Studie und Anwendungshinweise

Unternehmen sind aufgefordert, ihrer Verantwortung für den Schutz von Menschenrechten und der Umwelt nachzukommen. Diese Verantwortung konkretisiert sich in einer sogenannten „unternehmerischen Sorgfaltspflicht“. Denn Unternehmen haben durch ihre Geschäftstätigkeiten und -beziehungen Einfluss auf das Leben von Menschen und auf die Umwelt. Sie müssen sich daher mit dem Risiko auseinandersetzen, dass sich ihre Aktivitäten (möglicherweise) nachteilig auf Menschenrechte und Umwelt auswirken.

Die vorliegende Studie:

- ▶ gibt einen Überblick über Risiken für negative Umweltauswirkungen auf den einzelnen Stufen der vorgelagerten internationalen Wertschöpfungskette des deutschen Maschinenbaus und beschreibt tatsächliche negative Auswirkungen;
- ▶ analysiert im Detail die mit ausgewählten Rohstoffen, Prozessen und Wertschöpfungsstufen verbundenen Risiken für negative Umweltauswirkungen;

³ Die vorliegende Studie zum deutschen Maschinenbau entspricht insbesondere in den Kapiteln 1 und 4 der Publikation „Umweltrisiken und -auswirkungen in globalen Lieferketten deutscher Unternehmen der Automobilindustrie“ (Weiss et al. 2022).

- ▶ zeigt exemplarisch, welche Verbindungen zwischen (potenziellen) negativen Umwelt- und menschenrechtlichen Auswirkungen bestehen können und
- ▶ zeigt Handlungsansätze und Beispielmaßnahmen auf und gibt Aufschluss über weitere Branchenaktivitäten und Initiativen.

Konkrete umwelt- oder menschenrechtsbezogene Herausforderungen und Auswirkungen in Wertschöpfungsketten von Unternehmen des Maschinenbaus sind üblicherweise von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich. Die Ergebnisse der Studie können daher als Grundlage für Unternehmen dienen, ersetzen aber nicht eine individuelle und eigenständige Auseinandersetzung von Unternehmen mit ihrer umweltbezogenen und menschenrechtlichen Sorgfaltspflicht.

1.3 Bezug der Studie zum Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz

Die Bundesregierung hat im Juni 2021 das Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten (Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz – LkSG) verabschiedet. Das LkSG stellt ab 2023 an Unternehmen ab 3.000 Mitarbeitenden Anforderungen an die Umsetzung menschenrechtlicher und umweltbezogener Sorgfaltspflichten und wird ab 2024 auf Betriebe mit mehr als 1.000 Mitarbeitenden ausgeweitet werden. Betroffene Unternehmen werden verpflichtet, eine Grundsatzerklärung zur Achtung der Menschenrechte zu verabschieden. Zudem müssen Unternehmen eine Risikoanalyse durchführen und ein Risikomanagement sowie einen Beschwerdemechanismus einrichten und öffentlich über Präventions- und Abhilfemaßnahmen, die sich auf die Ergebnisse der Risikoanalyse beziehen, berichten. Der Anwendungsbereich des Gesetzes bezieht sich neben dem eigenen Geschäftsbereich eines Unternehmens auch auf unmittelbare Zulieferer. Für mittelbare Zulieferer ist eine anlassbezogene Sorgfaltspflicht vorgesehen.

Anforderungen an die umweltbezogene Sorgfalt ergeben sich aus dem LkSG, wenn negative Umweltauswirkungen (z. B. kontaminiertes Wasser) zu Menschenrechtsverletzungen führen (§ 2 (9) LkSG) und wenn es darum geht, Schadstoffe, die für Mensch und Umwelt gefährlich sind, zu verbieten. Das LkSG greift für Letzteres auf drei internationalen Übereinkommen (§ 2 (1) LkSG) bestimmte umweltbezogene Pflichten auf, die Unternehmen einzuhalten haben: das Übereinkommen von Minamata vom 10. Oktober 2013 über Quecksilber, das Stockholmer Übereinkommen vom 23. Mai 2001 über persistente organische Schadstoffe (POPs) und das Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung vom 22. März 1989.⁴

Die Studie soll die bisherigen Aktivitäten der Bundesregierung in Bezug auf die praktische Umsetzung umweltbezogener Sorgfaltspflichten von Unternehmen in Deutschland flankieren und anreichern. Sie geht über die im LkSG genannten umweltbezogenen Sorgfaltspflichten hinaus und versteht die Auseinandersetzung mit Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Wertschöpfungskette als eigenständiges Handlungsfeld. Gleichwohl soll sie zu einem integrativen Verständnis von umweltbezogener und menschenrechtlicher Sorgfaltspflicht beitragen, da vielschichtige Zusammenhänge zwischen beiden Themen bestehen (vgl. Scherf et al. 2019).

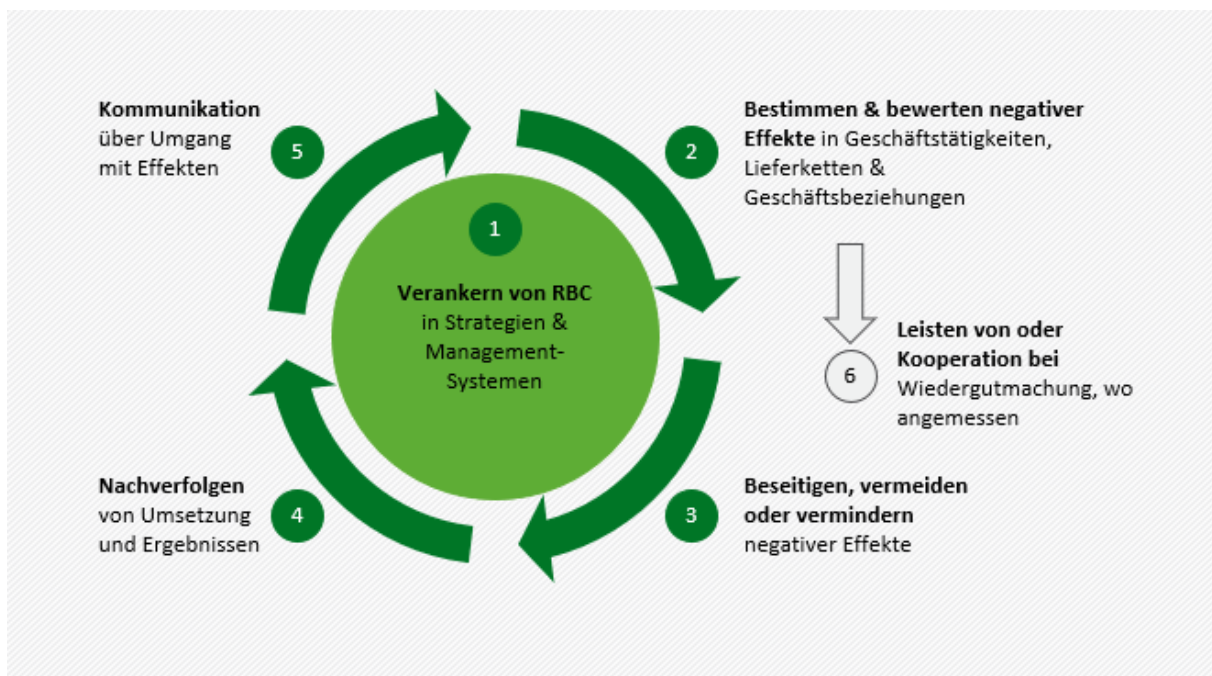
⁴ Die Studie befasst sich nicht explizit mit den Anforderungen der drei genannten Umweltabkommen.

1.4 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Studie

1.4.1 Übersicht über erfasste Umweltthemen

Die vorliegende Studie bettet sich in den Sorgfaltspflichtenansatz („Due-Diligence-Prozess“) des OECD-Leitfadens für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln (OECD 2018) ein, wie in Abbildung 1 dargestellt. Sie soll Unternehmen des Maschinenbaus mit Blick auf die vorgelagerten Wertschöpfungsketten Anhaltspunkte geben, um (potenzielle) negative Umweltauswirkungen zu identifizieren und zu bewerten und Maßnahmen zur Beseitigung, Vermeidung, Minderung oder Wiedergutmachung der Auswirkungen zu ergreifen (Schritte 2, 3 und 6 in Abbildung 1). Die in dieser Studie identifizierten Risiken bieten einen ersten Anhaltspunkt auf Branchenebene, können eine auf Unternehmensebene durchzuführende Risikoanalyse der eigenen spezifischen Zulieferkette jedoch nicht ersetzen.

Abbildung 1: Due-Diligence-Prozesse und Maßnahmen



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an OECD 2018, S. 22.

Der Sorgfaltspflichtenansatz widmet sich den „tatsächlichen negativen Effekten oder potenziellen negativen Effekten („Risiken“)" (OECD 2018, S. 15) auf die Umwelt und Menschenrechte, die aus Unternehmensaktivitäten entstehen (können).

Die Studie betrachtet die folgenden sieben **Umweltthemen**:

- ▶ Treibhausgase
- ▶ Wasser
- ▶ Fläche
- ▶ Abiotische und biotische Rohstoffe

- ▶ Luftschadstoffe
- ▶ Wassergefährdende Stoffe
- ▶ Abfälle

Für die sieben Umweltthemen werden auf den verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette des deutschen Maschinenbaus die Umweltauswirkungen ermittelt (Kapitel 2). Für ausgewählte Fokusrohstoffe und -prozesse (Kapitel 3) werden je Wertschöpfungsstufe typische Umweltauswirkungen und eingetretene Schadensfälle aufgeführt und das Risiko für negative Umweltauswirkungen anhand der im Sorgfaltspflichtenkonzept etablierten Kriterien „Schwere“ und „Eintrittswahrscheinlichkeit“ beschrieben. Leserinnen und Leser sollen so die auf Branchenebene zusammengestellten Informationen als Ausgangspunkt nutzen und mit ihren unternehmensspezifischen Daten abgleichen können.

Unter **Umweltauswirkung** wird in der Studie analog zu der Norm ISO 14001 bzw. dem Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) „jede positive oder negative Veränderung der Umwelt, die ganz oder teilweise auf Tätigkeiten, Produkte oder Dienstleistungen einer Organisation zurückzuführen ist“ (Art. 2 (8) der EMAS-Verordnung EG Nr. 1221/2009) verstanden. Im Fokus der Studie stehen dabei vor allem die Veränderungen der Umwelt, die auf Tätigkeiten einer Organisation entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette (Lieferkette) zurückzuführen sind. Wo besonders relevant, werden in Kapitel 3 zu ausgewählten Fokusrohstoffen und -prozessen auch nachgelagerte Abschnitte der Wertschöpfungskette mitbetrachtet.

Erläuterungen zum Risiko-Begriff

In Anlehnung an den OECD-Leitfaden für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln und die UN-Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte unterscheidet die Studie zwischen tatsächlichen und potenziellen negativen Auswirkungen auf Menschen und Umwelt. Tatsächliche Auswirkungen werden als solche verstanden, die bereits eingetreten sind oder aktuell eintreten und wiedergutmacht bzw. eingestellt werden sollten. Potenzielle Auswirkungen haben eine Wahrscheinlichkeit in der nahen oder fernerer Zukunft einzutreten. Sie stellen Risiken für Mensch und Umwelt dar. Potenziellen Auswirkungen kann durch Prävention und Milderung begegnet werden.

Oft besteht ein enger Zusammenhang zwischen tatsächlichen und potenziellen Auswirkungen, z. B. bei fortwährenden oder schleichenden Umweltauswirkungen. Fortwährende Umweltauswirkungen entstehen z. B., wenn umweltschädliche Aktivitäten in der Lieferkette nicht entdeckt oder nicht angemessen gesteuert werden. Werden fortwährend Schadstoffe freigesetzt, die sich in der Umwelt anreichern und erst nach Überschreitung eines bestimmten Schwellenwertes eine negative Wirkung entfalten, ist die Grenze zwischen tatsächlichen und potenziellen Auswirkungen ebenfalls fließend. Transparenz und ein umfassendes Verständnis über die bedeutenden tatsächlichen und potenziellen Umweltauswirkungen in der Lieferkette sind daher essenziell, um diese künftig mithilfe geeigneter Maßnahmen vermeiden und reduzieren zu können.

Typischerweise ergeben sich potenzielle Auswirkungen bzw. Risiken jedoch aufgrund zukünftiger vorher- oder unvorhersehbarer Ereignisse, etwa in Verbindung mit der Anwendung neuer Verfahren und Technologien, der Erschließung neuer Gebiete oder auch dem Unterlassen von bestehenden Umwelt- und Naturschutzmaßnahmen. Die Ermittlung der Risiken bedarf daher zwingend auch einer vorausschauenden Analyse.

Herausforderungen für die Ermittlung der Risiken für negative Umweltauswirkungen sind dabei oft:

- dass tatsächliche und potenzielle Auswirkungen unentdeckt bleiben;
- dass die Eintrittswahrscheinlichkeit der Auswirkung im konkreten Fall unbekannt oder nur schwer einzuschätzen ist;
- dass die Schwere der Auswirkung im konkreten Fall unbekannt oder nur schwer einzuschätzen ist.

Die vorliegende Studie kann Unternehmen als Ausgangspunkt für vertiefende individuelle Risikoanalysen dienen. Entsprechend enthält die Studie einen Überblick über die tatsächlichen Umweltauswirkungen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Maschinenbaus (Kapitel 2) und eine grobe Risikobewertung für typische negative Umweltauswirkungen in den Wertschöpfungsstufen ausgewählter Rohstoffe und Prozesse (Kapitel 3).

1.4.2 Kriterien zur Bewertung für negative Umweltauswirkungen

Die in dieser Studie vorgenommene Einschätzung der Schwere einer Umweltauswirkung ergibt sich grundsätzlich aus den Unterkriterien „Ausmaß“, „Umfang“ und „Irreversibilität“ und orientiert sich an Leitfragen entsprechend den Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte der Vereinten Nationen (DGCN 2020). Die vorliegende Studie greift bei der Beantwortung der Leitfragen auf bestehende Daten- und Literaturquellen zurück. Bestehende Risikobewertungen und Berichte über bereits aufgetretene negative Umweltauswirkungen werden für die Bewertung der Schwere (und Eintrittswahrscheinlichkeit; siehe unten) herangezogen. Sofern die Informationslage dies zulässt, erfolgt eine differenzierte Bewertung der Schwere anhand der drei o. g. Unterkriterien.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit kann je nach Unternehmenskontext von diversen internen und externen Faktoren (u. a. Produktionsland, Nachhaltigkeitsniveau von Lieferanten) abhängen. Um im Rahmen der Studie eine Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Umweltauswirkungen zu ermöglichen, greift die Studie neben Informationen über bereits aufgetretene negative Umweltauswirkungen als Annäherung auf länderbezogene Umwelt-Governance-Bewertungen zurück (siehe Infobox). Dahinter steht die Annahme, dass eine gute Umwelt-Governance eines Landes die Einhaltung von Umweltstandards durch dort ansässige (Vor-)Lieferanten positiv beeinflusst und umgekehrt. In der vorliegenden Studie werden Werte aus dem „Environmental Performance Index“ und den „Worldwide Governance Indicators“ für die gemessen am globalen Produktionsanteil bedeutendsten Länder der jeweils betrachteten Wertschöpfungsstufe genutzt.

Indikatoren zur Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Environmental Performance Index (EPI)

- Der EPI des Yale Center for Environmental Law & Policy der Yale University 2022 bewertet 180 Staaten hinsichtlich ihrer Umwelt-Performance im Hinblick auf die Erreichung der beiden umweltpolitischen Ziele „Ökologische Gesundheit“ und „Vitalität des Ökosystems“.
- Die Daten stammen von einer Vielzahl an Drittquellen wie internationalen Dachverbänden, Nichtregierungsorganisationen und akademischen Forschungszentren und wurden mit etablierten und geprüften Methoden erhoben.
- Der EPI-Score liegt zwischen 0 und 100, wobei höhere Wertungen einer besseren Umwelt-Performance entsprechen.

- Der EPI basiert auf 32 Leistungsindikatoren, die den folgenden elf Themenclustern (und im Anschluss jeweils den beiden gewichteten Umweltzielen) zugeordnet sind: Luftqualität, Sanitärversorgung & Trinkwasser, Schwermetalle, Abfallwirtschaft (Umweltgesundheit, Gewichtung im Gesamt-EPI: 60 %), Landwirtschaft, Schadstoffemissionen, Klimawandel, Wasserressourcen, Fischerei, Ökosystemleistungen, Biodiversität & Lebensraum (Vitalität des Ökosystems, Gewichtung: 40 %).
- Dänemark steht 2022 als Land mit der besten Umwelt-Performance mit einem Wert von 77,9 auf Platz 1. Den letzten Platz belegt im 2022er-Ranking Indien mit einer Gesamtbewertung von 18,9. Deutschland liegt mit einem Wert von 62,4 auf Platz 13.

Worldwide Governance Indicators (WGI)

- Die WGI der Weltbank bewerten für über 200 Länder die Governance-Situation im Land.
- Die Indikatoren decken die folgenden sechs Governance-Bereiche ab: Mitspracherecht und Verantwortlichkeit, politische Stabilität und Abwesenheit von Gewalt, Leistungsfähigkeit der Regierung, staatliche Ordnungspolitik, Rechtsstaatlichkeit und Korruptionskontrolle.
- Die Informationen stammen aus über 30 bestehenden Datenquellen, die die Ansichten und Erfahrungen von Bürgerinnen und Bürgern, Unternehmerinnen und Unternehmern sowie Expertinnen und Experten aus dem öffentlichen, privatwirtschaftlichen und zivilgesellschaftlichen Bereich wiedergeben.
- Die zusammengesetzten Maße der Regierungsführung reichen von etwa -2,5 bis 2,5, wobei höhere Werte einer besseren Regierungsführung entsprechen.
- Da es keinen übergeordneten Indikator gibt, wurde im Rahmen dieser Studie der Durchschnittswert der sechs Indikatoren berechnet und als Einzelindikator für die Länder angegeben⁵.
- Von den in dieser Studie betrachteten Staaten liegt Finnland mit einem berechneten Durchschnittswert von 1,74 auf Platz 1 der besten Regierungsführung. Die Demokratische Republik Kongo (DR Kongo) erhält mit -1,59 den schlechtesten Wert aller hier betrachteten Länder. Deutschland erhält die Wertung 1,46.

Die Indices-Werte werden in den jeweiligen Analysen des Kapitels 3 farblich unterlegt, um eine bessere Lesbarkeit zu erzielen. Die farbliche Unterlegung zeigt an, wie die Werte für die jeweiligen Länder im Verhältnis zu anderen Ländern weltweit stehen. Die Einteilung erfolgt in vier gleich große Gruppen (Quartile), denen jeweils eine Farbe zugeordnet ist.

Tabelle 2 enthält eine Übersicht der zur Bewertung der Kriterien „Schwere“ und „Eintrittswahrscheinlichkeit“ betrachteten Leitfragen und Quellen.

Tabelle 1: Farbliche Unterlegung der Umwelt-Governance-Indices



Quelle: Eigene Darstellung.

Die Informationen aus den Indices können Unternehmen als Anhaltspunkte dafür dienen, ob bestimmte Länder, in die sich die eigenen Wertschöpfungsketten verzweigen, im Rahmen der

⁵ Die Bildung eines Mittelwertes aus den sechs verschiedenen WGI-Werten pro Land soll eine schnelle Vergleichbarkeit der Länderbewertungen ermöglichen und kann nur als erste und grobe Beurteilung eines allgemeinen Trends verstanden werden. Durch die statistische Gleichgewichtung der verschiedenen Indices werden jedoch die Schwächen und Stärken einzelner Länder in den verschiedenen Governance-Bereichen verdeckt. Die Weltbank aggregiert die sechs WGI nicht, empfiehlt sogar zusätzlich eine Betrachtung der disaggregierten Einzelindikatoren, aus denen sich die sechs WGI Werte jeweils zusammensetzen. Weitere Informationen zum Umgang mit den WGI-Daten sind hier einzusehen: <https://info.worldbank.org/governance/wgi/Home/FAQ>

Risikoanalyse vertieft analysiert werden sollten. Bei der unternehmensspezifischen Risikoanalyse sind notwendigerweise zusätzliche Faktoren einzubeziehen, insbesondere die tatsächliche Situation bei den (Vor-)Lieferanten vor Ort, um die Eintrittswahrscheinlichkeit zu bestimmen.

Tabelle 2 enthält eine Übersicht der zur Bewertung der Kriterien „Schwere“ und „Eintrittswahrscheinlichkeit“ betrachteten Leitfragen und Quellen.

Tabelle 2: Leitfragen und Quellen zur Einschätzung von Schwere und Eintrittswahrscheinlichkeit einer negativen Umweltauswirkung

	LEITFRAGEN	QUELLEN(-TYPEN)
Schwere	<p>Ausmaß: Wie gravierend ist die negative Umweltauswirkung?</p> <p>Umfang: In welchem Umfang kommt es zu Schädigungen der Umwelt? Wie ist die lokale, regionale oder globale Umwelt betroffen?</p> <p>Irreversibilität: Inwieweit besteht die Möglichkeit, die Umwelt wieder in einen Zustand zu versetzen, der mindestens dem Zustand vor der negativen Auswirkung entspricht?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ ENCORE-Datenbank: „Materiality-Rating“ ▶ Qualitative Auswertung bestehender Daten- und Literaturquellen, insb. Datenbanken, wissenschaftliche Forschungsarbeiten und Studien o. Ä. von zivilgesellschaftlichen Akteuren, Verbänden oder anderen Institutionen
Eintrittswahrscheinlichkeit	<p>Wie wahrscheinlich ist es, dass die negative Umweltauswirkung eintritt?</p>	<p>(Umwelt-)Governance-Indikatoren zu zentralen Abbau-/Produktionsländern:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Environmental Performance Index (EPI) ▶ World Governance Indicators (WGI) (<i>Mittelwert der sechs Indices</i>) ▶ ENCORE-Datenbank: „Materiality-Rating“⁶

Quelle: Eigene Darstellung. Leitfragen orientieren sich an den Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte der Vereinten Nationen (DGCN 2020).

⁶ Die Einschätzung der „Wesentlichkeit“ (also der „Materiality“) einer negativen Auswirkung im ENCORE-Tool stützt sich u. a. auf Einschätzungen zur Eintrittswahrscheinlichkeit und erwarteten Häufigkeit einer negativen Auswirkung. Die umfassende Erläuterung zur Methodik des „Materiality-Ratings“ (ENCORE o. J.) ist hier einzusehen: <https://encore.naturalcapital.finance/en/data-and-methodology/materiality>

1.4.3 Methodisches Vorgehen

Methodisch beruht die Studie auf einem Mix aus ökologisch erweiterten Input-Output-Modellen, Ökobilanzdaten, einschlägigen Studien, Online-Tools, Nachhaltigkeitsberichten und Interviews mit Expertinnen und Experten. Grundsätzlich werden bestehende Daten(-quellen) verwendet und keine Primärdaten erhoben.

Mithilfe von erweiterten, multiregionalen Input-Output-Modellierungen (MRIO-Modellierungen) liefert die Studie einen Überblick darüber, welche Umweltauswirkungen in der vorgelagerten globalen Wertschöpfungskette der Unternehmen des deutschen Maschinenbaus auftreten bzw. auftreten können. Bei der MRIO-Analyse werden zunächst Verflechtungen von vorgelagerten Wertschöpfungsketten auf Grundlage volkswirtschaftlicher Daten modelliert. Somit wird aufgezeigt, in welchem Umfang der deutsche Maschinenbau Vorleistungen aus welchen Ländern und von welchen Vorleistungssektoren bezieht. Die Modellierung erfolgt hierbei auf tieferen Lieferkettenstufen bis hin zur Gewinnung von Rohstoffen, Energieträgern und land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen und legt somit die Struktur der globalen vorgelagerten Wertschöpfungsketten offen. Die volkswirtschaftlichen Daten sind ergänzt um ökologische Daten der jeweiligen Sektoren im betreffenden Land. So können beispielsweise die Treibhausgasemissionen oder der Wasserverbrauch entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette der Maschinenbaubranche quantifiziert werden. Grundlage für die erweiterte Input-Output-Analyse bildet EXIOBASE 3.7. Der Ansatz hat jedoch auch Grenzen. Die Daten für Nicht-OECD-Länder sind nur gering aufgelöst. Beispielsweise können die afrikanischen Länder derzeit bis auf Südafrika nur aggregiert angegeben werden. Zudem können einzelne Produktgruppen oder Rohstoffe nicht separat ausgewiesen werden. Darüber hinaus bestehen bei EXIOBASE Datenlücken bei der Rohstoffgewinnung, sodass die ökologischen Auswirkungen zum Rohstoffabbau im Vergleich zu industriellen Prozessen weniger detailliert abgebildet sind.

Die Angaben der MRIO-Analyse bilden die Verteilung für den deutschen Maschinenbau und die damit verbundenen Vorleistungen im statistischen Mittel ab. Das bedeutet, dass die Vorleistungen für einen Produktionsstandort unabhängig von der Unternehmenszugehörigkeit dargestellt sind. Bezieht beispielsweise ein Fertigungsstandort Komponenten eines anderen Werkes, z. B. Motoren, ist dies im MRIO-Modell als Vorleistung – mit den damit verbundenen negativen Umweltauswirkungen wie Treibhausgasemissionen – ausgewiesen.

Die Analysen auf Basis der erweiterten MRIO-Analysen werden qualitativ ergänzt durch eine Auswertung der Tools ENCORE zur Bewertung der ökologischen Relevanz von Sektoren („Materiality-Rating“), des WWF Water Risk Tools zur Analyse von regionalen Knappheitsrisiken bei Wasser sowie des MVO Nederland CSR Risk Checks zur Identifizierung von ökologischen Risiken einzelner Sektoren. ENCORE bewertet die ökologische Relevanz („Materiality“) von einzelnen Sektoren und damit verbundenen Prozessen.⁷ Ähnlich geht auch der MVO Nederland CSR Risk Check vor, in dem die Risiken von Rohstoffen bzw. Produkten und deren vorgelagerter Wertschöpfungskette dargestellt werden. Der WWF Water Risk Filter wiederum bietet eine regionalisierte Analyse in Bezug auf Knappheitsrisiken von Wasser.

Für ausgewählte Rohstoffe und Prozesse, denen im Maschinenbau eine wichtige Bedeutung zukommt und die mit hohen Risiken für (potenzielle) negative Umweltauswirkungen einhergehen, werden Risiken für negative Umweltauswirkungen entlang vorgelagerter Wertschöpfungsstufen basierend auf bestehenden Datenquellen und Studien genauer identifiziert und teils durch Vorfälle illustriert. Dadurch sollen auch mögliche Lücken in der

⁷ Zur Bewertung der Materialität vgl. hier (ENCORE o. J.): <https://encore.naturalcapital.finance/en/data-and-methodology/materiality>.

Aussagekraft der MRIO-Analyse geschlossen werden, insbesondere im Hinblick auf die ökologischen Auswirkungen im Rohstoffabbau. Zu den fokussiert betrachteten Rohstoffen und Prozessen gehört die Gewinnung und Verarbeitung der Rohstoffe Eisen/Stahl, Bauxit/Aluminium, Kupfer, das Verfahren der Galvanisierung sowie das Legierungsmetall Vanadium.

1.4.4 Aufbau der Studie

In Kapitel 2 wird zunächst die Struktur der vorgelagerten Lieferkette des deutschen Maschinenbaus anhand der Modellierung durch MRIO-Tabellen dargestellt. Die Modellierung bildet die Grundlage für die anschließende Analyse der einzelnen Umweltthemen in der Lieferkette.

Im Kapitel 2.3 sind die Umweltthemen anhand der Nachbildung der Lieferkettenstrukturen dargelegt: Welche negativen Umweltauswirkungen sind auf welchen vorgelagerten Wertschöpfungsstufen des deutschen Maschinenbaus besonders stark ausgeprägt? In welchen Ländern? In welchen Vorleistungssektoren?

Unternehmen können so branchenbezogene Informationen mit ihren unternehmensspezifischen Daten abgleichen und eine Einschätzung dazu vornehmen, welche Risiken für negative Umweltauswirkungen vorliegen und ob das Unternehmen durch seine Geschäftstätigkeit die Auswirkungen verursacht bzw. verursachen könnte, dazu beiträgt oder mit den Auswirkungen in Verbindung steht bzw. stehen könnte. Daraus ergeben sich auch Ansatzpunkte, (potenzielle) negative Umweltauswirkungen zu reduzieren oder zu vermeiden, beispielsweise durch proaktives Engagement mit Wertschöpfungspartnern (siehe Kapitel 4).

Im Kapitel 3 werden die o. g. Umweltthemen entlang der Wertschöpfungskette für ausgewählte Rohstoffe und Prozesse des Maschinenbaus (Gewinnung und Verarbeitung der Rohstoffe Eisen/Stahl, Bauxit/Aluminium, Kupfer, das Verfahren der Galvanisierung, das Legierungsmetall Vanadium) vertieft analysiert. Die Vorgehensweise beruht auf der Auswertung bestehender Daten- und Literaturquellen, insbesondere Datenbanken, wissenschaftliche Forschungsarbeiten und Studien o. Ä. von zivilgesellschaftlichen Akteuren, Verbänden oder anderen Institutionen. Das Kapitel soll über die exemplarische Angabe konkreter Fälle bereits aufgetretener negativer Umweltauswirkungen, das Zusammentragen der Bewertung in unterschiedlichen Tools zu potenziellen Umweltauswirkungen sowie Angaben zur Regionalität bestimmter Prozesse eine bessere Einschätzung zu Schwere und Eintrittswahrscheinlichkeit verschiedener Umweltauswirkungen ermöglichen. Zudem werden Zusammenhänge von Umwelt- und menschenrechtlichen Auswirkungen näher beschrieben. Damit soll auch ein Beitrag zur Verzahnung umweltbezogener und menschenrechtlicher Sorgfaltspflichten geleistet werden.

In Kapitel 4 werden auf den vorherigen Kapiteln aufbauend geeignete Schritte zur Identifizierung und Bewertung sowie mögliche Handlungsansätze zur Beseitigung, Vermeidung und Minderung von Risiken für negative Auswirkungen aufgeführt. Entsprechende weiterführende Quellen und Hilfestellungen werden aufgezeigt. In zehn Steckbriefen werden ausgewählte übergreifende Handlungsansätze zur Vermeidung und Minderung der identifizierten (potenziellen) negativen Umweltauswirkungen dargestellt. Die Steckbriefe bieten eine Hilfestellung für die unternehmerische Praxis.

2 Analyse der Fokussektoren

2.1 Überblick zum Fokussektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebsselementen

Die Studie betrachtet zwei Fokussektoren des Maschinenbaus: Nachfolgend wird zunächst die „Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebsselementen“ (WZ08-28.15 gemäß der Klassifikation der Wirtschaftszweige) als Fokussektor 1 dargestellt. Mit einem Umsatz von 19,56 Mrd. EUR im Jahr 2019 sowie ca. 96.000 Beschäftigten ist dies einer der wichtigsten Untersektoren des deutschen Maschinenbaus (DESTATIS 2021). Er umfasst u. a. die Herstellung von mechanischen Kraftübertragungselementen und Teilen davon, die in Maschinen verbaut werden. Nicht dazu zählen Getriebe, Zahnräder etc. für Straßenfahrzeuge, ebenso wenig Elektromotoren.

Für die weitere Betrachtung der vorgelagerten globalen Wertschöpfungskette des deutschen Sektors der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebsselementen dient die erweiterte MRIO-Modellierung dieses Sektors. Hierbei werden statistische Mittelwerte der Produktionsstätten – inklusive ihrer vorgelagerten Lieferketten – des Sektors herangezogen. Aufgrund der engen Verzahnung der Produktionsstufen werden dabei die vorgelagerten Produktionsstandorte als Vorleistungen angesehen. Wird beispielsweise Material aus einem Stahlwerk in der finalen Herstellung eines Getriebes in einem Produktionswerk verwendet, stellt das Stahlwerk statistisch einen direkten Lieferanten dar (auch innerhalb eines Unternehmens).

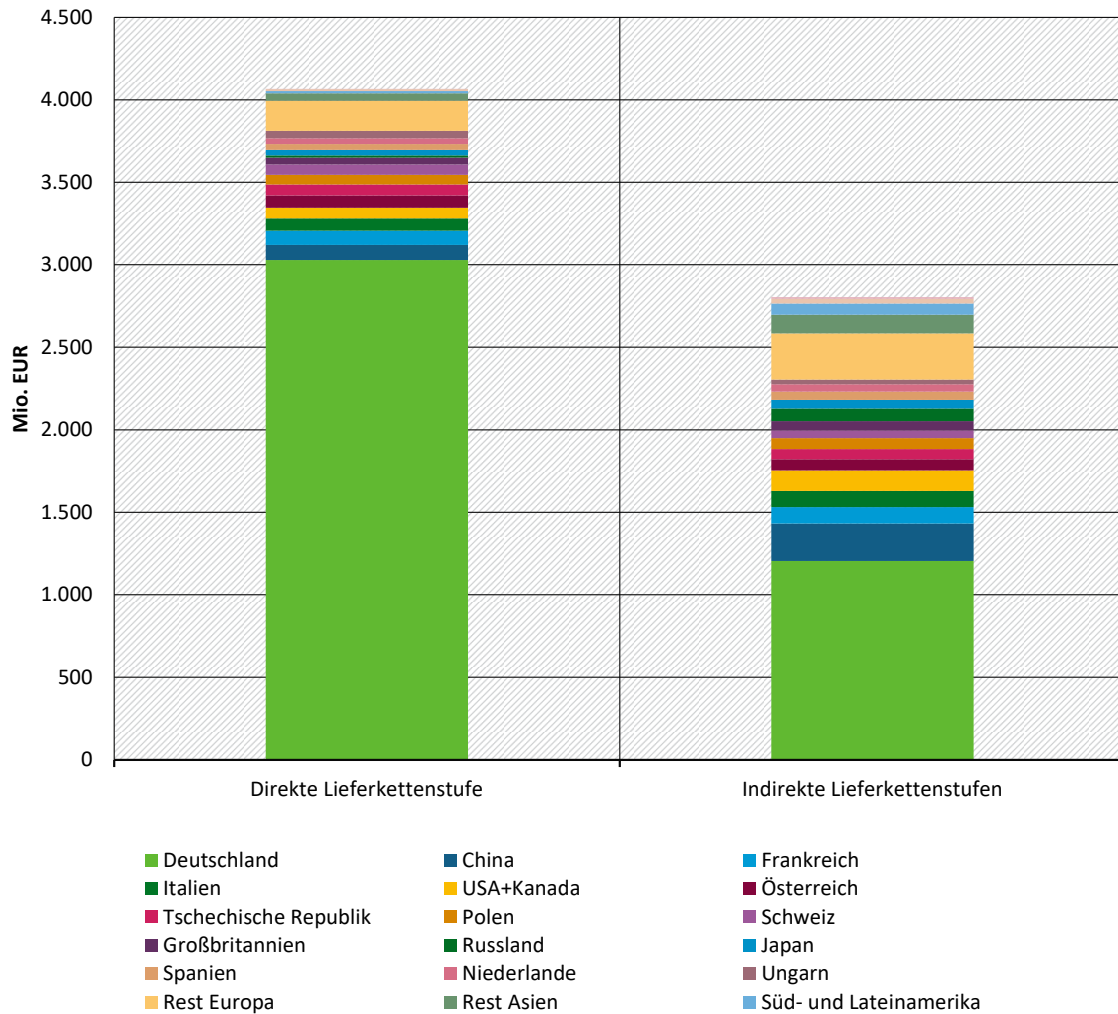
Die Wertschöpfung in der vorgelagerten Lieferkette der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebsselementen betrug im Jahr 2019 etwa 6,87 Mrd. EUR. Der größte Teil der Wertschöpfung erfolgt auf der Stufe der direkten Lieferanten, wie die Modellierung zeigt (60 % der Wertschöpfung; siehe Abbildung 2). Die Wertschöpfung auf den tieferen Stufen bis hin zur Rohstoffgewinnung beträgt insgesamt 40 %.

Wertschöpfungsanteile Fokussektor 1

Mit steigender Lieferkettenstufe nimmt die Wertschöpfung stetig ab. Einige der negativen Umweltauswirkungen sind auf den tieferen Lieferkettenstufen (tier 2 und höher) zu verorten, z. B. Treibhausgasemissionen oder Wasserverbrauch. Das Verhältnis von Wertschöpfung und negativer Umweltauswirkung für den Fokussektor 1 ist in den meisten Bereichen reziprok (Ausnahme: wassergetragene Schadstoffe). (Potenzielle) Negative Auswirkungen auf die Umwelt ergeben sich oftmals auf den Lieferkettenstufen mit meist geringer Wertschöpfung (vgl. auch Dorninger et al. 2021).

Wie Abbildung 2 zeigt, wird der Großteil der Wertschöpfung in Deutschland erbracht. Dies erstreckt sich sowohl über die direkte Lieferkettenstufe als auch die indirekten bzw. tieferen Lieferkettenstufen und macht insgesamt 62 % der Wertschöpfung in der Lieferkette aus. In Europa erfolgt knapp ein Viertel der Wertschöpfung der gesamten Lieferkette, insbesondere in Frankreich (2,7 %) und Italien (2,5 %). In China werden etwa 4,5 % der Wertschöpfung in der vorgelagerten Wertschöpfungskette erbracht, größtenteils auf den tieferen Lieferkettenstufen.

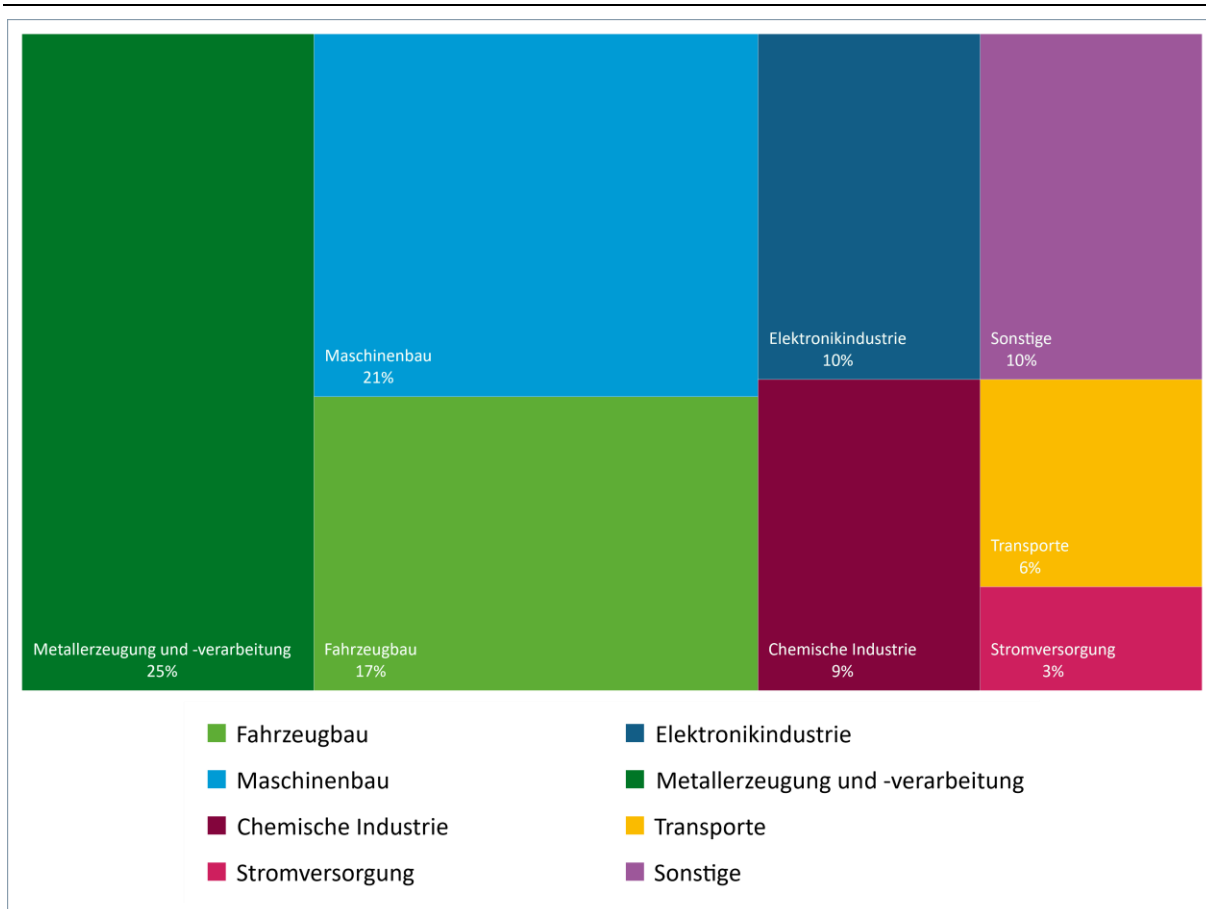
Abbildung 2: Wertschöpfungsanteile direkter Lieferanten und tieferer Lieferkettenstufen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen nach Ländern (in Mio. EUR)



Quelle: Eigene Darstellung, Sustain.

Ein Viertel der Wertschöpfung wird in der metallherstellenden und -verarbeitenden Industrie erbracht (Abbildung 3). Jeweils 21 % und 17 % der Vorleistungen werden wertmäßig im Maschinenbau und im Fahrzeugbau erbracht. Hier dürfte es sich auch um Überschneidungen beider Sektoren handeln, da Getriebe und Antriebselemente und deren Vorkomponenten in beiden Sektoren Anwendung finden bzw. Hersteller durchaus für Abnehmer sowohl im Maschinen- als auch im Fahrzeugbau produzieren. Weitere relevante Vorleistungssektoren bezogen auf die Wertschöpfung sind der Elektroniksektor und die chemische Industrie.

Abbildung 3: Sektorale Verteilung der Wertschöpfung entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.2 Überblick zum Fokussektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen

Der hier betrachtete Fokussektor 2 setzt sich aus den beiden folgenden Untersektoren des Maschinenbaus zusammen:

- ▶ Herstellung von Werkzeugmaschinen für die Metallbearbeitung (WZ08-28.41)
- ▶ Herstellung von sonstigen Werkzeugmaschinen (WZ08-28.49)

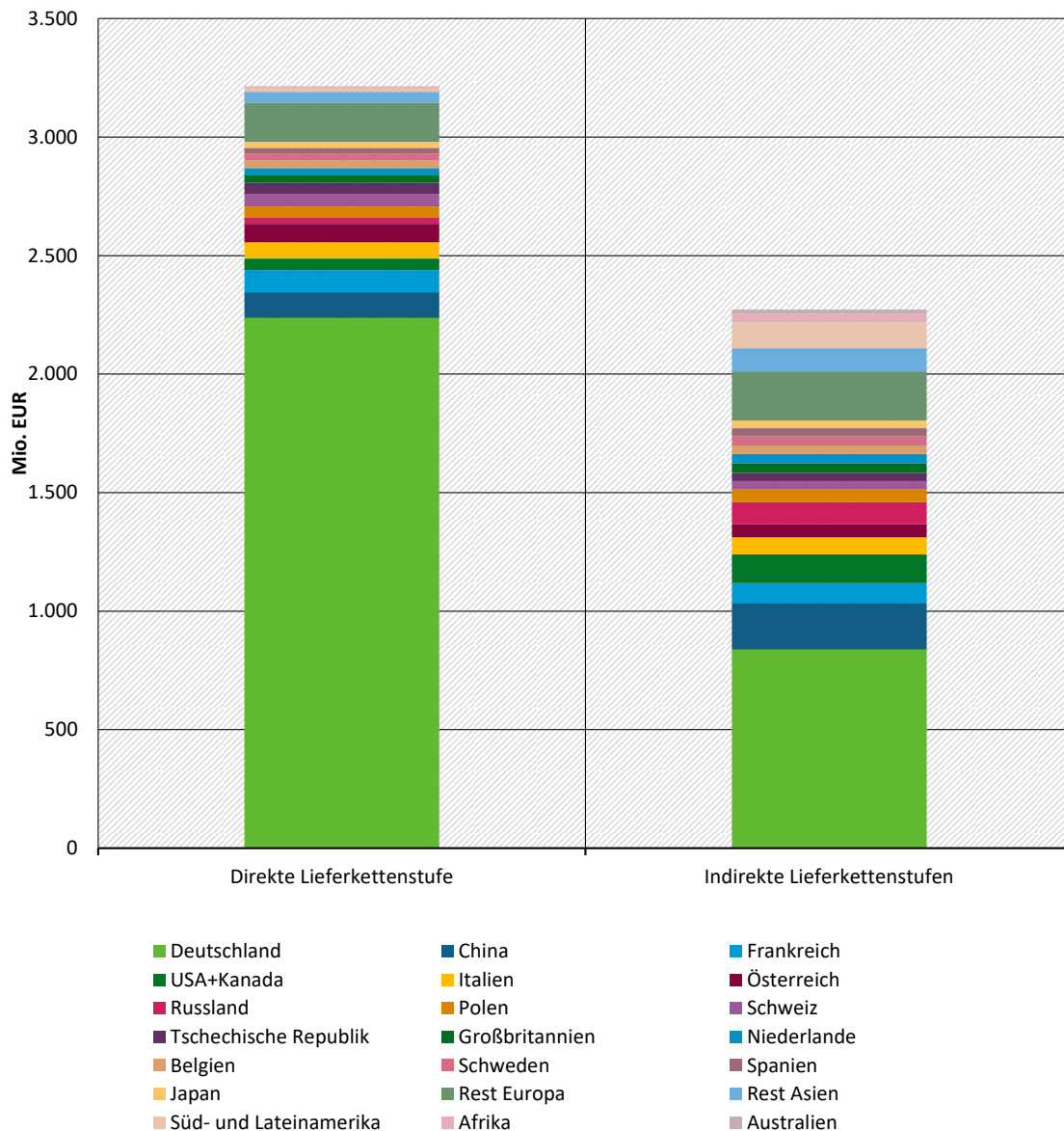
Der Umsatz beider Sektoren betrug im Jahr 2019 zusammen 23,6 Mrd. EUR mit ca. 100.000 Beschäftigten (DESTATIS 2021). Die Herstellung von Werkzeugmaschinen umfasst Fertigungsmaschinen zum Bohren, Fräsen, Drehen, Biegen und Pressen, d. h. für Verfahren der Umformung, des Trennens und des Zusammenfügens. Nicht darunter fallen handgeführte Werkzeuge wie Handbohrmaschinen, -schleifapparate oder tragbare Kettensägen. Werkzeugmaschinen bestehen aus verschiedenen Bauteilen. Dazu zählen insbesondere Antriebselemente, Führungen, Steuerelemente, Werkstückwechsler, Ver- und Entsorgungseinrichtungen, Gehäuse, das Maschinengestell und das Fundament zur festen Verankerung der Maschine.

Wertschöpfungsanteile Fokussektor 2

Die MRIO-Modellierung der globalen Wertschöpfungskette zeigt, dass etwa 58 % der Vorleistungen auf der Stufe der direkten Lieferanten erbracht werden (siehe Abbildung 4). Wie

im Fokussektor 1 (Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen) nimmt die Wertschöpfung auch beim Werkzeugmaschinenbau auf den tieferen Lieferkettenstufen ab. Ein Großteil der Wertschöpfung wird in Deutschland erbracht. Jedoch ist der Anteil Deutschlands an der Wertschöpfung mit 55 % deutlich geringer als beim Fokussektor 1. Etwa 28 % der Wertschöpfung wird in Europa (ohne Deutschland) erbracht, in China als wichtiges Glied der Wertschöpfungskette etwa 5,5 %. Wie auch bei der Analyse von Fokussektor 1 zeigt sich, dass die Wertschöpfung beim Werkzeugmaschinenbau reziprok zu den (potenziellen) negativen Umweltwirkungen verteilt ist. Ausnahmen bilden – gemäß der Analyse – die wassergetragenen Schadstoffe und zum Teil die Luftschadstoffe.

Abbildung 4: Wertschöpfungsanteile direkter Lieferanten und tieferer Lieferkettenstufen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen (in Mio. EUR)

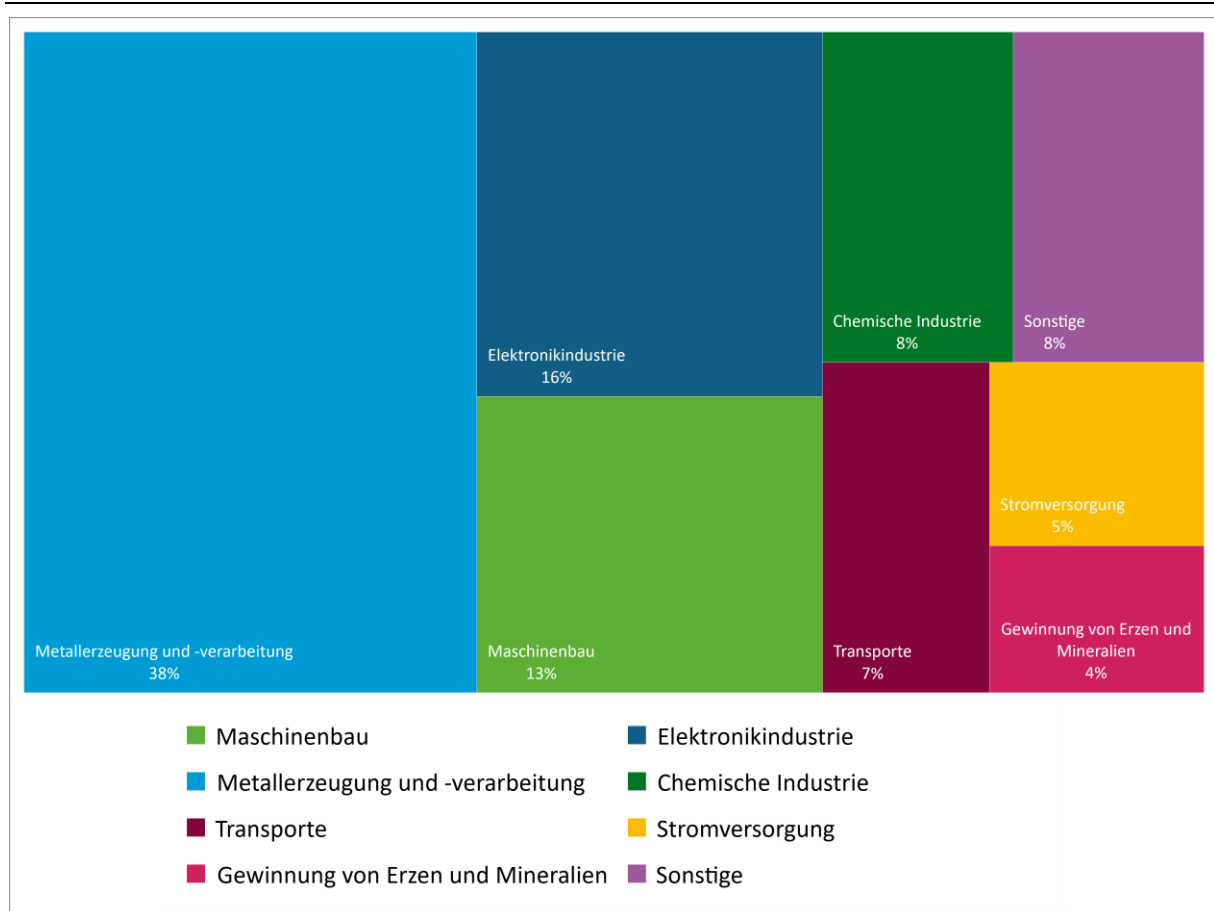


Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Die Analyse der sektoralen Verteilung zeigt, dass 38 % der Wertschöpfung in der metallergehenden und -verarbeitenden Industrie erbracht wird (Abbildung 5). Der Wertschöpfungsanteil dieses Vorleistungssektors ist deutlich höher im Vergleich zum

Fokussektor 1. Gründe hierfür dürften vor allem in der insgesamt hohen Menge an verbautem Metall sowie im Einsatz hochwertiger, beschichteter Metalle liegen. Die Elektronikindustrie besitzt mit 16 % den zweithöchsten Wertschöpfungsanteil in der Lieferkette. Der im Vergleich zum Fokussektor 1 höhere Anteil geht auf die verbauten elektronischen Komponenten für Messung, Steuerung, elektrische Antriebe u. Ä. zurück. Im Vergleich zur Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebs-elementen ist der Anteil des Maschinebaus selbst als Vorleistungssektor hingegen geringer. Der Fahrzeugbau als Vorleistungssektor ist so gering, dass er unter den Anteil der sonstigen Sektoren fällt. Wie auch beim Fokussektor 1 sind die chemische Industrie, der Transportsektor sowie die Stromerzeugung relevante Vorleistungssektoren bezogen auf die Wertschöpfung, wie Abbildung 5 zeigt.

Abbildung 5: Sektorale Verteilung der Wertschöpfung entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3 Umweltthemen entlang der Lieferkette der beiden Fokussektoren

2.3.1 Übersicht relevanter Umweltthemen und Vorleistungssektoren in der Lieferkette

Das folgende Kapitel soll Unternehmen dabei helfen, tatsächliche und potenzielle negative Umweltwirkungen in der eigenen vorgelagerten Wertschöpfungskette zu identifizieren. Dies ist ein zentraler Schritt bei der Umsetzung eines Sorgfaltspflichten- bzw. Due-Diligence-Prozesses in der Lieferkette. Im Folgenden werden die Umweltthemen Treibhausgase, Wasser, Fläche, abiotische und biotische Rohstoffe, Luftschadstoffe, wassergefährdende Stoffe und Abfall betrachtet. Ausgangspunkte bilden Modellierungen der Lieferketten des jeweiligen

Fokussektors. Die Angaben zu den jeweiligen Umweltthemen sollen ein besseres Verständnis schaffen, an welchen Stellen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette eines Unternehmens, das in dieser Branche tätig ist, bereits negative Umweltauswirkungen auftreten. Die Modellierungen ersetzen nicht die eigene Risikoanalyse, können aber Hinweise für mögliche Schwerpunktsetzungen geben (siehe auch Hinweise zum unternehmensspezifischen Vorgehen in Kapitel 4). Vorleistungssektoren oder Länder in der eigenen Wertschöpfungskette, die große Auswirkungen auf ein bestimmtes Umweltthema haben, sollten besonderes Augenmerk bei der eigenen Analyse erfahren.

Tabelle 3 stellt die Datenquellen für die folgenden Kapitel dar. Neben den MRIO-Tabellen sind dies Datenbanken, die öffentlich zugänglich und nutzbar sind. Unternehmen können mit diesen Datenbanken auch arbeiten, um die spezifische Wertschöpfungskette des eigenen Unternehmens zu untersuchen und weitere Informationen über tatsächliche und potenzielle negative Umweltauswirkungen zu sammeln.

Tabelle 3: Überblick über untersuchte Umweltthemen

Umweltthema	Messgröße/Definition	Quellen
Treibhausgase	CO ₂ -Äquivalente	MRIO, ENCORE, CSR Risk Check
Luftschadstoffe	Versauerungspotenzial mit der Angabe in SO ₂ -Äquivalenten sowie die Angabe von gesundheitsschädlichen Feinstaubemissionen durch den Indikator der PM _{2,5} -Äquivalente	MRIO, ENCORE, CSR Risk Check
Abiotische und biotische Rohstoffe	Biotische und abiotische Rohstoffe auf Basis des Indikators „Domestic Extraction Used (DEU)“, d. h. sämtliche aus der Umwelt gewonnene Rohstoffe für die weitere Verarbeitung (Materialinanspruchnahme)	MRIO, ENCORE, CSR Risk Check
Fläche	Beanspruchte Fläche für Gebäude, Infrastruktur, den Abbau von Rohstoffen sowie für die Belegung von Agrar- und Forstflächen	MRIO, ENCORE, CSR Risk Check
Wasser	Wasserverbrauch von sog. Blauem Wasser, d. h. Wasserentnahme aus Wasserreservoirs, regionalisierte Analyse von Wasserverbrauch in Regionen mit Knappheitsrisiken	MRIO, ENCORE, CSR Risk Check, ÖkoRes II
Wassergefährdende Stoffe	Einträge von sechs ausgewählten Schwermetallen, Analyse der regionalisierten Gewässerbelastung auf Basis des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BOD)	MRIO, ENCORE, CSR Risk Check
Abfall	Qualitative Beschreibung aufgrund fehlender Datengrundlage in den multiregionalen Input-Output-Modellen	ENCORE, CSR Risk Check

Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 4 zeigt die umweltrelevanten Sektoren in der Lieferkette und die entsprechenden Umweltthemen der beiden Fokussektoren. Der Vorleistungssektor der Metallerzeugung und -verarbeitung ist hierbei besonders bedeutsam. Des Weiteren zeigt sich, dass die vorgelagerte Wertschöpfungskette beider Fokussektoren durch einen hohen Energiebedarf geprägt ist, der sowohl bei der Stromerzeugung als auch bei der Gewinnung der Energieträger zu Treibhausgasemissionen, Luftschadstoffen sowie zu hohem Rohstoffe- und Wasserverbrauch führt.

Tabelle 4: Umweltrelevante Sektoren in der Lieferkette der untersuchten Fokussektoren

Vorleistungssektor	Relevanz Lieferkettenstufen	Umweltthemen	Anmerkungen
Metallerzeugende und -verarbeitende Industrie	Direkte Lieferanten und Vorlieferanten	Treibhausgase, Luftschadstoffe, Wasser, Wassergefährdende Stoffe	Hoher Energiebedarf; negative Umweltauswirkungen insbesondere bei Nutzung fossiler Energieträger; besondere Relevanz in Ländern wie China, welche einen hohen Kohlestromanteil und regionale Wasserknappheiten aufweisen
Stromerzeugung	Direkte Lieferanten und Vorlieferanten	Treibhausgase, Luftschadstoffe, Wasser	Negative Umweltauswirkungen insbesondere bei Nutzung fossiler Energieträger; besondere Relevanz in Ländern wie China, welche einen hohen Kohlestromanteil und regionale Wasserknappheiten aufweisen
Gewinnung von Energieträgern	Vorlieferanten	Treibhausgase, Luftschadstoffe, Fläche, Rohstoffe	Besondere Relevanz in China, Russland und Indien
Chemische Industrie	Direkte Lieferanten und Vorlieferanten	Treibhausgase, Luftschadstoffe, Wasser, Wassergefährdende Stoffe	-/-
Maschinenbau	Direkte Lieferanten	Treibhausgase, Wassergefährdende Stoffe	Abhängig von den Prozessen; hohe Energieintensität des Sektors
Gewinnung von Mineralien	Vorlieferanten	Wasser, Fläche, Ressourcen, Wassergefährdende Stoffe	Abhängig von den jeweiligen Mineralien und den damit verbundenen Gewinnungsprozessen; regionale Unterschiede ⁸

Quelle: Eigene Darstellung.

2.3.2 Zusammenhänge zwischen Risiken für negative Auswirkungen auf die Umwelt und Menschenrechte

Die Umweltauswirkungen in den Lieferketten des deutschen Maschinenbaus können auch mit menschenrechtlichen Risiken in Verbindung stehen. Die möglichen Zusammenhänge sind vielschichtig und oftmals wechselseitig. In vielen Fällen ist der Umweltzustand ausschlaggebend dafür, dass Menschenrechte wie das Recht auf Zugang zu sauberem Trinkwasser oder auf

⁸ Siehe Kapitel 3.3.

Gesundheit geachtet werden können. Negative Umweltauswirkungen können außerdem zu Migration bzw. Flucht führen, was wiederum als negative menschenrechtliche Auswirkung auf die Betroffenen verstanden werden kann. Ferner sind langfristige Auswirkungen von Umweltschäden auf den Menschenrechtszustand zukünftiger Generationen zu beachten (vgl. Jalalova 2016) sowie „schleichende“ Umweltauswirkungen, die erst über einen längeren Zeitraum zur Gefahr für Menschen und Umwelt werden, etwa die Anreicherung von Schadstoffen in Ökosystemen oder der Atmosphäre. Auch bei der Planung bzw. Umsetzung von Maßnahmen zum Schutz der Umwelt und zur Achtung der Menschenrechte können unerwünschte Nebeneffekte eintreten (vgl. Buderath et al. 2021), wenn beispielsweise Kleinbäuerinnen und Kleinbauern durch Naturschutzmaßnahmen den Zugang zu ihrem Land verlieren und ihnen keine ökonomische Alternative geboten wird. Tabelle 5 gibt exemplarisch einen Überblick zu solchen Zusammenhängen.⁹ Die Auflistung erhebt keineswegs Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll mithilfe von Beispielen die vielschichtigen Zusammenhänge zwischen Umweltauswirkungen und Menschenrechten skizzieren. Insgesamt sollten mögliche Zusammenhänge immer einzelfallspezifisch betrachtet werden (vgl. Scherf et al. 2020, S. 17). Zu folgenden Menschenrechten werden in der Tabelle exemplarisch Zusammenhänge mit Umweltthemen aufgezeigt:

- ▶ Recht auf Leben (Art. 3 AEMR; Art. 6 UNO-Pakt II)
- ▶ Recht auf Gesundheit (Art. 25 AEMR; Art. 12 UNO-Pakt I)
- ▶ Recht auf Nahrung (Art. 25 AEMR; Art. 11 UNO-Pakt I)
- ▶ Recht auf Wasser (Art. 11 UNO-Pakt I)¹⁰
- ▶ Recht auf einen angemessenen Lebensstandard (Art. 25 AEMR; Art. 11 UNO-Pakt I)
- ▶ Recht auf Wohnung und Schutz vor Vertreibung (Art. 25 AEMR; Art. 11 UNO-Pakt I)
- ▶ Gesundheit und Sicherheit der Arbeiterinnen und Arbeitern (ILO-Konvention Nr. 155 sowie 18711)
- ▶ Rechte indigener Völker (UNDRIP¹²)

⁹ Informationen zu menschenrechtlichen Risiken entstammen hauptsächlich dem Forschungsbericht „Die Achtung von Menschenrechten entlang globaler Wertschöpfungsketten – Risiken und Chancen für Branchen der deutschen Wirtschaft“ (Weiss et al. 2020) und der Studie „Umweltbezogene und menschenrechtliche Sorgfaltspflichten als Ansatz zur Stärkung einer nachhaltigen Unternehmensführung“ (Scherf et al. 2019).

¹⁰ Das Recht auf Wasser ist weder im UNO-Pakt I noch in der Allgemeinen Erklärung der Menschenrechte explizit verankert. In ihrem General Comment Nr. 15 aus dem Jahr 2002 hat der UN-Ausschuss für WSK-Rechte argumentiert, dass das Recht auf Wasser durch das Recht auf einen angemessenen Lebensstandard (Art. 11 UNO-Pakt I) abgedeckt sei. In der Resolution 64/292 vom 28. Juli 2010 wurde das Recht auf Zugang zu sauberem Wasser von der UNO-Vollversammlung als Menschenrecht anerkannt. Resolutionen der Vollversammlung sind jedoch nicht rechtlich bindend.

¹¹ Keines der genannten Instrumente wurde von allen UNO-Mitgliedsstaaten ratifiziert. Indirekt sind Gesundheits- und Arbeitsschutzrechte jedoch auch in vielen weiteren ILO-Instrumenten verankert. Darüber hinaus ist Arbeitshygiene beispielsweise auch explizit in Art. 12 des UNO-Pakts I erwähnt.

¹² Die Erklärung der Vereinten Nationen über die Rechte der indigenen Völker gilt als internationaler Referenzrahmen, ist aber nicht rechtlich verbindlich.

Tabelle 5: Zusammenhänge zwischen Umweltauswirkungen, menschenrechtlichen Auswirkungen und Menschenrechten (Beispiele)

Umweltthema	Umweltauswirkung	Menschenrechtliche Auswirkung	Menschenrecht
Luftschadstoffe (und Staubbelastung)	Belastung von Ökosystemen (u. a. Schädigungen an Flora und Fauna) Quecksilberbelastung	Gesundheitsgefährdungen Verlust von Zugang zu Jagdwild durch Artensterben	Recht auf Leben (Art. 3 AEMR; Art. 6 UNO-Pakt II) Recht auf Gesundheit (Art. 25 AEMR; Art. 12 UNO-Pakt I) Gesundheit und Sicherheit der Arbeiterinnen und Arbeiter (ILO-Konvention Nr. 155 sowie 187) Recht auf Nahrung (Art. 25 AEMR; Art. 11 UNO-Pakt I)
Wassergefährdende Stoffe	Grundwasserverunreinigung	Gesundheitsgefährdungen der Arbeiterinnen und Arbeiter sowie der Anwohnerinnen und Anwohnern Einbußen bei Agrarerträgen	Recht auf Leben (Art. 3 AEMR; Art. 6 UNO-Pakt II) Recht auf einen angemessenen Lebensstandard (Art. 25 AEMR; Art. 11 UNO-Pakt I) Recht auf Gesundheit (Art. 25 AEMR; Art. 12 UNO-Pakt I) Arbeits- und Gesundheitsschutz (ILO-Konvention Nr. 155 sowie 187) Recht auf Nahrung (Art. 25 AEMR; Art. 11 UNO-Pakt I) Recht auf Wasser (Art. 11 UNO-Pakt I)

Umweltthema	Umweltauswirkung	Menschenrechtliche Auswirkung	Menschenrecht
Wasser	Belastung von Ökosystemen (z. B. durch Wasserknappheit)	Beeinträchtigung des Zugangs zu Wasser	Recht auf Wasser (Art. 11 UNO-Pakt I) Recht auf Leben (Art. 3 AEMR; Art. 6 UNO-Pakt II)
Fläche	Belastung von Ökosystemen (z. B. durch Waldrodung)	Landnahme Zwangsumsiedlung, Vertreibung	Recht auf Wohnung und Schutz vor Vertreibung (Art. 25 AEMR; Art. 11 UNO-Pakt I) Recht auf einen angemessenen Lebensstandard (Art. 25 AEMR; Art. 11 UNO-Pakt I) Rechte indigener Völker (UNDRIP)

Quelle: Eigene Darstellung.

2.3.3 Treibhausgase

Problemaufriss und (potenzielle) negative Auswirkungen

Die steigende Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre insbesondere durch die Nutzung fossiler Energieträger führt zu einem Anstieg der bodennahen Lufttemperatur im globalen Mittel (im Folgenden IPCC 2018). Die Klimaveränderungen führen u. a. zum Schrumpfen von Gletschern und Eiskappen sowie zu Extremereignissen wie Hitzewellen und Starkniederschlägen. Darüber hinaus können künftige Folgen durch das Erreichen von sogenannten Kipp-Punkten mit irreversiblen Veränderungen auftreten. Die Geschwindigkeit der Klimaveränderungen wirkt sich besonders negativ auf Ökosysteme bzw. die Pflanzen- und Tierwelt aus, die sich nicht oder nur langsam anpassen können. Damit verbunden sind menschenrechtliche Themen durch den potenziellen Verlust natürlicher Lebensgrundlagen der lokalen Bevölkerung in gefährdeten Gebieten. Dies betrifft insbesondere die Ernährungssicherheit und die Trinkwasserversorgung. Mit der globalen Erwärmung nimmt die Häufigkeit hitzebedingter Krankheiten zu. Lokale Extremwetterereignisse wie Überflutungen bedrohen das menschliche Leben und das Eigentum der dortigen Bevölkerung.

2.3.3.1 Fokusssektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern, Antriebselementen

Verteilung von Treibhausgasemissionen nach Lieferkettenstufen

Die Treibhausgasemissionen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen summierten sich für das Jahr 2019 auf knapp 4,8 Mt CO₂-Äquivalente. Bezogen auf den Umsatz betrugen die Treibhausgasemissionen in der Lieferkette 0,24 kg CO₂-Äquivalente pro EUR.

Die meisten Emissionen entstehen auf der Ebene der indirekten Lieferanten des Sektors (tier 2-n): Knapp drei Viertel der Emissionen werden dort verursacht. Dagegen stellt die Stufe der direkten Lieferanten (tier 1) etwa ein Viertel der Gesamtemissionen dar (Abbildung 6).

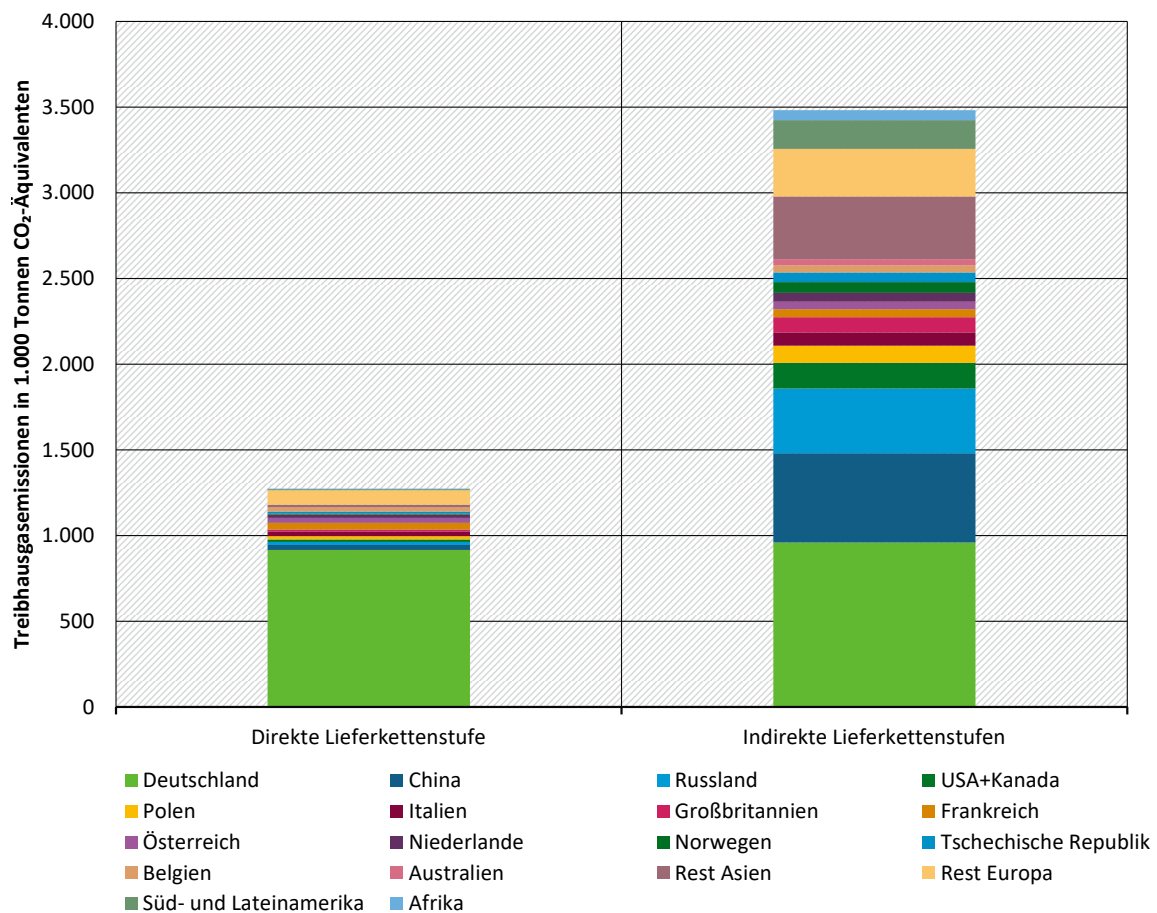
Geografische Verteilung

Die meisten Treibhausgasemissionen in der Wertschöpfungskette der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen entstehen in Deutschland. Der Anteil beträgt 40 %. Direkte und indirekte Lieferanten in Deutschland verursachen zusammen knapp 1,9 Mt CO₂-Äquivalente. Auf der direkten Lieferkettenstufe beträgt der inländische Anteil an den Emissionen etwa 70 %, auf den tieferen Wertschöpfungsstufen etwa 27 %.

Das restliche Europa – inkl. Russland und der Türkei – stellt knapp ein Drittel der Gesamtemissionen in der Wertschöpfungskette des Sektors dar – primär auf den tieferen Wertschöpfungsstufen. Die Hauptemittenten sind Russland mit etwa 8 % der gesamten Treibhausgasemissionen sowie Polen, Italien, Großbritannien und Frankreich.

In China entstehen etwa 12 % der Treibhausgasemissionen, insbesondere auf den tieferen Stufen in der Lieferkette. Der Rest Asiens macht etwa 8 % der Gesamtemissionen aus. Der Anteil Nordamerikas sowie Süd- und Lateinamerikas an den Treibhausgasemissionen beträgt jeweils etwa 3,5 %.

Abbildung 6: Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen

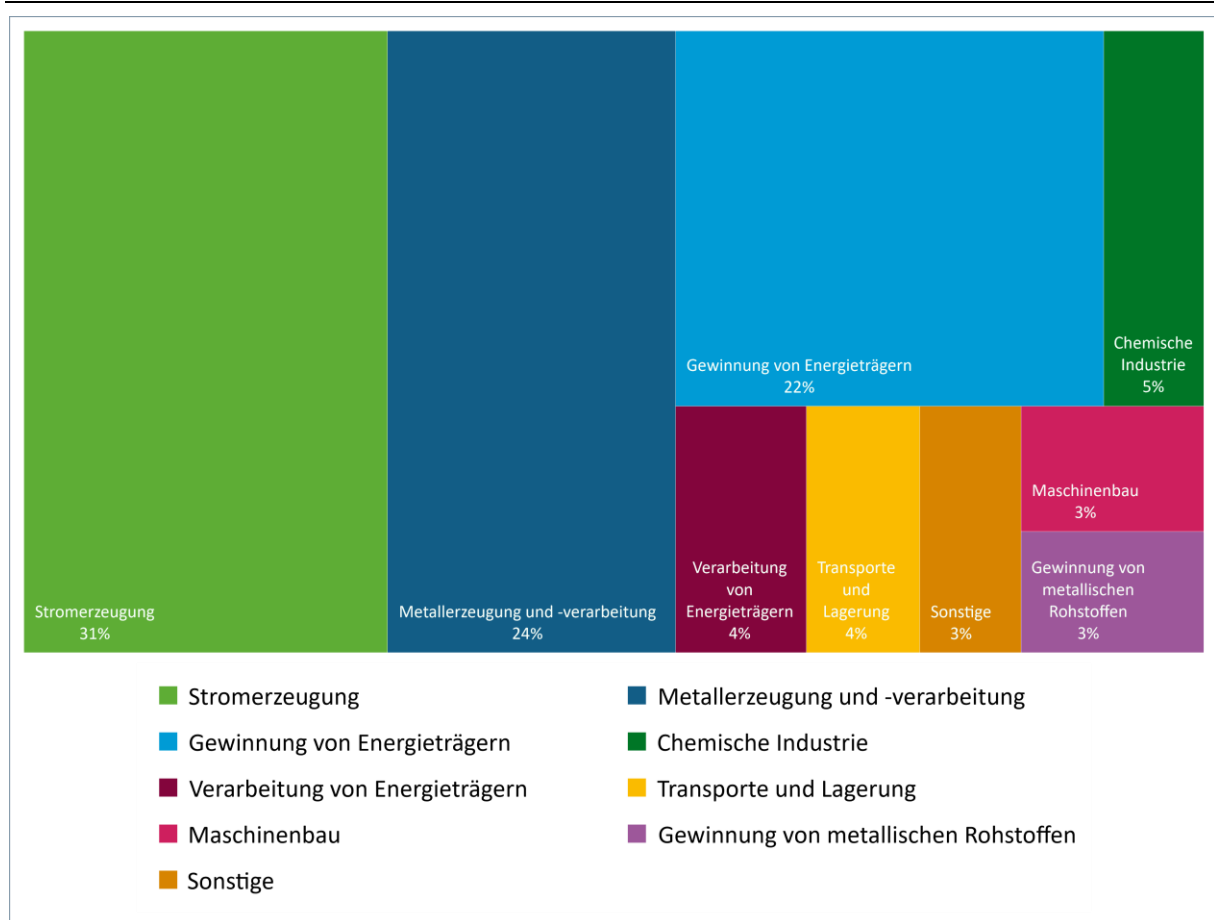


Quelle: Eigene Darstellung, Sustain.

Sektorale Verteilung

Ein Blick auf die Abbildung 7 zur sektoralen Verteilung zeigt, dass die Stromerzeugung für etwa ein Drittel der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette verantwortlich ist. Insgesamt verursacht die Erzeugung von Strom fast 1,5 Mt CO₂-Äquivalente. Ein zweiter wichtiger Treiber – wenngleich dieser knapp ein Viertel der Emissionen darstellt – ist die Metallherstellung und -verarbeitung. Der Einsatz von fossilen Energieträgern für die Produktion verursacht ebenfalls knapp ein Viertel der Gesamtemissionen. Alle weiteren Prozesse bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen machen etwas weniger als ein Viertel der restlichen Emissionen aus.

Abbildung 7: Sektorale Verteilung der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3.3.2 Fokusssektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen

Verteilung von Treibhausgasemissionen nach Lieferkettenstufen

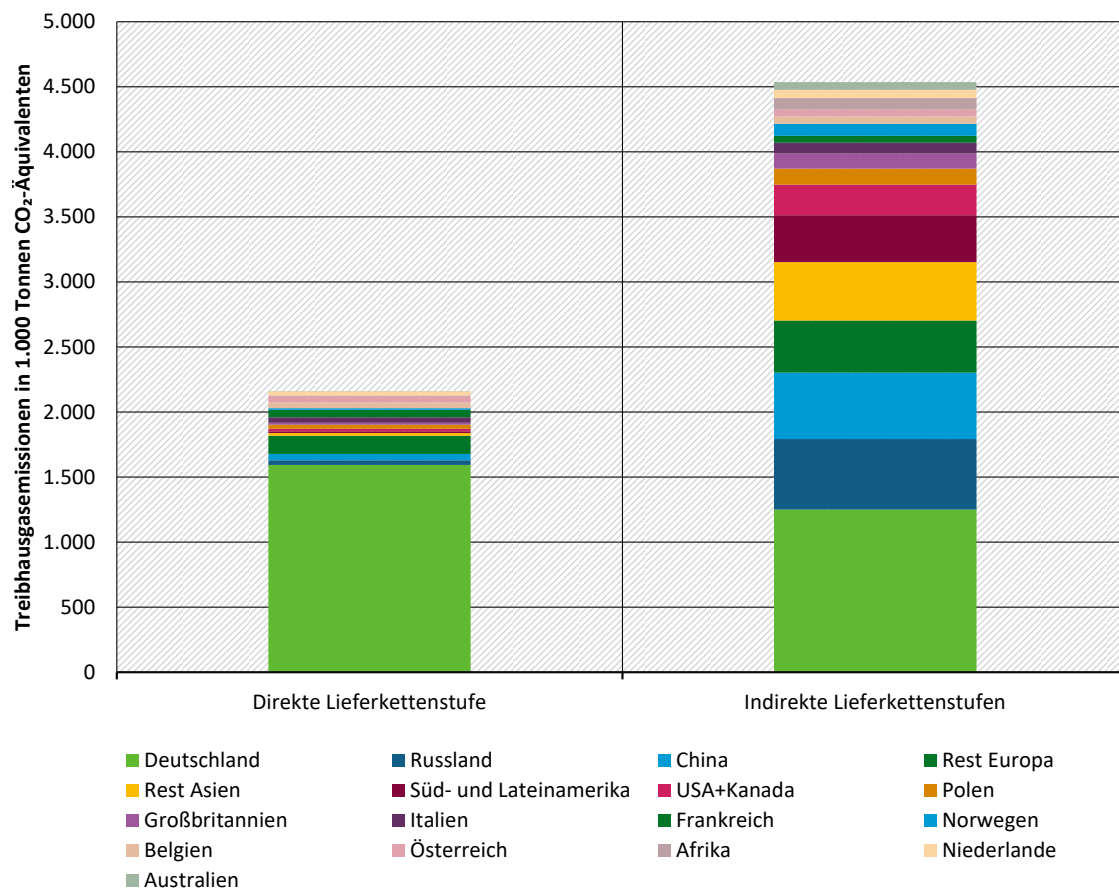
In der vorgelagerten Lieferkette der Herstellung von Werkzeugmaschinen werden insgesamt rund 6,7 Mt CO₂-Äquivalente emittiert. Etwa zwei Drittel der Emissionen entstehen auf den tieferen Lieferkettenstufen, wie in Abbildung 8 zu sehen ist. Bezogen auf den Umsatz entstehen entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette etwa 0,28 kg CO₂-Äquivalente pro EUR Umsatz des deutschen Werkzeugmaschinenbaus.

Geografische Verteilung

Wie Abbildung 8 zeigt, entsteht mit einem Ausstoß von 2,8 Mt CO₂-Äquivalenten der Großteil der Emissionen von Treibhausgasen in Deutschland. Das sind 42 % der Gesamtemissionen entlang der Lieferkette des Werkzeugmaschinenbaus; davon entstehen mehr als die Hälfte bei direkten Lieferanten.

Auf das restliche Europa entfallen etwa 30 % der Gesamtemissionen. Die höchsten Anteile der Emissionen entstehen in Russland (knapp 9 %) sowie Polen, Großbritannien und Italien mit jeweils etwa 2 % Anteil. In China entstehen 8 % der Treibhausgasemissionen, in Lateinamerika knapp 6 %.

Abbildung 8: Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen

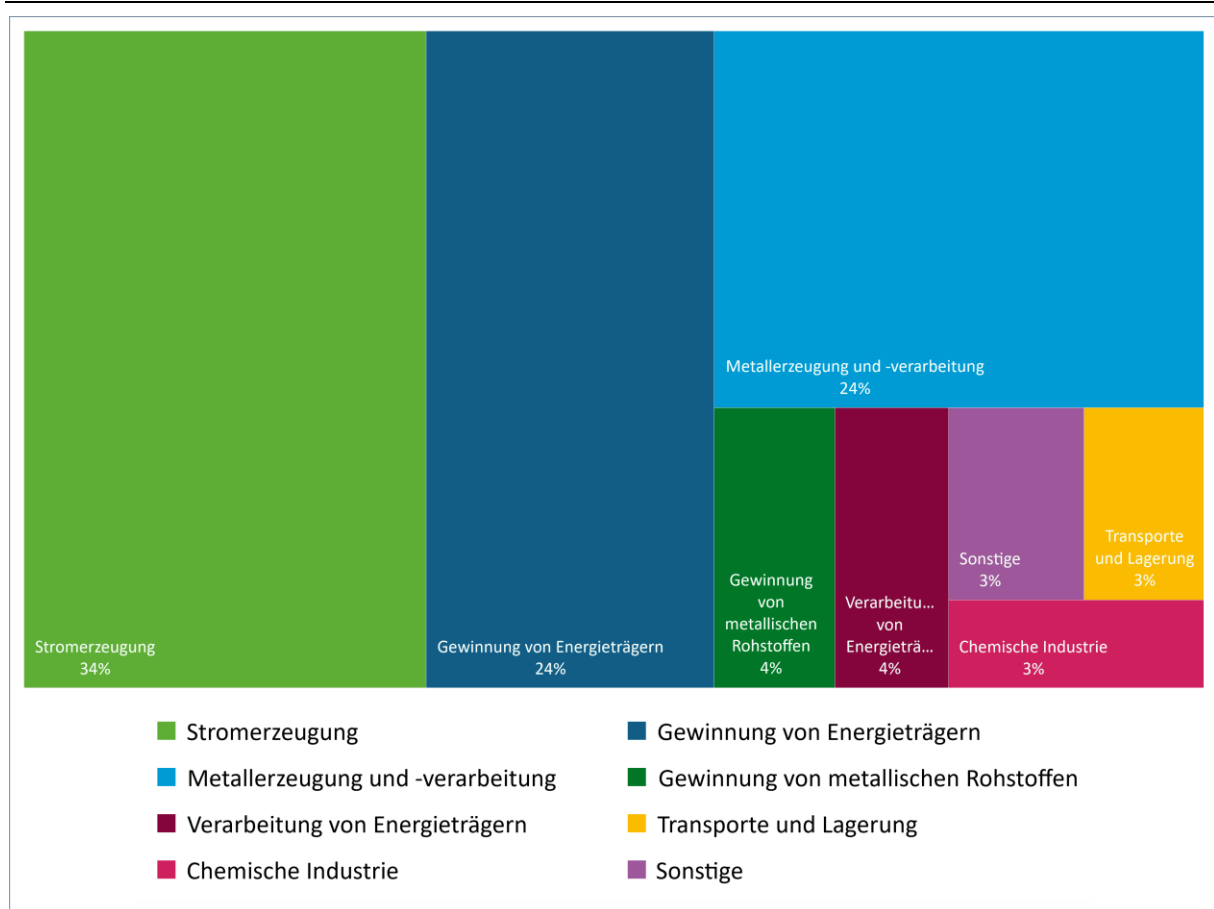


Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung

Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, entstehen die meisten Treibhausgasemissionen – etwa ein Drittel – durch den Stromverbrauch entlang der Lieferkette. Weitere Emissionen sind mit der Gewinnung von fossilen Energieträgern wie Kohle, Rohöl und Gas verbunden. Diese machen etwa ein Viertel der Emissionen aus. Die direkten Emissionen der Metallerzeugung und -verarbeitung betragen ebenfalls etwa ein Viertel. Weitere Prozesse, auf die insgesamt etwa 14 % der Gesamtemissionen entfallen, sind die Gewinnung von metallischen Rohstoffen (4 %), die Verarbeitung von Energieträgern (4 %), Transporte und Lagerung (3 %) und die Herstellung von chemischen und anderen nicht-metallischen mineralischen Rohstoffen (3 %).

Abbildung 9: Sektorale Verteilung der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3.3.3 Ergänzungen

Die ergänzende sektorale Analyse der negativen ökologischen Auswirkungen anhand des ENCORE-Tools ergibt eine hohe Bewertung bei Treibhausgasemissionen sowohl für den Maschinenbau als auch für dessen Vorleistungssektoren. Dies ist hauptsächlich auf die Nutzung von fossilen Energieträgern zurückzuführen. Der MVO Nederland CSR Risk Check weist ein ökologisches Risiko in Bezug auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen bei den Vorleistungssektoren der Stromerzeugung, der Gewinnung von fossilen Energieträgern sowie der Metallverarbeitung und -erzeugung auf.

2.3.4 Luftschadstoffe

Problemaufriss und (potenzielle) negative Auswirkungen

Im Folgenden sind die Ergebnisse der MRIO-Analyse für den Umweltaspekt „Luftschadstoffe“ anhand des Versauerungspotenzials auf Basis der SO₂-Äquivalente und die Feinstaubemissionen in PM_{2,5}-Äquivalenten dargestellt. Die Verbrennung fossiler Energieträger verursacht säurebildende Abgase, insbesondere Schwefeldioxid und Stickoxide. Die Versauerung von Böden und Gewässern kann Pflanzen schädigen. Hohe lokale Konzentrationen von Schwefeldioxid und Stickstoffoxiden können zudem zu Atemwegserkrankungen führen und die menschliche Gesundheit gefährden (UBA 2021c). Feinstaubemissionen entstehen primär ebenfalls bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Feinstaub kann zudem Atemwegserkrankungen auslösen und das Krebsrisiko erhöhen, je nach Eindringungstiefe und Partikelgröße (UBA 2021a). Die

Emission von Luftschadstoffen kann die Gesundheit von Menschen und somit das Menschenrecht auf den Schutz der Gesundheit beeinträchtigen.

2.3.4.1 Fokusektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern, Antriebselementen

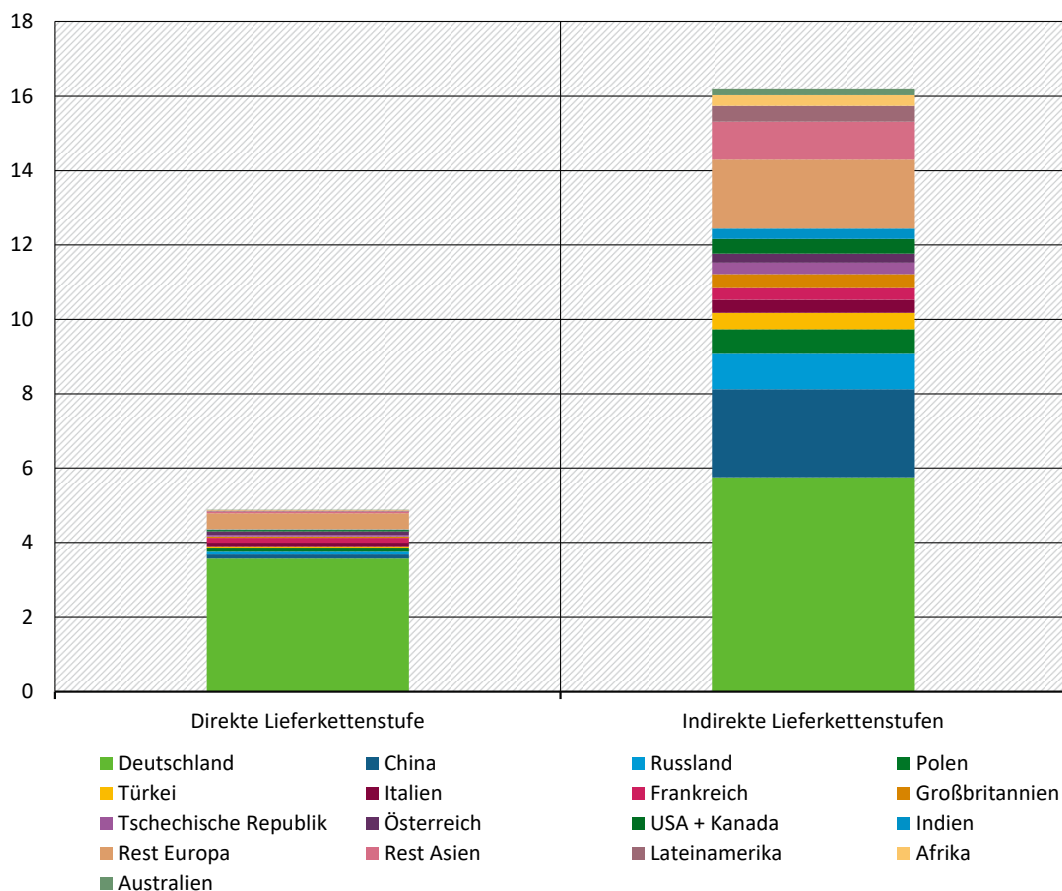
Verteilung von Schwefeldioxidäquivalenten nach Lieferkettenstufen

Im Jahr 2019 verursachte die Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette ca. 21.100 t an SO₂-Äquivalenten. Etwa 23 % werden auf der Stufe der direkten Lieferanten emittiert (tier1; Abbildung 10).

Geografische Verteilung von Schwefeldioxidäquivalenten

Der Großteil der Emissionen an SO₂-Äquivalenten entsteht in Deutschland (44 %; siehe Abbildung 10), vor allem auf der Stufe der direkten Lieferanten, wozu auch die Stromversorgung zählt. Auf China entfällt ein Anteil von 12 % der Emissionen von SO₂-Äquivalenten. Die Emissionen entstehen eher auf den tieferen Lieferkettenstufen und gehen vor allem auf die Stromerzeugung und die Metallerzeugung und -verarbeitung zurück. Des Weiteren sind Russland und Polen relevant. Die beiden Länder besitzen einen Anteil von 5 % bzw. 3 % an den SO₂-Äquivalenten entlang der Lieferkette. Treiber ist in beiden Ländern die Stromerzeugung mit einem hohen Anteil an fossilen Energieträgern.

Abbildung 10: SO₂-Emissionen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen (in 1.000 t SO₂-Äquivalenten)

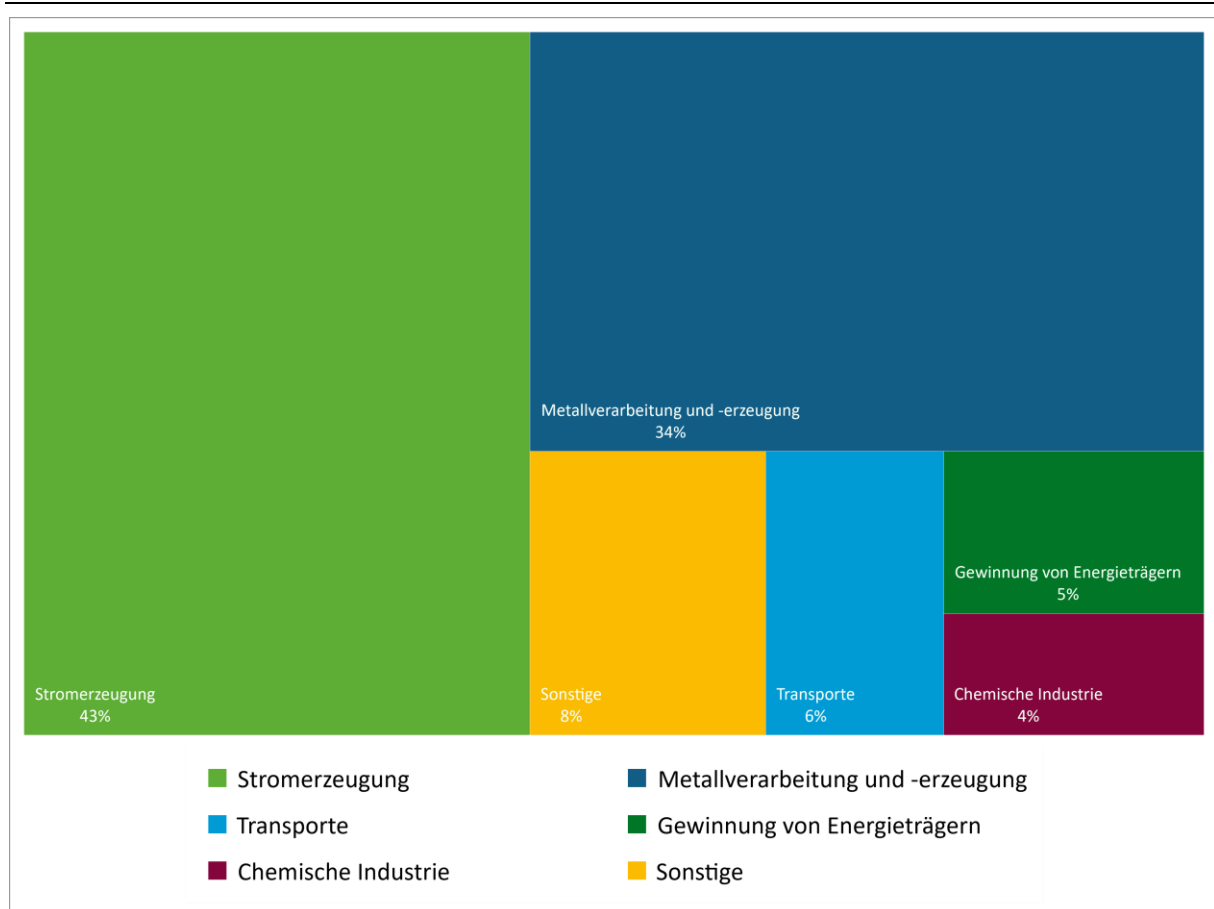


Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung von Schwefeldioxidäquivalenten

Sektoral ist der größte Teil der Emissionen an SO₂-Äquivalenten auf die Stromerzeugung durch fossile Energieträger entlang der gesamten Wertschöpfungskette zurückzuführen. Dies macht 43 % der Emissionen aus, wie Abbildung 11 zeigt. Fast die Hälfte dieser Emissionen entsteht in Deutschland. Im Ausland handelt es sich vor allem um die Stromproduktion in China und Polen. Ein Drittel der Emissionen an SO₂-Äquivalenten geht auf die Prozesse an den Standorten der metallverarbeitenden und -erzeugenden Industrie zurück, insbesondere in Deutschland und China. Transporte machen einen Anteil von 6 % aus.

Abbildung 11: Sektorale Verteilung der Emissionen von SO₂-Äquivalenten der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen



Quelle: Eigene Darstellung, Sustain.

Verteilung der Emission von Feinstaub (PM_{2,5}-Äquivalente) nach Lieferkettenstufen

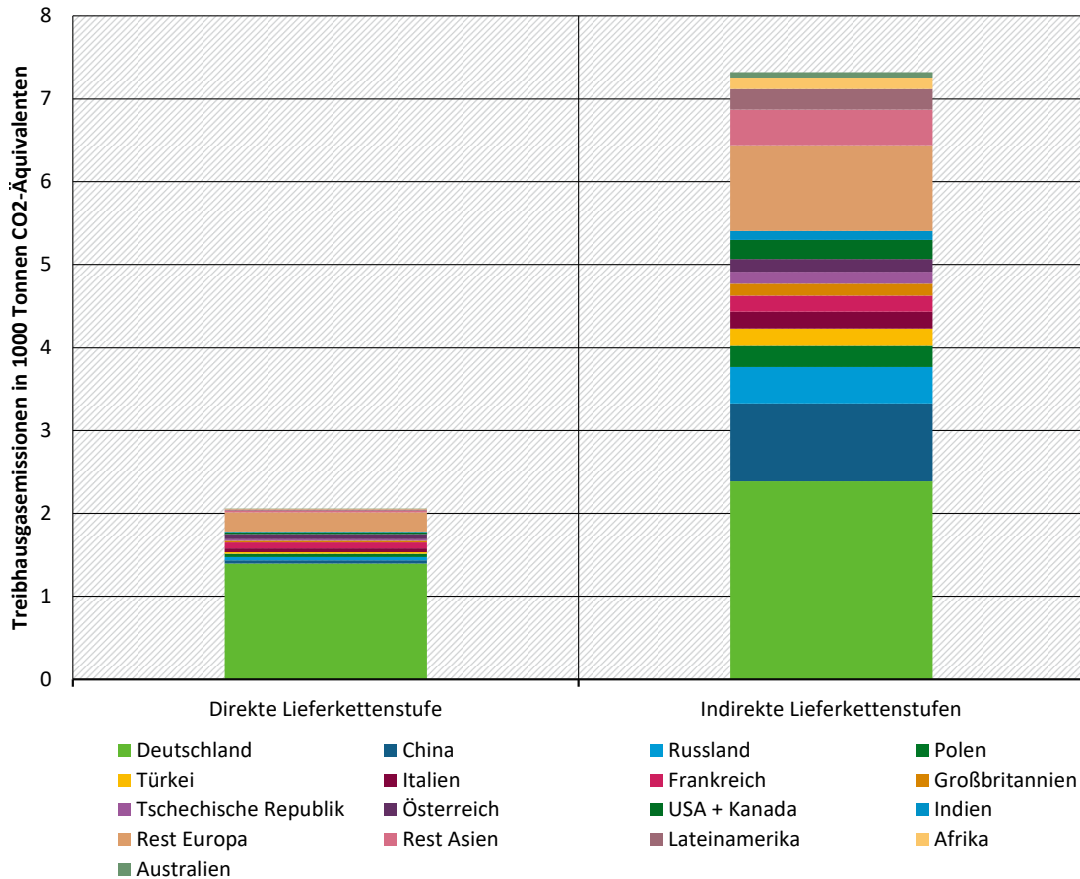
Entlang der Wertschöpfungskette der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen entstehen etwa 9.400 t an Feinstaubäquivalenten der Partikelgröße 2,5 µm und kleiner (PM_{2,5}-Äquivalente). Auf der Stufe der direkten Lieferanten (tier 1) entstehen etwa 22 % der Feinstaubemissionen (Abbildung 12).

Geografische Verteilung von Feinstaub (PM_{2,5}-Äquivalente)

Etwa 40 % der Emissionen an PM_{2,5}-Äquivalenten entstehen innerhalb Deutschlands, wie Abbildung 12 illustriert. Etwa 10 % des Emissionsaufkommens an PM_{2,5}-Äquivalenten treten in

China auf, wobei dies auf den tieferen Lieferkettenstufen verortet ist. In Russland treten 5 % der Feinstaubemissionen auf.

Abbildung 12: Emissionen von Feinstaub entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen (in 1.000 t Feinstaub PM2,5-Äquivalenten)

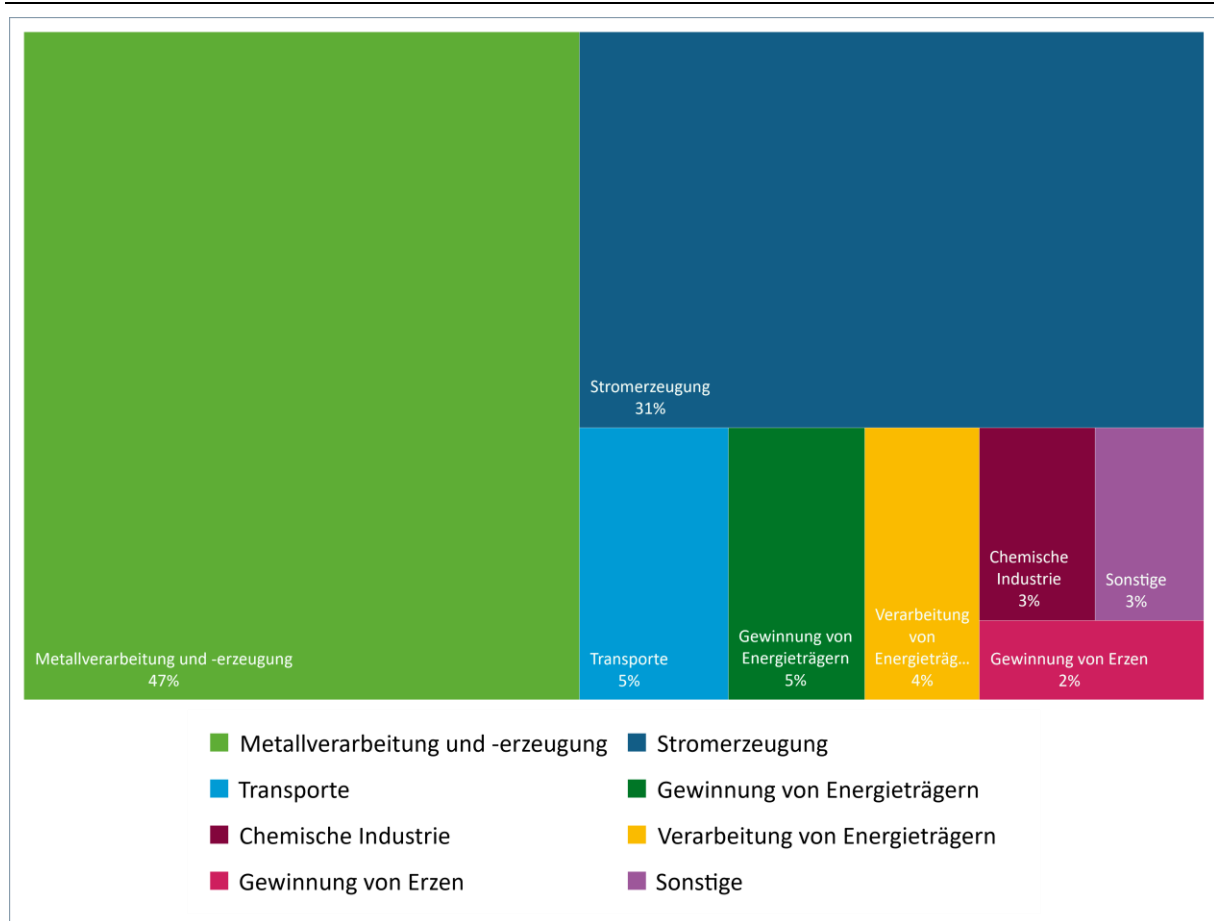


Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung von Feinstaub (PM2,5-Äquivalente)

Die Feinstaubemissionen gehen zu 47 % auf die Produktionsstandorte der metallverarbeitenden und -erzeugenden Industrie zurück (siehe Abbildung 13). Auch hier liegt der Großteil der Emissionen innerhalb Deutschlands. Im Ausland entsteht das Emissionsaufkommen an Feinstaub in der Metallverarbeitung und -erzeugung vor allem in China, Frankreich, Italien, Österreich und Russland. Etwa 31 % der Emissionen an Feinstaubäquivalenten PM2,5 ist auf die Stromerzeugung zurückzuführen, insbesondere in Deutschland, China, Polen und Russland.

Abbildung 13: Sektorale Verteilung der Emissionen an Feinstaub-PM2,5-Äquivalenten entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3.4.2 Fokussektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen

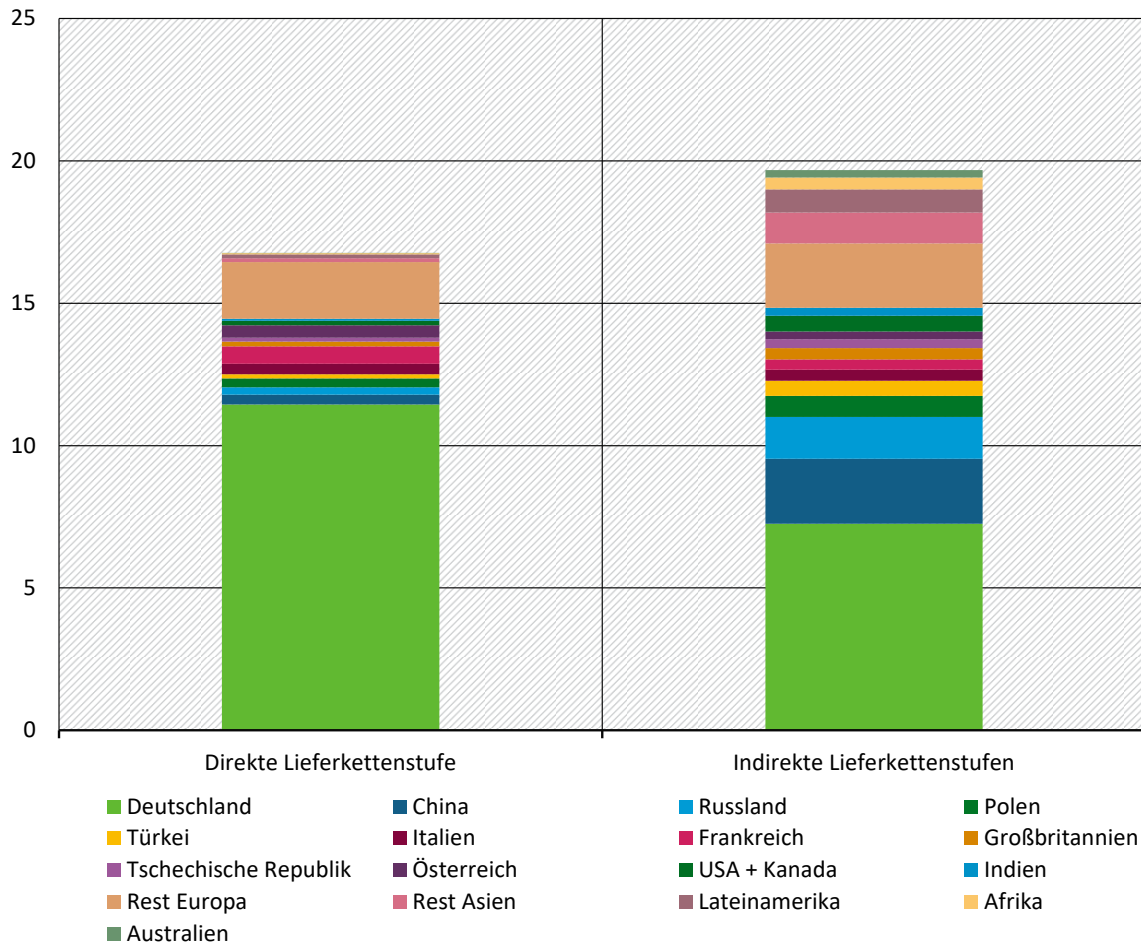
Verteilung von Schwefeldioxidäquivalenten nach Lieferkettenstufen

Entlang der globalen Wertschöpfungskette des deutschen Sektors der Herstellung von Werkzeugmaschinen entstanden im Jahr 2019 ca. 36.400 t an SO₂-Äquivalenten. Im Unterschied zum Fokussektor 1 ist der Anteil auf der Stufe der direkten Lieferanten mit 46 % deutlich höher (Abbildung 14). Somit besteht hier ein deutlich höheres Einflusspotenzial zur Reduktion der Schadstoffemissionen in der Lieferkette.

Geografische Verteilung von Schwefeldioxidäquivalenten

Die Emissionen an SO₂-Äquivalenten gehen mit einem Anteil von 51 % vorrangig auf Deutschland zurück, vor allem auf der Stufe der direkten Lieferanten, insbesondere bei der Stromversorgung und im metallherstellenden und -verarbeitenden Sektor. Auf China entfällt ein Anteil von 7 % an den Emissionen von SO₂-Äquivalenten. Die Emissionen entstehen eher auf den tieferen Lieferkettenstufen und gehen vor allem auf die Stromerzeugung und die Metallherzeugung und -verarbeitung zurück. Des Weiteren sind Russland, Polen und die Türkei relevant. Treiber in diesen Ländern sind die Stromerzeugung mit einem hohen Anteil an fossilen Energieträgern und die metallherzeugende und -verarbeitende Industrie.

Abbildung 14: SO₂-Emissionen entlang der Wertschöpfungskette des Werkzeugmaschinenbaus (in 1.000 t SO₂-Äquivalenten)

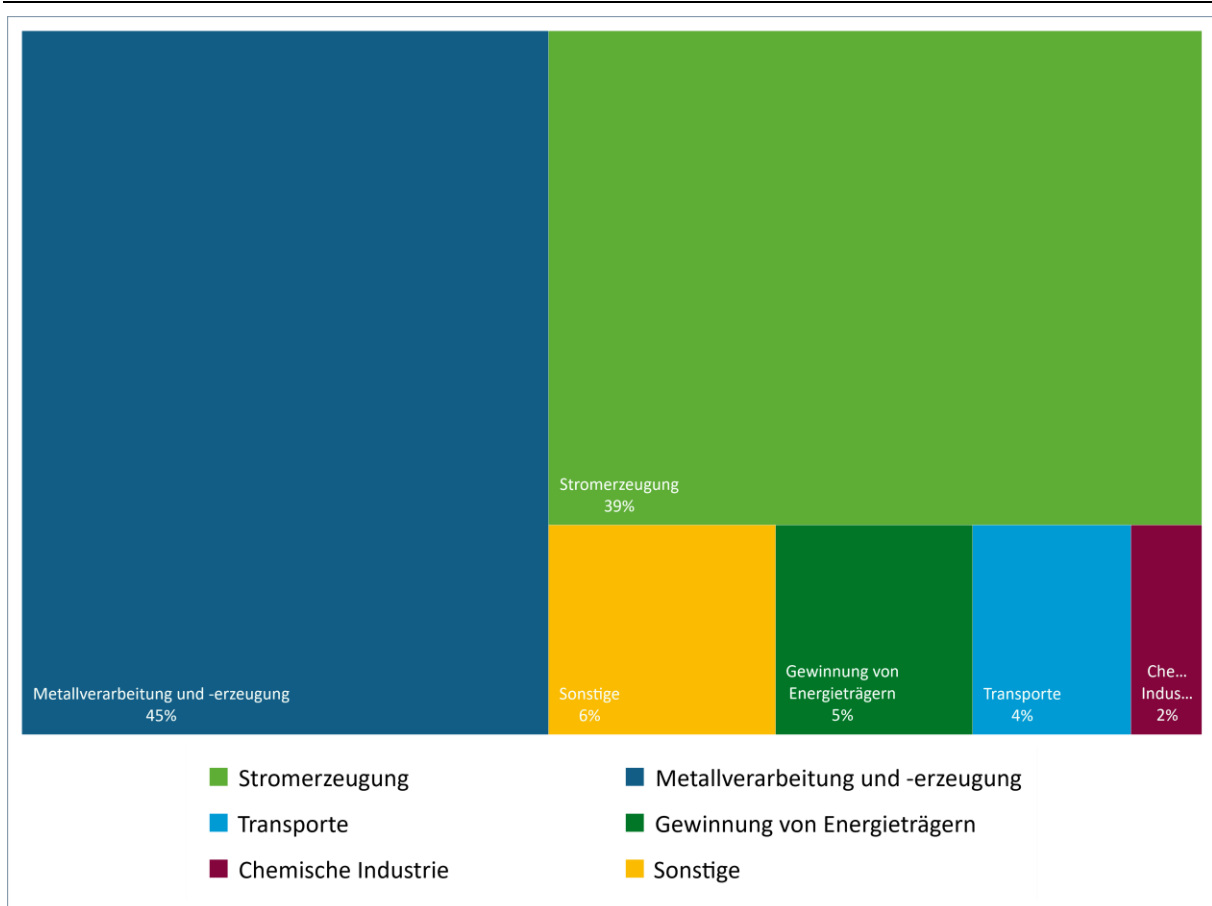


Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung von Schwefeldioxidäquivalenten

Der größte Teil der Emissionen an SO₂-Äquivalenten geht mit einem Anteil von 45 % auf die metallverarbeitende und -erzeugende Industrie zurück, insbesondere in Deutschland, China und Frankreich. Stromerzeugung durch fossile Energieträger entlang der gesamten Wertschöpfungskette macht 39 % der Emissionen aus, wie Abbildung 15 zeigt. Hierbei sind insbesondere Deutschland, China, Polen und Russland relevant. Die Gewinnung von Energieträgern macht etwa 5 % aus, Transporte etwa 4 %.

Abbildung 15: Sektorale Verteilung der Emissionen von SO₂-Äquivalenten in der Wertschöpfungskette des Werkzeugmaschinenbaus



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

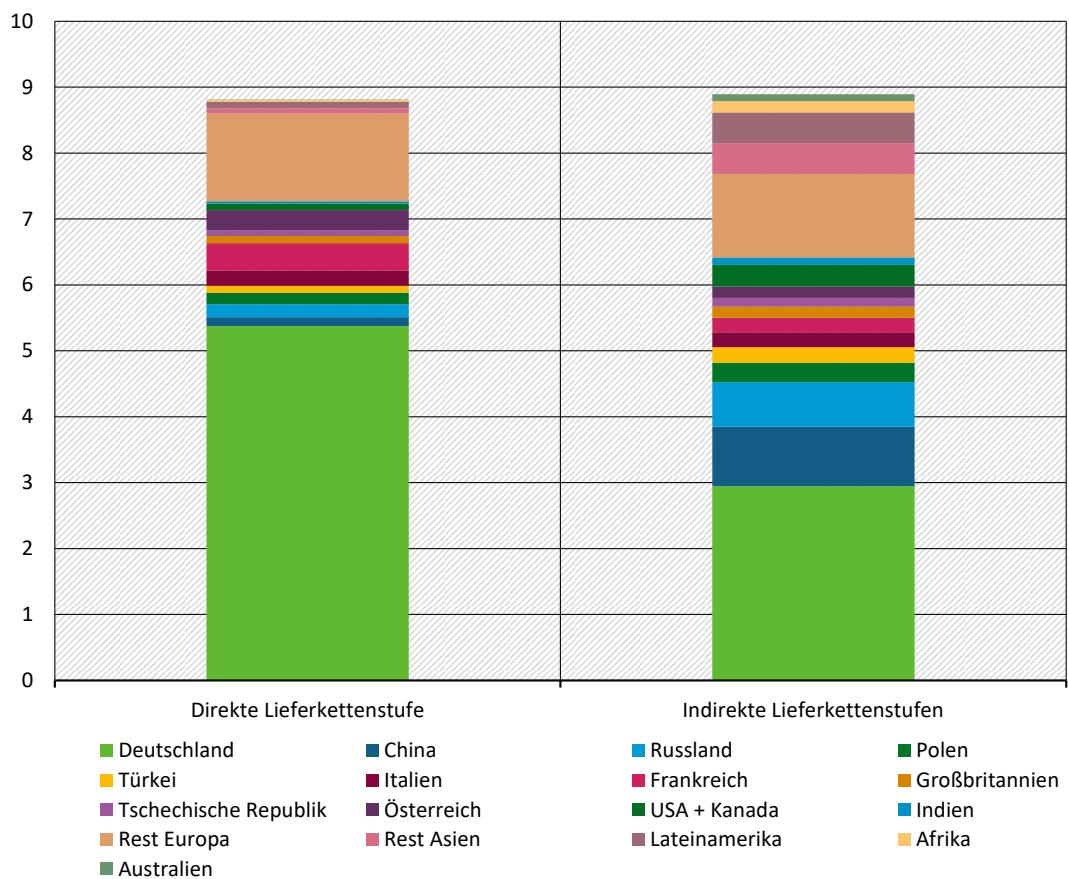
Verteilung der Emission von Feinstaub (PM_{2,5}-Äquivalente) nach Lieferkettenstufen

Die Modellierung der Feinstaubemissionen in der Wertschöpfungskette des deutschen Werkzeugmaschinenbaus zeigt, dass in der Vorkette des Sektors etwa 17.700 t an Feinstaubäquivalenten der Partikelgröße 2,5 µm und kleiner (PM_{2,5}-Äquivalente) entstehen. Im Vergleich zum Fokussektor 1 ist der Anteil der Emissionen auf der Stufe der direkten Lieferanten (tier 1) mit fast 50 % besonders hoch, wie Abbildung 16 zeigt. Durch die direkte Verbundenheit zu Tier-1-Lieferanten ergibt sich ein direkterer Handlungsspielraum für Reduktionen im Lieferkettenmanagement beim Werkzeugmaschinenbau.

Geografische Verteilung von Feinstaub (PM_{2,5}-Äquivalente)

Etwa 47 % der Emissionen an PM_{2,5}-Äquivalenten entstehen in Deutschland (Abbildung 16). Die Emissionen gehen größtenteils auf die Stufe der direkten Lieferanten zurück, insbesondere auf den metallherstellenden und -verarbeitenden Sektor. Etwa 6 % des Emissionsaufkommens an PM_{2,5}-Äquivalenten in der Wertschöpfungskette des Fokussektors treten in China auf, wobei dies auf den tieferen Lieferkettenstufen verortet ist. Weitere Schwerpunktländer sind Russland mit einem Anteil von 5 %, Frankreich mit einem Anteil von 4 % sowie Polen, Italien und Österreich mit jeweils 3 % Anteil an den aggregierten Feinstaubemissionen in der Wertschöpfungskette.

Abbildung 16: Emissionen von Feinstaub entlang der Wertschöpfungskette des Werkzeugmaschinenbaus (in 1.000 t Feinstaub PM2,5-Äquivalenten)

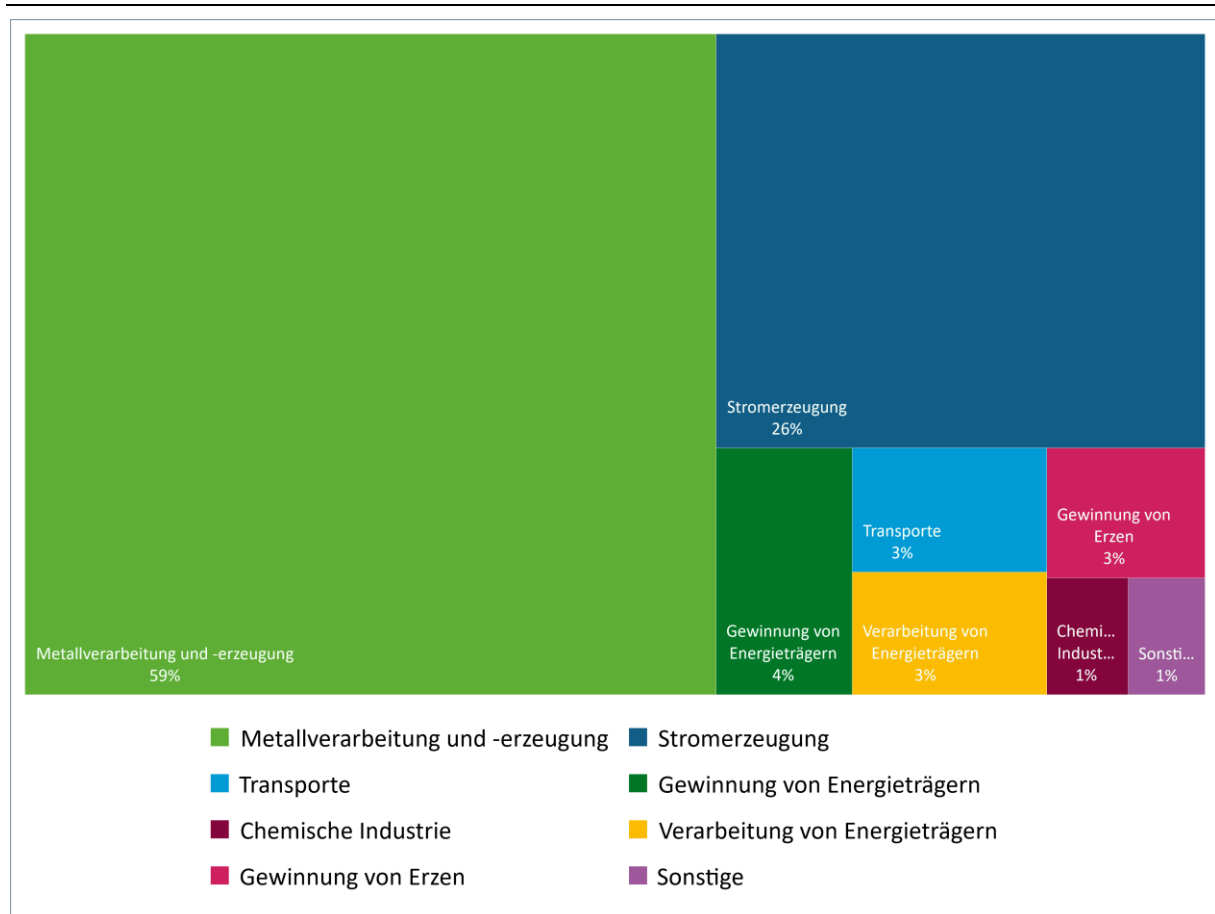


Quelle: Eigene Darstellung, Sustain.

Sektorale Verteilung von Feinstaub (PM2,5-Äquivalente)

Die Feinstaubemissionen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette gehen zu 59 % auf den metallverarbeitenden und -erzeugenden Sektor zurück (siehe Abbildung 17). Etwa 28 % der Emissionen an Feinstaubäquivalenten PM2,5 ist auf die Stromerzeugung zurückzuführen, insbesondere in Deutschland und China. Die Gewinnung von Energieträgern macht 4 % der Feinstaubemissionen aus, Transporte etwa 3 %.

Abbildung 17: Sektorale Verteilung der Emissionen von Feinstaub-PM2,5-Äquivalenten entlang der Wertschöpfungskette des Werkzeugmaschinebaus



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3.4.3 Ergänzungen

Die weitere Analyse mithilfe des ENCORE-Tools zeigt neben den hohen Emissionen von Luftschadstoffen durch die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern, die Metallverarbeitung sowie die Gewinnung von Metallen die Relevanz von Cyaniden, die bei der Auslaugung bei bergbaulichen Prozessen in die Atmosphäre abgegeben werden, vor allem bei der Gewinnung von Metallen und Kohle. Bei der Verbrennung von Kohle zur Energiegewinnung ist zudem die Freisetzung von Quecksilber in die Atmosphäre zu berücksichtigen.

Der MVO Nederland CSR Risk Check weist ebenfalls auf die Freisetzung von Quecksilber, Blei, Arsen und Cadmium bei der Verbrennung von Kohle hin (MVO Nederland 2020). Ebenso nennt der CSR Risk Check die Emission von Feinstaub beim Abbau von Rohstoffen und Energieträgern, z. B. beim oberirdischen Abbau von Kohle. Der CSR Risk Check identifiziert die Emission von Luftschadstoffen bei der Metallerzeugung in China und Osteuropa. Ebenso bewertet ENCORE die Emissionen an Luftschadstoffen beim Seetransport als relevant. Der CSR Risk Check weist auf die Schadstoffemissionen beim Seetransport durch die Verbrennung von Schiffsdiesel sowie die Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs hin (a. a. O.).

2.3.5 Abiotische und biotische Rohstoffe

Problemaufriss und (potenzielle) negative Auswirkungen

Die Nutzung von natürlichen Ressourcen kann zu einer Vielzahl negativer Auswirkungen führen (im Folgenden UBA 2021b). Die Gewinnung von Rohstoffen ist häufig mit erheblichen Eingriffen in die Natur verbunden und geht oft mit Schadstoffeinträgen in Wasser, Luft und Boden einher. Darüber hinaus verstärkt die Nutzung von Ressourcen die Emission von Treibhausgasen. Menschenrechtliche Implikationen ergeben sich potenziell aus der Verschmutzung bei der Rohstoffgewinnung und den damit verbundenen Gesundheitsschäden und den Beeinträchtigungen für die Trinkwasserversorgung und Nahrungsmittelerzeugung in den betroffenen Gebieten. Ebenso kann die Rohstoffgewinnung zu Landvertreibung führen sowie bewaffnete Konflikte verschärfen oder sogar verursachen. Auch Verstöße gegen Sozialstandards bei der Rohstoffgewinnung, u. a. mangelhafte Bedingungen bei Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz, Diskriminierung, Kinder- und Zwangsarbeit oder unzureichende Bezahlung können auftreten.

Für die Ermittlung der Nutzung von biotischen und abiotischen Rohstoffen wurde im Folgenden der Indikator „Domestic Extraction Used – DEU“ der MRIO-Modellierungen basierend auf Input-Output-Tabellen bei EXIOBASE genutzt. Dieser Indikator fasst alle aus der Umwelt extrahierten Rohstoffe zur weiteren Verarbeitung gemäß der EUROSTAT-Berichterstattung zusammen.

2.3.5.1 Fokusssektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern, Antriebselementen

Verteilung nach Lieferkettenstufen

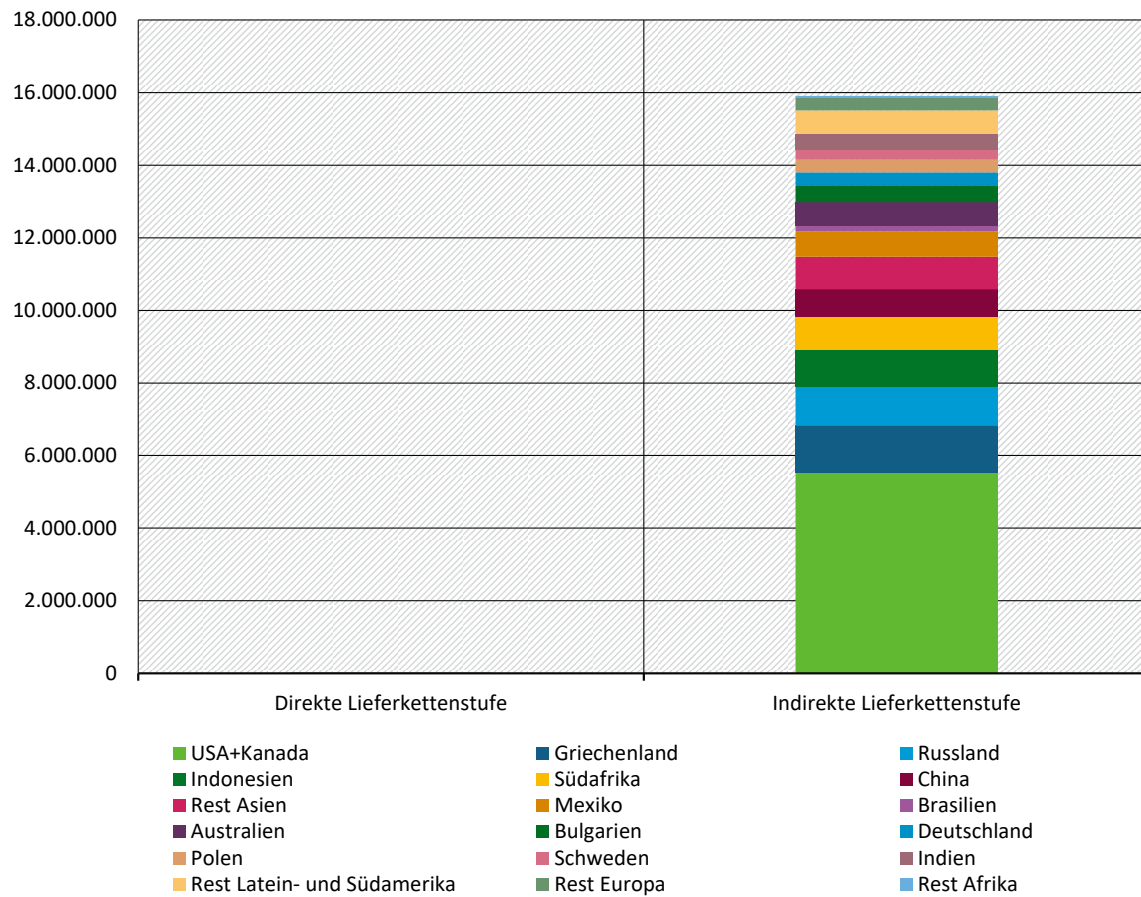
Für den Sektor der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen wurden im Jahr 2019 insgesamt 15,9 Mt DEU an Rohstoffen bzw. Material beansprucht. Wie Abbildung 18 zeigt, werden Ressourcen ausschließlich in der tieferen Lieferkette der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen beansprucht.

Geografische Verteilung

In Deutschland werden lediglich 2 % der Ressourcen beansprucht. Der Großteil an Materialinanspruchnahme geht auf die Vereinigten Staaten und Kanada zurück (5,5 Mt DEU). Dies macht ein Drittel der gesamten Materialinanspruchnahme aus. Weitere Länder mit einem nennenswerten Anteil an der Materialinanspruchnahme in der tieferen Lieferkette sind Griechenland (8 %), Russland (7 %), Indonesien (6 %) und Südafrika (knapp 6 %). Der Großteil geht in allen genannten Ländern sowohl auf die Förderung von fossilen Energieträgern als auch von metallischen Rohstoffen zurück.

In Asien erfolgen knapp 20 % der Inanspruchnahme von Ressourcen in der Lieferkette. Hierbei dominiert China, wo insbesondere fossile Energieträger extrahiert werden. Die Länder Latein- und Südamerikas stellen 9 % der globalen Materialinanspruchnahme in der Lieferkette dar; knapp die Hälfte davon findet in Mexiko statt. Dort geht der größte Teil der Materialinanspruchnahme auf die Gewinnung fossiler Brennstoffe zurück.

Abbildung 18: Materialinanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen (in 1.000 Tonnen DEU)

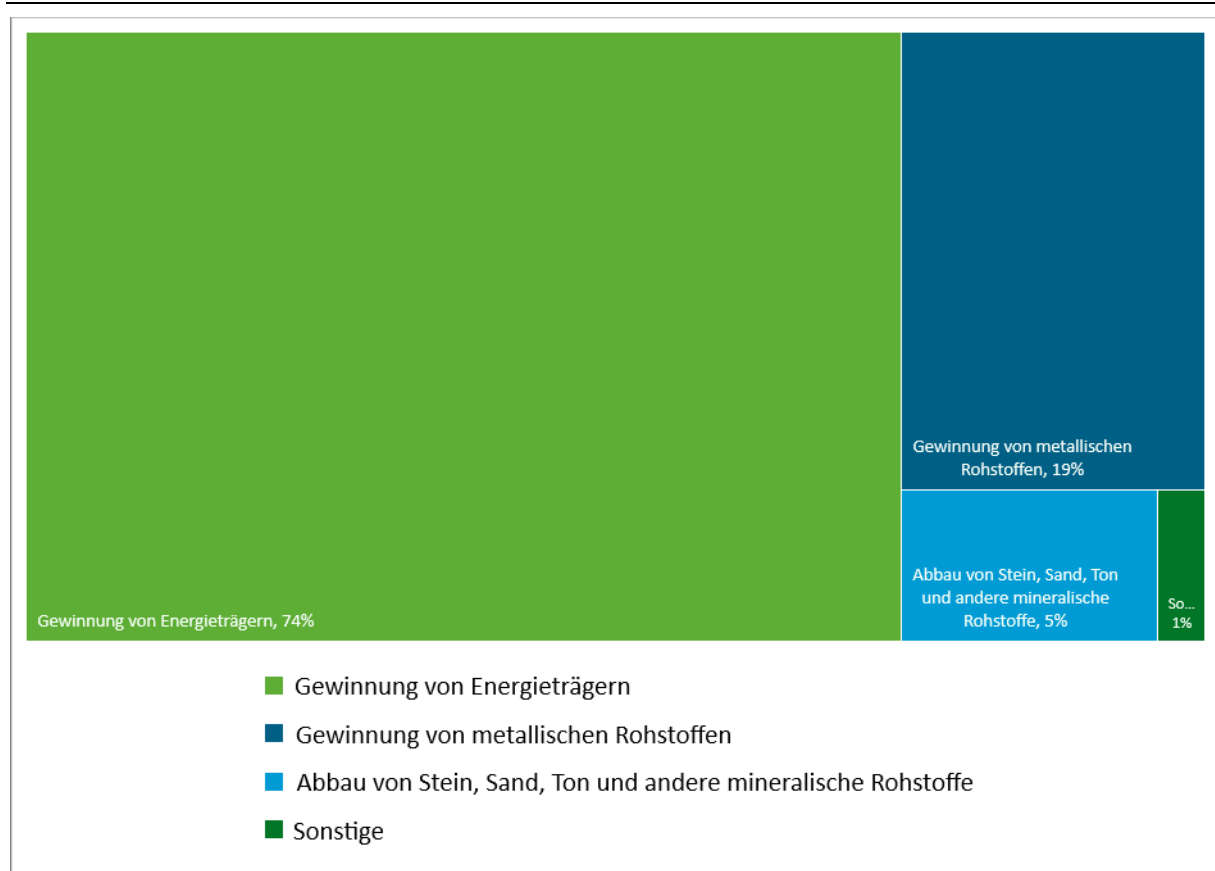


Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung

Wie schon in der Beschreibung der geografischen Verteilung ersichtlich wurde und Abbildung 19 verbildlicht, stellen fossile Rohstoffe zur energetischen und stofflichen Verwertung den Großteil der Materialinanspruchnahme der Lieferkette der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen dar. Die Gewinnung von Kohle, Rohöl und Gas macht 74 % der gesamten Materialinanspruchnahme aus. Weitere 19 % gehen auf die Gewinnung von metallischen Rohstoffen zurück und 5 % auf den Abbau von weiteren mineralischen Rohstoffen.

Abbildung 19: Sektorale Verteilung der Materialinanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3.5.2 Fokusektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen

Verteilung nach Lieferkettenstufen

Abbildung 20 verdeutlicht, dass 93 % der Inanspruchnahme von Ressourcen in der tieferen Lieferkette erfolgt. Im Unterschied zu anderen Maschinenbausektoren ist der Anteil auf der Stufe der direkten Lieferanten höher. Dies hängt vor allem mit der Nutzung von Beton zur Beschwerung und Befestigung der Werkzeugmaschinen für das Gestell und das Fundament zusammen.

Geografische Verteilung

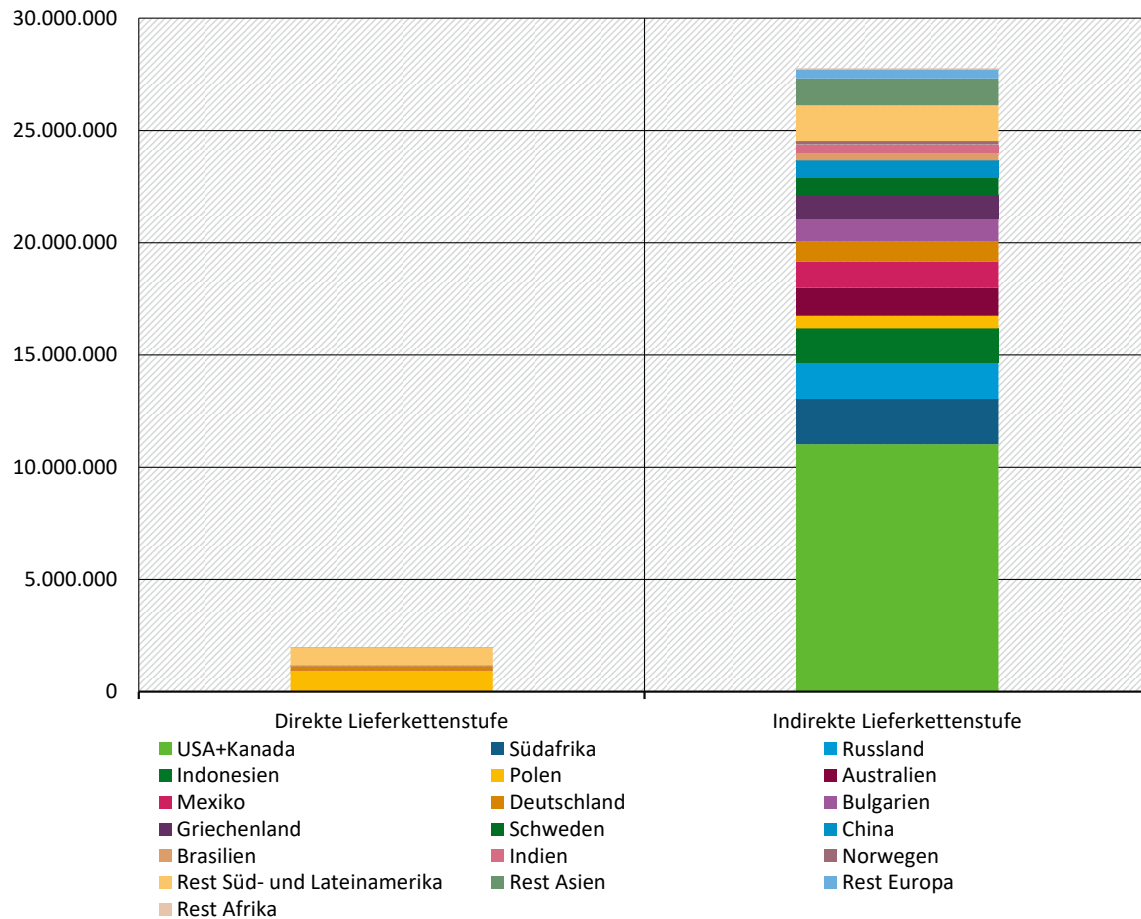
Für die Herstellung von Werkzeugmaschinen wurden 2019 etwa 29,7 Mt DEU an Rohstoffen in Anspruch genommen. Etwa 3,5 % der Ressourcen werden in Deutschland extrahiert. Auf dem europäischen Kontinent sind es vor allem Russland (5,5 %), Polen (5 %), Bulgarien und Griechenland (jeweils 3,5 %) sowie Schweden (2,5 %), in denen Rohstoffe in Anspruch genommen werden. Während in Polen vor allem nicht-metallische Rohstoffe wie Sand und Stein auf der direkten Lieferkettenstufe genutzt werden, sind es in den anderen europäischen Ländern vorrangig fossile Energieträger.

Im Vergleich zu Europa werden in den USA und Kanada weitaus mehr Ressourcen in Anspruch genommen. Etwa 37 % der Rohstoffe für Werkzeugmaschinen stammen aus diesen transatlantischen Ländern – dabei handelt es sich fast ausschließlich um fossile Energieträger.

Weitere Länder mit einer relevanten Materialanspruchnahme in der Lieferkette sind Südafrika (knapp 7 %), Indonesien (5 %) sowie Australien und Mexiko (jeweils etwa 4 %). Alle genannten Länder liefern zum Großteil fossile Energieträger für die Herstellung von Werkzeugmaschinen.

In Asien werden insgesamt etwa 7,5 % der Rohstoffe gewonnen. In Süd- und Lateinamerika sind es etwa 9 %, vorrangig in Brasilien.

Abbildung 20: Materialanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette der Herstellung von Werkzeugmaschinen (in 1.000 Tonnen DEU)

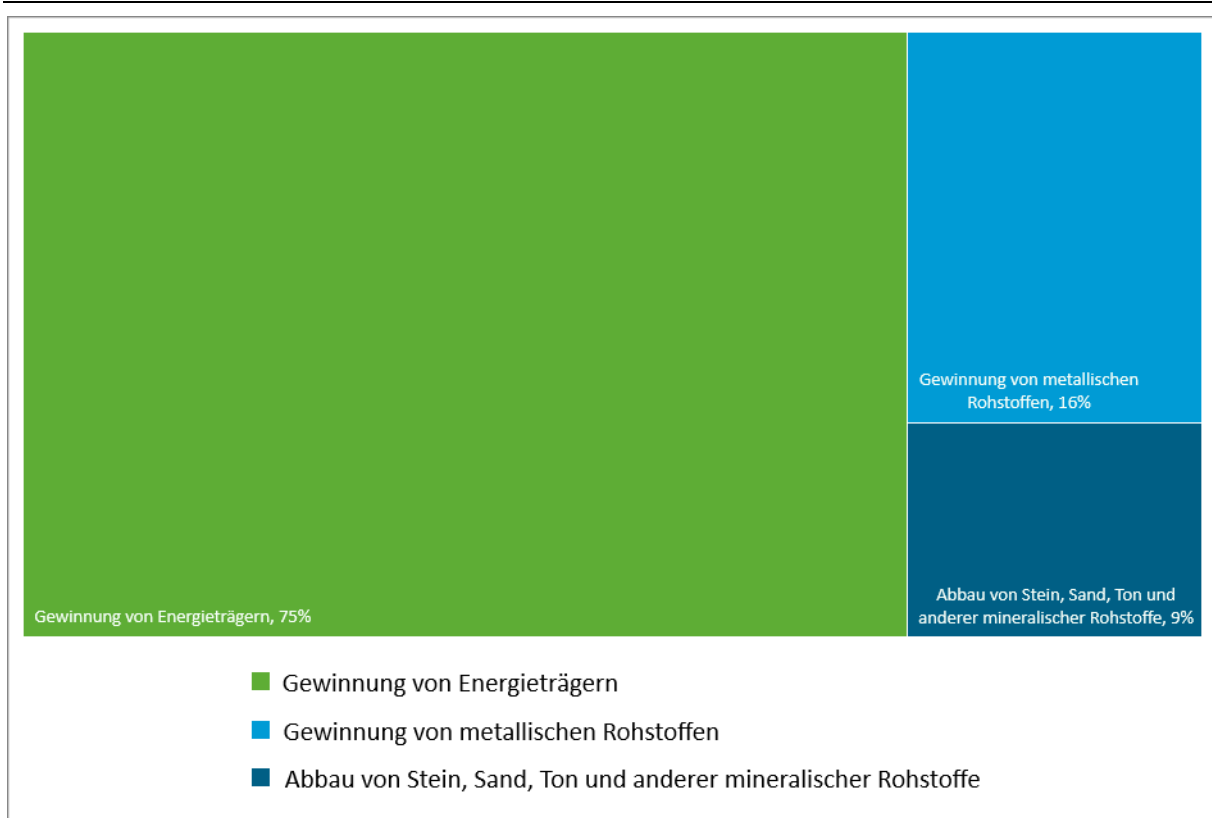


Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung

Abbildung 21 zeigt, dass die Gewinnung von Energieträgern hauptverantwortlich für die Ressourcennutzung ist. Etwa drei Viertel aller verwendeten Rohstoffe stammen aus der Gewinnung fossiler Energieträger für die stoffliche und die energetische Nutzung. Des Weiteren werden zu 16 % metallische Rohstoffe wie Erze in Anspruch genommen sowie 9 % mineralische Rohstoffe wie Stein und Sand.

Abbildung 21: Sektorale Verteilung der Materialinanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3.6 Fläche

Problemaufriss und (potenzielle) negative Auswirkungen

Die Beanspruchung von (natürlichen) Flächen kann je nach Nutzungsform und -intensität erhebliche negative Auswirkungen auf die Umwelt haben (im Folgenden UBA 2020e). In erster Linie kann die Flächeninanspruchnahme zur Verdrängung von natürlichen und wertvollen Ökosystemen und damit zum Verlust der lokalen Artenvielfalt führen. Dies ist z. B. der Fall, wenn für die Gewinnung von land- und forstwirtschaftlichen Flächen naturnahe Flächen umgewandelt werden. Eine intensive landwirtschaftliche Nutzung trägt zur erhöhten Bodenerosion und Verdichtung von Böden bei und damit zum Verlust der Bodenfruchtbarkeit. Ähnliches gilt auch für den oberflächennahen Rohstoffabbau, z. B. im Tagebau für die Gewinnung von Rohstoffen oder Energieträgern. Bei der Rohstoffgewinnung sowohl durch land- und forstwirtschaftliche Prozesse als auch durch den Bergbau sind die induzierten Flächeninanspruchnahmen zu berücksichtigen: Die Rohstoffgewinnung, z. B. durch Bergbau, erfordert die infrastrukturelle Erschließung der betreffenden Gebiete. Für Verkehrswege, Wohneinheiten etc. werden Flächen benötigt. Mit der Erschließung werden weitere Sektoren angezogen, die Flächen beanspruchen. Teilweise sind diese Flächenbelegungen größer als die Flächen für die Rohstoffgewinnung selbst (vgl. hierzu z. B. Sonter et al. 2017 für die induzierte Flächeninanspruchnahme des Bergbaus im Amazonasbecken und der dortigen Beanspruchung von natürlichen Regenwaldflächen). Menschenrechtliche Implikationen ergeben sich insbesondere, wenn durch die Flächeninanspruchnahme die Lebensgrundlage der lokalen Bevölkerung verloren geht. Dies kann bis hin zu Menschenrechtsverletzungen durch Landnahme, Zwangsumsiedlungen oder Vertreibung reichen.

Die Ergebnisse der MRIO-Analyse beschreiben im Folgenden die quantitative Flächeninanspruchnahme. Sie geben keine Auskunft über die Intensität der Nutzung. Die Ergebnisse dienen daher als Anhaltspunkt, in welchem Maße Flächen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des Fokussektors belegt werden.

2.3.6.1 Fokussektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern, Antriebselementen

Verteilung nach Lieferkettenstufen

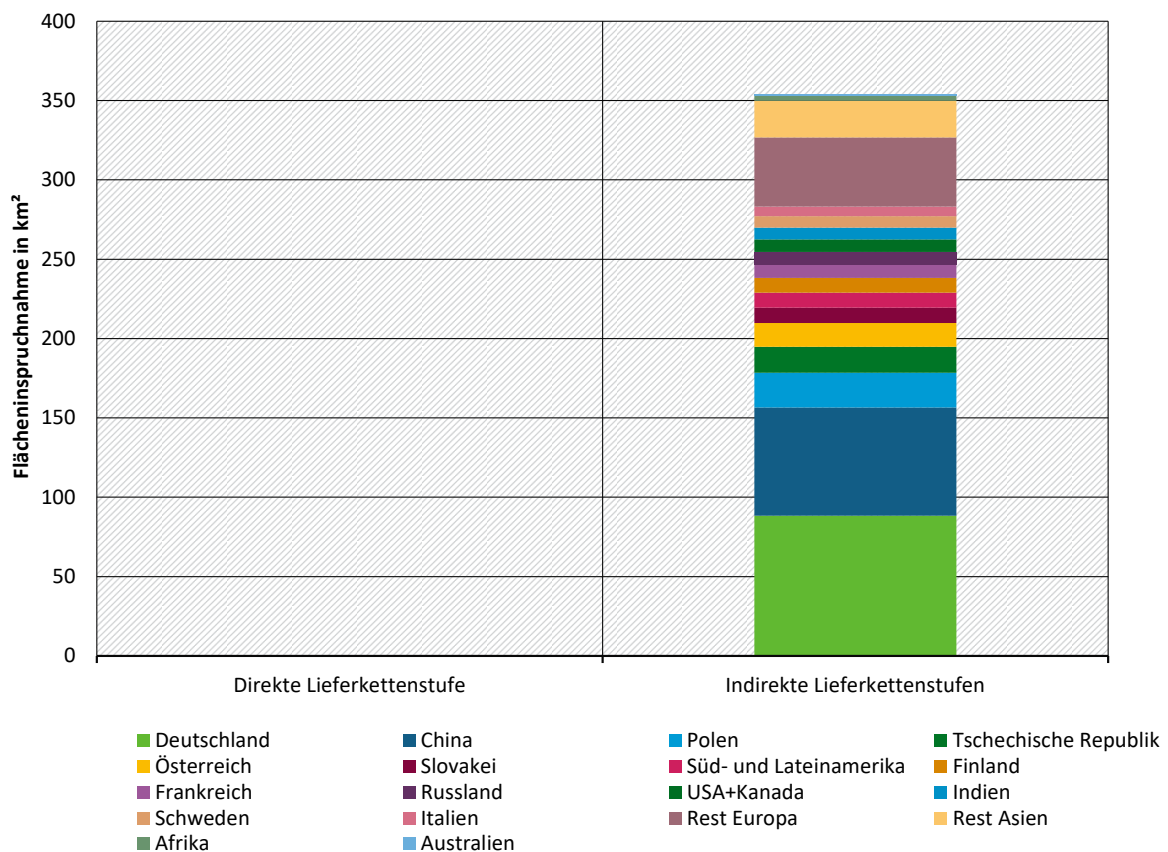
Die deutsche Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen nahm im Jahr 2019 ca. 354 km² Fläche in Anspruch. Die Flächeninanspruchnahme erfolgt so gut wie ausschließlich in der tieferen Lieferkette, wie in Abbildung 22 zu sehen ist.

Geografische Verteilung

Knapp ein Viertel der in den tieferen Lieferkettenstufen genutzten Flächen wird in Deutschland beansprucht (im Folgenden Abbildung 22). Ein weiterer großer Teil der Flächeninanspruchnahme – knapp 20 % – geht auf China zurück.

Die Flächeninanspruchnahme resultiert vor allem aus land- und forstwirtschaftlichen Prozessen, insbesondere zur Gewinnung von Basischemikalien aus natürlichen Ressourcen für die chemische Industrie. Ein wesentlicher Treiber für die im Vergleich zu Fokussektor 2 höhere Flächeninanspruchnahme sind pflanzliche Rohstoffe für Schmiermittel mit biogenen Anteilen. China ist aufgrund der Nahrungsmittelversorgung seiner Bevölkerung durch eine hohe Flächennutzungskonkurrenz geprägt, die sich in der Zurückdrängung natürlicher Flächen für die landwirtschaftliche Nutzung erkenntlich macht (Hayward 2020). Der Anbau von Dauerkulturen („Land under permanent crops“) führte zwischen 2010 und 2018 zu einem Anstieg der chinesischen Agrarfläche um 10 % (FAO 2021a). Parallel nahm die landwirtschaftliche Produktion für Nicht-Ernährungszwecke um 18 % zu (ebd.; indexbasierter Indikator „Gross Production Index Number Non-Food“). Letzteres Phänomen kann zu einer weiteren Verschärfung der Flächenkonkurrenz in China bzw. einer Veränderung der Landnutzung beitragen. Knapp 40 % der Flächen, die für die indirekte Wertschöpfungskette der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen genutzt werden, sind anderweitig in Europa zu verorten – vor allem in Polen (6 %), in der Tschechischen Republik und in Österreich (jeweils 4 %).

Abbildung 22: Flächeninanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3.6.2 Fokusssektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen

Verteilung nach Lieferkettenstufen

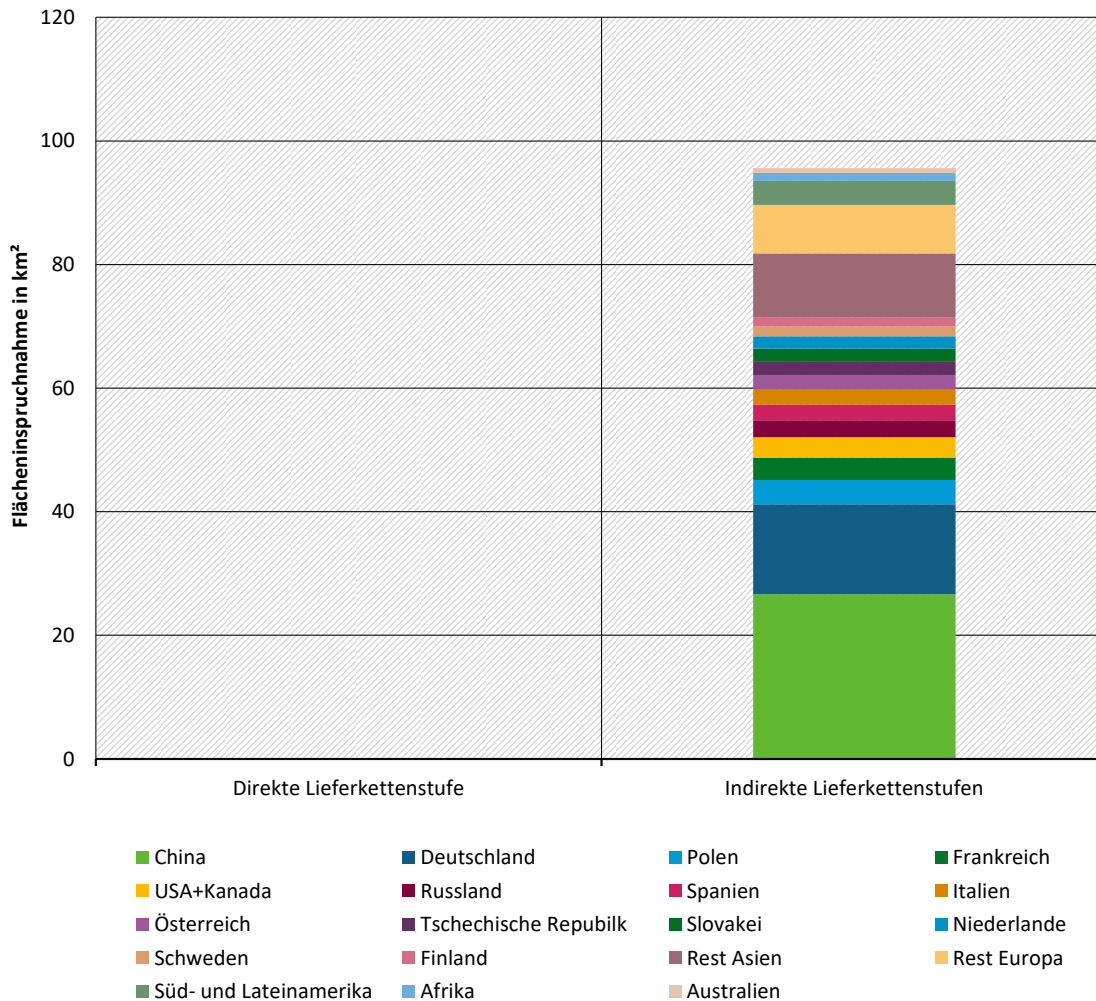
Für die Herstellung von Werkzeugmaschinen wurden im Jahr 2019 insgesamt 95,68 km² Fläche in Anspruch genommen. Wie Abbildung 23 verdeutlicht, erfolgt dies fast ausschließlich durch die Vorleistungen der direkten Lieferkette.

Geografische Verteilung

Ein relevanter Teil der Fläche wird auf den tieferen Lieferkettenstufen in Deutschland beansprucht (etwa 15 %). Im restlichen Europa werden etwa 36 % der gesamten Fläche für den Fokusssektor genutzt, insbesondere in Polen und Frankreich (je 4 %), Russland und Spanien (je knapp 3 %), Italien, Österreich und der Tschechischen Republik (jeweils etwa 2,5 %).

Der Großteil der Flächeninanspruchnahme erfolgt in China. Knapp 28 % der gesamten Fläche für die deutsche Herstellung von Werkzeugmaschinen wird in China genutzt. Im Rest Asiens sind es knapp 11 %. Wie auch bei Fokusssektor 1 geht die Flächeninanspruchnahme fast ausschließlich auf die Gewinnung land- und forstwirtschaftlicher Rohstoffe zurück, welche als Grundstoffe für die chemische Industrie oder als Energieträger dienen.

Abbildung 23: Flächeninanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3.6.3 Ergänzungen

Ergänzend zur quantitativen Analyse bietet das ENCORE-Tool weitere Anhaltspunkte für potenzielle negative Umweltauswirkungen hinsichtlich der Flächeninanspruchnahme durch Vorleistungssektoren des Maschinenbaus (im Folgenden ENCORE 2020):

- ▶ Die Gewinnung von Energieträgern, insbesondere beim Kohleabbau, führt zur Degradierung von natürlichen Flächen. Dies betrifft sowohl den Tagebau als auch den unterirdischen Abbau, bei dem Bodenabsenkungen und Erdbeben auftreten können (ENCORE 2020). Die Förderung von Erdöl und Erdgas geht ebenfalls mit hohen Risiken der Degradierung von natürlichen Flächen einher (ebd.). Auch die Flächeninanspruchnahme für die Gewinnung erneuerbarer Energien ist gemäß ENCORE als relevant einzustufen, da die Gewinnung von Wasserkraft, der Anbau von Bioenergieträgern und die Solarstromerzeugung Flächen beanspruchen (ebd.).
- ▶ Die Flächeninanspruchnahme zur Gewinnung von Erzen ist ebenfalls mit hohen negativen Auswirkungen auf die Umwelt verbunden. Folgen sind vor allem die Degradierung von Böden und erhöhte seismische Risiken sowie die Fragmentierung von Ökosystemen (ebd.).

- Des Weiteren ist die Flächeninanspruchnahme sowohl für land- als auch für forstwirtschaftliche Prozesse bei ENCORE mit hoher Relevanz eingestuft, insbesondere aufgrund der Gefahr von Bodenerosion und dem Verlust von Biodiversität bei der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen. Der forstwirtschaftliche Betrieb durch Plantagenbewirtschaftung und Holzeinschlag kann zur Degradierung von Ökosystemen und Böden sowie zu gesteigerter Waldbrandgefahr führen (ebd.).

Weitere Hinweise zu potenziellen negativen Umweltauswirkungen in Bezug auf die Flächeninanspruchnahme bietet der MVO Nederland CSR Risk Check. Dort wird insbesondere das Risiko von Biodiversitätsverlusten und Landnutzungsänderungen durch die Gewinnung von biogenen Energieträgern (MVO Nederland 2020) adressiert.

2.3.7 Wasser

Problemaufriss und (potenzielle) negative Auswirkungen

Im Folgenden wird der Verbrauch von sogenanntem Blauem Wasser betrachtet, d. h. die Entnahme von Süßwasser aus Gewässern und dem Grundwasser. Die Entnahme von großen Wassermengen aus (natürlichen) Wasserreservoirs kann zu Beeinträchtigungen der biologischen Vielfalt von Lebensräumen wie Flüssen, Seen und Feuchtgebieten bis hin zur Austrocknung führen. Die Folgen einer Wasserübernutzung sind insbesondere in Regionen mit saisonaler und/oder regionaler Wasserknappheit schwerwiegend. Ebenso besteht bei der Entnahme von Grundwasser die Gefahr, dass der Grundwasserspiegel sinkt. Die fehlende Verfügbarkeit von Wasser kann lokal den Anbau von Nahrungsmitteln, die Fischerei und die Trinkwasserversorgung beeinträchtigen und damit der dortigen Bevölkerung die Lebensgrundlage entziehen (UBA 2018). Darüber hinaus können Wassernutzungskonflikte lokale Konflikte verschärfen oder zur Benachteiligung von lokalen Bevölkerungsgruppen beitragen.

2.3.7.1 Fokussektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern, Antriebselementen

Verteilung nach Lieferkettenstufen

Insgesamt wurden in der vorgelagerten Wertschöpfungskette der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen im Jahr 2019 etwa 16 Mio. m³ Wasser verbraucht. Das sind etwa 0,82 Liter pro EUR Umsatz. Der Wasserverbrauch in der Lieferkette entsteht zu knapp 30 % auf der direkten Lieferkettenstufe (Abbildung 24).

Geografische Verteilung

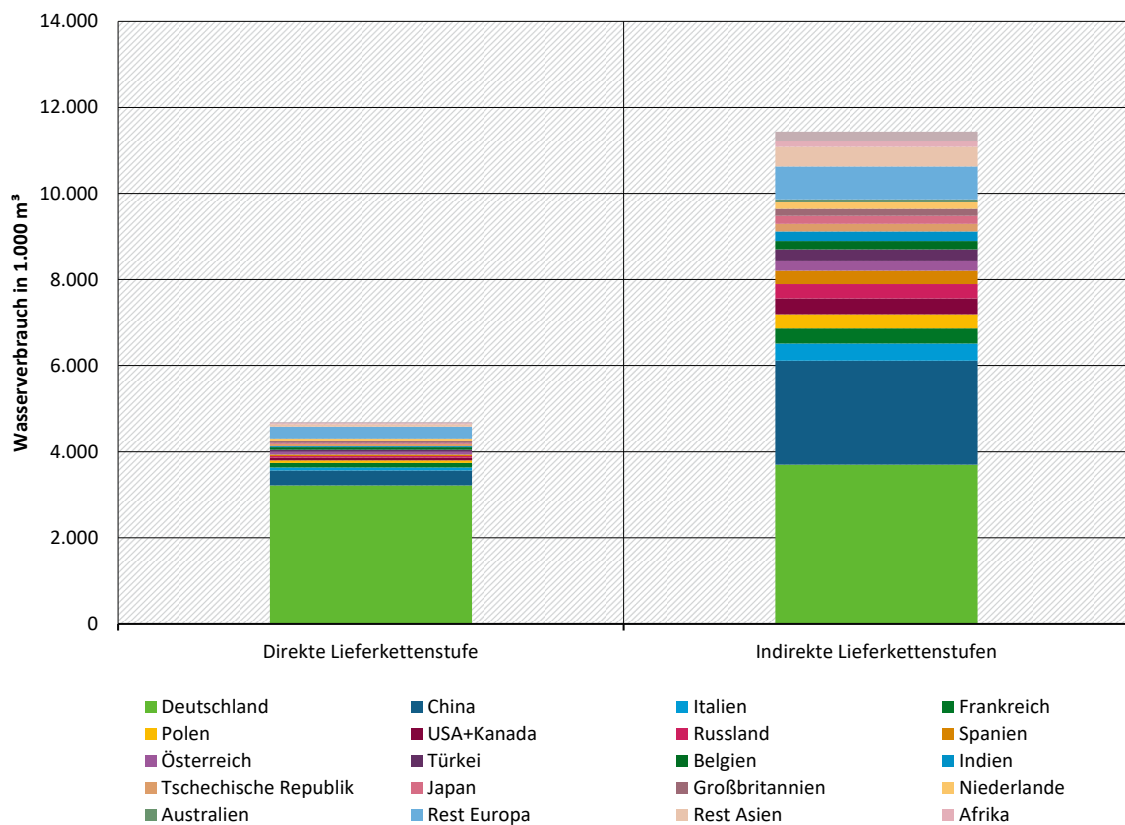
Sowohl auf der direkten Lieferkettenstufe als auch in der tieferen Lieferkette findet der größte Wasserverbrauch in Deutschland statt. Insgesamt werden in der Lieferkette für die Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen in Deutschland knapp 7 Mio. m³ und damit 43 % des Wassers verbraucht. Etwa 4,6 Mio. m³ Wasser entfallen auf das restliche Europa, insbesondere Italien, Frankreich, Polen und Russland (jeweils etwa 0,37 bis 0,47 Mio. m³).

Eine weitere Region, die in der Lieferkette des Fokussektors einen hohen Wasserverbrauch aufweist, ist Asien. Etwas über 70 % der 3,7 Mio. in Asien verbrauchten m³ Wasser gehen auf China zurück. Die größten Wasserverbräuche entstehen durch Vorleistungen des metallherstellenden und -verarbeitenden Sektors sowie bei der Stromversorgung für Lieferanten und Vorlieferanten. Insbesondere der Nordosten Chinas mit den Provinzen Hebei mit Peking und Shandong besitzt gemäß des WWF Water Risk Filters (WWF 2020) hohe bis sehr hohe Risiken der Wasserknappheit. Beide Provinzen sind durch die Stahl- und Metallindustrie sowie die Kohleverstromung geprägt. Künftig ist in dieser Region mit einer signifikanten Verschärfung

der lokalen Wasserknappheit innerhalb der nächsten zehn Jahre zu rechnen. Die Szenarioanalyse des WWF Water Risk Filters für künftige Wasserknappheitsrisiken angesichts steigender Temperaturen weist vor allem für Nordostchina deutliche Verschärfungen auf (WWF 2020).

In den USA und Kanada summiert sich der Wasserverbrauch des Fokussektors auf insgesamt 0,4 Mio. m³ und somit auf etwas mehr als in den jeweiligen Ländern auf dem Europäischen Kontinent, Italien, Frankreich, Polen und Russland. Der Wasserverbrauch des Fokussektors in Süd- und Lateinamerika ist mit etwa 0,2 Mio. m³ deutlich niedriger.

Abbildung 24: Wasserverbrauch entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen

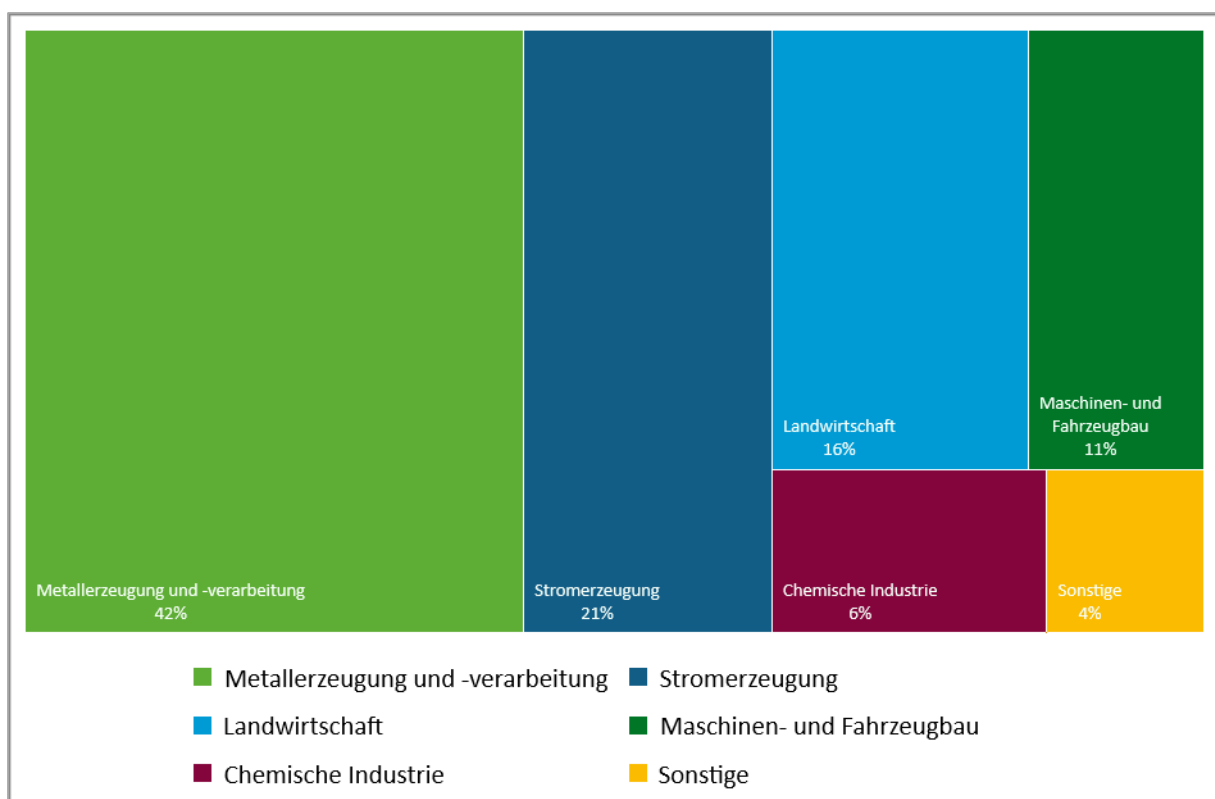


Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung

Das meiste Wasser in der Lieferkette der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen – knapp über 40 % – wird durch die Metallherzeugung und -verarbeitung verbraucht. In der Metallverarbeitung kommt Wasser vor allem zur Prozesskühlung, der Abführung von Abfällen, zur Feinstaubbindung sowie bei der Löschung in der Kokerei zum Einsatz. Abbildung 25 weist darüber hinaus vier weitere Sektoren aus, die wichtige Verbraucherposten darstellen – darunter die Stromerzeugung (21 % des gesamten Wasserverbrauchs) und die Landwirtschaft (16 % des gesamten Wasserverbrauchs). Der Wasserverbrauch durch landwirtschaftliche Prozesse geht auf die Gewinnung bzw. den Anbau und den Bezug chemischer Grundstoffe aus der Landwirtschaft für Schmierstoffe zurück.

Abbildung 25: Sektorale Verteilung des Wasserverbrauchs in der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebsselementen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3.7.2 Fokusssektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen

Verteilung nach Lieferkettenstufen

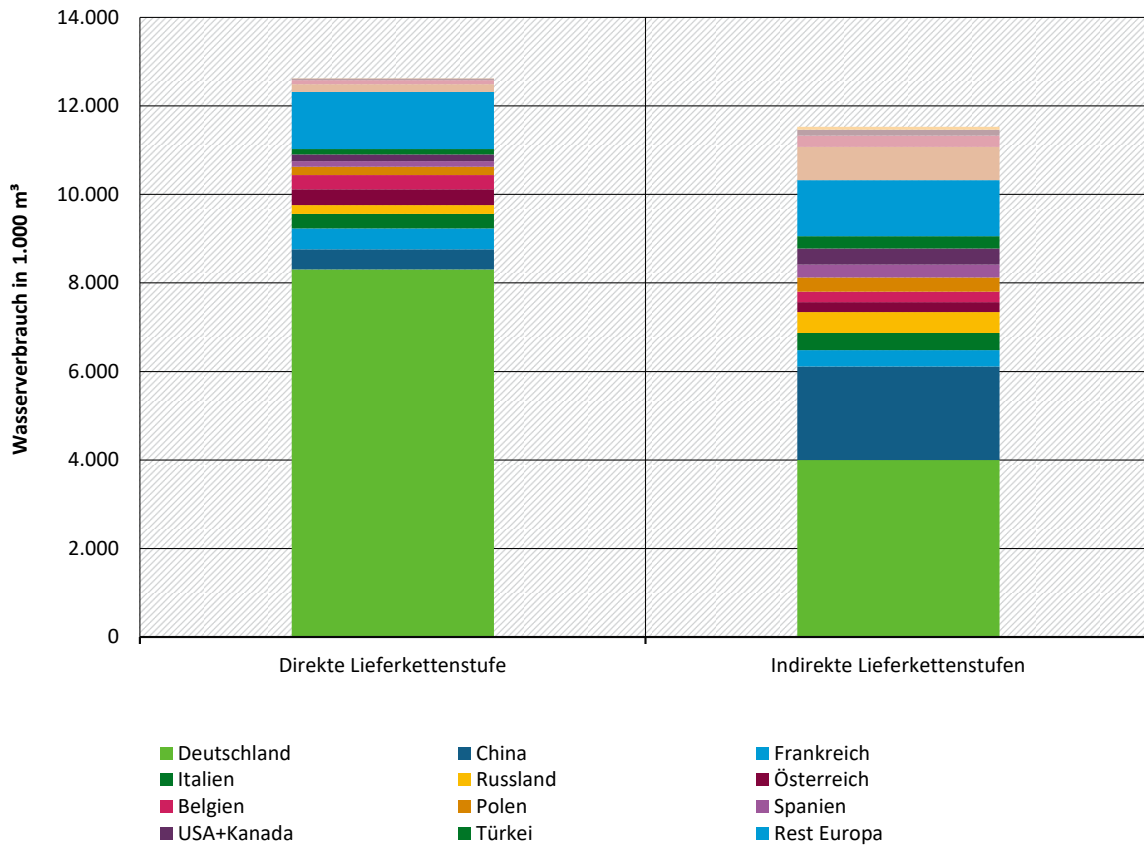
Der Wasserverbrauch in der vorgelagerten Wertschöpfungskette der Herstellung von Werkzeugmaschinen betrug im Jahr 2019 etwa 24 Mio. m³. Das sind 1,73 Liter pro EUR Umsatz. Der hohe Wasserbedarf entsteht vor allem durch die Metallverarbeitung und-erzeugung, insbesondere auf der direkten Lieferkettenstufe.

Geografische Verteilung

Auf Vorlieferanten aus Deutschland entfällt ein hoher Anteil des Wasserverbrauchs (51 %; Abbildung 26). Dies geht vor allem auf Lieferanten der metallherzeugenden und -verarbeitenden Industrie sowie auf die Stromerzeugung zurück. Beide Vorleistungssektoren benötigen Wasser für Kühlprozesse. Etwa 11 % des Wasserverbrauchs in der vorgelagerten Wertschöpfungskette liegen in China. Wie auch bei Fokusssektor 1 beschrieben sind die industriell geprägten Regionen im Nordosten Chinas von Wasserknappheitsrisiken betroffen, sodass sich hieraus auch Risiken für Unternehmen des Werkzeugmaschinenbaus ergeben.

Etwa 30 % des Wasserverbrauchs gehen auf europäische Länder zurück, wobei insbesondere Spanien und die Türkei mit den dortigen Industrieclustern der Schwerindustrie Wasserknappheitsrisiken unterliegen (vgl. hierzu auch WWF 2020). Weitere 4 % des Wassers entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette werden im restlichen Asien verbraucht, insbesondere in Indien, Japan und Südkorea.

Abbildung 26: Wasserverbrauch entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen (in 1.000 m³)



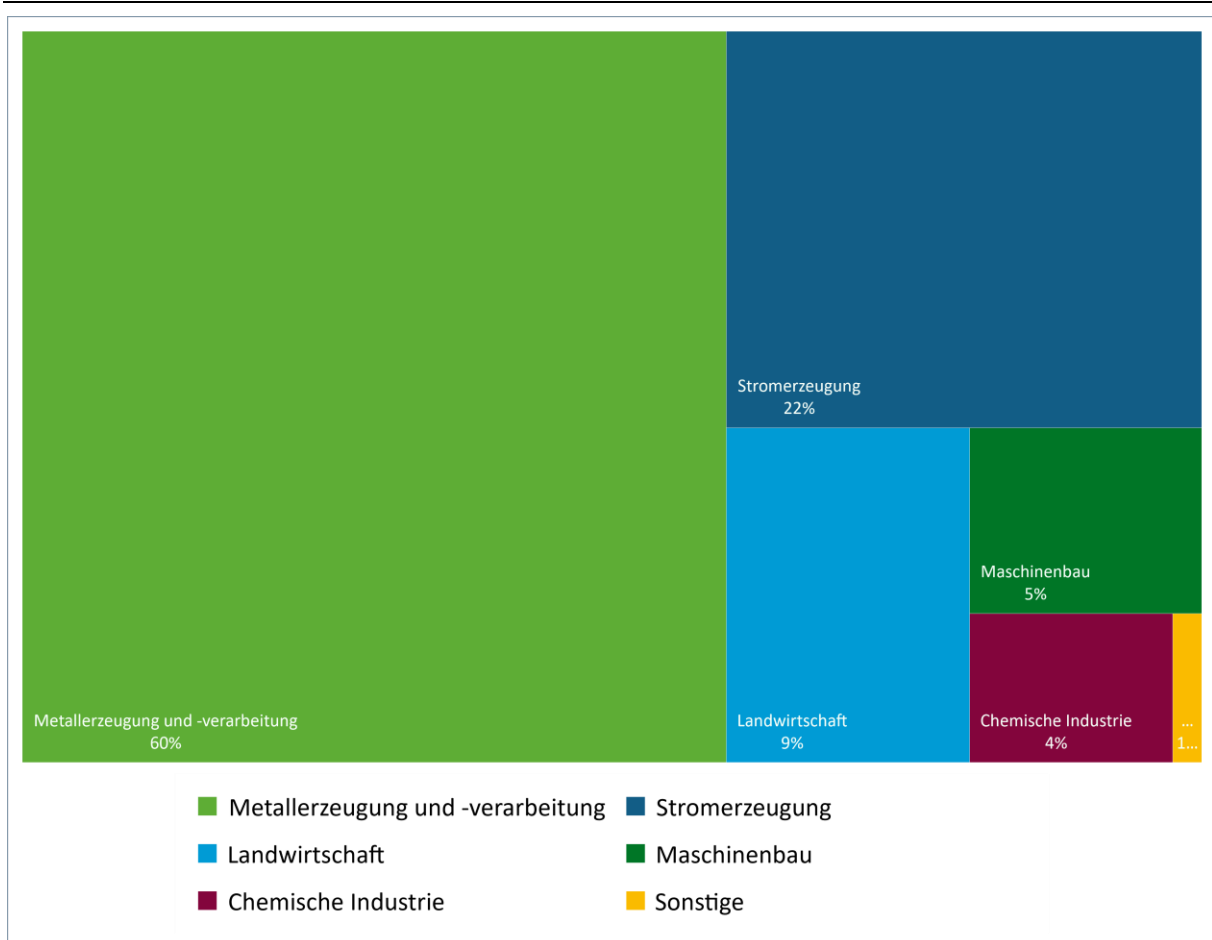
Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung

Sektoral betrachtet verteilt sich der Wasserverbrauch über die gesamte vorgelagerte Wertschöpfungskette hinweg vor allem auf die metallherzeugende und -verarbeitende Branche mit einem Anteil von 60 %, wie Abbildung 27 zeigt. In der Metallverarbeitung kommt Wasser vor allem zur Prozesskühlung, der Abführung von Abfällen, zur Feinstaubbindung sowie bei der Löschung in der Kokerei zum Einsatz. Wie oben dargestellt, ist dies in Regionen mit hohem Wasserknappheitsrisiko kritisch zu bewerten.

Etwa 22 % des Wasserverbrauchs gehen auf die Stromproduktion entlang der Wertschöpfungskette zurück, insbesondere in Deutschland und China. Weitere 9 % machen landwirtschaftliche Prozesse aus, z. B. für die Energieerzeugung und die Gewinnung von Grundstoffen.

Abbildung 27: Sektorale Verteilung des Wasserverbrauchs entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3.7.3 Ergänzungen

Zur Identifizierung von negativen Umweltauswirkungen in Regionen mit Wasserknappheit eignet sich die Nutzung des Indikators „Scarcity Risk“ des WWF Water Risk Filters, mit dem kritische Regionen lokalisiert werden können (WWF 2020). Der Indikator aggregiert sieben risikobasierte Bewertungen bzw. Knappheitsindikatoren zur Verfügbarkeit und zur Nutzung von Süßwasser¹³ (Risikoeinstufung von 0 = sehr niedrig bis 5 = sehr hoch). Innerhalb Europas ist vor allem für Spanien das aggregierte Wasserknappheitsrisiko als besonders hoch ausgewiesen. Dies betrifft u. a. die Region Katalonien als wichtigste Industrieregion Spaniens sowie den Großraum Madrid als ebenfalls wichtiger Industriecluster in Spanien. In der Türkei besteht für die Industriezentren um Bursa und Izmir mit der dortigen Schwerindustrie ein hohes Wasserknappheitsrisiko. Beim Wasserverbrauch in China ist ebenfalls die dortige Wasserknappheit zu berücksichtigen, insbesondere bei Vorleistungen aus der metallerzeugenden und -verarbeitenden Industrie sowie bei der Stromversorgung für Lieferanten und Vorlieferanten im Nordosten Chinas mit hohen bis sehr hohen Risiken für Wasserknappheit. Die dortigen Provinzen sind durch die Stahl- und Metallindustrie sowie durch Kohleverstromung geprägt. Ein ähnliches Bild ergibt sich für den Rest Asiens. Beispielsweise finden sich die großen industriellen Ballungszentren Indiens mit der Stahlindustrie sowie der

¹³ Aridity; water depletion; baseline water stress; blue water scarcity; available water remaining; drought frequency probability; projected change in drought occurrence (WWF 2020). Water Risk Filter. Methodology. Link: <https://waterriskfilter.panda.org/en/Explore/DataAndMethod>

Metallerzeugung und -verarbeitung fast ausschließlich in Regionen mit sehr hoher Risikoausprägung von Wasserknappheit. Sowohl für Indien als auch für China ist außerdem zu berücksichtigen, dass mit einer signifikanten Verschärfung der lokalen Wasserknappheit innerhalb der nächsten zehn Jahre zu rechnen ist. Die Szenarienanalyse des WWF Water Risk Filters für künftige Wasserknappheitsrisiken angesichts steigender Temperaturen weist vor allem für Nordindien und Nordostchina deutliche Verschärfungen auf (WWF 2020).

Die Bewertung negativer ökologischer Auswirkungen von Sektoren bezogen auf deren Wasserverbrauch im ENCORE-Tool ergibt ein ähnliches Bild (im Folgenden ENCORE 2020). ENCORE verzeichnet hohe negative Auswirkungen beim Wasserverbrauch für die Sektoren der Metallerzeugung und -verarbeitung sowie der Stromerzeugung. Bei der Metallerzeugung und -verarbeitung geht der hohe Wasserverbrauch laut ENCORE auf die Flotation, Verhüttung und Raffination sowie in der Metallverarbeitung auf die Dampferzeugung, Kühlung, Staubkontrolle und die Schlammbehandlung zurück. Bei der Stromerzeugung wird das Wasser für Kühlzwecke benötigt. Darüber hinaus weist ENCORE bei der Nutzung von Strom aus Wasserkraft auf die starke Verdunstung bei Stauseen aufgrund der großen Wasseroberfläche hin. Landwirtschaftliche Prozesse weisen ebenfalls eine hohe Einstufung der negativen ökologischen Auswirkungen beim Wasserverbrauch auf (ENCORE 2020), sofern es sich um industrielle Anbaumethoden mit künstlicher Bewässerung handelt. Darüber hinaus bewertet ENCORE die Gewinnung von Bodenschätzen in Bezug auf den Wasserverbrauch als sehr relevant. Wasser wird entlang des gesamten Förderprozesses benötigt, insbesondere zur Kühlung, zur Staubunterdrückung sowie zur Auslösung von Bodenschätzen. Beim Abbau von Bodenschätzen ist zudem die Entwässerung von Gruben zu berücksichtigen.¹⁴ Das Abpumpen kann zur Grundwassersenkung führen.

Mit Blick auf die Gewinnung einzelner mineralische Rohstoffe in Regionen mit einem Risiko der Wasserknappheit bewertet ÖkoRess II (Dehoust et al. 2020b) die folgenden Metalle mit einem hohem Umweltgefährdungspotenzial in der Kategorie „Wasserstress“:

- ▶ Chrom aufgrund der Abbaugelände vor allem in Südafrika, der Türkei und Kasachstan
- ▶ Kupfer mit dem Hauptabbauort Chile, welches im Nordteil ein sehr hohes Wasserknappheitsrisiko hat (siehe oben)
- ▶ Magnesium: China ist das wichtigste Abbauort, u. a. am Qarhan-Salzsee in der Provinz Qinghai im Landesinneren, wo zurückgehende Wasserstände verzeichnet werden, ebenso am Great Salt Lake in Utah in den USA und am Toten Meer in Israel (Schmitz 2019, S. 11).

Weitere Informationen zu einzelnen metallischen Rohstoffen finden sich in Kapitel 3.

2.3.8 Wassergefährdende Schadstoffe

Problemaufriss und (potenzielle) negative Auswirkungen

Zur exemplarischen Analyse wassergefährdender Stoffe entlang der Wertschöpfungskette der Fokussektoren wurde der Gewässereintrag der ausgewählten Schwer- bzw. Halbmetalle Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Quecksilber in EXIOBASE modelliert. Die Ökotoxizität dieser Schwermetalle ist in DCB-Äquivalenten (1,4-Dichlorbenzol) an Einträgen in Süßwasser angegeben.

¹⁴ In den dargestellten Ergebnissen aus der MRIO-Analyse zum Wasserverbrauch ist die Grubenentwässerung nicht enthalten. Daten hierzu sind in der genutzten EXIOBASE-Version 3.7. nicht vorhanden.

Hohe Konzentrationen von Schwermetallen im Wasser gefährden Lebewesen und die menschliche Gesundheit (im Folgenden UBA 2019b). Bei Überschreitung bestimmter Konzentrationen können Wachstumsstörungen bei Pflanzen und Organismen, Störungen bei der Reproduktion von Lebewesen und der mikrobiologischen Stoffumsetzung auftreten, die zum Absterben von Arten führen. Humantoxikologisch schädigen hohe Schwermetallkonzentrationen den menschlichen Organismus. Blei beispielsweise beeinflusst die neurologische Entwicklung von Kindern und kann die Nieren schädigen. Cadmium beeinträchtigt ebenfalls die Nierenfunktion und führt bei vorgeschädigten Personen zu einem erhöhten Krankheitsrisiko. Zudem zählt Cadmium zu den krebserregenden Stoffen. Quecksilber schädigt ebenfalls die Nieren und wirkt neurotoxisch. Die Modellierung kann nur Anhaltspunkte liefern, da die Daten zu den Gewässereinträgen sehr stark von der Datenlage und -qualität in den jeweiligen Ländern abhängen, d. h. ein hoher Eintrag an wassergefährdenden Stoffen kann auch auf eine gute Datenlage in dem Land zurückgehen. Darüber hinaus ist anzumerken, dass die Schwermetalleinträge (DCB-Äquivalente) vor allem auf Kupfer, Nickel und Chrom zurückgehen und diese die Modellierungsergebnisse sehr stark beeinflussen (Anteil von über 90 % bei beiden Fokussektoren).

Darüber hinaus wurde die regionale Analyse des WWF Water Risk Filters zum biochemischen Sauerstoffbedarf (Biochemical Oxygen Demand, BOD) herangezogen. Der BOD-Wert gilt als Bewertungsparameter für Wasserverschmutzung und bezeichnet die Menge an notwendigem Sauerstoff, um enthaltenes organisches Material biologisch zu zersetzen (in Abgrenzung zum COD – Chemical Oxygen Demand, welcher die chemische Oxidation misst). Verschmutztes Wasser kann die Menge an verfügbarem Sauerstoff verringern.

Insgesamt kann der Eintrag wassergefährdender Stoffe negative Auswirkungen auf die Lebewesen im Gewässer haben und das Ökosystem beeinträchtigen. Die Verschmutzung von Gewässern kann ebenfalls mit negativen Folgen für die lokale Bevölkerung einhergehen (UN 2021), wenn der Zugang zu sauberem Wasser nicht mehr gewährleistet ist (Recht auf Zugang zu sauberem Wasser). Ist das Wasser verschmutzt, steht es nicht mehr als Trinkwasser oder zur Bewirtschaftung von Feldern zur Verfügung oder kann, wenn es trotzdem genutzt wird, zu gesundheitlichen Schäden führen. Darüber hinaus können Fischbestände dezimiert werden, die als Nahrungs- (Recht auf Nahrung) und Einkommensquelle (Recht auf Arbeit) der einheimischen Bevölkerung dienen. Der Eintrag von wassergefährdenden Stoffen beeinträchtigt (potenziell) die Gesundheit von Menschen und somit das Menschenrecht auf den Schutz der Gesundheit.

2.3.8.1 Fokussektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern, Antriebselementen

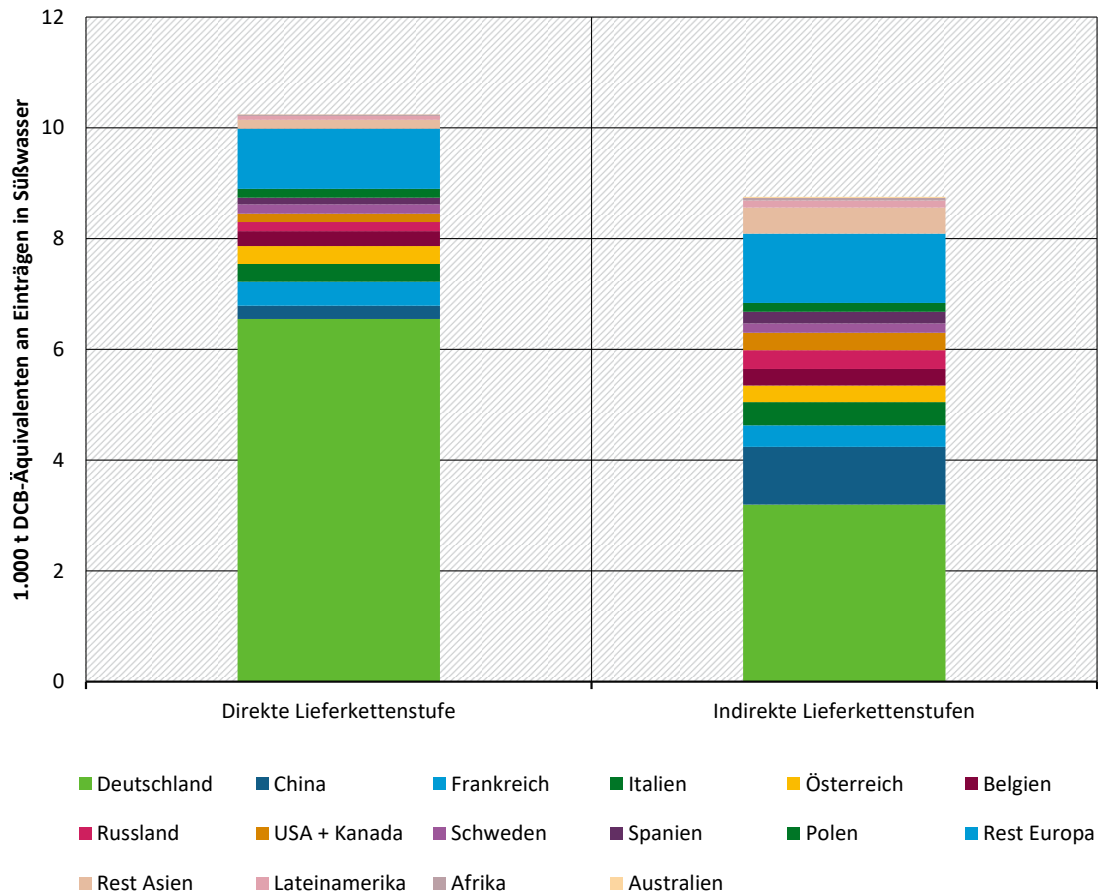
Verteilung nach Lieferkettenstufen

Wie Abbildung 28 zeigt, sind bereits auf der Stufe der direkten Lieferanten (tier 1) Schwermetalleinträge ins Wasser zu verzeichnen. Der Anteil dieser Stufe ist mit 54 % an den gesamten Schwermetalleinträgen sogar höher als in den gesamten vorgelagerten Stufen.

Geografische Verteilung

Die Modellierung ergibt einen Anteil von 52 % der Schwermetalleinträge bei Lieferanten und Vorlieferanten in Deutschland sowie von weiteren 37 % entlang der Wertschöpfungskette in Europa (inkl. Russland und der Türkei) (siehe Abbildung 28). Dabei sind Schwermetalleinträge vor allem in den westeuropäischen Ländern Frankreich, Italien, Österreich und Belgien zu verzeichnen. Es ist davon auszugehen, dass das Bild durch eine vergleichsweise gute Datenqualität in den europäischen Ländern beeinflusst ist. In China wurden knapp 7 % der Einträge der untersuchten Schwermetalle identifiziert, 2 % im Rest Asiens. Die Schwermetalleinträge sind hauptsächlich auf den tieferen Lieferkettenstufen zu finden.

Abbildung 28: Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen anhand von acht ausgewählten Schwer- und Halbmetallen (in Tonnen DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser)

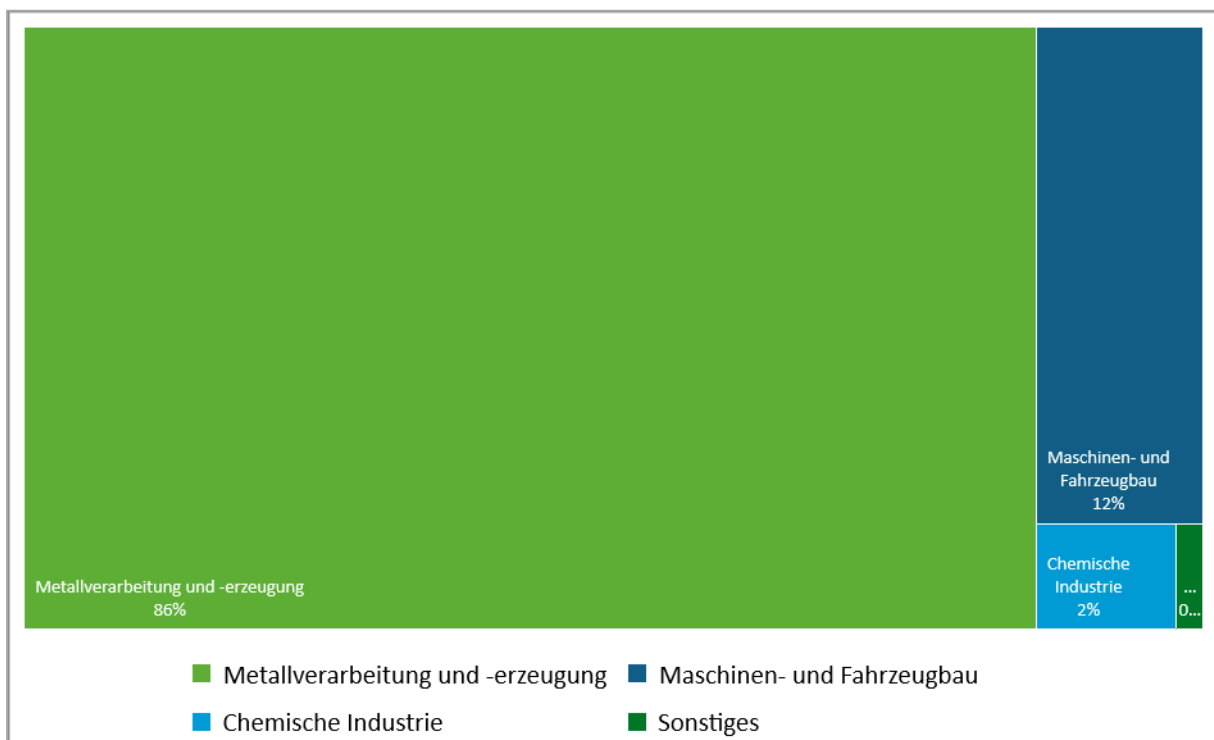


Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung der Einträge von ausgewählten Schwermetallen

Die sektorale Verteilung der Modellierung der sechs Schwermetalleinträge ins Wasser zeigt den Schwerpunkt bei metallverarbeitenden und -erzeugenden Prozessen, wie Abbildung 29 verdeutlicht. Auf diesen Sektor gehen 85 % der aggregierten Schadstoffeinträge der untersuchten Schwermetalle zurück. Lieferanten und Vorlieferanten aus dem Maschinen- und Fahrzeugbausektor machen etwa 12 % der untersuchten Schwermetalleinträge aus, die chemische Industrie etwa 2 %. Bei den untersuchten Schwermetallen besitzt der Sektor der Metallverarbeitung und -erzeugung stets den weitaus größten Anteil. Es ist darauf hinzuweisen, dass der Eintrag von Schwermetallen in Gewässer bei der Rohstoffgewinnung bzw. beim Bergbau aufgrund der schlechten Datenlage nur unzureichend in den multiregionalen Input-Output-Modellen abgebildet ist. Sektorale ist daher von einem deutlich höheren Anteil der Rohstoffgewinnung auszugehen.

Abbildung 29: Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen anhand von acht ausgewählten Schwer- und Halbmetallen (Bewertung mittels DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser)



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3.8.2 Fokussektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen

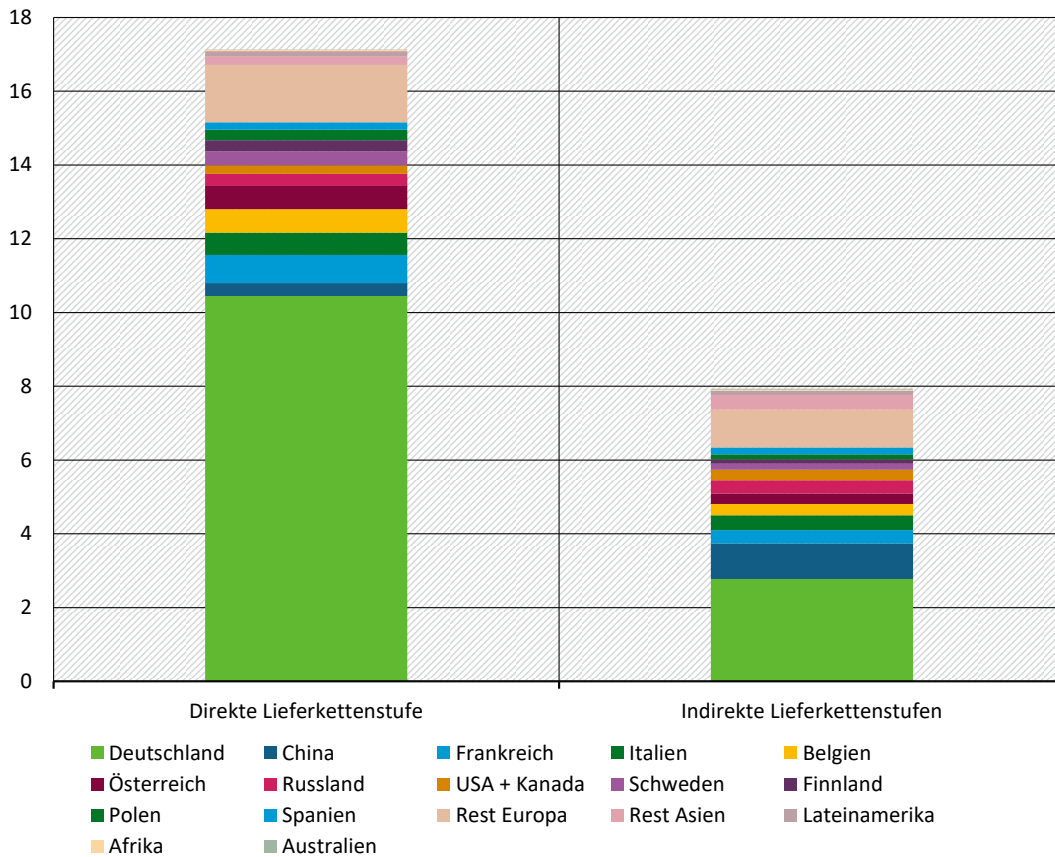
Verteilung nach Lieferkettenstufen

Die Analyse der Modellierung der Lieferkette anhand der MRIO-Tabellen zeigt, dass auf der direkten Lieferkettenstufe (tier 1) fast doppelt so viele Schwermetalleinträge in Süßwasser vorzufinden sind wie auf den vorgelagerten Stufen insgesamt (siehe Abbildung 30). Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Bild durch die Datenqualität in den Ländern beeinflusst wird. Darüber hinaus kauft der Werkzeugmaschinenbau Vorprodukte bei Lieferanten ein, bei denen Veredelungsprozesse (z. B. die Beschichtung von Metallen) stattfinden, die Schwermetalleinträge verursachen. Diese Folgen sind im Kapitel 3 anhand des Verfahrens der Galvanisierung beispielhaft dargestellt.

Geografische Verteilung

Anhand der Modellierung treten 53 % der Schwermetalleinträge bei Lieferanten und Vorlieferanten in Deutschland auf. Weitere 36 % der Schwermetalleinträge in das Süßwasser erfolgen entlang der Wertschöpfungskette in Europa (inkl. Russland und der Türkei), darunter v. a. in Frankreich, Italien, Belgien und Österreich. In China sind etwa 5 % der Einträge der untersuchten Schwermetalle zu verzeichnen, 2 % im Rest Asiens.

Abbildung 30: Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen anhand von acht ausgewählten Schwer- und Halbmetallen (in Tonnen DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser)



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung der Einträge von ausgewählten Schwermetallen

Sektoral entstehen die meisten Schwermetallbelastungen in Gewässern entlang der Wertschöpfungskette des deutschen Werkzeugmaschinenbaus in der metallherzeugenden und -verarbeitenden Industrie (siehe Abbildung 31). In Kapitel 3.3.4 sind vertiefte Informationen zu Schwermetallbelastungen durch die Metallverarbeitung zu finden. Lieferanten und Vorlieferanten aus dem Maschinen- und Fahrzeugbaubau verursachen weitere 5 % der Schwermetalleinträge. Die Schwermetalleinträge der chemischen Industrie machen knapp 2 % aus.

Bei allen untersuchten Schwermetallen macht der metallherzeugende und -verarbeitende Sektor stets den größten Anteil aus. Der Eintrag von Schwermetallen in das Süßwasser bei der Gewinnung bzw. beim Abbau der Metalle ist jedoch nur unzureichend in den multiregionalen Input-Output-Modellierungen abgebildet. Sektoral ist daher bei der Rohstoffgewinnung von einem deutlich höheren Anteil auszugehen.

Abbildung 31: Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen anhand von acht ausgewählten Schwer- und Halbmetallen (Bewertung mittels DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser)



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3.8.3 Ergänzungen

Eine weitere Annäherung zur Bestimmung der Einträge wassergefährdender Stoffe bietet der WWF Water Risk Filter mit der Anzeige des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BOD) als Bewertungsparameter für die Wasserverschmutzung. Bereits innerhalb Deutschlands zeigt sich anhand der regionalisierten Aufschlüsselung des WWF Water Risk Filters ein hohes bis sehr hohes Risiko für Gewässerverschmutzung. Mit dem hohen Wertschöpfungsanteil innerhalb Deutschlands besteht somit bereits für inländische Lieferanten und Vorlieferanten ein erhöhtes Risiko für Wasserverschmutzung. Weitere hohe bis sehr hohe Risiken ergeben sich für die osteuropäischen Länder, in denen ebenfalls vorgelagerte Prozesse und Wertschöpfung verortet sind. Dasselbe trifft auch für Südeuropa zu, insbesondere für Spanien und Italien, die im WWF Water Risk Filter ebenfalls als Risikogebiete ausgewiesen sind, darüber hinaus für die Türkei mit den Industriezentren im Westen des Landes. Für China ist ein sehr hohes Risiko für Gewässerverschmutzung entlang der Küstenregionen festzustellen, in denen sich auch die wichtigen Industriecluster befinden, sowie im Nordosten des Landes die energieintensive Schwerindustrie mit dem metall erzeugenden und -verarbeitenden Sektor. Ein ähnliches Bild zeigt sich für Indien, wo für die wichtigen Industriezentren, in denen u. a. die metall erzeugenden und -verarbeitenden Vorstufen angesiedelt sind, ebenfalls hohe bis sehr hohe Risiken identifiziert werden können.

ENCORE weist eine hohe Relevanz der Wasserverschmutzung bei der Gewinnung von Rohstoffen und Energieträgern aus (ENCORE 2020). ENCORE verweist auf die Belastung durch Schwermetalle sowie durch schwefelsäurehaltige Einträge, Zyanid, Quecksilber und Arsen. Eine sehr hohe Bedeutung der Gewässerverschmutzung identifiziert ENCORE für die Gewinnung von Erdöl und Erdgas auf See aufgrund des hohen Verschmutzungspotenzials bei Störfällen.

Der MVO Nederland CSR Risk Check identifiziert Risiken für Gewässerverschmutzung bei der Gewinnung von fossilen Energieträgern. Dies betrifft sowohl die Gewinnung von Kohle als auch von Erdöl. Der CSR Risk Check weist insbesondere auf die lokalen Belastungen von Gewässern, u. a. mit Schwermetallen, in den Regionen der Erdölförderung in Afrika, Südamerika, Südasiens und Osteuropa hin (MVO Nederland 2020). Die Gewinnung von metallischen Rohstoffen wird aufgrund von Schwermetallbelastungen sowie aufgrund saurer Grubenwässer in den Abbauregionen ebenfalls mit hohen Risiken für Gewässerverschmutzung bewertet. Saure Bergbauabflüsse, Haldenwässer und Sickerwässer haben die Versauerung von Böden und Gewässern zur Folge und können die dortigen Pflanzen schädigen (Dehoust et al. 2020b). Außerdem können sie zur Freisetzung von Schwermetallen aus Erzen und den Reststoffen sowie zur Mobilisierung von eingelagerten Schwermetallen aus Böden und Sedimenten führen. Darüber hinaus identifiziert der MVO Nederland CSR Risk Check Risiken in den Vorleistungssektoren der chemischen Industrie durch unzureichende Abwasseraufbereitung.

2.3.9 Abfälle

Problemaufriss und (potenzielle) negative Auswirkungen

Abfälle stellen eine Gefahr für die Umwelt dar, indem sie Flächen in Anspruch nehmen, zu Schadstoffemissionen in Luft, Wasser und Böden führen können und – falls sie entsorgt statt recycelt werden – wertvolle Ressourcen vernichtet werden. Gefährliche Abfälle können auch menschenrechtliche Auswirkungen haben, da Schadstoffe gesundheitsgefährdend sein können. In einigen Regionen werden zudem toxische Abfälle zum Teil offen verbrannt oder sie fangen Feuer. Dies geht mit einer erhöhten Emission von Treibhausgasen und insbesondere Luftschadstoffen einher, welche die Gesundheit von Pflanzen, Tier und Mensch gefährden.

Im Folgenden werden die aufgetretenen Abfälle entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette mithilfe der erweiterten MRIO quantifiziert. Dabei wurden folgende Indikatoren herangezogen:

- Die Menge an gefährlichen Abfällen, die entsorgt bzw. deponiert werden
- Die Menge an gefährlichen Abfällen, die ins Recycling fließen
- Die Menge an nicht gefährlichen Abfällen, die entsorgt bzw. deponiert werden
- Die Menge an nicht gefährlichen Abfällen, die ins Recycling fließen

Es ist darauf hinzuweisen, dass die nachfolgenden Ausführungen ausschließlich Abfälle entlang der Produktionskette adressieren. Die Entsorgungs- bzw. Verwertungswege von gebrauchten Maschinen am Ende von deren Nutzungszeit sind nicht Gegenstand der Untersuchung.

Einen besonderen Aspekt stellen die Abfälle in der bergbaulichen Gewinnung dar. Mit der Bewegung von großen Mengen an Material zur bergbaulichen Rohstoffgewinnung entstehen große Mengen an Abfall. Potenzielle negative Umweltauswirkungen der bergbaulichen Gewinnung entstehen zum einen durch die Mengenflüsse und zum anderen durch mögliche Auswirkungen der stofflichen Eigenschaften der Abfälle auf die Umwelt (vgl. im Folgenden Priester und Dolega 2015, S. 17-19).

1. Potenzielle negative Umweltauswirkungen beim Bergbau durch Mengenflüsse:
 - Flächeninanspruchnahme durch die Gewinnung der Rohstoffe und durch Halden für Reststoffe bzw. Abraum
 - Vegetations- und Bodenzerstörung durch den Abtrag und die Überdeckung durch Halden

- Verlust von Lebensräumen und Landschaftsveränderung durch den Abbau
 - Verschlammung von Oberflächenwässern durch Erosion der Reststoffe, quantitativer Eingriff in den lokalen Wasserhaushalt, u. a. durch Versiegelung und Drainagen
2. Potenzielle negative Umweltauswirkungen beim Bergbau infolge der stofflichen Eigenschaften der Abfälle:
- Versauerung, Sauerwässer, Acid Mine Drainage, d. h. saure Abflüsse mit sulfidischen Mineralen in den Reststoffen mit potenziell toxischen Auswirkungen auf Organismen
 - Verschmutzung von Wasser und Boden durch toxische Stoffe aus den Mineralgemischen und gelösten Stoffen
 - Staubbelastung durch Prozesse und Winderosion, die insbesondere in Hinblick auf Asbest, Quarz, silikatische Minerale und Kohlestaub problematisch sind
 - Befrachtung von Flüssen durch Mineral-Suspensionen
 - Radioaktivität bzw. Strahlenbelastung der Reststoffe, z. B. durch Halden
 - Risiken durch instabile Lagerungsverhältnisse auf Halden und in Schlammteichen (Dämme von Schlammteichen können z. B. leichter brechen als konventionelle Dämme)

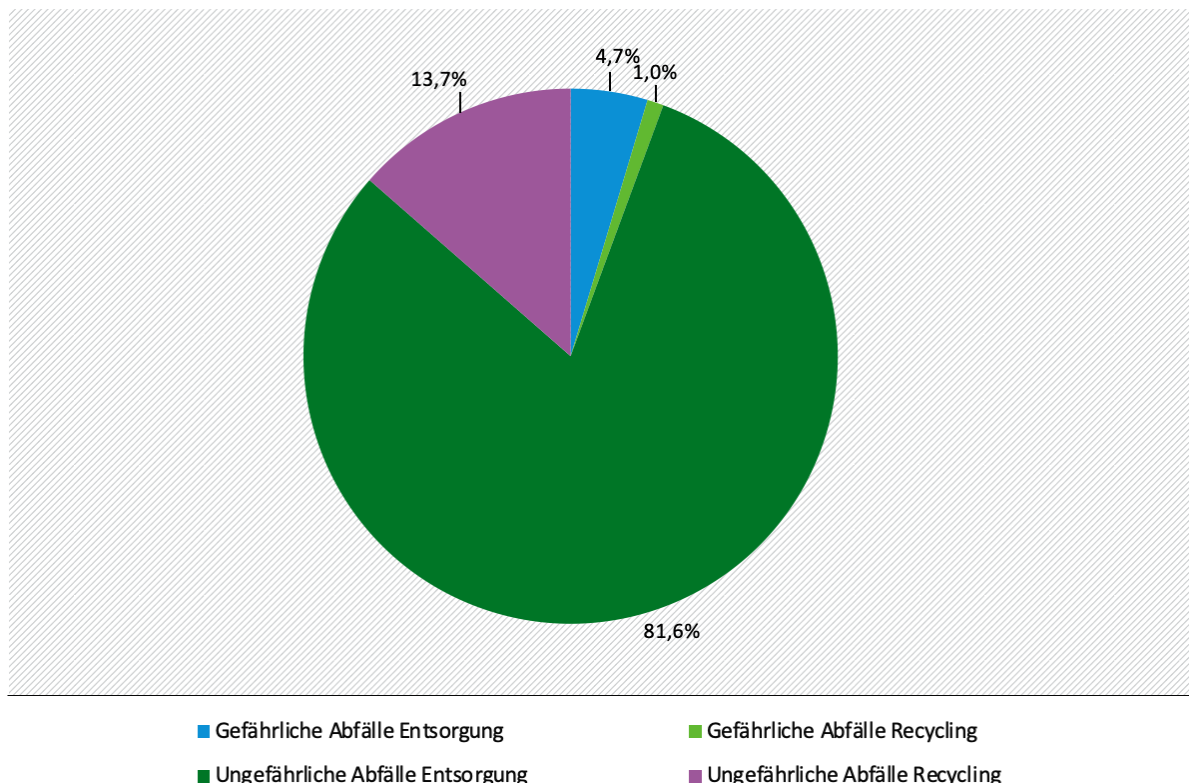
Die dargestellten potenziellen negativen Umweltauswirkungen beschränken sich nicht nur auf die Gewinnung von Rohstoffen für die weitere Verarbeitung. Auch bei der Gewinnung von Energieträgern sind Abfälle kritisch zu betrachten, z. B. beim Abbau von Kohleflözen und damit verbundenen schwermetallbelasteten Abraumhalden sowie bei der Förderung von Erdgas und Erdöl, wobei Bohrklein, d. h. zertrümmertes Gestein aus dem Bohrprozess, welches mit Öl und Chemikalien verschmutzt ist, an die Erdoberfläche gebracht wird.

2.3.9.1 Fokussektor 1: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern, Antriebselementen

Verteilung nach Abfallklassen

Für den Sektor der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen sind für das Jahr 2019 insgesamt etwa 512 Mt Abfall entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette zu veranschlagen. Dabei sind knapp 6 % der Abfälle als gefährliche Abfälle zu klassifizieren, wie Abbildung 32 zeigt. Insgesamt wird nur ein geringer Teil der Abfälle wiederverwertet (knapp 15 %). Der Großteil der Abfälle geht in die Entsorgung.

Abbildung 32: Verteilung des Abfallaufkommens entlang der Wertschöpfungskette bei der deutschen Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen nach Abfallklassen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Verteilung nach Lieferkettenstufen

Wie Abbildung 18 zeigt, ist das Abfallaufkommen in den tieferen Lieferkettenstufen zu verorten. Der Anteil der Abfälle auf der Stufe der direkten Lieferanten beträgt 17 % und ist insbesondere in Deutschland zu verorten. Der hohe Anteil der Abfallmenge in den tieferen Lieferkettenstufen ist auf das hohe Abfallaufkommen in der Rohstoffförderung zurückzuführen, wie die geografische und die sektorale Verteilung zeigen.

Geografische Verteilung

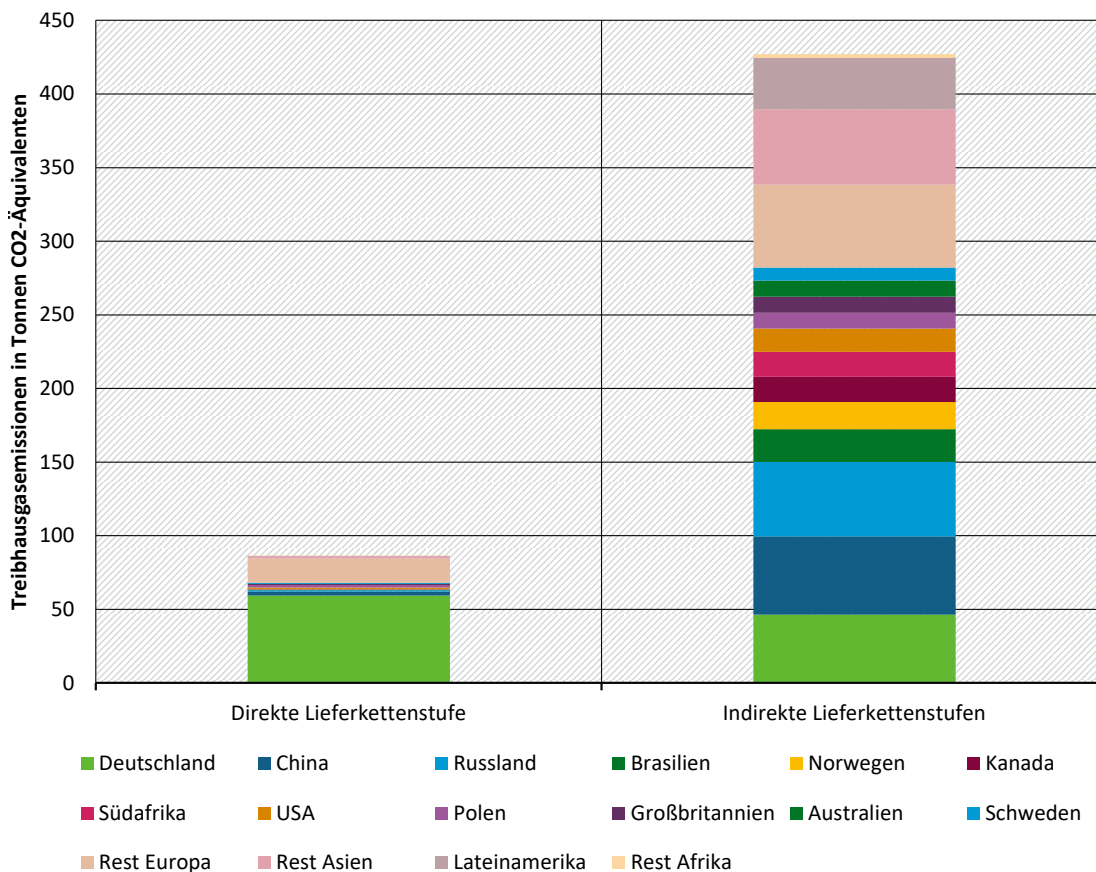
In Deutschland entstehen 106 Mt Abfälle, hauptsächlich auf der Stufe der direkten Lieferanten, wie Abbildung 33 zeigt. Das sind 21 % der gesamten Abfälle entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen. Ein Drittel der Abfälle in der Wertschöpfungskette in Deutschland wird dem Recycling zugeführt. Im Ländervergleich besitzt Deutschland damit den höchsten Recyclinganteil.

In China und Russland entstehen 11 % bzw. 10 % der Abfälle, und zwar vorrangig auf den tieferen Lieferkettenstufen. Dennoch ist anzumerken, dass in China 2,4 Mt Abfälle auf der Stufe der direkten Lieferanten entstehen. Damit ist China nach Deutschland das Land mit dem höchsten Abfallaufkommen auf der ersten Lieferkettenstufe. Der Recyclinganteil ist mit 7 % bzw. 8 % in beiden Ländern niedrig. In allen außereuropäischen Ländern liegt der Recyclinganteil unter 10 % (Ausnahmen: Korea, Taiwan, USA).

China und Russland sind auch die beiden Länder mit dem höchsten Aufkommen an gefährlichen Abfällen. Auch bei diesen Abfällen ist die Recyclingrate niedrig: 6 % in China und 7 % in Russland, während sie in Deutschland 37 % beträgt. Jeweils 4 % der Abfälle entstehen in Brasilien und in Norwegen, jeweils 3 % in Kanada, Südafrika und in den USA.

In Europa entstehen 24 % der Abfälle (ohne Deutschland). Ein Zehntel der Abfälle sind in den Ländern Asiens zu verorten (ohne China). Insgesamt zeigt die Auswertung der Länderverteilung, dass die Abfälle vor allem in Ländern entstehen, in denen Rohstoffe und fossile Energieträger gefördert werden.

Abbildung 33: Abfallaufkommen gesamt entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen (in 1.000 Tonnen)

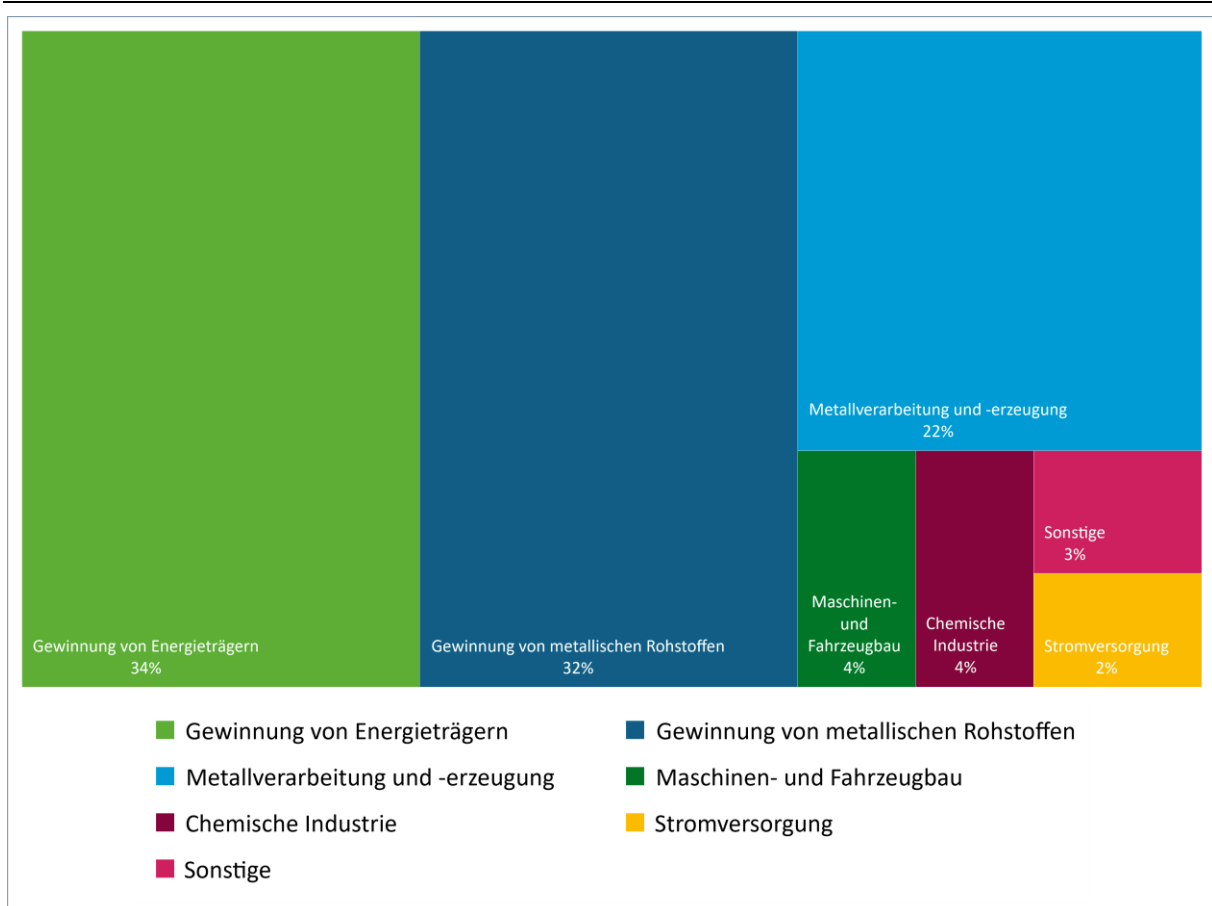


Quelle: Eigene Darstellung, Sustain.

Sektorale Verteilung

Wie in Abbildung 19 ersichtlich ist, liegt der Großteil des Abfallaufkommens auf der Stufe der Rohstoffgewinnung. Die Abfälle bei der Gewinnung von fossilen Energieträgern für die energetische und stoffliche Verwertung machen etwa ein Drittel aus, ebenso die Abfälle bei der Gewinnung von mineralischen Rohstoffen. Dies ist insbesondere relevant, wenn die Abraumabfälle und Klärschlämme mit Schadstoffen kontaminiert sind und die Abfallbehandlung bzw. Deponierung nur unzureichend erfolgt. Weitere 22 % der Abfälle sind auf die Prozesse der Metallerzeugung und -verarbeitung zurückzuführen.

Abbildung 34: Sektorale Verteilung des Abfallaufkommens in der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen



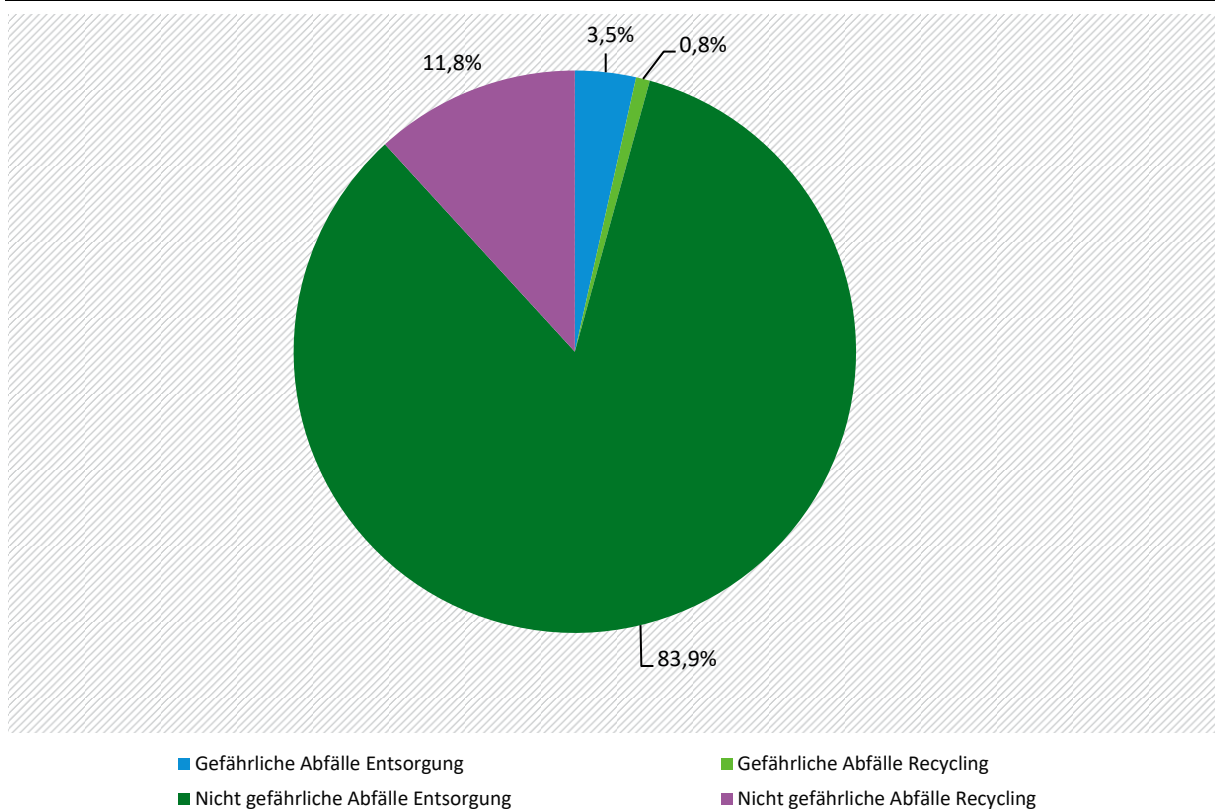
Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3.9.2 Fokusektor 2: Herstellung von Werkzeugmaschinen

Verteilung nach Abfallklassen

Für die Herstellung von Werkzeugmaschinen entstanden im Jahr 2019 etwa 1.421 Mt Abfall. Bei knapp 5 % des Abfallaufkommens handelt es sich um gefährliche Abfälle, wie Abbildung 35 zeigt. Der größte Teil der gefährlichen Abfälle wird nicht recycelt, sondern geht in die Entsorgung. Insgesamt wird nur ein Anteil von knapp 13 % der Abfälle recycelt, der Rest geht in die Entsorgung.

Abbildung 35: Verteilung des Abfallaufkommens entlang der Wertschöpfungskette bei der deutschen Herstellung von Werkzeugmaschinen nach Abfallklassen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Verteilung nach Lieferkettenstufen

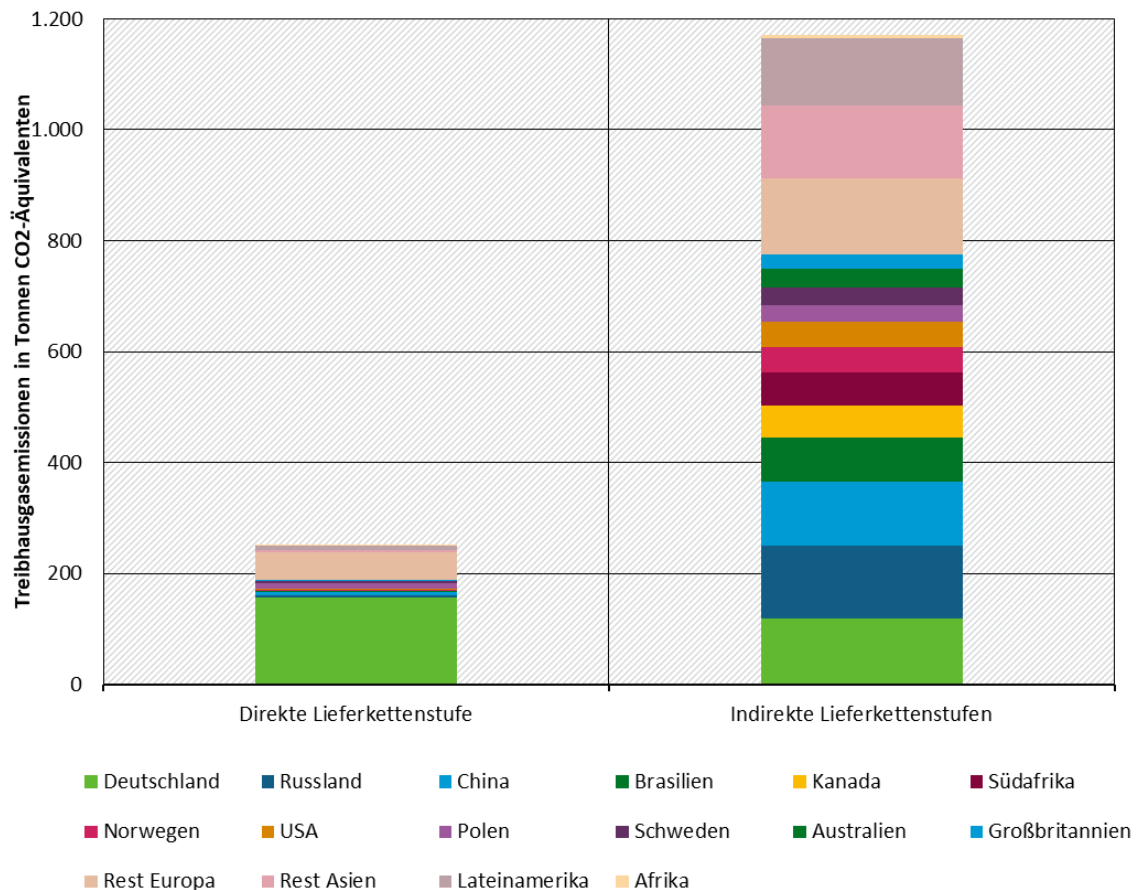
Wie Abbildung 20 zeigt, entsteht mit 82 % das größte Abfallaufkommen auf den tieferen Lieferkettenstufen. Bei den direkten Lieferanten des deutschen Werkzeugmaschinenbaus entstehen 18 % der Abfälle, insbesondere in Deutschland.

Geografische Verteilung

Etwa 19 % der Abfälle, d. h. 273 Mt, entstehen in Deutschland. In Deutschland ist zudem auch der Anteil der recycelten Abfälle am höchsten (27 % der Abfälle in Deutschland). In Russland und China entstehen jeweils 9 % der Abfälle. In beiden Ländern ist auch das höchste Aufkommen an gefährlichen Abfällen neben Deutschland zu verorten, und 8 % der Abfälle werden dem Recycling zugeführt. Wie Abbildung 22 zeigt, ist das Abfallaufkommen in Ländern, in denen Rohstoffe und Energieträger gewonnen werden, hoch.

Innerhalb Europas (ohne Deutschland) entstehen 24 % der Abfälle, vorrangig in Norwegen, Polen und Schweden. Knapp 8 % des Abfallaufkommens entstehen in Kanada und in den USA. In Asien sind 9 % der Abfälle zu verorten.

Abbildung 36: Abfallaufkommen entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen (in 1.000 Tonnen)

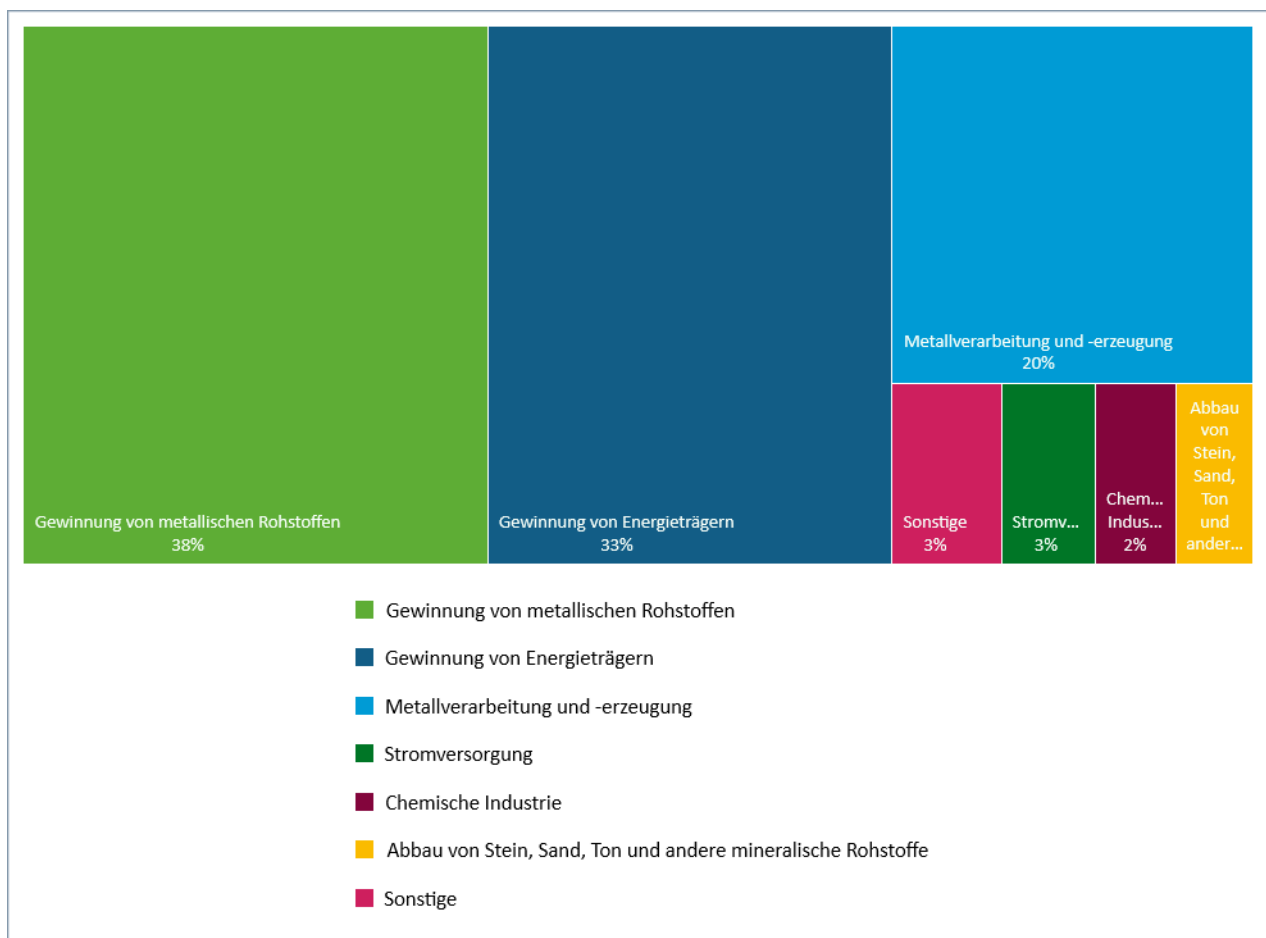


Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung

Abbildung 21 zeigt, dass mit einem Anteil von 38 % das größte Abfallaufkommen in der Gewinnung von metallischen Rohstoffen entsteht. Ein Drittel der Abfälle ist mit der Gewinnung von Energieträgern verbunden. Die Abfälle bei der Rohstoffgewinnung gehen größtenteils in die Deponierung, beispielweise in Abraumhalden in der Nähe der Abbaustätte. Ein Fünftel der Abfälle geht auf den metallherstellenden und -verarbeitenden Vorleistungssektor zurück. Etwa 2 % der Abfallmenge ist mit der Gewinnung von Stein, Sand, Ton und anderen mineralischen Rohstoffen verbunden.

Abbildung 37: Sektorale Verteilung des Abfallaufkommens entlang der Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Werkzeugmaschinen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

2.3.9.3 Ergänzungen

Die weitere Analyse mithilfe des ENCORE-Tools bewertet die Abfälle bei der Gewinnung von Rohstoffen und fossilen Energieträgern mit einer hohen Relevanz. Insbesondere die Freisetzung von Schwermetallen in den Abfällen, z. B. durch Leckagen oder Spillagen, ist aus ökologischer Sicht als kritisch zu betrachten. In Ländern, in denen keine geeigneten Verwertungssysteme, z. B. von Schlacken, bestehen, ist das Risiko einer negativen Umweltbelastung besonders hoch. Der MVO Nederland CSR Risk Check weist auf die Schadstoffbelastung von Böden, Gewässern und der Atmosphäre hin, wobei diese Gefährdungen auch auf die Abfälle und deren Entsorgungswege zurückzuführen sind (MVO Nederland 2020). Durch eine unsachgemäße Deponierung oder Verbrennung der z. T. gefährlichen Abfälle entstehen gesundheitsgefährdende Schadstoffeinträge in Boden, Wasser und Luft. Diese können zur gesundheitlichen Gefährdung von Menschen führen.

3 Fokusrohstoffe und -prozesse

3.1 Auswahl von Rohstoffen und Prozessen: Vorgehen

Dieses Kapitel betrachtet eine Auswahl an Rohstoffen und Prozessen des Maschinenbaus, die häufig mit hohen negativen Umweltauswirkungen verbunden und gleichzeitig elementar für die Fokussektoren dieser Studie sind.

Zu diesen Fokusrohstoffen und -prozessen gehören die metallischen Rohstoffe Stahl und Eisen, Kupfer, Aluminium und Bauxit sowie der Prozess der Metallverarbeitung. Zudem werden die Prozesse der Galvanisierung und Metalllegierung sowie der in diesem Zusammenhang benötigte Rohstoff Vanadium betrachtet.

3.2 Aufbau der Fokus-Kapitel

Für die ausgewählten Fokusrohstoffe und -prozesse wird ein Überblick über die Wertschöpfungskette, zentrale Verfahren, Rohstoffe sowie Abbau- und Produktionsländer gegeben. Anschließend wird für jede Wertschöpfungsstufe dargelegt, welche hohen Risiken für negative Umweltauswirkungen anhand von Datenbanken und Studien identifiziert werden können bzw. welche Auswirkungen bereits aufgetreten sind. Die Einschätzung von Risiken basiert auf einer qualitativen Beantwortung der in Kapitel 1.4.2 genannten Leitfragen zu Schwere und Eintrittswahrscheinlichkeit von einzelnen Umweltauswirkungen. Dabei wird vorausgesetzt, dass grundsätzlich immer ein Risiko für negativen Umweltauswirkungen vorliegen kann. Sofern in Datenbanken oder der Literatur Hinweise für hohe Risiken vorliegen, erfolgt eine Markierung des Umweltthemas. Aufgrund der eingeschränkten Datenlage wird auf eine differenziertere Abstufung bei der Kategorisierung der Risiken (z. B. in hoch, mittel, niedrig) verzichtet und mit einer binären Kategorisierung (grundsätzliches Risiko – hohes Risiko) gearbeitet.

Grundlage für die Beschreibung und Kategorisierung bildet eine Kombination verschiedener Daten- und Literaturquellen:

- ▶ **(Umwelt-)Governance-Indikatoren:** Der Environmental Performance Index (EPI 2022) und die World Governance Indicators (WGI 2020) (in einem Durchschnittswert zusammengefasst, siehe Kapitel 1.4.2) sind die zentralen Bewertungsmaßstäbe für die Studie zum Thema (Umwelt-)Governance (siehe Kapitel 1.4.2). Die tabellarische Darstellung zentraler Abbau- und/oder Produktionsländer in Kombination mit Informationen zu (Umwelt-)Governance-Bewertungen aus Indices ermöglichen eine Annäherung an die Eintrittswahrscheinlichkeit negativer Umweltauswirkungen. Die Auswahl relevanter Länder erfolgt auf Grundlage qualitativer Recherchen und anhand ihrer Marktanteile.
- ▶ **ENCORE-Datenbank:** ENCORE (Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure) ist ein Instrument, um die Auswirkungen von Umweltveränderungen auf die Wirtschaft besser zu verstehen. Der Fokus liegt darauf, wie Wirtschaftssektoren (potenziell) von Naturkapital abhängen und wie sich deren Aktivitäten wiederum auf das Naturkapital auswirken. ENCORE wurde von der Natural Capital Finance Alliance in Zusammenarbeit mit den Vereinten Nationen (UN Environment Programme World Conservation Monitoring Centre) entwickelt (ENCORE 2020). Umweltthemen, die im ENCORE-Tool mit einer hohen

oder sehr hohen Wesentlichkeit (sogenanntes „Materiality-Rating“¹⁵) bewertet werden, wurden als Themen mit hohem Risiko für negative Umweltauswirkungen aufgenommen.

- **Qualitative Auswertung bestehender Daten- und Literaturquellen:** Hierunter fallen Informationen zu potenziellen und tatsächlichen schweren Umweltauswirkungen aus Datenbanken, wissenschaftlichen Forschungsarbeiten, Studien o. Ä. von zivilgesellschaftlichen Akteuren, Verbänden oder anderen Institutionen.

Wie in Kapitel 2.3.2 dargelegt, können negative Umweltauswirkungen auch zu Menschenrechtsverletzungen führen. Tabelle 5 gibt exemplarisch einen Überblick zu solchen Zusammenhängen, die auf einer Literaturrecherche für diese Studie basieren. Im Folgenden werden für die ausgewählte Fokusrohstoffe und -prozesse exemplarisch Zusammenhänge skizziert:

- **Beispiel: die Rohstoffe Bauxit/Aluminium:** Der Abbau von Bauxit, der die Grundlage für die Aluminiumherstellung bildet, erfolgt meist im Lockergesteins-Tagebau, welcher sehr viel Land beansprucht (HRW 2021). Die beanspruchten Gebiete, die zu einem Großteil in tropischen Regionen liegen, haben oft einen erheblichen ökologischen Wert und bilden teilweise die Lebensgrundlage für die lokale Bevölkerung. Schätzungsweise werden für den Bauxitabbau in Guinea in den nächsten 20 Jahren 858 km² landwirtschaftliche Nutzfläche und mehr als 4.700 km² natürlichen Lebensraums abgetragen (HRW 2021). Menschenrechtsorganisationen berichten, dass die betroffene lokale Bevölkerung für die Landaneignung durch Bergbauunternehmen nur unzureichende Kompensationen oder Ersatzflächen erhält. In Boké, einer Bauxitabbau-Region in Guinea, wurde 2019 ein erschwerter Zugang zu Wasser festgestellt. Sedimentabfluss aus den Abbaustätten und die Entwicklung von Bergbauinfrastruktur haben 91 Wasserquellen verschmutzt oder zerstört, die ursprünglich 17 Dörfer versorgten (HRW 2021). Der Abbau von Bauxit geht demnach mit Risiken der Verletzung verschiedener Menschenrechte einher, etwa dem Recht auf Wohnung, dem Recht auf Zugang zu sauberem Trinkwasser, dem Recht auf Eigentum, dem Recht auf Nahrung und dem Recht auf den Schutz der Gesundheit (HRW 2021).
- **Beispiel: die Rohstoffe Eisen/Stahl:** Bei der Herstellung von Eisenmetallen fallen große Abfallmengen an, die sicher gelagert werden müssen (Drive Sustainability 2021; ENCORE 2020). In zwei Eisenerzminen brachen in den Jahren 2015 und 2019 die Dämme von Rückhaltebecken für giftige Minenschlämme aus der Erzaufbereitung. In beiden Fällen wurden flächendeckend Böden, Ökosysteme, Flüsse und das Grundwasser durch sehr große Mengen ausströmenden schwermetallhaltigen Schlamms zerstört, belastet und kontaminiert und 291 Arbeiterinnen und Arbeiter sowie Anwohnerinnen und Anwohner durch den Unfall getötet (Groneweg et al. 2021, S. 24). Die entstandenen Umweltschäden zerstörten nach Angaben zivilgesellschaftlicher Akteure die Lebensgrundlage der umliegenden Gemeinden (Groneweg et al. 2021, S. 24), was negative Folgen für verschiedene Menschenrechte nach sich zieht, etwa für das Recht auf Wohnen, das Recht auf Zugang zu sauberem Trinkwasser, das Recht auf Eigentum, das Recht auf Nahrung und das Recht auf den Schutz der Gesundheit.

Weitere mögliche Zusammenhänge von negativen umweltbezogenen und menschenrechtlichen Auswirkungen sind exemplarisch direkt in den folgenden Kapiteln aufgeführt.

¹⁵ Informationen zur Methodik des „Materiality-Rating“ und zu zugrundeliegenden Leitfragen (ENCORE o. J.): <https://encore.naturalcapital.finance/en/data-and-methodology/materiality>

Die prozess- und rohstoffbezogenen Analysen sollen Unternehmen eine (erste) Orientierung geben, welche Umweltthemen (im Zusammenhang mit Menschenrechtsthemen) auch in einer unternehmensspezifischen Risikoanalyse relevant sein können. Sie erheben nicht den Anspruch einer vollständigen und vertieften Abbildung aller umweltbezogenen Risiken in der Wertschöpfungskette des deutschen Maschinenbaus.

3.3 Metallische Rohstoffe und Metallverarbeitung

Unter den metallischen Komponenten und den dafür benötigten Rohstoffen werden im Folgenden Eisen und Stahl, Kupfer, Bauxit und Aluminium betrachtet. Eisen und Stahl werden insbesondere in Werkzeugmaschinenkomponenten wie Gestellen, Maschineneinhausungen, Führungen oder Werkstückwechslern, bei Getrieben und Zahnrädern als Material eingesetzt (Jungmichel et al. 2021, S. 22). Kupfer ist ein weiterer vielfach angewandter Werkstoff, wobei der deutsche Maschinenbau einen Anteil von 8 % an den Hauptverwendungsgebieten von Kupfer hat, insbesondere durch die Nutzung in Sanitär-, Heizungs-, Industriearmaturen sowie Kesseln (WVMetalle 2020, S. 12) wie auch in Verkabelungen sowie Mess- und Steuereinrichtungen von Werkzeugmaschinen. Bauxit und Aluminium finden als Materialien weit verbreiteten Einsatz in Getrieben und Zahnrädern sowie bei Werkzeugmaschinen, vor allem in beweglichen Teilen. Aluminium macht 8 % des Gesamtmetalleinsatzes des deutschen Maschinenbaus aus (Jungmichel et al. 2021, S. 22), was einem Anteil von 6 % an den Hauptverwendungsgebieten von Aluminium entspricht (WVMetalle 2020, S. 12).

3.3.1 Rohstoff Eisen und Stahl

Eisen ist mit 86 % das mit Abstand am meisten eingesetzte Metall im Maschinenbau (Jungmichel et al. 2020). Stahl wird aus Eisen produziert, für dessen primäre Gewinnung zunächst Eisenerz zumeist im Tagebau abgebaut wird. Durch Reduktion in Schacht- und Hochöfen entsteht aus Eisenerz Roheisen (Kerkow et al. 2012, S. 12). Diese Hochöfen werden mit Koks betrieben, welches auf Kohle basiert (ebd., S. 16). Roheisen wird anschließend metallurgisch in Stahlwerken durch mehrere Raffinationsverfahren zu Stahl weiterverarbeitet (Kerkow et al. 2012, S. 12).

Mit einem Bedarf von insgesamt 34,9 Mio. t lag die Nachfrage Deutschlands nach Stahlerzeugnissen 2020 an siebter Stelle hinter China, Indien, den USA, Japan, Südkorea sowie Russland (Andruleit et al. 2020, S. 37). Der Maschinenbau beanspruchte 2019 insgesamt 11 % des in Deutschland verarbeiteten Stahls (Andruleit et al. 2020, S. 37).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Wichtigste Produktionsländer von Eisenerz waren 2019 Australien mit knapp 38 % der weltweiten Gesamtförderung, Brasilien (17 %), China (14 %) und Indien (8 %) (USGS 2021, S. 89). Im Jahr 2018 machten Eisen und Stahl sowie daraus produzierte Waren einen Anteil von 46 % am Import metallischer Rohstoffe in die EU aus, der Importanteil von Eisenerz lag bei 6 % (Perger 2020, S. 19). Deutschland importierte 2019 rund 39 Mio. t Eisenerz, wichtigstes Lieferland war Brasilien, gefolgt von Kanada, Südafrika, Schweden und Russland (Andruleit et al. 2020, S. 36, S. 90).

Brasilien als zentrales Importland Deutschlands für Eisenerz erhält eine verhältnismäßige niedrige (Umwelt-)Governance-Bewertung, ebenso wie China und Indien (siehe Tabelle 6).

Ein großer Anteil des global geförderten Eisenerzes wird zu Stahl weiterverarbeitet. Im Jahr 2020 wurden weltweit etwa 1,9 Mrd. t Stahl erzeugt (World Steel Association 2021, S. 3). Das

mit Abstand größte Produktionsland war China mit einer Produktion von über 56 % der gesamten Stahlerzeugung, gefolgt von Indien (5 %) und Japan (4 %) (World Steel Association 2021, S. 2-3). Damit findet auch ein Großteil der Stahlerzeugung in Ländern mit verhältnismäßig niedriger (Umwelt-)Governance-Bewertung statt (siehe Tabelle 6). Dies legt höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten von negativen Umweltauswirkungen nahe.



Tabelle 6: (Umwelt-)Governance-Kontext – Stahl und Eisen

	Hauptproduktionsländer	EPI (Yale University)	Durchschnittswert der WGI (Weltbank)
Eisenerz- Produktion	Australien	60.1	1,48
	Brasilien	43.6	-0,21
	China	28,4	-0,25
	Indien	18,9	-0,12
Stahl- Produktion	China	28,4	-0,25
	Indien	18,9	-0,12
	Japan	57.2	1,33




Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5¹⁶

Quelle: Eigene Darstellung, EPI 2022 und WGI 2020.

Sowohl der Eisenerzabbau als auch die Eisen- und Stahlproduktion sind mit einer Vielzahl von Risiken für negative Umweltauswirkungen verbunden. Die Wirtschaftssektoren sind besonders energieintensiv und gehen mit einem hohen Wasser- sowie Flächenverbrauch einher.

Risiko	Umweltthemen
	Treibhausgase: Die Stahlproduktion ist sehr energie- und damit auch emissionsintensiv, vor allem in Hinblick auf CO ₂ -Emissionen. Bei der Primärherstellung von einer Tonne Stahl werden etwa 1,8 t CO ₂ -Emissionen verursacht (Holappa 2020, S. 1). Dies ist größtenteils auf den überwiegenden Betrieb von Hochöfen in Verhüttungsanlagen mit Steinkohlekoks und Erdgas zurückzuführen (Kerkow et al. 2012, S. 16; ENCORE 2020). Auch die Roheisenherstellung geht aufgrund der großen Produktionsmengen in absoluten Größenordnungen mit einem hohen Energiebedarf (Dehoust et al. 2020a) und wesentlichen Emissionen von Treibhausgasen wie CO ₂ einher (ENCORE 2020). Die CO ₂ -Emissionen der chinesischen Stahl- und Eisenindustrie machen etwa 15 % der Gesamtemissionen des Landes aus (Gu et al. 2015, zitiert bei The Dragonfly Initiative 2018, S. 47).
	Wasser: Durch die Anwendung von Nassverfahren in den Aufbereitungsprozessen geht die Eisenerzgewinnung mit einem signifikanten Wasserverbrauch einher (ENCORE 2020; Drive Sustainability 2021). Zudem müssen im Bergbau die Gruben entwässert werden, um Zugang zu den Flözen zu erhalten und die Sicherheit der Gewinnung zu

¹⁶ Die Indices-Werte wurden farblich unterlegt, um eine bessere Lesbarkeit zu erzielen. Die farbliche Unterlegung zeigt an, wie die Werte für die jeweiligen Länder im Verhältnis zu anderen Ländern weltweit stehen. Die Einteilung erfolgt in vier gleich große Gruppen (Quartile), denen jeweils eine Farbe zugeordnet ist (siehe Kapitel 1.4.2 für eine Erläuterung des Farbschemas).

Risiko	Umweltthemen
	<p>gewährleisten (Wasserhaltung). Dieser Eingriff in das regionale Wasserregime kann zur Erschöpfung von Grundwasserleitern führen und zu einer erhöhten Intensität und/oder Häufigkeit von Dürren beitragen (ENCORE 2020). Auch bei der Stahlproduktion werden in den verschiedenen Herstellungsstufen vor allem zur Kühlung, Staubkontrolle und dem Abschrecken von Steinkohlekoks große Mengen Wasser unterschiedlicher Qualität benötigt (ENCORE 2020; The Dragonfly Initiative 2018, S. 47). Mit der regional hohen Nutzung von Fluss- und Grundwasser in der industriellen Rohstoffförderung geht daher das Risiko für Wasserknappheit für dortige Gemeinden einher (Kerkow et al. 2012, S. 16).</p>
	<p>Fläche: Eisenerzminen und die notwendige Infrastruktur, die um Minen herum benötigt wird, nehmen große Flächen in Anspruch (Sonter et al. 2017, S. 3). Damit geht das Risiko der Verdrängung von natürlichen Ökosystemen und des Verlustes der lokalen Artenvielfalt einher, auch in ausgewiesenen Schutzgebieten und an Standorten, die von der „Alliance for Zero Extinction“ (AZE) als ökologisch besonders sensible Gebiete ausgewiesen wurden (AZE-Standorte) (Dehoust et al. 2020a, S. 136). So wurde etwa in dem für Deutschland wichtigen Lieferland Brasilien für die größte Eisenerzmine der Welt zum Abtransport des Eisenerzes eine fast 1.000 km lange Bahntrasse errichtet, die zahlreiche Dörfer durchschneidet (Groneweg et al. 2021, S. 23). In den Eisenerz-Abbauregionen Indiens geht die Flächenerschließung für Eisenerzminen zudem oftmals mit Landnahme, Zwangsumsiedlung und Vertreibung einher (Kerkow et al. 2012, S. 15).</p> <p>Bei der Herstellung von Roheisen aus Eisenerz kommt des Weiteren Holzkohle zum Einsatz. Für die Gewinnung von Holzkohle werden u. a. in Brasilien große Flächen ursprünglichen Waldes in Monokultur-Baumplantagen umgewandelt (Giunta und Munnion 2020). Die vom Eisenerz-Abbau induzierte erhöhte Holzkohlenachfrage trägt damit in Brasilien zur Ausdehnung von Baumplantagen für die Produktion von Holzkohle und zur Zerstörung ursprünglicher Wälder bei (Sonter et al. 2017, S. 4). In diesem Zusammenhang gibt es Berichte über illegale Rodungen, teilweise auch in geschützten Gebieten mit indigener Bevölkerung (Kerkow et al. 2012, S. 16).</p>
	<p>Abiotische und biotische Rohstoffe</p>
	<p>Luftschadstoffe: Sowohl der Eisenerzabbau als auch die Eisen- und Stahlproduktion gehen mit einem Ausstoß von Luftschadstoffen einher (ENCORE 2020). Zudem wird für den Koksbedarf der Stahlindustrie in Indien und auch in anderen Ländern, z. B. in Kolumbien, Indonesien und Südafrika, Kohle abgebaut, wobei regionale Emissionen von Luftschadstoffen in Form von Kohlestaub entstehen (Kerkow et al. 2012, S. 16). Luftschadstoffe greifen oberhalb bestimmter Konzentrationen Pflanzen, Gewässer, Böden und Materialien an und sind schädlich für Menschen und Tiere. Es liegen Berichte über Gesundheitsschädigungen wie Asthma, Hautprobleme und Durchfall vor, die aus den Umweltbelastungen wie Staub und Verschmutzung durch Roheisenfabriken resultieren sollen (The Dragonfly Initiative 2018, S. 48). In Magnitogorsk, einem zentralen Ort für die russische Eisen- und Stahlindustrie, wurde zudem in der Luft Benzo(a)pyren nachgewiesen, ein Karzinogen, das mit Lungenkrebs in Verbindung gebracht wird (Luhn 2016, zitiert bei The Dragonfly Initiative 2018, S. 47).</p>

Risiko	Umweltthemen
	<p>Wassergefährdende Stoffe: Bei der Kohleförderung fallen verschiedene Abfallstoffe und Kohlestaub an, die giftige Schadstoffe enthalten können, welche die Umwelt auch noch nach der Schließung einer Mine belasten können (Kerkow et al. 2012, S. 16; Drive Sustainability 2021). Die Aufbereitungsprozesse der Eisenmetallproduktion gehen mit dem Risiko einher, dass säurehaltige Abwässer nahegelegene Gewässer verschmutzen und Schwermetalle in Wasserkreisläufe eingetragen werden (ENCORE 2020). U. a. in China, Indien und Russland kam es durch Leckage und das unsachgemäße Ableiten von Abwässern aus der Eisen- und Stahlindustrie zum Ausfluss von giftigen Chemikalien und zur Verschmutzung der umliegenden Flüsse mit schweren Partikeln und Nitriten (The Dragonfly Initiative 2018, S. 47).</p>
	<p>Abfälle: Bei der Eisenmetallerstellung fallen große Mengen an Abfällen in Form von sogenannten Tailings (Aufbereitungsrückstände, zumeist in Form von Schlämmen) an (Drive Sustainability 2021; ENCORE 2020). In Brasilien brachen jeweils 2015 und 2019 in zwei unterschiedlichen Eisenerzminen die Dämme von Rückhaltebecken für giftige Minenschlämme aus der Erzaufbereitung. In beiden Fällen wurden jeweils flächendeckend Böden, Ökosysteme, Flüsse und das Grundwasser durch die riesigen Mengen des ausströmenden schwermetallhaltigen Schlamms zerstört, belastet und kontaminiert, 291 Arbeiterinnen und Arbeiter sowie Anwohnerinnen und Anwohner durch den Unfall getötet und die Lebensgrundlage der umliegenden Gemeinden zerstört (Groneweg et al. 2021, S. 24).¹⁷ Bei der Stahlproduktion entstehen ebenfalls erhebliche Mengen unterschiedlicher Reststoffe, die bei nicht sachgemäßer Behandlung oder Verwertung negative Auswirkungen auf die Umwelt haben können, etwa in Form von Stäuben, Sickerwasser und Flächeninanspruchnahme. Dabei ist zwischen Abfällen und Nebenprodukten, z. B. Stahlschlacke, zu unterscheiden. Während Abfälle auf Deponien entsorgt oder verbrannt werden müssen, wird die Stahlschlacke größtenteils an die Bauindustrie verkauft und dort für Straßenbeläge oder Betonmischungen weiterverwendet. Schlacke, die nicht verwertet wird, gilt als Abfall (Drive Sustainability 2021).</p>
	<p>Sonstige Umweltthemen</p>

3.3.2 Rohstoff Bauxit und Aluminium

Im Maschinenbau ist Aluminium durch seine Leichtigkeit, Langlebigkeit und leichte Bearbeitbarkeit ein wichtiger industrieller Werkstoff (Aluminium Deutschland 2022). Rund 14 % des in Deutschland verbrauchten Aluminiums wird in den Bereichen Maschinenbau und Elektrotechnik verwendet (Vasters und Franken 2020, S. 3). Von dem produktiv genutzten¹⁸ Aluminium ist rund ein Drittel in Maschinen und Kabeln verbaut (ebd., S. 7).

Der Rohstoff für die Herstellung von Aluminium ist Bauxiterz. 90 % der heute bekannten weltweiten Bauxitvorkommen befinden sich an tropischen oder subtropischen Standorten. Der

¹⁷ Im Nachgang des Dammbrochs von Brumadinho (Brasilien) wurde das „Global Tailings Portal“ initiiert, eine Datenbank, die detaillierte Informationen zu Abraumhalden weltweit zur Verfügung stellt: <https://tailing.grida.no/>

¹⁸ Drei Viertel des gesamten jemals produzierten Aluminiums (seit den 1880er-Jahren) ist immer noch im produktiven Einsatz (International Aluminium Institute 2022).

Großteil der Bauxitlagerstätten ist oberflächennah und flach gelagert, weswegen Bauxit fast ausschließlich im Tagebau gewonnen wird (Vasters und Franken 2020, S. 3-4). In der anschließenden Weiterverarbeitung wird aus dem Bauxit in Tonerdefabriken unter Einsatz großer Mengen von Natronlauge Aluminiumoxid (auch Alumina oder Tonerde genannt) extrahiert, welches anschließend in der Aluminiumhütte durch metallurgische Elektrolyse aufgeschmolzen und zu Aluminium reduziert wird (Vasters und Franken 2020, S. 11). Aluminium kann anschließend etwa durch Walzen zu Blechmaterial für Produktionsanlagen weiterverarbeitet werden (Kerkow et al. 2012, S. 26-27). Für die Herstellung einer Tonne Aluminium werden etwa fünf bis sieben Tonnen Bauxit benötigt (Vasters und Franken 2020, S. 7).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Die Länder mit der weltweit höchsten Minenproduktion von Bauxit waren 2018 Australien (31 %), China (25 %), Brasilien (13 %), Indien (10 %) und Guinea (8 %). Wichtigstes Land für die Produktion von Aluminiumoxid war China (50 %), gefolgt von Australien (18 %) (The Dragonfly Initiative 2018, S. 51). Deutschland führte 2019 etwa 2,5 Mio. t Bauxit und 1 Mio. t Aluminiumoxid bzw. -hydroxid ein. Bauxit wurde hauptsächlich aus Guinea (93 %) importiert, einem Land, das eine verhältnismäßig niedrige (Umwelt-)Governance-Bewertung erhält. Aluminiumhydroxid kam überwiegend aus Spanien und Irland, Aluminiumoxid aus Jamaika (Andruleit et al. 2020, S. 40).

Der weltweit größte Hersteller von Primäraluminium ist China. 2018 fanden 50 % der globalen Aluminiumproduktion in China statt, gefolgt mit großem Abstand von Australien (18 %), Brasilien (9 %) und Indien (5 %) (The Dragonfly Initiative 2018, S. 51).

Insgesamt finden Wertschöpfungsschritte des Bauxitabbaus und der Herstellung von Primäraluminium damit zu einem großen Anteil in Ländern mit verhältnismäßig niedrigen (Umwelt-)Governance-Bewertungen statt (vor allem China, Brasilien, Indien und Guinea) (siehe Tabelle 7). Die Bewertungen legen höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten für das Auftreten negativer Umweltauswirkungen nahe.

Tabelle 7: Eckdaten zur (Umwelt-)Governance – Bauxit/Aluminium

	Hauptproduktionsländer	EPI (Yale University)	Durchschnittswert der WGI (Weltbank)
Bauxit-Produktion	Australien	74,9	1,48
	China	37,3	-0,25
	Brasilien	51,2	-0,21
	Indien	27,6	-0,12
	Guinea	26,4	-0,92
Produktion Primäraluminium	China	37,3	-0,25
	Australien	74,9	1,48
	Brasilien	51,2	-0,21
	Indien	27,6	-0,12

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5¹⁹




Quelle: Eigene Darstellung, EPI 2022 und WGI 2020.





Bei der Beschreibung und Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen in Bezug auf Aluminium ist zwischen dem Bauxitabbau, welcher sehr flächenintensiv ist, und den zwei Stufen der Weiterverarbeitung zu unterscheiden, die jeweils mit sehr unterschiedlichen Umweltauswirkungen einhergehen.

Bei der Produktion von Aluminiumoxid entstehen große Mengen von Laugungsrückstand (sog. Rotschlamm), der sicher in Schlammteichen oder Deponien gelagert werden muss. 2017 entstanden bei der weltweiten Produktion von etwa 127 Mio. t Aluminiumoxid 155 bis 175 Mio. t Rotschlamm (Vasters und Franken 2020, S. 11). Rotschlamm weist einen hohen Gehalt an ätzender Natronlauge auf und kann in geringer Menge Natron und Karbonate sowie Spuren von Schwermetallen enthalten. Bei einer unsachgemäßen Lagerung besteht daher zum einen die Gefahr einer chemischen Kontamination von Böden sowie von Oberflächen- und Grundwasser mit Schwermetallen und Laugen (Vasters und Franken 2020, S. 12; Kerkow et al. 2012, S. 29-30). Andererseits besteht aufgrund der großen Menge an gelagertem Rotschlamm das Risiko eines physikalischen Kollapses von Deponiestrukturen (Vasters und Franken 2020, S. 12). Besonders in Ländern mit starken tropischen Regenfällen, etwa in Brasilien und Indien, besteht das erhöhte Risiko, dass Auffangbecken überlaufen oder Deponie-Dämme brechen. Bei trockenen Bedingungen hingegen besteht die Gefahr, dass durch den Wind toxische Stäube in der Umwelt von Raffinationsanlagen verteilt werden (Kerkow et al. 2012, S. 30).

¹⁹ Die Indices-Werte wurden farblich unterlegt, um eine bessere Lesbarkeit zu erzielen. Die farbliche Unterlegung zeigt an, wie die Werte für die jeweiligen Länder im Verhältnis zu anderen Ländern weltweit stehen. Die Einteilung erfolgt in vier gleich große Gruppen (Quartile), denen jeweils eine Farbe zugeordnet ist (siehe Kapitel 1.4.2 für eine Erläuterung des Farbschemas).

Die anschließende Aluminiumschmelze (Schmelzflusselektrolyse) in Aluhütten hingegen ist sehr energieintensiv und geht vor allem in dem wichtigen Produktionsland China mit hohen Emissionen einher.

Risiko	Umweltthemen
	<p>Treibhausgase: Die Aluminiumproduktion gehört zu den energieintensivsten Industrien insgesamt. Für die Erzeugung einer Tonne Primäraluminium aus Aluminiumoxid in der Aluminiumhütte werden etwa 13 bis 15 MWh elektrische Energie benötigt. 2017 verursachte die globale Primäraluminiumproduktion durch den Einsatz von Wärme- und elektrischer Energie sowie von Kohlenstoff als Reduktionsmittel Treibhausgasemissionen von etwa 1,08 Mrd. t CO₂-Äquivalenten. Dies entspricht der Emission von rund 18 t CO₂-Äquivalenten je Tonne Aluminium (Vasters und Franken 2020, S.13). Der Ausstoß ist dabei stark von den eingesetzten Energiequellen abhängig. Insgesamt findet die Verhüttung aufgrund des hohen Energiebedarfs hauptsächlich in Ländern mit niedrigen Energiekosten statt. Während u. a. in Norwegen und Island hauptsächlich Strom aus Wasserkraft für die Versorgung von Aluhütten genutzt wird (ebd.), kommt in dem wichtigen Produktionsland China hauptsächlich Kohle als Energieträger für die energieintensive Elektrolyse in der Primärschmelze zum Einsatz, wodurch hohe Treibhausgasemissionen entstehen. (The Dragonfly Initiative 2018, S. 52).</p>
	<p>Wasser: Der Bauxitabbau kann durch den Wasserverbrauch für Aufbereitungsanlagen (wenn in der Mine vorhanden) und die Bewässerung von Oberflächen zur Staubunterdrückung regional die Wasserverfügbarkeit beeinträchtigen. Zudem müssen im Bergbau die Gruben entwässert werden, um Zugang zu den Flözen zu erhalten und die Sicherheit der Gewinnung zu gewährleisten (Wasserhaltung). Bei schlechtem Wassermanagement in der Mine kann dies zu einem Rückgang der Wasserverfügbarkeit in betroffenen Gemeinden führen. Darüber hinaus kann durch die Beseitigung und Veränderung von Wasserwegen der Zugang zu Oberflächengewässern und durch den Eintrag von Feststoffen die Wasserqualität verschlechtert werden (Drive Sustainability 2021; ENCORE 2020). Besonders in Regionen, die bereits unter Wasserknappheit leiden, etwa in Guinea, besteht die erhöhte Gefahr, dass Bauxitabbau das Problem regional verschärft (Ugya et al. 2018).</p>
	<p>Fläche: Durch die oberflächennahe Ausprägung und relativ geringe Mächtigkeit vieler Bauxit-Lagerstätten ist der Bauxit-Tagebau im Vergleich zu anderen Bergbauarten sehr flächenintensiv (Vasters und Franken 2020, S. 4). Neben dem direkten Abbau des Erzes wird Fläche für Tagebauböschungen, Zwischenlagerung von Abraum, Produkthalden, Transportwege und Aufbereitung beansprucht. Für die Produktion einer Tonne Aluminium wird durch den Bergbau im Schnitt etwas weniger als ein Quadratmeter Land in Anspruch genommen (Vasters und Franken 2020, S. 8). Zusätzlich bestehen induzierte Flächenverbräuche etwa durch die Ausdehnung von Städten rund um Abbaugebiete, u. a. in Brasilien (Sonter et al. 2017, S. 4). Dies kann zur Beeinträchtigung von Bodenqualität und zur Abholzung oftmals primärer Wälder führen, teilweise auch in ausgewiesenen Schutzgebieten und an AZE-Standorten, und sich damit negativ auf die lokale Biodiversität auswirken (Dehoust et al. 2020a, S. 64; Vasters und Franken, S. 8). Trotz Renaturierungsprojekten kann der ursprüngliche Zustand des primären Regenwaldes in der Regel nicht wiederhergestellt werden (Vasters und Franken, S. 8). Durch fehlende staatliche Regulierung werden Renaturierungsvorhaben zudem oftmals verzögert oder nicht korrekt durchgeführt (Kerkow et al. 2012, S. 28-29). Das in den</p>

Risiko	Umweltthemen
	<p>meisten Bauxit-Abbauregionen vorherrschende tropische und subtropische Klima begünstigt jedoch eine natürliche Sukzession, die in der Regel zu einem schnellen Wiederbewuchs von Abbauflächen beiträgt (Vasters und Franken 2020, S. 8). In dem für Deutschland zentralen Bauxit-Abbauland Guinea kam es in der Vergangenheit im Zusammenhang mit großen Bergbauprojekten zudem zu Landnutzungs- und Eigentumskonflikten mit Anwohnenden und indigenen Gruppen, denen durch die Flächeninanspruchnahme für Minen Agrarflächen ohne angemessene Entschädigung entzogen wurden (Groneweg et al. 2021, S. 25). Ähnliche Fälle werden aus Abbaugebieten in Indien und Brasilien berichtet (Vasters und Franken 2020, S. 9). U. a. in Brasilien, Indien, Ghana und Venezuela wurden für die Aluminiumerzeugung zudem Staudämme zur Energiegewinnung errichtet, was mit starken Eingriffen in die natürliche Umwelt verbunden ist. Über 50 % aller Aluminiumhütten werden mittlerweile mit Strom aus Wasserkraft versorgt (Kerkow et al. 2012, S. 31-32).</p>
	<p>Abiotische und biotische Rohstoffe</p>
	<p>Luftschadstoffe: Der (Fein-)Staub, der beim Bauxitabbau entsteht, belastet lokale Ökosysteme, z. B. in Guinea, wo sich zur Trockenzeit rötlich brauner Staub über Bäume und Felder legt und die Photosynthese von Pflanzen verhindert (HRW 2018; Drive Sustainability 2021). Gemeinden in der Nähe von Abbaustätten in Guinea klagen über das vermehrte Auftreten von Atemwegs- und Magenproblemen durch Staub und Luftverschmutzung, die durch den Transport von Bauxit verursacht werden (EJA 2017, zitiert bei The Dragonfly Initiative 2018, S. 52). Aluhütten emittieren zudem Fluoride, die aus dem für die Elektrolyse notwendigen Kryolith stammen. Durch die Fluoride können (teils irreversible) gesundheitliche Schäden entstehen, bei modernen Anlagen sind Emissionen jedoch eher gering (Vasters und Franken 2020, S. 13; Drive Sustainability 2021).</p>
	<p>Wassergefährdende Stoffe: Der bei der Produktion von Aluminiumoxid entstehende Rotschlamm muss sicher deponiert werden. Bei nicht sachgerechter Lagerung kann austretender Rotschlamm die Umwelt mit Schadstoffen wie Arsen, Quecksilber und Chrom kontaminieren und eine Gesundheitsgefahr für die Anwohnenden in den umliegenden Gemeinden darstellen, etwa wenn Sickerwässer mit giftigen Rückständen in das Grundwasser gelangen (Kind und Engel 2018). Aus China gibt es Berichte über die illegale Entsorgung und unsachgemäße Behandlung von Rotschlamm und die damit einhergehende Verunreinigung von lokalen Wasserquellen, die zur Bewässerung von Pflanzen genutzt werden. Dies hat zu geringeren Ernteerträgen in der Nähe von Tonerdefabriken geführt und kann Gesundheitsschäden verursachen (Yao 2015, zitiert bei The Dragonfly Initiative 2018, S.,26).</p>
	<p>Abfälle: Bei der Produktion von Aluminiumoxid entstehen große Mengen Rotschlamm als Abfall, siehe dazu „Wassergefährdende Stoffe“ in diesem Kapitel.</p>
	<p>Sonstige Umweltthemen</p>

3.3.3 Rohstoff Kupfer

Nach Eisen und Aluminium ist Kupfer der mengenmäßig meistgeförderte metallische Rohstoff (Gilsbach 2020, S. 3). Deutschland gehört zu den Top-10-Importeuren von Rohkupfer und raffiniertem Kupfer. Sekundäres Kupfer macht in der Kupfer-Raffinade-Produktion derzeit weltweit 17 %, in Deutschland 41 % aus. Kupferlegierungen wie Kupfer-Zink-Legierungen kommen im Maschinenbau wegen ihrer Verschleißseigenschaften in zentralen Bereichen wie dem Getriebebau, Pedallager, Gestängelager, Nockenwellenlager oder in Baumaschinen zum Einsatz (Baier et al. 2021, S. 46).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Porphyrische und damit assoziierte Kupferskarn-Lagerstätten, deren hydrothermale Entstehung im Zusammenhang mit Vulkanismus steht, machen derzeit etwa 60 % bis 70 % der Weltkupferproduktion aus. Sie sind z. B. als große Lagerstätten in Chile oder Peru vorhanden, während sedimentäre Kupferlagerstätten etwa in der DR Kongo vorkommen (Schütte 2021, S. 4). Die führenden Länder in der Kupferraffinade sind China, Chile und Japan. Einige dieser Länder erhalten niedrige (Umwelt-)Governance-Werte (siehe Tabelle 8) und weisen damit eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit für die mit diesen Wertschöpfungsschritten verbundenen Risiken für negative Umweltauswirkungen auf.

Tabelle 8: Eckdaten zur (Umwelt-)Governance – Kupfer

	Hauptproduktionsländer	EPI (Yale University)	Durchschnittswert der WGI (Weltbank)
Kupferabbau	Chile	46.7	0,95
	Peru	39.8	-0,05
	China	28,4	-0,36
	USA	51.1	1,13
	Demokratische Republik Kongo	36.9	-1,59
Kupferraffinade	China	28,4	-0,36
	Chile	46.7	0,95
	Japan	57.2	1,32







Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5²⁰

Quelle: Eigene Darstellung, EPI 2022 und WGI 2020.



Der Abbau, die Verhüttung und Raffinade von Kupfer sind mit einer Reihe von Risiken für hohe negative Umweltauswirkungen verbunden, wobei das Risiko durch den Einsatz technischer Maßnahmen gut kontrolliert werden kann. So können beispielsweise moderne

²⁰ Die Indices-Werte wurden farblich unterlegt, um eine bessere Lesbarkeit zu erzielen. Die farbliche Unterlegung zeigt an, wie die Werte für die jeweiligen Länder im Verhältnis zu anderen Ländern weltweit stehen. Die Einteilung erfolgt in vier gleich große Gruppen (Quartile), denen jeweils eine Farbe zugeordnet ist (siehe Kapitel 1.4.2 für eine Erläuterung des Farbschemas).

Abscheideeinrichtungen in Kupferhütten über 99 % der Schwefeldioxidemissionen auffangen, welche dann zur Herstellung von Schwefelsäure genutzt werden (Gilsbach 2020, S. 2).

Risiko	Umweltthemen
	Treibhausgase: Abbau und Aufbereitung von Kupfererzen verbrauchen u. a. aufgrund des im Vergleich zu Bauxit und Eisenerz viel geringeren Erzgehalts viel Energie, was je nach Energiequelle zu hohen Treibhausgasemissionen führen kann. Das Kupferbergwerk Cerro Verde ist zum Beispiel für 1,2 % (2019) ²¹ des gesamten peruanischen Energieverbrauchs verantwortlich (Gilsbach 2020, S. 10). Fossile Energieträger stellen in Peru die Hauptenergiequelle dar (IEA 2021d).
	Wasser: Bis zu 350 m ³ Wasser werden für den Abbau und die Aufbereitung einer Tonne Kupfer benötigt (Gilsbach 2020, S. 14). Bei 80 % der primären Kupfergewinnung wird Wasser eingesetzt, um vorgebrochenes Kupfererz auf Korngröße zu mahlen (pyrometallurgische Route) (ebd., S. 5). Der Mahlvorgang und die Flotation, die Abtrennung von Nebengestein zur Erzeugung des Kupfererzes, sind die Aufbereitungsschritte, die im Kupferbergbau etwa 70 % des Gesamtwasserbedarfs ausmachen (ebd., S. 8). Des Weiteren wird Wasser auch zur Kühlung von Bohrmaschinen und zur Staubunterdrückung genutzt sowie zur Herstellung von Auslauglösungen für festes Calcium und Natriumcyanid. Zudem müssen, um im Abbau den Zugriff auf die Flöze und die Sicherheit der Gewinnung zu gewährleisten, grundsätzlich die Gruben entwässert werden (Wasserhaltung), was zur Erschöpfung von Grundwasserleitern führen und zu einer erhöhten Intensität und/oder Häufigkeit von Dürren beitragen kann (ENCORE 2020). Der hohe Wasserverbrauch kann in Gebieten mit Wasserstress zu Konflikten mit der lokal ansässigen Bevölkerung führen, z. B. in Peru (Gilsbach 2020, S. 12).
	Fläche: Der Tagebau ist flächenintensiv, und durch den geringen Kupfergehalt im Erz entstehen große Halden. Es wird geschätzt, dass global über 4.000 km ² Fläche direkt durch den Kupferbergbau beansprucht werden (Murguía 2015). Die Flächeninanspruchnahme wirkt sich auf die lokale Biodiversität aus, insbesondere in Abbaugebieten mit hoher Biodiversität wie tropische Regionen, die diesbezüglich hohe Risiken für negative Auswirkungen haben (Gilsbach 2020, S. 8).
	Abiotische und biotische Rohstoffe
	Luftschadstoffe: Bei der Röstung der Kupfererze wird oftmals Schwefeldioxid freigesetzt, wenn es nicht sachgemäß aufgefangen wird (Gilsbach 2020, S. 14). Schwefeldioxid kann Pflanzen schädigen und nach Ablagerung in Ökosystemen eine Versauerung von Böden und Gewässern bewirken. Bei Menschen können Gesundheitsprobleme wie Augenreizungen und Atemwegsprobleme hervorgerufen werden (UBA 2021c).
	Wassergefährdende Stoffe: Von den Reststoffen des Abbaus geht eine Gefahr des Schadstoffaustrags von Schwermetallen (z. B. Blei, Zink) und Metalloiden (Arsen, Antimon) aus, wobei etwa 70 % des Austrags ins Wasser eingehen (Gilsbach 2020,

²¹ Der Prozentsatz wurde auf Basis des Cerro Verde Sustainability Report (Cerro Verde 2019, S. 47) und des allgemeinen Energieverbrauchs in Peru (Enerdata 2019) ermittelt.

Risiko	Umweltthemen
	<p>S. 10). Auswaschungen auf Erzhalde, die Schwermetalle freisetzen, können sich negativ auf die Vegetation und die Bodenbedingungen auswirken, wenn sie versehentlichem Verschütten oder Auslaufen ausgesetzt sind (ENCORE 2020). Auch entstehender Säurenebel und Abregnungen führen zu hohen Kontaminationsrisiken für den Boden, die Flora und Fauna. Die Bildung saurer Grubenwässer im Kupferbergbau ist weit verbreitet (Gilsbach 2020, S. 10). Darüber hinaus kommen bei der Aufbereitung des Kupfererzes im Rahmen der Flotation verschiedene Chemikalien, zumeist Xanthogenate (engl. Xanthate), zum Einsatz, von denen Reste in den Aufbereitungsrückständen (zumeist in Form von Schlämmen (Tailings)) zurückbleiben. Bei unsachgemäßem Chemikalien- oder Abfallmanagement können diese Salze in Gewässer gelangen. Xanthogenate sind für die Wasserfauna giftig. Zudem ist das Abbauprodukt von Xanthogenat, Schwefelkohlenstoff, giftig und wurde mit neurologischen und reproduktiven Langzeiteffekten in Verbindung gebracht (Bach et al. 2016, S. 17-19).</p>
	<p>Abfälle: Durch den relativ geringen Kupfergehalt im Erz fallen große Mengen an Reststoffen an (insbesondere die bei der Flotation anfallenden Aufbereitungsrückstände, zumeist in Form von Schlämmen (Tailings)), dies variiert jedoch je nach Lagerstättentyp und der dortigen Aufbereitungsweise. Bei einer Annahme von 0,7 % Kupfergehalt im Erz und einem Abraumverhältnis von 3:1 führt eine Tonne erzeugtes Kupfer zu ca. 570 t bergbaulichen Rückständen (Gilsbach 2020, S. 10). Zumeist werden Tailings als Suspension in großen Absetzbecken (engl. tailings dam) abgelagert, wobei Teile des eingespülten Wassers zur Wiederverwendung zurückgewonnen werden können (edd., S. 6).</p>
	<p>Sonstige Umweltthemen</p>

3.3.4 Metallverarbeitung

Der Maschinenbau umfasst die Produktion einer großen Spannbreite verschiedener End- und Zwischenprodukte. Daher kommt innerhalb des Sektors für die Produktion verschiedenster metallischer Komponenten eine Vielfalt von Rohstoffen sowie unterschiedliche Fertigungsverfahren der Metallverarbeitung zum Einsatz. Diese Verfahren sind durch komplexe Abläufe und eine hohe Fertigungstiefe bei überwiegend kleinen bis mittleren Stückzahlen charakterisiert (Schebek et al. 2017, S. 85). Prozesse der Metallerzeugung und -verarbeitung sind, wie in Kapitel 2 (Fokusssektor: Herstellung von Lagern, Getrieben, Zahnrädern und Antriebselementen) dargestellt, für einen großen Anteil an Umweltauswirkungen im Bereich der Treibhausgase, des Wasserverbrauchs und des Eintrags wassergefährdender Stoffe verantwortlich. Die Metallverarbeitung kann nach DIN 8580 in sechs Gruppen unterteilt werden: Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und Stoffeigenschaften ändern (Legierung) (Ilschner und Singer 2016, S. 342).

Urformen

Das Urformen umfasst das Gießen sowie die pulvermetallurgische Herstellung. Nach der Aufbereitung der metallischen Rohstoffe liegen diese meist im flüssigen Zustand vor und können in einfache Formen (Blöcke, Brammen, Bolzen) gegossen werden. Diese werden vorwiegend in einem Ofen geschmolzen und bei Bedarf wieder eingeschmolzen oder durch Umformen

weiterverarbeitet. Für das Gießen ist Wärme notwendig, welche auf Grundlage von Koks, Öl oder Gas erzeugt wird und das Gießen zu einem energieintensiven Prozess macht. Für bestimmte Gießverfahren muss zudem hoher Druck (2000 bis 3000 bar) erzeugt werden, was ebenfalls mit einem hohen Energieaufwand einhergeht (Ilschner und Singer 2016, S. 287).

Umformen

Das Umformen bezeichnet ein Verfahren zur Veränderung der Form eines Metalls. Für alle Warmumformungsverfahren wird der Werkstoff auf hohe Temperaturen (Rekristallisationstemperatur) erwärmt. Diese liegt bei unlegierten Baustählen beispielsweise bei 1000°C (Burmester et al. 2017, S. 90). Bei Kaltumformungsverfahren ist hingegen keine Erwärmung und somit keine Wärmeenergiezufuhr nötig. Beim Umformen werden zusätzlich hohe Kräfte und somit ein hoher Energieaufwand von bis zu 650 MN Presskraft – je nach Metall und Verfahren – benötigt (Ilschner und Singer 2016, S. 305). Bauteile auf Eisenbasis mit geringer Beanspruchung werden durch pulvermetallurgische Verfahren unter hohem Druck und Temperaturen hergestellt.

Trennen

Trennende und spanende Verfahren kommen häufig zum Einsatz und werden von 80 % der Unternehmen der Metallindustrie angewendet (Dückert et al. 2015, S. 68). Hierbei werden kleine Stoffteilchen mit einem Werkzeug von einem Werkstück abgetrennt. Trennen ist im Vergleich zu Urformen und Umformen ein energiearmer Prozess. Jedoch können hohe Temperaturen entstehen, weshalb ein Kühlschmierstoff eingesetzt wird. Dieser muss im Nachgang wieder von den anfallenden Metallspänen entfernt werden (Burmester et al. 2017, S. 224).

Fügen

Unter Fügen versteht man das Verbinden von einzelnen Elementen durch Kleben oder Schweißen (Burmester et al. 2017, S. 194-195). Mechanische Fügeverfahren ohne den Einsatz von Wärme können im Vergleich zum Ur- und Umformen als energiearm angesehen werden (Dückert et al. 2015, S. 69). Beim stoffschlüssigen Fügen werden Klebstoffe oder Lot eingesetzt (Burmester et al. 2017, S. 199-201).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Der deutsche Maschinenbau bezieht den Großteil der benötigten Produkte aus der Metallverarbeitung von inländischen Lieferanten (Weiss et al. 2020, S. 148).

55 % der Maschinenbaulieferkette sind in Deutschland verortet. Der wichtigste außereuropäische Fertigungsstandort deutscher Hersteller für Metallerzeugnisse ist China (3 %) (Nill et al. 2017, S. 36). Weitere direkte Lieferanten – etwa Hersteller von metallischen Vorprodukten – befinden sich hauptsächlich in europäischen Ländern wie Italien, Frankreich, Österreich, Großbritannien, der Schweiz oder Norwegen. China erhält eine verhältnismäßig niedrige (Umwelt-)Governance-Bewertung (siehe Tabelle 9). Dieser Wert legt höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten für das Auftreten negativer Umweltauswirkungen nahe.

Tabelle 9: (Umwelt-)Governance-Kontext – Metallverarbeitung





	Hauptfertigungsländer	EPI (Yale University)	Durchschnittswert der WGI (Weltbank)
Metallverarbeitung	China	28,4	-0,25
	Deutschland	62,4	1,40
	Rest Europa (ohne D)	n. a.	n. a.

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5²²





Quelle: Eigene Darstellung, EPI 2022 und WGI 2020.

Ein Viertel der Treibhausgasemissionen des Maschinenbaus entsteht in der Metallerzeugung und -verarbeitung.

40 % des Wassers wird in der Metallerzeugung und -verarbeitung verbraucht (siehe Fokussektor 1). Zudem besteht in der metallverarbeitenden Stufe das Risiko einer Kontamination von Luft und Wasser durch Stäube und Abfälle, wobei die Eintrittswahrscheinlichkeit stark vom Produktionsstandort abhängt.

Risiko	Umweltthemen
	Treibhausgase: Die Prozesse des Schweißens, Urformens und Warmumformens gehen mit einem sehr hohen Energieverbrauch einher. Je nach eingesetzten Energieträgern (Öl, Gas, Koks) bzw. lokalem Strommix am Standort entstehen dadurch hohe Treibhausgasemissionen (VDA 2014, S. 9). Dies ist insbesondere im Hinblick auf den Bezug von Metallerzeugnissen aus China und den dortigen hohen Anteil an Kohle im regionalen Strommix relevant.
	Wasser: Ein Unternehmen der Metallverarbeitung verbraucht durchschnittlich 1.000 bis 2.000 Liter Wasser pro Tonne Rohmetall (Energieinstitut der Wirtschaft GmbH 2014, S. 10). Dies ist vor allem bei regionalen Risiken für Wasserknappheit, etwa in einigen Regionen Chinas (vor allem im Nordosten), von besonderer Bedeutung (WWF 2020). Dort kann der hohe Verbrauch von blauem Wasser, z. B. aus Wasserreservoirs, durch das metallverarbeitende Gewerbe bestehende Wasserknappheitsrisiken verschärfen (siehe Kapitel 2.3.7).
	Fläche: Die für die Metallverarbeitung genutzten Rohstoffe gehen auf der Stufe der Rohstoffgewinnung oftmals mit hohen Risiken durch die Flächennutzung einher. (Siehe Details zu Umweltauswirkungen, die mit der Flächennutzung in Verbindung stehen, in den Fokusrohstoffkapiteln Stahl und Eisen, Aluminium und Bauxit sowie Kupfer.)
	Abiotische und biotische Rohstoffe

²² Die Indices-Werte wurden farblich unterlegt, um eine bessere Lesbarkeit zu erzielen. Die farbliche Unterlegung zeigt an, wie die Werte für die jeweiligen Länder im Verhältnis zu anderen Ländern weltweit stehen. Die Einteilung erfolgt in vier gleich große Gruppen (Quartile), denen jeweils eine Farbe zugeordnet ist (siehe Kapitel 1.4.2 für eine Erläuterung des Farbschemas).

Risiko	Umweltthemen
	Luftschadstoffe: Eisenmetallgießereien emittieren Gase wie Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC), Feinstaub, Benzol und Stickoxide. Zudem können beim Urformen blei- oder cadmiumhaltige Schwermetallstäube und -dämpfe entstehen (UBA 2020f). Beim Schweißen entstehen Stickoxide oder Kohlenmonoxidgase sowie Schwermetallstäube, die sich u. a. schädlich auf die menschliche Gesundheit auswirken können (Burmester et al. 2017, S. 225). Auch beim Kleben und anschließenden Trocknen von Bauteilen entsteht lösemittelhaltige Abluft, die beim Einatmen gesundheitsschädlich ist (BMW Group 2018, S. 18).
	Wassergefährdende Stoffe: Nach der Metallverarbeitung müssen die Werkstücke von Kaltschmierstoffresten und Schmutz befreit werden. Dies kann durch Kaltreiniger oder durch den Einsatz von Heißdampf und Waschlaugen erfolgen. Dabei fällt Abwasser an, welches wassergefährdende Stoffe enthält. Zudem entstehen Schlämme und Suspensionen beim Schleifen oder bei der Nass-Rauchgasreinigung. Als Nebenprodukte von Härtingsprozessen entstehen Laugen, Säuren und giftsalzbelastetes Wasser, welche den pH-Wert des Wassers verändern und sich negativ auf die Mikrobiologie in Kläranlagen auswirken (Abwasser Analysezentrum 2022). Reinigungsmittel, die chlorierte Kohlenwasserstoffe wie Per oder Tri enthalten, stellen ein zusätzliches Umweltrisiko dar (Burmester et al. 2017, S. 225). Diese Stoffe sind krebserregend, erbgutverändernd und toxisch (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz 2022).
	Abfälle: Bei der Metallverarbeitung entstehen verschiedene Abwässer und Abfälle, u. a. in Form von Schlämmen und Suspensionen, siehe dazu „Wassergefährdende Stoffe“ in diesem Kapitel.
	Sonstige Umweltthemen

Weitere hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Wertschöpfungskette in der Metallverarbeitung

Risiken für negative Umweltauswirkungen am Lebenszyklusende

In Deutschland ist die Recyclingquote von Altmetallen gemessen am Gesamtverbrauch niedrig. Der recycelte Anteil am Gesamtmetallverbrauch liegt bei Eisen um 24 %, bei Kupfer um 55 % und bei Aluminium um 12 % (Groneweg und Weis 2019, S. 51). Bei dem metallspezifischen Schredderprozess der Maschinenbauteile am Lebenszyklusende ergeben sich vor allem folgende Risiken für negative Umweltauswirkungen:

Luftschadstoffe: Schredderanlagen emittieren Luftemissionen in Form von Staub einschließlich Partikeln von Schwermetallen, VOC und Wasserdampf. Diese können etwa durch unsachgemäße Öffnungen in Schreddergebäuden, bei unzureichender Absaugung oder Straßenreinigung in die Umwelt gelangen (Mehlhart et al. 2018, S. 38).

Abfälle: Neben den wiederverwendbaren Fraktionen fallen Schredderrückstände (Schredderleichtfraktion) zur Entsorgung an (UBA 2020b).

3.4 Galvanisierung/ Metallegierungen

Neben den metallischen Rohstoffen und ihrer Verarbeitung sind für den Maschinenbau besonders zwei Prozesse zentral und relevant in Bezug auf ihre Umweltauswirkungen: die Galvanisierung und verschiedene Verfahren zur Legierung von Metallen.

Die Galvanisierung wird als Beschichtungsverfahren von Metallen und für Werkzeugmaschinen eingesetzt. Der Prozess ist chemikalienintensiv und geht daher mit einem hohen Gefährdungspotenzial für Wasser und Böden einher, vor allem wenn als Beschichtungswerkstoff Chrom zum Einsatz kommt (Reach-Helpdesk o. J., S. 16). Neben dem Galvanisierungsprozess wird zudem Vanadium als ein Legierungsmetall exemplarisch gesondert betrachtet. Vanadium besitzt auf Ebene der Rohstoffgewinnung ein hohes aggregiertes Umweltgefährdungspotenzial (Dehoust et al. 2020b, S. 42) und wird in hochlegierten Werkzeugstählen für Bohrer, Fräswerkzeuge etc. eingesetzt (Material Archiv 2022).

3.4.1 Galvanisierung

Der Prozess der Galvanisierung dient der funktionalen Beschichtung von Oberflächen (Umweltbundesamt 2013). Die drei grundlegenden Verfahren der Galvanisierung sind das Schichtabtragen (Brennen, Beizen), Schichtauftragen (galvanische und chemische Abscheidung von Metallen und Metallegierungen) und die Schichtumwandlung (Anodisieren, Chromatierung oder Phosphatieren) (ebd.). Die Galvanisierung trägt zu einer längeren Lebensdauer des Werkstücks und somit zu einem reduzierten Ressourceneinsatz bei. Durch den Einsatz der Galvanisierung werden deutschlandweit jedes Jahr Schäden durch Korrosion und Verschleiß im Wert von schätzungsweise 150 Mrd. EUR verhindert (Umweltbundesamt 2013).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Der Galvanisierungsprozess findet teils als Zwischenschritt in metallverarbeitenden Betrieben, teils bei spezialisierten Dienstleistern statt (Kanani 2009, S. 12-14). In Deutschland gibt es zum Stand 2017 etwa 2.400 Galvanisierungsbetriebe (Willand et al. 2020, S. 53), deren Jahresumsatz 2013 zwischen 5 und 6 Mrd. EUR betrug. Die Branche ist mittelständisch geprägt (Umweltbundesamt 2013). Da Galvanisierung ein Oberflächenveredelungsprozess ist, der u. a. auch für die Automobilbranche zum Einsatz kommt, ist kein branchenspezifischer Länderfokus für den Maschinenbau auszumachen.²³

Tabelle 10: (Umwelt-)Governance-Kontext – Galvanisierung

	Hauptfertigungsländer	EPI (Yale University)	Durchschnittswert der WGI (Weltbank)
Galvanisierung	Deutschland	62.4	1,40

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5²⁴







Quelle: Eigene Darstellung, EPI 2022 und WGI 2020.



²³ Die Betriebe sind meist integriert in metallverarbeitende Produktionsstandorte. Länderspezifische Zahlen sind daher kaum verfügbar, deshalb wird hier ein Fokus auf Deutschland und dessen auf Galvanisierung spezialisierte Betriebe gelegt.

²⁴ Die Indices-Werte wurden farblich unterlegt, um eine bessere Lesbarkeit zu erzielen. Die farbliche Unterlegung zeigt an, wie die Werte für die jeweiligen Länder im Verhältnis zu anderen Ländern weltweit stehen. Die Einteilung erfolgt in vier gleich große Gruppen (Quartile), denen jeweils eine Farbe zugeordnet ist (siehe Kapitel 1.4.2 für eine Erläuterung des Farbschemas).

Aufgrund der eingesetzten Chemikalien beim Galvanisierungsprozess besteht das Risiko belasteter Abwässer, die einer Behandlung unterzogen werden müssen (Reach-Helpdesk o. J., S. 14). Galvanische Abscheideverfahren sind zudem sehr energieintensiv (ebd.). Zur Kontrolle und Minderung (potenzieller) Umweltauswirkungen des Galvanisierungsprozesses kommen jedoch verbreitet energieeffiziente Automaten, geschlossene Wasserkreisläufe, eine sorgfältige Abwasserreinigung und das Recycling von Wertstoffen zum Einsatz (Umweltbundesamt 2013).

In Galvanikbetrieben besteht zudem ein hohes Risiko für Brände, in deren Folge kontaminiertes Löschwasser und auslaufende Chemikalien Böden und Gewässer verschmutzen können (VdS 2018, S. 4). Im Februar 2021 gelangte etwa durch einen Großbrand in einer Galvanik-Anlage in Berlin u. a. mit Cynaid kontaminiertes Löschwasser in ein nahegelegenes Klärwerk und den Teltowkanal. Die Belastung der Gewässer führte zu einem Fischsterben (Tunk 2021).

Risiko	Umweltthemen
	Treibhausgase
	Wasser
	Fläche
	Abiotische und biotische Rohstoffe
	Luftschadstoffe: In Galvanikbetrieben werden beim Absaugen der Prozesslösungen Luftschadstoffe wie Chromelektrolyte emittiert (Reach-Helpdesk 2022, S. 16). Diese Beizelektrolyte sind wesentliche Emissionen von Prozesslösungen. Außerdem werden Verdunster bei Chromelektrolyten eingesetzt, die Luftemissionen verursachen (ebd., S. 15). Zu den entstehenden Stoffen zählen im Wesentlichen toxische Gase wie gesundheitsgefährdende Stickoxide (NOx), Salzsäure (HCl), Fluorwasserstoff (HF) sowie Aerosole beladen mit Schwefelsäure (SOx), Natronlauge und wassergefährdende Chrom(VI)-Verbindungen (Umweltbundesamt 2013). Um die Emissionen von Chrom(VI)-Aerosolen in die Raumluft zu reduzieren, kommen Netzmittel zum Einsatz (Willand et al. 2020, S. 16) (siehe weitere Informationen unter „Wassergefährdende Stoffe“ in diesem Kapitel). Das Risiko des Austrittes von Luftschadstoffen ist durch die Gefahr von Galvanikbränden besonders erhöht.
	Wassergefährdende Stoffe: In Galvanikbetrieben kommen zum Schutz der Angestellten vor Chromtrioxid-Emissionen als Netzmittel perfluorierte und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) zum Einsatz (Willand et al. 2020, S. 45). Diese können in den Betriebsabwasseranlagen nicht behandelt werden und gelangen somit vollständig über kommunale Kläranlagen in die Umwelt und Gewässer (Willand et al. 2020, S. 20). PFAS sind sehr langlebig; sie reichern sich in Organismen bis hin zum Menschen an (Bioakkumulation), wenn sie bspw. über das Trinkwasser und Lebensmittel aufgenommen werden, und können zu Gesundheitsproblemen führen (Willand et al. 2020, S.103). Abwasser aus Galvanikbetrieben weist zudem u. a. Anteile von Metallionen, toxische Anionen wie Cyanid oder Chromat und Neutralsalze auf. Die Spülwässer und verbrauchten chemischen Behandlungslösungen können recycelt

Risiko	Umweltthemen
	<p>werden. Im Falle einer Entsorgung müssen diese vorbehandelt werden, um die Werte der entsprechenden Abwasserverordnungen einzuhalten (Reach-Helpdesk 2022, S. 15). Entsprechende Auflagen in Hinblick auf Auffangwannen, Überfüllsicherungen, lecksichere Verrohrungen etc. sind in Deutschland die Regel (Reach-Helpdesk 2022, S. 16). Bei Nichteinhaltung dieser Sicherheitsstandards kann es zur Verschmutzung des Grundwassers und/oder des Bodens kommen (ebd.). Das Risiko des Austrittes von Luftschadstoffen ist durch die Gefahr von Galvanikbränden besonders erhöht.</p> <p>Abfälle: Der bei der Reinigung des Abwassers aus Galvanikbetrieben entstehende Schlamm (ebd.) kann Schwermetallhydroxid oder – in selteneren Fällen – Schwermetallsulfide enthalten. Gelangen diese bei unsachgemäßer Entsorgung in die Umwelt, können sie Wachstums- und Stoffwechselstörungen bei Lebewesen verursachen. Daher sind im Falle einer Deponierung entstehender Schlämme strenge Restorganik-Grenzwerte zu beachten. Darüber hinaus fallen durch die Reinigung der Oberflächen vor dem Galvanisieren mit halogenierten Lösungsmitteln Öle und Fette (z. B. aus Koaleszenz- bzw. Leichtstoffabscheidern) als Abfälle an. Bei Kleinbetrieben, die keine leistungsfähige Abwasservorbehandlungsanlage besitzen, entstehen zudem Prozess-Lösungen und Standspülen, die ordnungsgemäß entsorgt werden müssen (Reach-Helpdesk o. J., S. 15).</p>
	<p>Sonstige Umweltthemen</p>

3.4.2 Rohstoff Vanadium

Vanadium wird im Maschinenbau als Legierungsmetall zur Herstellung von Werkzeugstahl für Bohrer, Fräswerkzeuge etc. eingesetzt (Material Archiv 2022). Vanadium wird primär aus Ilmenit und Titanomagnetit-Erzen gewonnen (Primärproduktion) (Nühlen 2020, S. 16). Es kann aber auch bei der Verarbeitung von Titan-Magnetit-Erzen zu Roheisen co-produziert werden und fällt als Schlacke an (Nühlen 2020, S. 16). Zudem kann es aus eisenhaltigem Sand, Phosphaten und Uranerzen gewonnen werden (Co-Produktion) (Marbler et al. 2017, S. 38). Ebenso enthalten Sekundärprodukte wie Alt-Katalysatoren der chemischen Industrie, Schrotte oder Alt-Elektrolyte Vanadium (Sekundärproduktion) (Nühlen 2020, S. 18). Deutschland ist der größte Importeur von Vanadium in der EU. 2019 wurden 4.364 t Vanadium importiert (Andruleit et al. 2020, S. 39).

Chinesische Lagerstätten für Vanadium weisen eine hohe Konzentration an radioaktiven Stoffen und Schwermetallen auf. Diese sind toxisch für Tiere, Menschen sowie aerobe und anaerobe Prozesse. Daher geht die bergbauliche Gewinnung des Rohstoffs Vanadium mit einem hohen Umweltgefährdungspotenzial einher (Dehoust et al. 2017, S. 24).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Wichtigste Produktionsländer von Vanadium für Deutschland sind Österreich und Südkorea (Andruleit et al. 2020, S. 39). Weitere relevante Standorte der Vanadium-Gewinnung im globalen Kontext sind China (36 %), Südafrika (30 %) und Russland (18 %) (Marbler et al. 2017, S. 37). In China werden 51,9% des weltweiten Vanadiums produziert (Dehoust et al. 2017, S. 26). Österreich als zentrales Importland Deutschlands für Vanadium erhält eine verhältnismäßig hohe (Umwelt-)Governance-Bewertung (siehe Tabelle 11). Dabei ist jedoch zu beachten, dass in

Österreich lediglich vanadiumhaltige Schlacke aufbereitet wird, die größtenteils aus Südafrika importiert wird (Marbler et al. 2017, S. 43).

Insgesamt findet der für Deutschland relevante Vanadium-Gewinnungsprozess primär in Ländern mit verhältnismäßig hohen (Umwelt-)Governance-Bewertungen statt (siehe Tabelle 11). Dies legt niedrigere Eintrittswahrscheinlichkeiten von negativen Umweltauswirkungen nahe. Von den Ländern mit relevanten Primärvorkommen von Vanadium erhält lediglich China relativ niedrige (Umwelt-)Governance-Bewertungen, was auf eine erhöhte Eintrittswahrscheinlichkeit für negative Umweltauswirkungen schließen lässt.


Tabelle 11: (Umwelt-)Governance-Kontext – Vanadium

	Hauptproduktionsländer	EPI (Yale University)	Durchschnittswert der WGI (Weltbank)
Vanadium-Gewinnung	China	28,4	-0,25
	Südafrika	37,2	-0,12
	Russland	37,5	-0,65
	Südkorea	46,9	0,96
	Österreich	66,5	1,44

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5²⁵

Quelle: Eigene Darstellung, EPI 2022 und WGI 2020.

Vanadium wird primär durch drei unterschiedliche Verfahren gewonnen: Co-Produktion (72 %), Primärproduktion (18 %) und Sekundärproduktion (10 %). Die Co-Produktion umfasst Verfahren, bei denen Vanadium als Nebenprodukt anfällt, z. B. in der Aluminiumproduktion (Nühlen 2020, S. 18). Der Gewinnungsprozess von Primärvanadium ist mit einer Vielzahl an Risiken für negative Umweltauswirkungen verbunden. Es wird davon ausgegangen, dass 98 % der weltweiten Vanadium-Reserven in Titanomagnetiten gebunden sind, daher ist das Primärgewinnungsverfahren in diesem Kontext besonders relevant (Nühlen 2020, S. 102). Zuletzt wird Vanadium als Sekundärprodukt, etwa in der Erdölraffination, erzeugt (Nühlen 2020, S. 18). Vanadium kann auch durch umweltschonendere Recyclingverfahren aus Stahllegierungen gewonnen werden. Die Recyclingquote ist jedoch sehr gering (Loibl et al. 2020, S. 37). Die Herstellung ist je nach Verfahren besonders energieintensiv und geht teilweise mit einem hohen Flächenverbrauch einher (Pell et al. 2021, S. 9).

Risiko	Umweltthemen
	Treibhausgase: Das Verfahren zur Erzeugung von Vanadium aus Titanomagnetiten benötigt hohe Temperaturen und dadurch viel Energie (Nühlen 2020, S. 18). Je nach Energiequelle kann dies zu hohen Treibhausgasemissionen führen. Fossile Energieträger stellen in den Hauptproduktionsländern China und Südafrika die primäre Energiequelle dar (IEA 2022a; IEA 2022b).

²⁵ Die Indices-Werte wurden farblich unterlegt, um eine bessere Lesbarkeit zu erzielen. Die farbliche Unterlegung zeigt an, wie die Werte für die jeweiligen Länder im Verhältnis zu anderen Ländern weltweit stehen. Die Einteilung erfolgt in vier gleich große Gruppen (Quartile), denen jeweils eine Farbe zugeordnet ist (siehe Kapitel 1.4.2 für eine Erläuterung des Farbschemas).

Risiko	Umweltthemen
	Wasser
	Fläche: Bei der Co-Produktion von Vanadium auf der Basis von Steinkohle entstehen pro 1.000 t Rohstoff 120.000 bis 150.000 t Bergematerial, dessen Lagerung wiederum mit einem hohen Flächenbedarf einhergeht. 2010 wurden aufgrund hoher Nachfrage einmalig 30 % bis 40 % des gesamten in China gewonnenen Vanadiums durch dieses Verfahren erzeugt (Nühlen 2020, S. 117) ²⁶ . Langfristig liegt der jährliche Betrag nur bei 100 t, da die Gewinnung mit hohen Umweltproblemen verbunden ist(ebd.).
	Abiotische und biotische Rohstoffe
	Luftschadstoffe: Während des Vanadiumsabbbaus treten schwermetalllastige Stäube auf (Nühlen 2020, S. 117). Als Nebenprodukt der Vanadiumherstellung entstehen korrosive Gase (Nühlen 2020, S. 21). Treten diese unkontrolliert in die Umwelt aus, können sie oberhalb bestimmter Konzentrationen Pflanzen, Gewässer, Böden und Materialien angreifen und sind schädlich für Menschen und Tiere (Umweltbundesamt 2021c).
	Wassergefährdende Stoffe: Bei der Vanadiumherstellung aus Titanomagnetit in China entstehen ca. 50.000 t chromhaltiger Schlamm pro Jahr (Nühlen 2020, S. 103). Zudem werden pro Tonne Vanadium rund 30 bis 50 t metallhaltige Abwässer produziert (ebd.). Im Falle einer unsachgerechten Entsorgung führen diese zu einer hohen Umweltbelastung.
	Abfälle: Bei der Herstellung von Vanadium können Chromsalze entstehen, die eine potenzielle Umweltbelastung darstellen. Jedes Jahr werden 50.000 t chromiumsalthaltiger Schlamm allein durch den Vanadiumextraktion in China produziert (Li et al. in Nühlen 2020, S. 20). Allein aufgrund der Menge ist die Entsorgung des Schlamms eine Herausforderung (ebd.).
	Sonstige Umweltthemen

²⁶ Vanadium aus Steinkohle wird in China bei kurzfristigen hohen Bedarfen eingesetzt. Nur bei hoher Nachfrage wird dieses Verfahren eingesetzt, da es mit hohen Produktionskosten und Umweltrisiken einhergeht (Nühlen 2020, S. 117).

4 Ansatzpunkte und Maßnahmen zur Minderung von Umweltrisiken und zur Erfüllung umweltbezogener Sorgfaltspflichten

4.1 Maßnahmen, um Risiken für negative Auswirkungen zu identifizieren und zu bewerten

Um potenzielle oder tatsächliche Auswirkungen zu bestimmen, empfehlen sich angelehnt an den Due-Diligence-Prozess in Abbildung 1 (Schritte 2 und 3, OECD 2018) die folgenden Maßnahmen:

- **Breit angelegte Risikoanalyse**, um Transparenz zu schaffen und prioritäre Themen zu bestimmen
- **Vertiefte Risikoanalyse** für prioritäre Themen durchführen
- **Verbundenheit** des eigenen Unternehmens mit den identifizierten (hohen) Risiken für negative Auswirkungen bestimmen
- **Handlungsfelder** für Präventions- oder Minderungsmaßnahmen priorisieren

Es ist sinnvoll, die Implementierung und (Zwischen-)Ergebnisse intern zu dokumentieren und diese regelmäßig zu aktualisieren.

4.1.1 Breit angelegte Risikoanalyse und vertiefte Risikoanalyse für prioritäre Themen

Am Beginn des Prozesses steht die Frage, welche negativen Umweltauswirkungen wo in den Lieferketten auftreten. Um die nötige Transparenz zu schaffen, wird die Wertschöpfungskette bzw. das Zuliefernetzwerk mittels einer breit angelegten Risikoanalyse systematisch auf potenzielle und tatsächliche negative Umweltauswirkungen untersucht. Neben eigenen unternehmensinternen Hinweisen und dem Dialog mit relevanten Stakeholdergruppen können (öffentlich zugängliche) Informationen zu branchen- und länderspezifischen, produkt- und unternehmensbezogenen Umwelthotspots und Risikofaktoren betrachtet werden, wie etwa in den Kapiteln 2 und 3 dieser Studie dargelegt. Informationslücken können durch unternehmensinterne Recherchen oder Zuhilfenahme von externen Expertinnen und Experten geschlossen werden.

Die gesammelten Informationen sollten anschließend so aufbereitet werden, dass die Umweltauswirkungen und identifizierten Risiken hinsichtlich ihrer Schwere und Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet und priorisiert werden können. Da eine gleichzeitige Betrachtung und Bearbeitung aller (potenziellen) negativen Umweltauswirkungen entlang der Lieferkette in der Regel nicht möglich ist, soll durch diesen Prozess eine Eingrenzung auf bedeutende Umweltauswirkungen und hohe Risiken erfolgen. Die Ergebnisse können mithilfe relevanter interner und externer Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette, insbesondere auch direkt betroffener Personen, validiert werden.

Die folgenden Beispiele für Tools und Datenbanken sowie Stakeholderinitiativen können die Risikoanalyse unterstützen.

Beispiele für Tools und Datenbanken zur Identifizierung oder Bewertung von potenziellen und tatsächlichen negativen Auswirkungen in der eigenen Wertschöpfungskette

Die in der Studie erarbeiteten Informationen sind als eine erste Orientierung für Unternehmen zu verstehen. Um potenzielle und tatsächliche negative Umweltauswirkungen und ggf. damit

verbundene menschenrechtliche Auswirkungen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette für das eigene Unternehmen zu ermitteln, können nachstehende Tools genutzt werden:

- ▶ Analyse der Relevanz von Vorleistungssektoren bei **ENCORE** (<https://encore.naturalcapital.finance/en>) mithilfe der Filterung nach „Impacts“ und der Kategorie für den zutreffenden Vorleistungssektor im Tool, z. B. „Materials“. Anschließend können im Bereich „Sub-Industry“ konkrete Vorleistungssektoren ausgewählt werden. Nach dieser Auswahl sind die einzelnen ökologischen Wirkungskategorien dargestellt.
- ▶ Prüfung von Vorleistungssektoren mithilfe des **MVO CSR Risk Checks** (<https://www.mvorisicochecker.nl/en>). Dies kann über den generellen Check „Start the Check“ und die dortige Sektorenauswahl für die betreffenden Vorleistungssektoren erfolgen. Gleichzeitig können anhand der „World Map“ lokale Risiken identifiziert werden, falls Produktions- und/oder Abbaustandorte bekannt sind.
- ▶ Analyse von Knappheitsrisiken von Wasser mithilfe des **WWF Water Risk Filters**, indem die bekannten Produktionsstandorte von Lieferanten (tier 1) und Sub-Lieferanten (tier 2-x) geprüft werden. Dies erfolgt auf der Webseite <https://waterriskfilter.org/> im Menü „Explore“ mit der Auswahl „Maps“ und anschließend im „Water Risk Layer ‚1 Scarcity Risk‘“. Dieser Indikator gibt die akkumulierte Relevanz verschiedener Knappheitsrisiken der einzelnen Regionen an. Die Karte kann anschließend mit den bekannten Produktions- und/oder Abbaustandorten abgeglichen werden. Zusätzlich sind Detailauswertungen für einzelne Knappheitsindikatoren möglich, z. B. anhand des Indikators „1.2. Baseline Water Stress“. Falls die geografische Lage der Standorte bekannt ist, kann eine Liste im Portal hochgeladen werden. Der WWF Water Risk Filter zeigt anschließend das Wasserrisiko für jeden Standort an und empfiehlt Maßnahmen für alle Standorte.
- ▶ Identifizierung von Informationen zu konkreten lokalen, negativen Verschmutzungen, Schadensfällen auf die Umwelt und Konflikten mit Bezug zur Umwelt anhand des **Environmental Justice Atlas** (<https://ejatlas.org>). Die Datenbank ermöglicht die Filterung nach einzelnen Ländern und Rohstoffen sowie nach ausgewählten Unternehmen („Featured Maps“). Die Rohstoffe der eigenen Wertschöpfungskette und bekannte/mögliche Produktions- oder Herkunftsstandorten der Vorleistungen für das eigene Unternehmen können somit abgeglichen werden. Informationen zu den einzelnen Fällen sind in der Datenbank hinterlegt bzw. verlinkt.
- ▶ Als weiterer Indikator für Risiken kann die **Datenbank der OECD** (<https://mneguidelines.oecd.org/database/>) genutzt werden, um konkrete Fälle und gemeldete Beschwerden zu identifizieren, die an die Nationalen Kontaktstellen (National Contact Points for Responsible Business Conduct) gemeldet wurden. Ausgangspunkt für die Prüfung ist die Filterung „Environment“ und nach den betreffenden Vorleistungssektoren unter „Industry Sector“. Anschließend ist die Filterung nach Ländern, Themen, Zeitraum etc. möglich.
- ▶ Nutzung der Ergebnisse der **Studie des Umweltbundesamts „Weiterentwicklung von Handlungsoptionen einer ökologischen Rohstoffpolitik ÖkoRess II“** zur Bewertung der Umweltgefährdungspotenziale von einzelnen mineralischen Rohstoffen bei der bergbaulichen Rohstoffgewinnung. (Link: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-17_texte_79-2020_oekoressii_abschlussbericht.pdf, Übersicht auf Seiten 41-42).

- ▶ Nutzung der Ergebnisse der Studie des Umweltbundesamtes „Pilot screening of the environmental hazard potentials of mine sites“ (ÖkoRess III) zur Bewertung der Umweltgefährdungspotenziale von 100 großen Bergbaustandorten für Eisenerz, Kupfer und Bauxit weltweit. (Link zu interaktiver Karte: <https://ubagdi.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=cf856d775d8744d299d1585baa8934d1>; Link zu Abschlussbericht: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/pilot-screening-of-the-environmental-hazard>)

Beispiele für Stakeholder-Initiativen zu potenziellen Auswirkungen auf den Wertschöpfungsstufen Rohstoffabbau und -verarbeitung

- ▶ Die Aluminium Stewardship Initiative (ASI – <https://aluminium-stewardship.org>) ist eine globale Non-Profit-Organisation zur Festlegung und Zertifizierung von Standards, die sich für eine verantwortungsvolle Produktion, Beschaffung und Verwaltung von Aluminium einsetzt, wobei ein Ansatz für die gesamte Wertschöpfungskette verfolgt wird.
- ▶ Der International Council on Mining and Metals (ICMM – <https://www.icmm.com>) ist eine internationale Organisation, die sich für eine sichere, faire und nachhaltige Bergbau- und Metallindustrie einsetzt. Der Zusammenschluss von 25 Bergbau- und Metallunternehmen sowie über 30 Regional- und Rohstoffverbänden engagiert sich für eine Stärkung der ökologischen und sozialen Leistung der Industrie.
- ▶ Das ITRI Tin Supply Chain-Program (<https://www.internationaltin.org>) ist eine Initiative des industriegeführten International Tin Research Institute (ITRI) zur Rückverfolgbarkeit und Sorgfaltspflicht, die mit Fokus auf die Demokratische Republik Kongo und Konfliktmineralien mit potenzieller globaler Anwendung entwickelt wurde.
- ▶ Die Initiative for Responsible Mining Assurance (IRMA – <https://responsiblemining.net>) ist ein 2018 gestartetes Bergbaustandard- und Zertifizierungsprogramm, das umfassende Leistungsmessungen und Anreize für Best Practices in sozialer und ökologischer Verantwortung an Minenstandorten weltweit bietet.
- ▶ Die Responsible Sourcing-Initiative der London Bullion Market Association (LBMA – <https://www.lbma.org.uk/responsible-sourcing>) trägt dazu bei, die Herkunft einer Reihe von Edelmetallen sicherzustellen und die Integrität globaler Lieferketten zu schützen.
- ▶ Die Responsible Mica Initiative (RMI – <https://responsible-mica-initiative.com/>) ist eine internationale Organisation, in der sich mehrere Branchen und Organisationen (NGOs, Verbände) gemeinsam verpflichten, verantwortungsvolle Beschaffungspraktiken und lokales Engagement zu nutzen, um Kinderarbeit zu beseitigen und die Lebensgrundlage von Gemeinden innerhalb einer konformen und legalen Glimmerlieferkette in Indien zu verbessern.
- ▶ Als gemeinnützige Organisation ist ResponsibleSteel (<https://www.responsiblesteel.org>) die erste globale Multi-Stakeholder-Standard- und -Zertifizierungsinitiative für die Stahlbranche, die die Beschaffung von Rohstoffen für die Stahlproduktion sowie die Stahlherstellung selbst abdeckt.
- ▶ Die Responsible Minerals Initiative (RMI – <https://www.responsiblemineralsinitiative.org>) setzt sich für Sorgfaltsprozesse in der Beschaffung von Mineralien ein und entwickelt z. B. entsprechende Standards für Raffinerien und Hüttenwerke.

- ▶ Das International Aluminium Institute (IAI – <https://international-aluminium.org>) ist der weltweite Verband der Aluminiumhersteller, der über 60 % der Primäraluminiumproduktion repräsentiert.
- ▶ Copper Mark (<https://coppermark.org/>) ist ein Rahmenwerk zur Förderung der verantwortungsvollen Gewinnung und Produktion von Kupfer. Mit dem Copper Mark Nachhaltigkeitsstandard werden global Unternehmen ausgezeichnet, die sich für verantwortungsvolle Betriebsabläufe in Bezug auf Umwelt, Mitarbeitende, lokale Gemeinschaften und Unternehmensführung einsetzen.
- ▶ Die International Copper Association (ICA - <https://copperalliance.org>) repräsentiert einen Großteil der weltweiten Kupferproduktion und verpflichtet sich, einen positiven Beitrag zu den Zielen der nachhaltigen Entwicklung der Gesellschaft zu leisten.
- ▶ Die Brancheninitiative des Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA), Blue Competence (<https://www.vdma.org/bluecompetence>) beschäftigt sich mit den Umwelt- und menschenrechtlichen Auswirkungen des Maschinen- und Anlagenbaus in der Lieferkette, u. a. mit den Themenfeldern Ressourceneffizienz und Menschenrechte.

4.1.2 Verbindung des eigenen Unternehmens zu potenziellen oder tatsächlichen negativen Auswirkungen bestimmen und Handlungsfelder für Maßnahmen priorisieren

Je nach Bezug zur negativen Auswirkung kann es in erster Linie um die Anpassung der eigenen Geschäftspraktiken gehen (eigene Verursachung und Beitrag dazu durch eigene Aktivitäten, siehe unten) oder darum, die Hebelwirkung zu nutzen, um die Praktiken eines Dritten zu ändern (Beitrag und Verbindung). Die Bestimmung der Verbundenheit des Unternehmens mit negativen Umwelt- oder menschenrechtlichen Auswirkungen und Risiken hilft, zielgerichtete und angemessene Maßnahmen zu entwickeln. Unternehmen sollten Maßnahmen entwickeln oder ihre Hebelwirkung dazu nutzen, um tatsächliche und potenzielle negative Auswirkungen entlang der Wertschöpfungskette zu vermeiden, zu stoppen oder im größtmöglichen Maß zu mindern und bereits eingetretene Schäden wiedergutzumachen. Entsprechende Handlungsansätze und Maßnahmen werden im Folgenden behandelt.

Weitere Hilfestellungen bietet der OECD-Leitfaden für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln (OECD 2018) sowie der Leitfaden „Schritt für Schritt zum nachhaltigen Lieferkettenmanagement“ (Weiß et al. 2017).

4.1.3 Verbindung des eigenen Unternehmens zu potenziellen oder tatsächlichen negativen Auswirkungen bestimmen und Handlungsfelder für Maßnahmen priorisieren

Je nach Bezug zur negativen Auswirkung kann es in erster Linie um die Anpassung der eigenen Geschäftspraktiken gehen (eigene Verursachung und Beitrag dazu durch eigene Aktivitäten, siehe unten) oder darum, die Hebelwirkung zu nutzen, um die Praktiken eines Dritten zu ändern (Beitrag und Verbindung). Die Bestimmung der Verbundenheit des Unternehmens mit negativen Umwelt- oder menschenrechtlichen Auswirkungen und Risiken hilft, zielgerichtete und angemessene Maßnahmen zu entwickeln. Unternehmen sollten Maßnahmen entwickeln oder ihre Hebelwirkung dazu nutzen, um tatsächliche und potenzielle negative Auswirkungen entlang der Wertschöpfungskette zu vermeiden, zu stoppen oder im größtmöglichen Maß zu mindern und bereits eingetretene Schäden wiedergutzumachen. Entsprechende Handlungsansätze und Maßnahmen werden im Folgenden behandelt.

Weitere Hilfestellungen bietet der OECD-Leitfaden für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln (OECD 2018) sowie der Leitfaden „Schritt für Schritt zum nachhaltigen Lieferkettenmanagement“ (Weiß et al. 2017).

4.2 Beseitigen, Vermeiden und Mindern von (potenziellen) negativen Auswirkungen

Im Folgenden werden zehn Steckbriefe zu Handlungsansätzen präsentiert, um tatsächliche und potenzielle negative Umweltauswirkungen in der Lieferkette zu beseitigen, zu vermeiden und zu mindern:

1. Steuerung: Verankerung eines nachhaltigen Lieferkettenmanagements im Unternehmen
2. Steuerung: Definition von klaren Zielen für die Lieferkette
3. Kommunikation: Interner Wissensaufbau und Austausch zu Umweltthemen und Maßnahmen in der Lieferkette
4. Kommunikation: Transfer von Wissen zu Umweltthemen und Maßnahmen an (Vor-) Lieferanten
5. Dialog: Austausch mit (potenziell) Betroffenen als Input zur Risikoanalyse und zur effektiven Lösungsfindung
6. Pilotprojekte: Umsetzung von Veränderungen in der Lieferkette und anschließende Ausweitung
7. Einkauf und Lieferantenmanagement: Zertifizierungen und Standards bei Produzenten und/oder Rohstoffen
8. Allianzen: Unternehmens- und branchenübergreifende Ansätze zur Schaffung nachhaltigerer Lieferketten
9. Stoffkreisläufe: Einsatz von Sekundärrohstoffen und Recycling von Rohstoffen
10. Produktgestaltung: Schaffen der Voraussetzungen für eine langfristige Nutzungsphase

Jeder Steckbrief beinhaltet Hinweise dazu, inwieweit der Handlungsansatz zu Verbesserungen beiträgt und wie diese mit dem eigenen Unternehmen verbunden sind. Hinweise zur Umsetzung sowie Beispiele, die sich auf die Erkenntnisse von Kapitel 2 und 3 der vorliegenden Studie beziehen, bieten eine Hilfestellung für die unternehmerische Praxis. Die Steckbriefe nehmen Erkenntnisse aus dem Austausch mit Branchenvertreterinnen und Branchenvertretern auf und greifen auf die eigenen Praxiserfahrungen des Projektkonsortiums zurück.

(1) Steuerung: Verankerung eines nachhaltigen Lieferkettenmanagements im Unternehmen	
Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes	▶ Festlegung zentraler Verantwortlichkeiten zur Steuerung des Themas im Unternehmen
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen	▶ Voraussetzung für weitere Schritte, z. B. die Entwicklung von Zielen und Maßnahmen, die Nachverfolgung der Umsetzung etc.
Verbundenheit zum eigenen Unternehmen	▶ Dieser Handlungsansatz ist zunächst intern ausgerichtet.
Umsetzung	▶ Allen für das nachhaltige Lieferkettenmanagement relevanten Organisationseinheiten (z. B. Einkauf, Logistik, Risikomanagement,

	<p>Produktentwicklung, Produktionsplanung, Qualitäts- und Umweltmanagement) sollten klare Verantwortlichkeiten zugewiesen werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Es kann eine zentral verantwortliche Organisationseinheit festgelegt oder geschaffen werden (z. B. im Risikomanagement, im Zentraleinkauf o. Ä.), die das Thema im Unternehmen vorantreibt und koordiniert. Diese Einheit sollte keine Insellösung sein, sondern dafür sorgen, dass Aspekte des nachhaltigen Lieferkettenmanagements in Richtlinien, Prozesse und Strukturen des Unternehmens integriert werden. ▶ Verantwortliche Organisationseinheiten sollten das klare Bekenntnis, ein starkes Mandat von der Geschäftsführung bekommen, um somit in die betreffenden Unternehmensbereiche und/oder Tochterunternehmen hineinwirken und Veränderungen anstoßen zu können. ▶ Die betreffenden Bereiche sollten mit den notwendigen Ressourcen und Kapazitäten ausgestattet sein, anstatt diese neue Aufgabe einfach nur zusätzlich ohne Ressourcenausstattung wahrzunehmen. In der Praxis ist oft zu beobachten, dass Bereiche wie das Umweltmanagement zusätzliche Verantwortlichkeiten ohne entsprechende Zusatzressourcen zugewiesen bekommen. Dies führt schließlich dazu, dass das Thema nur unzureichend Beachtung findet. ▶ Eine regelmäßige Berichterstattung an die Geschäftsführung zu Fortschritten, Maßnahmen etc. sollte etabliert werden.
<p>Beispiele für mögliche Maßnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Verankerung in der zentralen Steuerung: Die Erkenntnisse zu sozialen und umweltbezogenen Auswirkungen und Risiken, die mithilfe der Risikoanalyse gewonnen werden, sollten als Ausgangspunkt für ein kritisches Hinterfragen des Nachhaltigkeitsmanagements und strategischer unternehmerischer Weichenstellungen dienen: Wo bestehen gegebenenfalls Lücken (etwa bei der Abdeckung bestimmter Umweltauswirkungen, spezifischer regionaler Risiken oder Produktionsprozesse) und wo besteht Bedarf, Geschäftspraktiken anzupassen, um (potenzielle) negative Auswirkungen möglichst umfassend zu beseitigen, zu vermeiden oder zu mindern? ▶ Systematische Integration in das Risikomanagement: Die Ergebnisse der Risikoanalyse und der identifizierten negativen Umweltauswirkungen sollten fest im unternehmerischen Risikomanagement verankert werden. Neben den (potenziellen) negativen Umweltauswirkungen und den menschenrechtlichen Implikationen können auch die monetären Risiken für das eigene Unternehmen erfasst werden. Zum Beispiel können beim Thema Wasserverbrauch und -knappheit die damit verbundenen Lieferausfallrisiken (aufgrund eingeschränkter Verfügbarkeit von Wasser), regulatorischen Risiken (z. B. bei der Wasserversorgung) und Kostenrisiken in der Lieferkette (durch steigende Preise für die Wassernutzung) berücksichtigt werden. Anknüpfungspunkte bestehen, wenn das Unternehmen bereits bei CDP „Water“ über Risiken und Chancen berichtet. Bisherige Analysen und Daten, die für den CDP-„Water“-Fragebogen erhoben wurden, können für die Identifizierung (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen herangezogen werden und umgekehrt. Nächster Schritt sollte die Identifizierung konkreter

	Minderungsmaßnahmen bei (Vor-)Lieferanten und/oder bezogenen Rohstoffen sein. Hierzu sind weitere Bereiche wie das Lieferantenmanagement und die Produktentwicklung einzubinden.
--	--

(2) Steuerung: Definition von klaren Zielen in der Lieferkette

Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Festlegung von konkreten Zielen zur Verringerung negativer Umweltauswirkungen
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dieser Schritt schafft konkrete Priorisierungen und Zielsetzungen. Er ist Voraussetzung für die Ableitung von Maßnahmen und Initiativen. Hierbei sollten sowohl ökologische als auch menschenrechtliche Aspekte miteinander verbunden werden.
Verbundenheit zum eigenen Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Basis ist die Risikoanalyse über potenzielle negative Auswirkungen auf die Umwelt der eigenen Unternehmensaktivitäten. Dies sollte sowohl die direkten Lieferanten (tier 1) als auch Stufen der vorgelagerten Lieferkettenstufen wie die Rohstoffgewinnung betreffen.
Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Für die Definition von Zielen ist die breite Einbindung der verschiedenen Unternehmensbereiche wie Einkauf oder Produktentwicklung notwendig. Ebenso sollte der Prozess eine klare Unterstützung von der Geschäftsleitung besitzen. ▶ Die Ziele sollten sich auf die im Rahmen der Risikoanalyse identifizierten bedeutsamen negativen Umweltauswirkungen beziehen. ▶ Die Ziele sollten SMART definiert werden, d. h. <ul style="list-style-type: none"> ● Specific (spezifisch), d. h. keine Allgemeinziele, sondern eine Definition, was konkret verbessert werden soll, z. B. statt „Verbesserung von Umweltstandards“ besser eine Definition von Zielen, etwa zur Reduktion von Treibhausgasemissionen oder Anteilen von erneuerbaren Energien. ● Measurable (messbar), d. h. auf Basis von geeigneten Key-Performance-Indikatoren (KPIs), z. B. der Menge der Treibhausgasemissionen in der Lieferkette, verbrauchtem Wasser in Regionen mit Wasserstress, dem Anteil von Lieferanten mit Zertifizierung des Abwassermanagements, der Anzahl geschulter Lieferanten zu verbessertem Abwassermanagement etc. ● Achievable (erreichbar), d. h. die Ziele sollten realistisch, akzeptiert und zuordbar sein. Steht ein Unternehmen am Anfang, Umweltaspekte bei Lieferanten zu adressieren, ist es durchaus sinnvoll, sich zunächst auf „Quick-Wins“ zu fokussieren. Beispielsweise können am Anfang Ziele die direkten Lieferanten

	<p>umfassen (Anzahl xy Lieferanten besitzen Umweltmanagement), wenn noch keine Transparenz über tiefere Lieferkettenstufen besteht. Das Kriterium der Erreichbarkeit sollte ambitionierte Zielsetzungen nicht unterbinden.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Reasonable (angemessen), d. h. sich ambitionierte Ziele zu setzen, die zu tatsächlichen Verbesserungen beitragen und das mit der Zielstellung verbundene Problem adäquat lösen können. Als Orientierung kann der Vergleich mit anderen (Branchen-) Unternehmen dienen, ebenso Zielhorizonte, die sich z. B. anhand wissenschaftlicher Ziele zur Reduktion von Treibhausgasemissionen ergeben. Die Ziele sollten mit konkreten Maßnahmen hinterlegt sein, die auf das Ziel einzahlen. ● Time-bound (terminiert), d. h. mit konkreten Fristen versehen, möglichst als kurz-, mittel- bis langfristige Ziele, um konkrete Maßnahmen voranzubringen. Kurzfristige Ziele können z. B. umsetzbare Energieeffizienzmaßnahmen bei Lieferanten sein, mittelfristige Ziele können Maßnahmen zur Ausweitung auf die gesamte Lieferkette oder zum Einsatz von alternativen Materialien umfassen. Langfristige Ziele mit längerem Zeithorizont wie Netto-Null Treibhausgasemissionen sollten Meilensteine und Schritte zur zwischenzeitlichen Erfolgskontrolle beinhalten. <ul style="list-style-type: none"> ▶ Übergeordnete Ziele sollten möglichst alle Unternehmensbereiche und Tochterunternehmen umfassen. Zudem sollten spezifische Ziele für einzelne Tochtergesellschaften, Unternehmensbereiche oder für einzelne Umweltaspekte definiert werden. Gemäß den Anforderungen des Umweltmanagements sollten die Beiträge von unterschiedlichen Ebenen und Funktionsbereichen der Organisation zum Erreichen der Umweltziele ermittelt und den einzelnen Mitgliedern der Organisation zugeordnet werden. ▶ Mögliche (Zusatz-)Kosten und Investitionen sollten so gut wie möglich abgeschätzt und entsprechende Budgets hierfür bereitgestellt werden. Ebenso ist eine Verabschiedung durch die Geschäftsführung und die breite Kommunikation im Unternehmen unabdingbar. ▶ Bei der Definition von Zielen sollten gleichzeitig Prozesse zur internen und externen Berichterstattung und zum Monitoring der Zielerreichung etabliert werden. Insbesondere sollte festgelegt werden, wie vorgegangen werden soll, wenn Ziele nicht erreicht werden. Mit der Definition der Ziele kann auch die Einführung eines Incentivierungsschemas überlegt werden, z. B. die Verknüpfung der Vergütung mit der Erreichung von Nachhaltigkeitszielen.
<p>Beispiele für mögliche Maßnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ <u>Ziele zum Bezug von Energie aus erneuerbaren Quellen in der Lieferkette.</u> Diese Maßnahme bezieht sich auf die Ergebnisse aus Kapitel 2. Sie zählt auf mehrere Umweltthemen zur Verringerung negativer Auswirkungen ein, insbesondere auf die Verringerung des Ausstoßes von Treibhausgasen und Luftschadstoffen sowohl bei der

Verbrennung von fossilen Energieträgern als auch bei deren Abbau und Transport. Schwerpunkt sollten Prozesse und Standorte in der Lieferkette mit einem hohen Energie- und Strombedarf und Länder mit einem hohen Anteil an fossilen Energieträgern sein. Beim Bezug von Strom aus erneuerbaren Quellen sind jedoch auch mögliche negative Effekte mit zu berücksichtigen. Die Nutzung von Wasserkraft kann beispielsweise negative ökologische und menschenrechtliche Auswirkungen durch die Flutung von Staudammgebieten beinhalten. Bei der Gewinnung von Energie aus der Nutzung von biogenen Quellen können negative Auswirkungen bzgl. des Wasserverbrauchs und der Flächeninanspruchnahme auftreten. Zudem kann die Nutzung von Energie aus Biomasse den Flächendruck erhöhen. Mehrere Hersteller haben begonnen, Anforderungen an (Vor-)Lieferanten zum Einsatz von erneuerbaren Energien zu stellen, z. B. bei der Vergabe für neue Projekte (nur) Produzenten mit zertifiziertem Strom aus erneuerbaren Quellen zu berücksichtigen oder dies als Kriterium bei der Lieferantenbewertung zu nutzen. Ähnliches gilt auch für die Zielsetzungen von Herstellern zu Treibhausgasreduktionen in der Lieferkette (Scope 3) im Rahmen ihrer wissenschaftsbasierten Klimaschutzziele und -strategien.

- ▶ Zielvorgaben im Rahmen der Lieferantenentwicklung und -bewertung:
Eine Möglichkeit, um die Qualität der Risikoanalyse bzgl. menschenrechtlicher und ökologischer Sorgfaltspflichten zu stärken, ist die Zielvorgabe an Lieferanten, selbst eine solche Risikoanalyse durchzuführen und sich über Ergebnisse, die das eigene Unternehmen betreffen, auszutauschen. Darüber hinaus können Ziele für Lieferanten von Komponenten oder Lieferanten aus Regionen oder mit Prozessen, die mit hohen (potenziellen) negativen Umweltauswirkungen verbunden sind, definiert werden. So können zum Beispiel für Lieferanten in Regionen mit hohen Wasserknappheitsrisiken Ziele zur Reduktion des Wasserverbrauchs vereinbart werden oder Vereinbarungen mit Lieferanten aus der metallverarbeitenden Industrie zur Reduktion des Ausstoßes von Luftschadstoffen getroffen werden. Bei der „Weiterreichung“ von Vorgaben sollten allerdings stets die Möglichkeiten der Lieferanten beachtet werden, diese auch umsetzen zu können. Gegebenenfalls können Kooperationen nötig werden (siehe Handlungsansatz 4 unten). Die Sorgfaltspflicht des eigenen Unternehmens entlang der Lieferketten kann nicht an Lieferanten weitergereicht werden. Voraussetzung für diese Maßnahme ist der Aufbau langfristiger und vertrauensvoller Lieferbeziehungen – auch über die Stufe der direkten Lieferanten hinaus, beispielsweise beim Bezug von Rohmaterialien. Durch die Schaffung von Sicherheit in Bezug auf Abnahmevolument und Vertragsdauer können bei (Vor-)Lieferanten die Voraussetzungen dafür geschaffen werden, ebenfalls nachhaltige Unternehmenspraktiken zu integrieren (siehe dazu auch Handlungsansatz 7 unten).

(3) Kommunikation: Interner Wissensaufbau und Austausch zu Umweltthemen und Maßnahmen in der Lieferkette	
Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dialog zu (potenziellen) negativen Auswirkungen auf die Umwelt mit betreffenden Abteilungen im Unternehmen
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dieser Handlungsansatz ist übergreifend wirksam und zählt je nach Maßnahme auf die einzelnen Umweltthemen ein.
Verbundenheit zum eigenen Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dieser Ansatz ist zunächst intern ausgerichtet und schafft die Voraussetzungen für die Identifizierung von möglichen Umweltauswirkungen und geeigneten Maßnahmen sowohl im eigenen Unternehmen als auch in der Lieferkette. Gleichzeitig schafft er kontinuierliche Prozesse zum Wissensaufbau und zur Lösungsfindung.
Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Zuerst sind die betreffenden (zentralen) Bereiche im Unternehmen zu identifizieren, die notwendig für die Erarbeitung und Umsetzung von Maßnahmen sind, z. B. Einkauf/Lieferantenmanagement, Logistik, Produktionsplanung, Produktentwicklung, Business Development, Risikomanagement, Umwelt-, Qualitäts- und Arbeitssicherheitsmanagement. ▶ Es sollten Verantwortliche in den jeweiligen Bereichen festgelegt werden, die die Themen wiederum in ihrem Bereich kommunizieren. Zur Befähigung ihrer Rolle ist den betreffenden Abteilungen/Verantwortlichen ausreichend Wissen bereitzustellen, z. B. in Form von Briefings, One-Pagern, Trainings. ▶ Interne Austauschformate helfen, die einzelnen Fachabteilungen oder Unternehmensbereiche zu dem Thema miteinander zu vernetzen. Dies kann in Form von Workshops, virtuellen Themenkanälen/-räumen, regelmäßigen Routinen o. Ä. erfolgen. Es sollte sichergestellt sein, dass die einzelnen internen Wissensträgerinnen und Wissensträger im Unternehmen bei der Suche nach geeigneten Lösungsansätzen sinnvoll zusammengeführt werden.
Beispiele für mögliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ <u>Austauschformate:</u> Einrichtung einer regelmäßigen Runde „Rohstoffe & Umwelt“ mit Wissensträgerinnen und Wissensträgern der verschiedenen Unternehmensbereiche. Ziele sind ein abteilungsübergreifender Austausch und die Erarbeitung von konkreten Maßnahmen und Projekten zu ausgewählten Rohstoffen, ebenso die Sensibilisierung und der unternehmensweite Wissensaufbau, z. B. zu möglichen Maßnahmen, Technologien, Initiativen, Medienberichten o. Ä. ▶ <u>Wissensaufbau in der Einkaufsabteilung:</u> Um Nachhaltigkeitsaspekte in den Beschaffungsprozessen besser zu verankern, ist der Aufbau von Wissen direkt im Einkaufsbereich sinnvoll. Dies kann im ersten Schritt die Benennung von Verantwortlichen sein. In deren Stellenbeschreibungen sollten unbedingt genügend Kapazitäten wie auch Möglichkeiten für den eigenen Wissensaufbau zur Verfügung stehen. Diese können wiederum Schulungen im Einkauf durchführen, in Projekte z. B. zur Einführung von Nachhaltigkeitskennzahlen eingebunden werden,

	beratend bei konkreten Fragen zur Seite stehen etc. Sie wirken zum einen als Wissensträgerinnen und Wissensträgern und zum anderen als Multiplikatoren.
--	---

(4) Kommunikation: Transfer von Wissen zu Umweltthemen und Maßnahmen an (Vor-)Lieferanten	
Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes	Bereitstellung von Wissen innerhalb der Lieferkette sowohl über (potenzielle) negative Auswirkungen auf die Umwelt und Menschen als auch über Best Practices.
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen	Dieser Handlungsansatz ist übergreifend wirksam und zahlt auf die einzelnen Umweltthemen ein.
Verbundenheit zum eigenen Unternehmen	Der Handlungsansatz ist sowohl für direkte Lieferanten als auch für die vorgelagerten Stufen der Lieferkette geeignet.
Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Ebenso wie der interne Wissensaufbau sollten sich Sensibilisierungsmaßnahmen zu negativen Umweltauswirkungen und der Know-how-Transfer auch an aus ökologischer Sicht relevante (Vor-)Lieferanten richten. Erfahrungsberichte und Best Practices aus dem eigenen Unternehmen können sich als Hilfestellung für Lieferanten eignen – vor allem, wenn diese am Anfang nachhaltigkeitsbezogener Aktivitäten stehen. Gleichzeitig können durch einen Austausch auf Augenhöhe auch mögliche Hemmschwellen beim Lieferanten sinken, Maßnahmen zu ergreifen. Ebenso sind Trainings o. ä. Qualifizierungsmaßnahmen zum Wissensaufbau bei den Lieferanten geeignet. Auch können gemeinsam mit Lieferanten und Vorlieferanten Projekte zur Verringerung von Umweltauswirkungen initiiert und umgesetzt werden (siehe Handlungsansatz 6 unten). ▶ Die Qualifizierung von Lieferanten hinsichtlich der Vermeidung und Reduzierung von Umweltauswirkungen sollte fester Bestandteil des Lieferantenmanagements sein. Es sollte ein regelmäßiges Follow-up erfolgen, welche Maßnahmen eingeleitet und welche Ergebnisse erreicht worden sind.
Beispiele für mögliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ <u>Kommunikation von Best Practices an (Vor-)Lieferanten:</u> Lernerfahrungen und Praxisbeispiele aus dem Umweltmanagement und den Klimaschutzaktivitäten des eigenen Unternehmens können eine wertvolle Hilfestellung für Lieferanten und Vorlieferanten sein. Besonders eignen sich Maßnahmen, die ohne große Einschränkungen übertragbar sind, z. B. Energieeffizienzmaßnahmen bei Druckluft oder elektrischen Antrieben sowie managementbezogene Maßnahmen. Auch klassische Hindernisse und der Umgang damit, wie etwa zu kurze Amortisationszeiträume von Investitionen, unklare Verantwortlichkeiten u. Ä. können ebenso aufgegriffen werden. Zu diesem Zweck können Fallbeispiele mit Hinweisen zu Aufwand und Nutzen, Umsetzungserfahrungen, möglichen Barrieren und erfolgreichen Lösungsansätzen erstellt und an Lieferanten gereicht werden, um Maßnahmen bei den (Vor-)Lieferanten in der Lieferkette anzustoßen. Auch Fabrikrundgänge von Expertinnen und Experten des eigenen Unternehmens zum

	Austausch über mögliche Maßnahmen mit dem Lieferanten, Trainingsworkshops, Online-Tools u. Ä. können erwogen werden.
--	--

(5) Dialog: Austausch mit (potenziell) Betroffenen als Input zur Risikoanalyse und zur effektiven Lösungsfindung	
Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dialog mit tatsächlich oder potenziell von Umweltauswirkungen Betroffenen und ggf. weiteren relevanten Stakeholdern (vgl. im Folgenden auch OECD 2018, S. 50ff.).
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Der wechselseitige Austausch mit Stakeholdern, vor allem mit Betroffenen – vom Informationsaustausch zu bestimmten Themen bis hin zu anlassbezogenen, lokalen Konsultationen und Kooperationen – ist zentral für Schritte zur konkreten Verbesserung lokaler Bedingungen. ▶ Auch zur Risikoanalyse bietet der Dialog mit Betroffenen einen wertvollen Informationsgewinn. ▶ Je konkreter und spezifischer die Auswirkung, desto wichtiger gestaltet sich der Dialog mit lokal ansässigen, direkt von den Tätigkeiten eines Unternehmens oder dessen (Vor-)Lieferanten betroffenen Gruppen.
Verbundenheit zum eigenen Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Der Dialog kann auf allen Stufen der Verbundenheit greifen.
Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Ausgangspunkt können Informationsquellen, z. B. von zivilgesellschaftlichen Organisationen, Verbänden oder Brancheninitiativen zu Regionen und/oder Rohstoffen sein, die sich als kritisch bei der eigenen Risikoanalyse herausgestellt haben. ▶ Eine Kontaktaufnahme für einen weitergehenden Austausch empfiehlt sich, wenn sich mögliche oder bereits eingetretene Schäden konkretisieren. Der Dialog kann in unterschiedlicher Form erfolgen, z. B. durch Konsultationen, Treffen, Anhörungen. Solche Dialoge sollten stets auf Augenhöhe erfolgen und alternative Standpunkte und Bedenken zulassen. Bei besonders schutzbedürftigen und sogenannten stillen Betroffenenengruppen sollten Organisationen einbezogen werden, welche die Interessen dieser Gruppen adäquat vertreten. ▶ Im Falle von konkreten Schäden sollte der Dialog in ernsthaftem Willen durchgeführt werden, die Auswirkungen und deren Ursachen zu verstehen, den eingetretenen Schaden wiedergutzumachen und zukünftige Schäden zu verhindern. ▶ In bestimmten Situationen kann es sinnvoll sein, den Dialog mit Betroffenen auf Branchenebene oder sogar branchenübergreifend zu organisieren, z. B. wenn Rohstoffe von mehreren Sektoren bezogen werden wie beim Rohstoff Aluminium, der auch in der Automobilindustrie Einsatz findet.

<p>Beispiele für mögliche Maßnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ <u>Etablierung von Beschwerdemechanismen</u>: Wirksame Beschwerdemechanismen für Betroffene sind ein essenzieller Baustein der Sorgfaltspflicht. Sie helfen, auftretende oder sich anbahnende negative Umweltauswirkungen und Schäden zu identifizieren. Ein Beschwerdemechanismus kann somit einerseits als Frühwarnsystem dienen und Informationen über tatsächliche lokale Bedingungen liefern. Zudem ist ein solcher Mechanismus insbesondere beim Eintreten konkreter Schadenfälle wichtig. Der Mechanismus hilft, unter Einbeziehung der Betroffenen geeignete Abhilfe- und effektive Minderungsmaßnahmen zu ergreifen. Ein regelmäßiger Austausch mit (lokalen) Naturschutzverbänden und Expertinnen und Experten zu Umweltauswirkungen und zu der Situation von Betroffenen vor Ort kann einen solchen Beschwerdemechanismus ergänzen, um Probleme besser zu erkennen und zu verstehen. Als erster Schritt für den Aufbau eines Beschwerdemechanismus eignen sich Pilotprojekte und lokale Kooperationen. Auch Branchenansätze im Rahmen einer Allianz und die Nutzung von externem Erfahrungswissen über den Aufbau von Beschwerdemechanismen erleichtern die Etablierung dieses Instruments (siehe Handlungsansatz 8 unten). ▶ <u>Zusammenarbeit mit lokalen Organisationen</u>: Der Kleinstbergbau (artisanaler Bergbau) zur Gewinnung von Rohstoffen wie Chrom und Mangan (Dehoust et al. 2020b, S. 41) erschwert die Rückverfolgbarkeit des Rohstoffs auf einzelne Abbaustätten. Dennoch können Partnerschaften vor Ort in den artisanalen Abbaugebieten einen Beitrag zur Verbesserung der sozialen und ökologischen Bedingungen leisten. Im Kleinstbergbau arbeitende Personen sind potenzielle Vorlieferanten und zugleich Betroffene, die zumeist durch ihre vulnerablen Lebenssituationen besonders schutzwürdig sind. Spezialisierte Organisationen wie Pact oder Dienstleister der internationalen Zusammenarbeit wie die Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ) bieten Unternehmen Partnerschaften an, um vor Ort daran zu arbeiten, Kleinstbergbau zu formalisieren sowie sicherer, produktiver und fairer zu machen. ▶ <u>Beteiligung an einer Water-Stewardship-Initiative</u>: Im Rahmen eines nachhaltigen Wassermanagements (Water Stewardship) ist eine Zusammenarbeit mit verschiedenen Stakeholdern in einem Wassereinzugsgebiet, eine sogenannte Collective Action, hilfreich. Gerade wenn die genauen Produktionsstandorte oder Standorte der Rohstoffgewinnung in der Lieferkette nicht bekannt sind, aber mit hoher Wahrscheinlichkeit in einem hochrisikoreichen Wassereinzugsgebiet liegen oder man als Unternehmen allein einen zu geringen Einfluss auf die eigenen Lieferanten und die generelle Risikoreduzierung besitzt, ist die Beteiligung an einer Water-Stewardship-Initiative sinnvoll. Gemeinsam mit anderen Akteurinnen und Akteuren werden konkrete Projekte oder Netzwerke in dem Gebiet initiiert, um beispielsweise Nutzungskonflikte bei der Ressource Wasser zu reduzieren. Oftmals werden diese Initiativen durch die Partnerschaft mit einer spezialisierten Organisation unterstützt. Institutionen wie die Alliance for Water Stewardship (AWS), WWF, Natural Resources Stewardship Programm (NatuReS) und CEO Water Mandate bieten Möglichkeiten zur Einbringung in eine Water-Stewardship-Initiative an. Beteiligungsmöglichkeiten sind u. a. die Mitwirkung an Erfahrungsaustauschen und Dialogformaten, Trainings oder die finanzielle und aktive inhaltliche Unterstützung in Projekten (Kern und Schmiester 2021).
--	--

(6) Pilotprojekte: Punktuelle Umsetzung von Veränderungen in der Lieferkette und anschließende Ausweitung	
Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Pilotprojekte, um Lernerfahrungen zur Machbarkeit und für eine breite Anwendung von Maßnahmen zu sammeln und die Anwendbarkeit zu prüfen.
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Abhängig von der Maßnahme, die pilotiert werden soll. Im Fokus sollten Prozesse mit hohen (potenziellen) negativen Auswirkungen auf die Umwelt stehen.
Verbundenheit zum eigenen Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Pilotprojekte können zunächst mit wenigen ausgewählten Lieferanten, Vorlieferanten oder anderen Akteuren durchgeführt werden, um die Maßnahme anschließend flächendeckend in der Lieferkette oder im Produktportfolio umzusetzen.
Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Pilotprojekte sind ein geeignetes Instrument, um die Machbarkeit und Übertragbarkeit von Maßnahmen zu überprüfen und erste Lernerfahrungen zu sammeln. Es ist ein Standard-Management-Instrument, welches sich auch für Nachhaltigkeitsmaßnahmen in komplexen Lieferketten eignet. Das Instrument sollte jedoch nicht als Alibi für mangelndes Engagement dienen, sondern als proaktive und agile Herangehensweise verstanden werden. Ziel ist die aktive Lösungsfindung trotz zunächst vorliegender Wissenslücken über konkrete Bedingungen. ▶ Es bedarf der Definition klarer Bewertungskriterien. Es sollte sichergestellt werden, dass alle Beteiligten genügend Ressourcen sowohl für die Durchführung des Pilotprojektes als auch für die anschließende Bewertung einbringen und bereit sind für eine potenzielle Fortführung und Skalierung. Lernerfahrungen aus dem Piloten sollten anschließend aufbereitet werden, um Barrieren zu reduzieren und die Anwendung in größerem Maßstab voranzubringen. Für die breite Umsetzung der pilotierten Maßnahme sollte anschließend ein Umsetzungsplan erarbeitet werden.
Beispiele für mögliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ <u>Technologiebezogenes Pilotprojekt:</u> Für die Erprobung neuer umweltfreundlicherer Verfahren kann ein gezieltes Pilotprojekt mit einem (Vor-) Lieferanten angestoßen werden, beispielsweise die Kaskadennutzung von Abwärme beim Schmelzen von Metallen (Dückert et al. 2015, S. 40) oder CO₂-arme Technologien bei der Stahlerzeugung durch die Nutzung von grünem Wasserstoff²⁷ anstelle von Kohlenstoff zur Reduktion in der Primärstahlerzeugung (vgl. Agora Energiewende und Wuppertal Institut 2019). Die technologische Umsetzbarkeit und die Einsetzbarkeit in der betreffenden Komponente können gemeinsam untersucht werden. Klar definierte Kriterien wie ökologische Effekte, Prozesssicherheit, Kosten, Materialqualität und Skalierbarkeit dienen zur Beurteilung und Identifizierung von konkreten Schritten zur weiteren Anwendung der neuen Technologie. Ebenso können gemeinsame Beteiligungsmodelle, z. B. von Pilotanlagen, erwogen werden,

	<p>ebenso die Einbindung von Forschungsinstituten oder die Mobilisierung von Fördergeldern.</p> <p>▶ <u>Lokale Pilotprojekte</u>: Um konkrete lokale ökologische und eventuell damit verbundene menschenrechtliche Probleme zu mildern, eignen sich ebenfalls erste Projekte im kleinen Rahmen, um die Wirkung von Maßnahmen und ihre Umsetzbarkeit zu prüfen. Ein konkretes Pilotprojekt, beispielsweise zur Verbesserung der Bedingungen auf einer artisanalen Abbaufäche und in deren unmittelbarer Umgebung, kann hierzu ein erster Schritt sein. Es ermöglicht, Kooperationen mit lokalen Organisationen zu entwickeln und gegenseitiges Vertrauen aufzubauen. Die Wirksamkeit von Maßnahmen und mögliche Nebeneffekte, die sich durch die lokalen Bedingungen vor Ort ergeben, können so besser verstanden und anschließend gezielter angegangen werden.</p>
--	--

(7) Einkauf und Lieferantenmanagement: Zertifizierungen und Standards bei Produzenten und/oder Rohstoffen	
Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes	<p>▶ Die Anwendung anerkannter Zertifizierungssysteme, die Rohstoffe, Lieferketten, Lieferanten oder Prozesse auf ökologische und soziale Anforderungen hin prüfen. Ebenso können die Zertifizierungen die Rückverfolgbarkeit in der Lieferkette erhöhen (Chain-of-Custody).</p>
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen	<p>▶ Je nach Zertifizierungssystem kann dies auf die verschiedenen Umweltaspekte wirken. Zertifizierungen für Rohstoffminen decken ebenso wie Zertifizierungen von Rohstofflieferketten mehrere Umweltaspekte ab, etwa die Verschmutzung von Wasser und Luft, Abfall oder Biodiversität/Schutzgebiete. Die Zertifizierungen beinhalten z. T. auch (ausgewählte) menschenrechtliche Aspekte wie Arbeitssicherheit.</p>
Verbundenheit zum eigenen Unternehmen	<p>▶ Die Einführung von Zertifizierungen und Standards kann sich je nach Rohstoff und Zertifizierungssystem sowohl auf direkte Lieferanten als auch auf die gesamte vorgelagerte Wertschöpfungskette beziehen.</p>
Umsetzung	<p>▶ Für die Umsetzung stehen zahlreiche bestehende Zertifizierungssysteme und Standards für unterschiedliche Rohstoffe und Lieferketten zur Verfügung:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Die rohstoffübergreifende <u>Initiative for Responsible Mining Assurance (IRMA)</u> etwa zertifiziert industriell betriebene Minen und deckt die Umweltthemen Wasserqualität und -verbrauch, Bergbauabfälle, Luftemissionen, Lärm, THG-Emissionen, Biodiversität und Schutzgebiete sowie das Zyanid- und Quecksilbermanagement ab. ● Die <u>Alliance for Responsible Mining (ARM)</u> wiederum zertifiziert Abbaustätten des Kleinbergbaus (Artisanal Mining – Fairmined-Zertifizierung und CRAFT Standard). <p>▶ Darüber hinaus können Rohstoffe aus zertifizierten Lieferketten mit Nachhaltigkeitsstandards verwendet werden, u. a.:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ■ <u>Aluminium Stewardship Initiative (ASI)</u> ■ <u>ResponsibleSteel™</u> ■ <u>Copper Mark</u> <p>▶ Darüber hinaus können auf Lieferantenebene Umweltmanagementsysteme wie ISO 14001 oder EMAS als Beschaffungskriterium festgelegt werden. Ebenso können Systeme zur Evaluierung von Umweltmanagementaspekten wie Ecovadis oder CDP in die Lieferantenbewertung einfließen.</p> <p>▶ Das Angebotsspektrum bestehender Zertifizierungssysteme, Standards und Umweltmanagementsysteme ist breit und kann zunächst undurchschaubar wirken. Bei der Auswahl geeigneter Zertifizierungssysteme und Standards sollten neben den inhaltlichen Anforderungen (<i>Werden die wichtigsten sozialen und ökologischen Herausforderungen in dem ausgewählten Bereich möglichst gezielt und umfassend adressiert?</i>) auch die formalen Anforderungen geprüft werden: <i>Ist das Zertifizierungssystem/der Standard durch ein glaubwürdiges Umsetzungssystem abgesichert? Wird etwa die Einhaltung der Anforderungen durch eine unabhängige qualifizierte Stelle überprüft?</i></p> <p>▶ Zertifizierungssysteme und Standards sind zwar ein wichtiges Element des nachhaltigen Einkaufs und Lieferantenmanagements. Die bloße Abfrage eines Zertifikats reicht bislang jedoch meist noch nicht aus, um die für den Maschinenbau relevanten negativen Auswirkungen umfassend und effektiv zu adressieren. Der Handlungsansatz sollte in Kombination mit weiteren Ansätzen, etwa Dialogen mit (Vor-)Lieferanten und Betroffenen (siehe Handlungsansatz 5 oben) und Pilotprojekten (siehe Handlungsansatz 6 oben) implementiert werden.</p>
<p>Beispiele für mögliche Maßnahmen</p>	<p>▶ <u>Unterstützung von Lieferanten bei der Einführung von Standards:</u> Vor allem kleinere (Vor-)Lieferanten stehen oftmals vor der Herausforderung, dass sie die Einführung eines Standards oder Zertifizierungssystems aufgrund fehlender Kapazitäten (finanziell, personell, mangelndes Wissen, wenig Erfahrungen etc.) nicht leisten können. Um diese Barriere zu überwinden, können gezielte Maßnahmen zur Unterstützung des Lieferanten getroffen werden, z. B. die Bereitstellung von Wissen, Hilfestellungen bei der Umsetzung, Incentivierungssysteme o. Ä. Da die Einführung von Zertifizierungssystemen meist mit Investitionen und/oder Zusatzkosten verbunden ist, sind Vereinbarungen von Abnahmegarantien sinnvoll, um die Kostenrisiken für den Lieferanten zu reduzieren und somit dessen Bereitschaft für die Maßnahme zu erhöhen. Grundlage sollte stets der Aufbau einer vertrauensvollen, langfristigen Lieferbeziehung sein.</p>

(8) Allianzen: Unternehmens- und branchenübergreifende Ansätze zur Schaffung nachhaltigerer Lieferketten

<p>Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes</p>	<p>▶ Brancheninitiativen, - dialoge und auch branchenübergreifende Initiativen bündeln Ressourcen und können breite Lösungsansätze schaffen.</p>
--	--

<p>Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Im Rahmen von Allianzen können gezielte Maßnahmen und systematische Ansätze zur Verminderung von (potenziellen) negativen Auswirkungen vorangebracht und etabliert werden, beispielsweise mit Hilfe von Branchenstandards. Allianzen können auch zusammen mit Unternehmen aus anderen Branchen geschlossen werden, welche dieselben Interessen vertreten, weil sie z. B. den betreffenden Rohstoff ebenfalls einsetzen. Ebenso können Unternehmen auch vertikal mit Vorleistungsbranchen wie dem Rohstoffsektor, der chemischen Industrie o. Ä. in den Dialog treten, um nachhaltige Lösungen in der vorgelagerten Kette zu schaffen. Branchenlösungen stellen einen wertvollen Baustein im Maßnahmenbündel dar, entbinden jedoch nicht von der Eigenverantwortlichkeit.
<p>Verbundenheit zum eigenen Unternehmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Konkrete Schritte können sich je nach Rohstoff oder Prozess und angestrebten Branchenlösungen sowohl auf die eigene Verursachung der Umweltauswirkungen beziehen als auch auf Umweltauswirkungen in der vorgelagerten Lieferkette oder in der nachgelagerten Wertschöpfungskette.
<p>Umsetzung</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Die zentrale Brancheninitiative des deutschen Maschinenbaus (sowie Anlagenbaus) ist die Nachhaltigkeitsinitiative <u>Blue Competence</u> des VDMA. Die Initiative wurde 2008 gegründet und hat zwölf Leitsätze für nachhaltiges Handeln im Bereich Ökologie, Ökonomie und Menschenrechte innerhalb der Branche formuliert. ▶ Bei der Auswahl von Brancheninitiativen sollte geprüft werden, inwieweit durch die Aktivitäten der Initiative Umweltauswirkungen messbar vermieden und die Situation der von den Umweltauswirkungen betroffenen Personen verbessert werden und inwiefern ein kontinuierlicher Fortschritt geschaffen wird. Wenn die Problemstellung nicht zufriedenstellend durch existierende Initiativen abgedeckt wird, können auch Partnerschaften mit anderen Unternehmen, die die eigenen Zielstellungen teilen, initiiert werden.
<p>Beispiele für mögliche Maßnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ <u>Etablierung eines branchenweiten Beschwerdemechanismus:</u> Bisher besteht kein eigener branchenspezifischer Beschwerdemechanismus für den Maschinenbau. Wie Erfahrungen anderer Branchen, z. B. aus dem Textilsektor, zeigen, sind Branchenlösungen sinnvoll, um wirksame Beschwerdemechanismen zu schaffen. Die Branchenlösung kann eigene Beschwerdeverfahren ergänzen oder Teilbereiche dessen abdecken. Ebenso kann sie dazu dienen, lokale Organisationen einzubinden, zu denen das Unternehmen nur schwer Zugang findet. Brancheninitiativen können darüber hinaus dazu dienen, ergänzende unterstützende Elemente für den Beschwerdemechanismus zu schaffen, auf die das einzelne Unternehmen zurückgreifen kann. ▶ <u>Nachfragebündelung zur Verbesserung von Standards in Rohstoffketten:</u> Zusammenschlüsse von Nachfragesektoren eines Rohstoffs können dazu dienen, den Einfluss und die Kontrolle in spezifischen Rohstoffketten zu erhöhen, z. B. Unternehmen aus dem Maschinenbau, der Automobilindustrie und der metallverarbeitenden Industrie zur Verbesserung der Bedingungen bei der Gewinnung und Raffinierung von metallischen Rohstoffen. Ebenso können gemeinsam mit anderen Nachfragesektoren Pilotprojekte initiiert (siehe Handlungsansatz 6 oben) oder Standards zur Nachverfolgung der Herkunft von Rohstoffen (siehe Handlungsansatz 7 oben) geschaffen werden. Foren für solche

	Allianzen können z. B. Industrieverbände sein, unter deren Schirm sich Unternehmen zusammenschließen und Lösungsansätze voranbringen.
--	---

(9) Stoffkreisläufe: Einsatz von Sekundärrohstoffen und Recycling von Rohstoffen	
Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Die Schaffung von Stoffkreisläufen beinhaltet sowohl die Nutzung von Sekundärrohstoffen als auch das Erschließen neuer, zusätzlicher Sekundärrohstoffquellen. Gleichzeitig umfasst dies auch die Verbesserung der Voraussetzung für das Recycling von eingesetzten Rohstoffen, z. B. durch Design for Recycling.
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Der Einsatz von Sekundärrohstoffen verringert den Anteil von Primärrohstoffen – allerdings nur, wenn zusätzliche Quellen für Sekundärrohstoffe erschlossen werden, z. B. durch neuartige Verfahren oder erhöhte Rücklauf- und Recyclingquoten. Ohne diese Additionalität erfolgt lediglich eine Verschiebung der bestehenden Sekundärrohstoffmengen von anderen Verwendungen ohne zusätzliche Verringerung negativer ökologischer Auswirkungen.
Verbundenheit zum eigenen Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Der Handlungsansatz kann sowohl auf der Stufe der direkten Lieferanten als auch auf vorgelagerten Stufen greifen. Darüber hinaus setzt sie auf der nachgelagerten Stufe der Entsorgung an.
Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Zentral hierfür ist der Bereich der Forschung und Entwicklung und die Produktentwicklung. Dies betrifft umfassende Maßnahmen zur recyclinggerechten Produktgestaltung wie die Verringerung bzw. Vermeidung von Materialverbänden, welche das Recycling erschweren, eine demontagegerechte Konstruktion, die Austauschbarkeit von Bauteilen etc. ▶ Oftmals sind externe Kooperationen erforderlich, z. B. zur Forschung und Entwicklung neuer Recyclingverfahren oder zur Schaffung der nötigen Recyclinginfrastruktur. ▶ Auch bei der Schaffung von Stoffkreisläufen können übergreifende Initiativen mit Verwertungsunternehmen und Lieferanten ein Ansatzpunkt sein.
Beispiele für mögliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ <u>Einsatz von Sekundärrohstoffen</u>: Maßnahmen zum gesteigerten Einsatz von recycelten Materialien können nur dann die negativen Umweltauswirkungen bei der Primärrohstoffgewinnung und der anschließenden Verarbeitung reduzieren, wenn neue Quellen von bislang ungenutzten Sekundärrohstoffen genutzt werden. Andernfalls ist kein ökologisch positiver Effekt zu verzeichnen, wenn andere bisherige Abnehmerinnen und Abnehmer des Sekundärrohstoffs verdrängt werden. Deshalb sollten Ziele zur Steigerung des Anteils von Recyclingmaterialien stets flankiert werden durch Ansätze, um zusätzliche Möglichkeiten zur Sekundärrohstoffgewinnung zu erschließen, beispielsweise die Rücknahme von Verschleißteilen und deren Zuführung in Recyclingkreisläufe.

	<p>► Recyclingfähigkeit von Komponenten: Zur Schaffung von Stoffkreisläufen ist die Recyclingfähigkeit das ausschlaggebende Kriterium, d. h. insbesondere die möglichst einfache Zerlegbarkeit von Bauteilen und die Trennbarkeit von Materialien. Eine Maßnahme kann u. a. die gezielte und systematische Analyse einer Komponente auf deren Recyclingfähigkeit sein, um Verbesserungsmöglichkeiten zu identifizieren, z. B. der Verzicht auf ungeeignete Verbundmaterialien. Hierzu sollten auch Recyclingunternehmen eingebunden sein, um ebenfalls bisherige Hindernisse für das Recycling zu identifizieren, z. B. fehlende Kennzeichnungen etc. Auf Basis der Analyse sollten konkrete Schritte zur Verbesserung identifiziert werden. Hierfür sind wiederum Lieferanten, Produktentwicklung, Einkauf, Qualitätsmanagement etc. einzubinden. Um die ökologischen Vorteile solcher Maßnahmen zu quantifizieren, kann das Unternehmen Instrumente wie Ökobilanzen nutzen.</p>
--	--

(10) Transparenz	
Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes	<p>► Oftmals ist die vorgelagerte Wertschöpfungskette intransparent. Vorlieferanten oder Orte der Produktion und Produktionsbedingungen in den vorgelagerten Lieferkettenstufen sind kaum bekannt, ebenso die Herkunft von Rohstoffen und damit verbundene Bedingungen bei der Rohstoffgewinnung. Mitunter werden Teile oder Komponenten zugekauft, ohne dass selbst die letzte Fertigungsstätte bekannt ist. Eine höhere Transparenz über die eigene Lieferkette und umweltbezogene Auswirkungen entlang der Wertschöpfungskette sind eine wichtige Basis für ein datenbasiertes, erfolgsorientiertes Management von (potenziellen) negativen Auswirkungen. Erst mit diesem Wissen können auch geeignete Maßnahmen in der Lieferkette angestoßen und umgesetzt werden.</p>
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen	<p>► Ein systematisches Verständnis über die eigene Lieferkette und der umweltbezogenen und sozialen Auswirkungen ist als interner Treiber für ein lieferkettenumfassendes Nachhaltigkeitsmanagement und als wichtiger Bestandteil der gesamtgesellschaftlichen Kooperation in Richtung Nachhaltigkeit unerlässlich.</p>
Verbundenheit zum eigenen Unternehmen	<p>► Der Ansatz ist übergreifend über die gesamte vorgelagerte Lieferkette eines Unternehmens und bedarf der Einbindung von Lieferanten und Vorlieferanten, damit die Transparenz stetig verbessert wird.</p>
Umsetzung	<p>► Es wird empfohlen bestehende Tools oder Systeme zu nutzen (siehe Beispiele unten). Im Fokus sollten insbesondere als kritisch einzuschätzende Rohstoffe und/oder Herkunftsländer (sowohl von Rohstoffen als auch von Vorleistungen bzw. Vorprodukten) stehen.</p> <p>► Ein Austausch mit verschiedenen Stakeholdergruppen, insbesondere Partnern in der eigenen Wertschöpfungskette, ist hierbei unerlässlich.</p>
Beispiele für mögliche Maßnahmen	<p>► Ein erster Schritt zur Gewinnung von Informationen über Auswirkungen in der Lieferkette kann ein Fragebogen für Lieferanten zu den einzelnen</p>

umweltbezogenen Themen sein. Hierzu können etablierte Fragebögen und Berichtssysteme wie Ecovadis oder CDP genutzt werden. Die Auskünfte von Lieferanten liefern erste Anhaltspunkte über mögliche Risiken und daraus abgeleitete Verbesserungs- /Minderungsmaßnahmen. Als erster Schritt eignen sich Lieferanten mit hohem Umsatzanteil am Beschaffungsvolumen oder strategische Lieferanten von Vorprodukten und Rohstoffen.

5 Quellenverzeichnis

- Abwasser Analysezentrum (2022): Abwasser in der Metallverarbeitung. <https://www.abwasser-analysezentrum.de/brancheneubersicht/metallverarbeitung> (22.08.2022)
- Aditya Birla Group (2021a): Carbon Black 101. <https://www.birlacarbon.com/whats-trending/carbon-black/> (27.10.2021)
- Aditya Birla Group (2021b): Locations. <https://www.birlacarbon.com/locations/> (27.10.2021)
- Al Barazi, S.; Bastian, D.; Bookhagen, B.; Damm, S.; Osbahr, I.; Schmidt, M.; Szurlies, M. (2021): Batterierohstoffe für die Elektromobilität. Themenheft. Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Berlin. Download unter: [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DERA %20Themenheft-01-21.pdf?__blob=publicationFile](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DERA%20Themenheft-01-21.pdf?__blob=publicationFile)
- Allgemeine Erklärung der Menschenrechte (AEMR), UN-Doc GA/RES 217 A (III) (10.12.1948)
- Aluminium Deutschland (2021): <http://www.aluinfo.de/maschinenbau.html> (03.06.2022)
- Andrulleit, H.; Elsner, H.; Henning, S.; Homberg-Heumann, D.; Kreuz, A.; Kuhn, K.; Moldenhauer, K.; Pein, M.; Schauer, M.; Schmidt, S.; Schmitz, M.; Sievers, H.; Szurlies, M.; Wilken, H. (2020): Deutschland – Rohstoffsituation 2019. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover. Download unter: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- Atibu, E. K., Laxroix, P., Sivalingam, P. et al. (2018): High contamination in the areas surrounding abandoned mines and mining activities: An impact assessment of the Dilala, Luilu and Mpingiri Rivers, Democratic Republic of the Congo. Download unter: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.052>.
- Bahc, L.; Nørregaard, R. D.; Hansen, V.; Gustavson, K. (2016): Review on environmental risk assessment of mining chemicals used for mineral separation in the mineral resources industry and recommendations for Greenland – Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy. No. 203. Download unter: [http://dce2.au.dk/pub/SR203.pBarrera, P. \(2020\): Top-10 Nickel-producing countries. https://investingnews.com/daily/resource-investing/base-metals-investing/nickel-investing/top-nickel-producing-countries/](http://dce2.au.dk/pub/SR203.pBarrera, P. (2020): Top-10 Nickel-producing countries. https://investingnews.com/daily/resource-investing/base-metals-investing/nickel-investing/top-nickel-producing-countries/) (21.07.2021)
- BMW (2021): Carbon: Hightech-Werkstoff im Automobilbau. <https://www.bmw.com/de/performance/carbon-bei-autos.html> (06.07.2021)
- BMW Group (2018): Umwelterklärung BMW Group 2018. Umweltschutz in der Produktion. BMW Group. München. Download unter: https://www.bmwgroup.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_com/responsibility/downloads/de/2018/2018-BMW-Group-Umwelterklaerung.pdf
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020): Automobilindustrie. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-automobilindustrie.html> (08.07.2021)
- Braun, N.; Hopfensack, L.; Fecke, M.; Witts, H. (2021): Chancen und Risiken im Automobilsektor für die Umsetzung einer klimaneutralen und ressourceneffizienten zirkulären Wirtschaft – Vorstudie im Rahmen des Verbundvorhabens Circular Economy als Innovationsfaktor für eine klimaneutrale und ressourceneffiziente Wirtschaft (CEWI). Stiftung 2°, WWF Deutschland, Wuppertal Institut. Berlin, Wuppertal. Download unter: https://www.cewi-projekt.de/wp-content/uploads/2021/05/CEWI_Kurzstudie-Automobil_2021.pdf
- Buchert, M. und Sutter, J. (2020): Stand und Perspektiven des Recyclings von Lithium-Ionen-Batterien aus der Elektromobilität – Synthesepapier erstellt im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit geförderten Verbundvorhabens MERCATOR „Material Effizientes Recycling für die

Circular Economy von Automobilspeichern durch Technologie ohne Reststoffe“. Öko-Institut e.V. Darmstadt. Download unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Strategiepapier-Mercator-Recycling-Batterien.pdf>

Buderath, M.; Weiß, D.; van Ackern, P.; Garcia, B. (2021): Rohstoffe im Fokus. Menschenrechts- und Umweltrisiken integrativ betrachten. adelphi. Berlin. Download unter: https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/adelphi_LIEFERINT_Rohstoffe_im_Fokus_FINAL.pdf

Burmester, J.; Dillinger, J; et al. (2017): Fachkunde Metall. Europa-Lehrmittel.

Ceresana Research (2018): Notwendiges Schwarz: Weltweit steigende Produktion von Carbon Black. <https://www.chemie.de/news/1155362/notwendiges-schwarz-weltweit-steigende-produktion-von-carbon-black.html> (19.09.2021)

Cerro Verde (2019): Sustainability Report 2019. mineria-cobre-molibdeno-arequipa-minera-cerro-verde-peru-reporte-ingles-2019.pdf (cerroverde.pe) (29.09.2022)

Chikri, Y. und Wetzels, W. (2020): Decarbonisation options for the Dutch carbon black industry. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency und TNO EnergieTransitie. Den Haag. Download unter: https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-decarbonisation-options-for-the-dutch-carbon-black-industry_3884_0.pdf

Continental – Continental Reifen Deutschland GmbH (o. J.): Reifenherstellung. <https://www.continental-reifen.de/autoreifen/reifenwissen/reifen-grundlagen/reifenherstellung> (12.07.2021)

Daimler (2016): Weltweit größter 2nd-Use-Batteriespeicher geht ans Netz. <https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Weltweit-groesster-2nd-Use-Batteriespeicher-geht-ans-Netz.xhtml?oid=13634457> (17.09.2021)

Dehoust, G.; Manhart, A.; Dolega, P.; Vogt, R.; Auberger, A.; Kämper, C.; von Ackern, P.; Rüttinger, L.; Rechlin, A.; Priester, M. (2020b): Weiterentwicklung von Handlungsoptionen einer ökologischen Rohstoffpolitik ÖkoRess II – Abschlussbericht. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekoress-ii>

Dehoust, G.; Manhart, A.; Dolega, P.; Vogt, R.; Kemper, C.; Auberger, A.; Becker, F.; Scholl, C.; Rechlin, A.; Priester, M. (2020a): Environmental Criticality of Raw Materials – An assessment of environmental hazard potentials of raw materials from mining and recommendations for an ecological raw materials policy. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/environmental-criticality-of-raw-materials>

Dehoust, G.; Manhart, A.; Schmidt, G; Dolega, P.; Vogt, R.; Auberger, A.; Kämper, C.; Priester, Dr. M. (2017): Erörterung ökologischer Grenzen der Primärrohstoffgewinnung und Entwicklung einer Methode zur Bewertung der ökologischen Rohstoffverfügbarkeit zur Weiterentwicklung des Kritikalitätskonzeptes ÖkoRess I – Abschlussbericht. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau. Download unter: Erörterung ökologischer Grenzen der Primärrohstoffgewinnung und Entwicklung einer Methode zur Bewertung der ökologischen Rohstoffverfügbarkeit zur Weiterentwicklung des Kritikalitätskonzeptes (ÖkoRess I) (ifeu.de)

DESTATIS – Statistisches Bundesamt (2021): Beschäftigte und Umsatz der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige. Statistisches Bundesamt (DESTATIS). Wiesbaden. Download unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=42111-0003&bypass=true&levelindex=0&levelid=1628594027754#abreadcrumb>

DESTATIS 2021 – DESTATIS (2021). Beschäftigte und Umsatz der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige. WZ2008 2-/3-/4-Steller.

Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) [Hrsg.] (2020): Treibhausgasemissionen 2019 - Emissionshandelspflichtige stationäre Anlagen und Luftverkehr in Deutschland (VET-Bericht 2019). Berlin. Umweltbundesamt (UBA). Download unter:

https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/VET-Bericht-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Deutsche Umwelthilfe (2021): Ruß. <https://www.duh.de/projekte/russ/> (27.10.2021)

Deutscher Bundestag (2021): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Oliver Luksic, Frank Sitta, Bernd Reuther, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP. Der Nationale Aktionsplan Wirtschaft und Menschenrechte und der Fahrzeugbau. Drucksache 19/31870. 31.08.2021. Download unter <https://dserver.bundestag.de/btd/19/322/1932238.pdf>

DGCN – Geschäftsstelle Deutsches Global Compact Netzwerk (2020): Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte, Umsetzung des Rahmens der Vereinten Nationen "Schutz, Achtung und Abhilfe", Geschäftsstelle Deutsches Global Compact Netzwerk. Berlin. Download unter https://www.globalcompact.de/migrated_files/wAssets/docs/Menschenrechte/Publikationen/leitprinzipien_fuer_wirtschaft_und_menschenrechte.pdf

Dong, Y.; Zhao, Y.; Hossain, M.U.; He, Y.; Liu, P. (2021): Life cycle assessment of vehicle tires: A systematic review. Cleaner Environmental Systems. Volume 2. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100033>

Dorner, U. (2015): Rohstoffrisikobewertung – Zink. DERA Rohstoffinformationen. Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Berlin. Download unter: https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/studie_zink_2015.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Drive Sustainability (2021): The Raw Material Outlook – Platform. <https://www.rawmaterialoutlook.org> (12.12.2021)

Drobe, M. (2020): Lithium – Informationen zur Nachhaltigkeit. BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover. Download unter: https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/lithium.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Dücker, E.; Schäfer, L.; Schneider, R; Wahren, S. (2015): Analytische Untersuchung zur Ressourceneffizienz im verarbeitenden Gewerbe. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE). Berlin. Download unter: Analytische Untersuchung zur Ressourceneffizienz im verarbeitenden Gewerbe (ressource-deutschland.de)

Dünnes, A. (2015): Aluminium im Autobau: Alles nur eine grüne Illusion? https://www.focus.de/auto/experten/duennes/leichtbau-im-automobilbau-aluminium-im-autobau-alles-nur-eine-gruene-illusion_id_4803380.html (06.07.2021)

Early, C. (2020): The new 'gold rush' for green lithium. BBC Future, 25.11.2020. <https://www.bbc.com/future/article/20201124-how-geothermal-lithium-could-revolutionise-green-energy> (01.11.2021)

EEA – European Environment Agency (2018): Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives – TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report. European Environment Agency (EEA). Copenhagen. Download unter: https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-from-life-cycle/at_download/file

Eickenbusch, H. und Krauss, O. (2013): Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe im Fahrzeugbau – Ressourceneffizienz und Technologien. Kurzanalyse Nr. 3. Verband Deutscher Ingenieure e. V. Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE). Berlin. Download unter: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/2014-Kurzanalyse-03-VDI-ZRE-CFK.pdf

Emilsson, E. und Dahllöf, L. (2019): Lithium-Ion Vehicle Battery Production – Status 2019 on Energy Use, CO2 Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling. IVL Swedish Environmental

Research Institute. Stockholm. Download unter:

<https://www.ivl.se/download/18.34244ba71728fcb3f3faf9/1591706083170/C444.pdf> (12.07.2021)

ENCORE (2020): Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure – Tool.

<https://encore.naturalcapital.finance/en> (12.07.2021)

ENCORE (o.J.): Materiality. <https://encore.naturalcapital.finance/en/data-and-methodology/materiality> (08.11.2021)

Enerdata (2019): Peru Energy Information. Peru Energy Information | Enerdata (29.09.2022)

Energieinstitut der Wirtschaft GmbH (2014): Effiziente Metallverarbeitung. Download unter:

https://www.energieinstitut.net/sites/default/files/metaller_dt_1905s.pdf

Energies Nouvelles (2021): Lithium in the energy transition: More than a resource issue?

<https://www.ifpenergiesnouvelles.com/article/lithium-energy-transition-more-resource-issue> (12.07.2021)

Environmental Performance Indicator (2020): 2020 EPI Results. [https://epi.yale.edu/epi-](https://epi.yale.edu/epi-results/2020/component/epi)

[results/2020/component/epi](https://epi.yale.edu/epi-results/2020/component/epi) (26.10.2021)

ETRMA – European Tyre & Rubber Manufacturers' Association (2019): European Tyre & Rubber Industry Statistics – Edition 2019, Nr. 10. European Tyre & Rubber Manufacturers' Association. Brüssel. Download unter:

<https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2019/10/20191114-Statistics-booklet-2019-Final-for-web.pdf>

Europäische Kommission (2020a): Vorschlag für eine Verordnung des europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Altbatterien, zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020. Brüssel. Download unter: [https://eur-lex.europa.eu/legal-](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52020PC0798)

[content/DE/TXT/?uri=CELEX:52020PC0798](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52020PC0798)

Europäische Kommission (2020b): Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU – A Foresight Study. Brüssel. Download unter: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42881>

Europäische Kommission (2020c): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken. Brüssel.

Download unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>

European Commission (2020): Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA. Brüssel. Download unter: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1f494180-bc0e-11ea-811c-01aa75ed71a1>

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021a): Food and agriculture data.

<http://www.fao.org/faostat/en/#data> (12.07.2021)

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021b): FAO in India – India at a glance.

<http://www.fao.org/india/fao-in-india/india-at-a-glance/en/> (12.07.2021)

Faulstich, M. und Kienzler, H.-P. (2018): Studie zur Verwertung von Altfahrzeugen – Management Summary. Prognos AG. Düsseldorf. Download unter:

https://www.tsr.eu/fileadmin/user_upload/tsr_2018/bilder/forschung_entwicklung/Management_summary_out_Prognos_4.pdf

Ferrão et al. (2007): A management system for end-of-life tyres: A Portuguese case study. Waste Management 28. S. 604 – 614. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X07001031> (27.10.2021)

Fraunhofer (2021): Carbon black recycled from car tires. <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2021/july-2021/carbon-black-recycled-from-car-tires.html> (14.09.2021)

Gehrke, I. (2018): TyreWearMapping – Einfluss von Reifenabrieb auf die Umwelt. Fraunhofer UMSICHT. Bad Langensalza. Download unter:

<https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/referenzen/tyrewearmapping/pr%c3%a4sentation-einfluss-von-reifenabrieb.pdf>

Gilsbach, L. (2020): Kupfer – Informationen zur Nachhaltigkeit. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover. Download unter:

https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/kupfer.pdf;jsessionid=896CC32FAAAF5292F36DEFFCA563A619.2_cid292?__blob=publicationFile&v=3

Giunta, F. und Munnion, O. (2020): An investigation into the Global Environment facility-funded project “Production of sustainable, renewable biomass-based charcoal for the iron and steel industry in Brazil”.

<https://globalforestcoalition.org/brazil-charcoal-case-study/> (08.11.2021)

Global Mining (2020): Cobalt demand from battery industry expected to grow in the next five years – report.

<https://www.mining.com/cobalt-demand-from-battery-industry-expected-to-grow-in-the-next-five-years-report/> (08.11.2021)

Greenpeace – Greenpeace Czech Republic (2020): People losing water due to coal mining in Poland brought petition to European Parliament. <https://www.greenpeace.org/czech/clanek/5957/people-losing-water-due-to-coal-mining-in-poland-brought-petition-to-european-parliament/> (19.09.2021)

Groneweg, M. und Weis, L. (2019): Weniger Autos, mehr globale Gerechtigkeit: Diesel, Benzin, Elektro: Die Antriebstechnik allein macht noch keine Verkehrswende. Brot für die Welt Evangelisches Werk für Diakonie und Entwicklung e. V., Bischöfliches Hilfswerk MISEREOR e. V., PowerShift. Berlin. Download unter:

<https://power-shift.de/wp-content/uploads/2019/06/Studie-Weniger-Autos-mehr-globale-Gerechtigkeit.pdf>

Groneweg, M. (2020): Performance-Check Automobilindustrie: Verantwortungsvoller Rohstoffbezug? - Eine Analyse von Industrieinitiativen und Nachhaltigkeitsberichten. INKOTA-netzwerk e. V., PowerShift e. V. Berlin.

Download unter: <https://www.ressourcenwende.net/wp-content/uploads/2020/12/Performance-Check-Automobilindustrie-Verantwortungsvoller-Rohstoffbezug-PowerShift-Inkota.pdf>

Groneweg, M.; Bittner, C.; Hoffmann, T.; Neussl, V.; Paasch, A.; Reckordt, M.; Schilder, K.; Tempelmann, M.

(2021): Weniger Autos, mehr globale Gerechtigkeit. Warum wir die Mobilitäts- und Rohstoffwende zusammendenken müssen. Brot für die Welt Evangelisches Werk für Diakonie und Entwicklung e. V., Bischöfliches Hilfswerk MISEREOR e. V., PowerShift – Verein für eine ökologisch-solidarische Energie- und Weltwirtschaft e. V. Berlin, Aachen. Download unter:

<https://www.misereor.de/fileadmin/publikationen/weniger-autos-mehr-globale-gerechtigkeit-2021.pdf>

Haustermann, M. und Knoke, I. (2019a): Nachhaltigkeit beim Anbau von Naturkautschuk – Wie Unternehmen Nachhaltigkeitsprobleme erkennen und lösen können. SÜDWIND e. V., Global Nature Fund (GNF). Bonn, Radolfzell. Download unter: <https://www.business-biodiversity.eu/de/publikationen/naturkautschuk-studie>

<https://www.business-biodiversity.eu/de/publikationen/naturkautschuk-studie>

Haustermann, M. und Knoke, I. (2019b): Naturkautschuk in der Lieferkette – Ein Überblick. SÜDWIND e. V., Global Nature Fund (GNF). Bonn, Radolfzell. Download unter: <https://www.business-biodiversity.eu/de/publikationen/naturkautschuk-studie>

<https://www.business-biodiversity.eu/de/publikationen/naturkautschuk-studie>

Hayward, D. (2020): China – Context and Land Governance. <https://landportal.org/book/narratives/2020/china> (12.07.2021)

Heimes, H.H.; Kampker, A.; vom Hemdt, A.; Kreisköther, K.D.; Michaelis, S.; Rahimzei, E. (2019):

Komponentenherstellung einer Lithium-Ionen-Batterie zelle. RWTH Aachen, VDMA. Aachen, Frankfurt am Main. Download unter: https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaafflpx

Helmers, E.; Dietz, J.; Weiss, M. (2020): Sensitivity Analysis in the Life-Cycle Assessment of Electric vs.

Combustion Engine Cars under Approximate Real-World Conditions. In: Sustainability, 2020, 12, S. 1241-1271

Helms, H.; Kämper, C.; Biemann, K.; Lambrecht, U.; Jöhrens, J.; Meyer, K. (2019): Klimabilanz von Elektroautos – Einflussfaktoren und Verbesserungspotential. Agora Verkehrswende. Berlin. Download unter: <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/klimabilanz-von-elektroautos/>

Hiebel et al. (2017): Studie zur Circular Economy im Hinblick auf die chemische Industrie. Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.). Studie im Auftrag des Verbands der Chemischen Industrie e. V. Landesverband NRW. Oberhausen. Download unter: https://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-4769003.pdf

Holappa, L. (2020): A General Vision for Reduction of Energy Consumption and CO2 Emissions from the Steel Industry. In: *Metals*, 2020, 10:9, S. 1117-1137

Human Rights Watch (HRW) (2018): "What Do We Get Out of It?" - The Human Rights Impact of Bauxite Mining in Guinea. <https://www.hrw.org/report/2018/10/04/what-do-we-get-out-it/human-rights-impact-bauxite-mining-guinea> (07.08.2021)

Human Rights Watch (HRW) (2021): Aluminum: The Car Industry's Blind Spot. <https://www.hrw.org/report/2021/07/22/aluminum-car-industrys-blind-spot/why-car-companies-should-address-human-rights> (22.07.2022)

Ickert, L.; Thomas, D.; Eckstein, L.; Tröster, T. (2012): Beitrag zum Fortschritt im Automobilleichtbau durch belastungsgerechte Gestaltung und innovative Lösungen für lokale Verstärkungen von Fahrzeugstrukturen in Mischbauweise. FAT-Schriftenreihe 244. Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT), Verband der Automobilindustrie (VDA). Berlin. Download unter: <https://www.vda.de/de/services/Publikationen/fat-schriftenreihe-244.html>

IEA – International Energy Agency (2021a): Electricity generation by Source, Poland 1990 – 2019. <https://www.iea.org/countries/poland> (12.07.2021)

IEA – International Energy Agency (2021b): Electricity generation by Source, Czech Republic 1990 – 2019. <https://www.iea.org/countries/czech-republic> (12.07.2021)

IEA – International Energy Agency (2021c): Electricity generation by Source, People's Republic of China 1990 – 2019. <https://www.iea.org/countries/china> (12.07.2021)

IEA – International Energy Agency (2021d): Electricity generation by Source, Peru 1990 – 2019. <https://www.iea.org/countries/china> (03.11.2021)

IEA – International Energy Agency (2022a): China. China - Countries & Regions - IEA (22.08.2022)

IEA – International Energy Agency (2022b): South Africa. South Africa - Countries & Regions - IEA (22.08.2022)

IGS, Independent Group of Scientists appointed by the Secretary-General (2019): Global Sustainable Development Report 2019. The Future is Now - Science for Achieving Sustainable Development. Unter Mitarbeit von Peter Messerli, Endah Murniningtyas, Parfai Eloundou-Enyegue, Ernest G. Foli, Eeva Furman, Amanda Glassman et al. Hg. v. United Nations. United Nations. New York.

ILO – International Labour Organization (1983): C155 - Occupational Safety and Health Convention, 1981 (No. 155) (11.8.1983). https://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C155 (02.11.2021)

ILO – International Labour Organization (2009). C187 - Promotional Framework for Occupational Safety and Health Convention, 2006 (No. 187) (20.2.2009). https://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C155 (02.11.2021)

Ilschner, B., & Singer, R. F. (2016): *Werkstoffwissenschaften und Fertigungstechnik*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.

International Aluminium Institute (2022): Aluminium Recycling – Global Metal Flow (world-aluminium.org) (03.06.2022)

Internationaler Pakt über bürgerliche und politische Rechte (UNO-Pakt II), BGBl. 1973 II S. 1533 (19.12.1966)

Internationaler Pakt über wirtschaftliche, soziale und kulturelle Rechte (UNO-Pakt II), UN-Doc A/RES/2200 A (XXI) (19.12.1966)

IPBES (Hg.) (2019): Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Download unter: <https://ipbes.net/global-assessment> (03.06.2022)

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2018): 1,5° Globale Erwärmung. Ein IPCC-Sonderbericht über die Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5 °C gegenüber vorindustriellem Niveau und die damit verbundenen globalen Treibhausgasemissionspfade im Zusammenhang mit einer Stärkung der weltweiten Reaktion auf die Bedrohung durch den Klimawandel, nachhaltiger Entwicklung und Anstrengungen zur Beseitigung von Armut. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Deutsche Übersetzung. Download unter: https://www.de-ipcc.de/media/content/SR1.5-SPM_de_barrierefrei.pdf

Jalalova, N. (2016): Ökologische Menschenrechte im Europa- und Völkerrecht (Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Würde eines doctor iuris der Juristischen Fakultät der Julius-Maximilians-Universität Würzburg). Download unter: https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/opus4-wuerzburg/frontdoor/deliver/index/docId/21160/file/Jalalova_Narmina_Oekologische_Menschenrechte.pdf

Jamasmie, C. (2021): Norinickel fined \$2 billion for massive Arctic fuel spill. <https://www.mining.com/norilsk-nickel-fined-2-billion-for-massive-fuel-spill-in-the-arctic/> (12.07.2021)

Jungmichel, N.; Scholz, J.; Nill, Dr. M. (2021): Die globale Umweltinanspruchnahme des deutschen Maschinenbaus. Umweltbundesamt. Die globale Umweltinanspruchnahme des deutschen Maschinenbaus (umweltbundesamt.de)

Kanani, N. (2009): Galvanotechnik : Grundlagen, Verfahren, Praxis. Hanser, München.

Kayika P., Siachoono S. M., Kalinda C. and Kwenye J. M. (2017): An Investigation of Concentrations of Copper, Cobalt and Cadmium Minerals in Soils and Mango Fruits Growing on Konkola Copper Mine Tailings Dam in Chingola, Zambia. Download unter: <https://www.omicsonline.org/open-access/an-investigation-of-concentrations-of-copper-cobalt-and-cadmium-minerals-in-soils-and-mango-fruits-growing-on-konkola-copper-mine-t.php?aid=86537>

Kerkow, U.; Martens, J.; Müller, A. (2012): Vom Erz zum Auto: Abbaubedingungen und Lieferketten im Rohstoffsektor und die Verantwortung der deutschen Automobilindustrie. Bischöfliches Hilfswerk MISEREOR e. V., Diakonisches Werk der Evangelischen Kirche in Deutschland e. V. für die Aktion „Brot für die Welt“, Global Policy Forum Europe. Aachen, Stuttgart, Bonn. Download unter: https://www.cidse.org/wp-content/uploads/2012/08/Misereor_Study_Sept_3102_Vom_Erz_zum_Auto-final.pdf

Kern, L.; Schmiester, J.; Wick, K.; Drummond-Nauck, J. (2020): Leitfaden Kontextbasiertes Wassermanagement in Unternehmen. Von der Risikoanalyse bis zur Umsetzung einer Wasserstrategie. Deutsche Global Compact Netzwerk. Link: https://www.globalcompact.de/migrated_files/wAssets/docs/Lieferkettenmanagement/DGCN_WWF_Leitfaden_Wassermanagement.pdf (13.12.2021)

Kind, T. und Engel, K. (2018): Rohstoffboom zwischen Gewinnen und Verlusten. Deutschlands ökologischer Fußabdruck durch Stahl und Aluminium. World Wide Fund for Nature (WWF). Berlin. Download unter: [https://www.Kind und Engel 2018.de/fileadmin/user_upload/KIND UND ENGEL 2018-Analyse-Stahl-und-Aluminium-Rohstoffboom-zwischen-Gewinnen-und-Verlusten.pdf](https://www.Kind%20und%20Engel%202018.de/fileadmin/user_upload/KIND%20UND%20ENGEL%202018-Analyse-Stahl-und-Aluminium-Rohstoffboom-zwischen-Gewinnen-und-Verlusten.pdf)

- Kosiorek, M.; Wyszowski, M. (2019): Effect of cobalt on environment and living organisms - a review. In *Applied Ecology and Environmental Research* 17(5): 11419-11449
- Liu, S.; Chen, J.; Cao, Y.; Yang, H.; Chen, C.; Jia, W. (2018): Distribution of mercury in the combustion products from coal-fired power plant in Guizhou, southwest China. In: *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2018, 69:2, S. 234-245
- Loibl, A.; Erdmann, M.; Tercero Espinoza, L. (2020): Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe. Karlsruhe & Hannover. Download unter: [Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe: Beiträge der Verbände \(fraunhofer.de\)](#)
- Mann, C. (2016): Kautschuk – Die Gier nach Gummi. *National Geographic*. Heft 01 / 2016. S. 76-95. <https://www.nationalgeographic.de/umwelt/kautschuk-die-gier-nach-gummi> (02.11.2021).
- Marbler, H; Osbahr, I; Opperman, R; Kärner, K; Kenan, A (2017): Investor´s and Procurement Guide South Africa. DERA Rohstoffinformationen. Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Berlin. Download unter: https://www.bgr.bund.de/DERA/DE/Downloads/Investor's_Procurement_Guide_III.pdf;jsessionid=52BE143FD21911854784E2802AF8874.2_cid292?__blob=publicationFile&v=2
- Material Archiv (2022): Vanadium. https://materialarchiv.ch/de/ma:material_1372 (22.08.2022)
- Material Economics (2018): The Circular Economy – A Powerful Force for Climate Mitigation. *Material Economics*. Stockholm. Download unter: <https://materialeconomics.com/publications/the-circular-economy>
- Mehlhart, G.; Möck, A.; Goldmann, D. (2018): Effects on ELV waste management as a consequence of the decisions from the Stockholm Convention on decaBDE. *Öko-Institut e. V. Darmstadt*. Download unter: <https://www.oeko.de/publikationen/p-details/effects-on-elv-waste-management-as-a-consequence-of-the-decisions-from-the-stockholm-convention-on-d>
- Morse, I. (2019): Mining turned Indonesian seas red. The drive for greener cars could herald a new toxic tide. https://www.washingtonpost.com/world/asia-pacific/mining-turned-indonesian-seas-red-the-drive-for-greener-cars-could-herald-a-new-toxic-tide/2019/11/19/39c76a84-01ff-11ea-8341-cc3dce52e7de_story.html (13.07.2021)
- Murguía, D. I. (2015): Global area disturbed and pressures on biodiversity by large-scale metal mining. *University of Kassel, Faculty of Civil and Environmental Engineering*. Kassel. Download unter: <http://www.uni-kassel.de/upress/online/OpenAccess/978-3-7376-0040-8.OpenAccess.pdf>
- MVO Nederland (2020): CSR Risk Check. <https://www.mvorisicochecker.nl/en> (12.07.2021)
- Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2022): LHKW (Trichlorethen und Tetrachlorethen). LHKW (Trichlorethen und Tetrachlorethen) | Nds. Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz ([niedersachsen.de](https://www.niedersachsen.de)) (22.08.2022)
- Nill, M.; Jungmichel, N.; Schampel, C.; Weiss, D. (2017): Umweltatlas Lieferketten – Umweltwirkungen und Hot-Spots in der Lieferkette. adelphi consult GmbH, Systain Consulting GmbH. Berlin, Hamburg. Download unter: <https://www.adelphi.de/de/publikation/umweltatlas-lieferketten>
- Nilsen, T. (2019): Norilsk tops world's list of worst SO2 polluters. <https://thebarentsobserver.com/en/2019/08/norilsk-tops-worlds-list-worst-so2-polluters> (13.07.2021)
- Nühlen, J. (2020): Untersuchung des Einflusses technologischer Innovationen auf Stoffströme am Beispiel von Vanadium für Redox-Flow-Batterien. Bochum. Download unter: [Untersuchung des Einflusses technologischer Innovationen auf Stoffströme am Beispiel von Vanadium für Redox-Flow-Batterien \(d-nb.info\)](#)
- Nuss, P. und Eckelman, M. J. (2014): Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis. In: *PLoS ONE* 9(7):. Download unter: [e101298. doi:10.1371/journal.pone.0101298](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101298)

OEC – The Observation of Economic Complexity (o. J. a): Carbon (carbon blacks and other forms of carbon, es). <https://oec.world/en/profile/hs92/carbon-carbon-blacks-and-other-forms-of-carbon-nes> (19.09.2021)

OEC – The Observation of Economic Complexity (o. J. b): Rubber Tires. <https://oec.world/en/profile/hs92/rubber-tires> (19.09.2021)

OEC – The Observation of Economic Complexity (o. J. c): Used Rubber Tires. <https://oec.world/en/profile/hs92/used-rubber-tires> (19.09.2021)

OECD – Organisation for Economic Development (2018): OECD-Leitfaden für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln. Übersetzung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Berlin. Download unter: <https://mneguidelines.oecd.org/OECD-leitfaden-fur-die-erfullung-der-sorgfaltspflicht-fur-verantwortungsvolles-unternehmerisches-handeln.pdf>

Orion Engineered Carbons (2018): All locations. https://www.orioncarbons.com/all_locations (27.10.2021)

Panda, B.K. und Sarkar, S. (2020): Environmental Impact of Rubber Plantation: Ecological vs. Economical Perspectives. In: Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences, 2020, 22:4, S. 657-661

Pell, R.; Tijsseling, L.; Goodenough, K.; Wall, F.; Dehaine, Q.; Grant, A.; Whattoff, P. (2021): Towards sustainable extraction of technology materials through integrated approaches. Download unter: [Towards sustainable extraction of technology materials through integrated approaches \(squarespace.com\)](https://www.squarespace.com)

PentaCarbon (o. J.): Carbon Black Wiki. <https://pentacarbon.de/wiki/> (19.09.2021)

Perger, J. (2020): Wirtschaftsmächte auf den metallischen Rohstoffmärkten – Ein Vergleich von China, der EU und den USA. DERA Rohstoffinformationen 46. Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Berlin. Download unter: https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-46.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Piotrowska, K.; Kruszelnicka, W.; Bałdowska-Witos, P.; Kasner, R.; Rudnicki, J.; Tomporowski, A.; Flizkowski, J.; Opielak, M. (2019): Assessment of the Environmental Impact of a Car Tire throughout Its Lifecycle Using the LCA Method. In: Materials, 2019, 12:24, S. 4177-4201

Priester, M. und Dolega, P. (2015): Bergbauliche Reststoffe – Teilprojektbericht ÖkoRess. Berlin. Download unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/dokumente/oekoress_-_teilbericht_bergbauliche_reststoffe.pdf

Purr, K.; Günther, J.; Lehmann, H.; Nuss, P. (2021): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE-Studie. Climate Change36/2019. 2. Auflage. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau. Download unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet_auflage2_juni-2021.pdf

Reach- Helpdesk (o.J.): Branchenanalyse der deutschen Galvano- und Oberflächentechnik. <https://www.reach-helpdesk.info/fileadmin/reach/dokumente/Anhang01Branchenanalyse.pdf> (22.08.2022)

Reuter, B. et al. (2019): Rohstoffe für innovative Fahrzeugtechnologien. Herausforderungen und Lösungsansätze. Studie der Landesagentur für neue Mobilitätslösungen und Automotive Baden-Württemberg e-mobil BW. Stuttgart. Download unter: https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Material-Studie_e-mobilBW.pdf

Root, T. (2019): Tires: The plastic polluter you never thought about. <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/tires-unseen-plastic-polluter> (12.07.2021)

Sander, K.; Kohlmeyer, R.; Rödig, L.; Wagner, L. (2017): Altfahrzeuge – Verwertungsquoten 2015 und Hochwertigkeit der Verwertung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe – Band 10, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, S. 305-325

Schebek, L.; Kannengießer, J.; Campitelli, A.; Fischer, J.; Abele, E.; Bauerdick, C.; Anderl, R.; Haag, S.; Sauer, A.; Mandel, J.; Lucke, D.; Bogdanov, I.; Nuffer, A.; Steinhilper, R.; Böhner, J.; Lothes, G.; Schock, C.; Zühlke, D.; Plociennik, C.; Bergweiler, S. (2017): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE). Berlin. Download unter: [Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes \(ressource-deutschland.de\)](https://www.ressourceneffizienz.de/)

Scherf, C.-S.; Gailhofer, P.; Hilbert, I.; Kampffmeyer, N.; Schleicher, T. (2019): Umweltbezogene und menschenrechtliche Sorgfaltspflichten als Ansatz zur Stärkung einer nachhaltigen Unternehmensführung – Zwischenbericht Arbeitspaket 1 – Analyse der Genese und des Status quo. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltbezogene-menschenrechtliche>

Schmidt, H. (2003): 129-NMR-spektroskopische Untersuchungen an Carbon Black und Graphit. Online unter: https://duepublico2.uni-due.de/receive/duepublico_mods_00005431 (09.12.2021)

Schmitz, M. (2019): Rohstoffrisikobewertung – Magnesium (Metall). DERA Rohstoffinformationen 38. Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Berlin. Download unter: https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-38.pdf?__blob=publicationFile

Schütte, P. (2021): Kobalt – Informationen zur Nachhaltigkeit. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover. Download unter: https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/kobalt.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Unter Mitarbeit von S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondizio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas. Bonn.

Shanbag, A. und Manjare, S. (2020): Life Cycle Assessment of Tyre Manufacturing Process. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. Volume 8. Issue 1. S. 22-34. DOI: <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d7.0260>

Slowik, P.; Lutsey, N.; Hsu, C. (2020): How Technology, Recycling, and Policy can Mitigate Supply Risks to the Long-Term Transition to Zero-Emission Vehicles. ICCT – The International Council On Clean Transportation. Washington DC. Download unter: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/zev-supply-risks-dec2020.pdf>

Smith, N. (2018): Nickel: A green energy necessity with grave environmental risks. <https://www.maplecroft.com/insights/analysis/nickel-a-green-energy-necessity-with-grave-environmental-risks/> (13.07.2021)

Sonderabfallwissen (2020): Recycling und Entsorgung von E-Auto-Batterien. <https://www.sonderabfallwissen.de/wissen/recycling-und-entsorgung-von-e-auto-batterien/> (02.11.2021)

Sonter, L.J.; Herrera, D.; Barrett, D.J.; Galford, G.L.; Moran, C.J.; Soares-Filho, B.S. (2017): Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. In: Nature Communications, 2017, 8:1013, S. 1-7

SPIEGEL (2013): Das schwarze Meer. <https://www.spiegel.de/auto/aktuell/reifendeponie-in-kuwait-ist-auf-fotos-vom-all-aus-zu-erkennen-a-905060.html> (14.09.2021)

Statista Research Department (2011): Fahrzeugteile – Anteil am Gesamtgewicht eines Pkw. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/200404/umfrage/anteil-der-fahrzeugteile-am-gesamtgewicht-eines-pkw/> (06.07.2021)

Stepkowska, A. und Kowalczyk, D. (2016): Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in carbon black [https://www.semanticscholar.org/paper/Polycyclic-aromatic-hydrocarbons-\(PAHs\)-in-carbon-St%C4%99pkowska-Kowalczyk/3f8912c775059ba3d77fe70b0f1d8adc02791175](https://www.semanticscholar.org/paper/Polycyclic-aromatic-hydrocarbons-(PAHs)-in-carbon-St%C4%99pkowska-Kowalczyk/3f8912c775059ba3d77fe70b0f1d8adc02791175) (09.12.2021)

SWI swissinfo.ch (2020): Grossbrand in Reifenlager in Mendrisio TI. <https://www.swissinfo.ch/ger/grossbrand-in-reifenlager-in-mendrisio-ti/46235760> (19.09.2021)

Szurlies, M. (2021): Rohstoffrisikobewertung – Nickel. DERA Rohstoffinformationen 41. Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Berlin. Download unter: https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-48.pdf?__blob=publicationFile

Tappeser, V. und Chichowitz, L. (2017): Umgang mit Altfahrzeugen: Transformationsfeldanalyse im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy. adelphi research gGmbH, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH, IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH. Berlin. Download unter: https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2017-01-e2g-umgang_mit_alfahrzeugen-adelphi_0.pdf

Tekasakul, P. und Tekasakul, S. (2006): Environmental Problems Related to Natural Rubber Production in Thailand. In: Journal of Aerosol Research, 2006, 21:2, S. 122-129

The Dragonfly Initiative (2018): Material Change. A study of risks and opportunities for collective action in the materials supply chains of the automotive and electronics industries. The Dragonfly Initiative, Drive Sustainability, Responsible Minerals Initiative. Brüssel. Download unter: https://drivesustainability.org/wp-content/uploads/2018/07/Material-Change_VF.pdf

Transport & Environment (2021): From dirty oil to clean batteries. Transport & Environment. Brüssel. Download unter: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2021_02_Battery_raw_materials_report_final.pdf

Tunk, C. (2021): Nach Brand in Galvanik-Fabrik: Fischsterben in Brandenburg. Berliner Zeitung. <https://www.berliner-zeitung.de/news/nach-brand-in-galvanik-fabrik-fischsterben-in-brandenburg-li.139727> (08.12.2022)

UBA – Umweltbundesamt (2016): Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe – Umweltschädlich! Giftig! Unvermeidbar? Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/polyzyklische-aromatische-kohlenwasserstoffe>

UBA – Umweltbundesamt (2018): Wasserfußabdruck. Thema Wasser. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasser-bewirtschaften/wasserfussabdruck#was-ist-der-wasserfussabdruck> (14.09.2021)

UBA – Umweltbundesamt (2019a): Aluminium – Factsheet. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Download unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/dokumente/factsheet-aluminium_fi_barrierefrei.pdf

UBA – Umweltbundesamt (2019b): Critical Loads für Schwermetalle.

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/wirkungen-von-luftschaedstoffen/wirkungen-auf-oekosysteme/critical-loads-fuer-schwermetalle#was-sind-critical-loads> (15.09.2021)

UBA – Umweltbundesamt (2020a): Altauto, Altautoverwertung.

<https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/mobilitaet/altauto-altautoverwertung#unsere-tipps> (06.07.2021)

UBA – Umweltbundesamt (2020b): Altfahrzeuge. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/altfahrzeuge#altfahrzeuge-in-deutschland> (06.07.2021)

UBA – Umweltbundesamt (2020c): Altfahrzeugverwertung und Fahrzeugverbleib.

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altfahrzeugverwertung-fahrzeugverbleib#2018-36-mehr-altfahrzeuge-als-2016-> (06.07.2021)

UBA – Umweltbundesamt (2020d): Faserverbundwerkstoffe: Zukunftsmaterial mit offener Entsorgung.

<https://www.umweltbundesamt.de/faserverbundwerkstoffe-zukunftsmaterial-offener#faserverbundwerkstoffe-und-ihr-potenzial-fur-klima-und-ressourcenschonung> (06.07.2021)

UBA – Umweltbundesamt (2020e): Fläche, Boden, Land-Ökosysteme. UBA-Daten.

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme#strap1> (14.09.2021)

UBA – Umweltbundesamt (2021a): Feinstaub.

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe-im-ueberblick/feinstaub#undefined> (14.09.2021)

UBA – Umweltbundesamt (2021b): Ressourcennutzung und ihre Folgen.

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/ressourcennutzung-ihre-folgen> (14.09.2021)

UBA – Umweltbundesamt (2021c): Schwefeldioxid.

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe-im-ueberblick/schwefeldioxid> (14.09.2021)

Uguya, A.; Ajibade, F. O.; Ajibade, T. F. (2018): Water Pollution Resulting from Mining Activity: An Overview.

Proceedings of the 2018 Annual Conference of the School of Engineering & Engineering Technology (SEET), The Federal University of Technology, 17-19.07.2018, Akure, Nigeria.

Umweltbundesamt (UBA) (2013): Galvanische Oberflächenbeschichtung.

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/industrieverarbeitung-herstellung-herstellung-von-metallen/galvanische-oberflaechenbeschichtung#was-ist-galvanische-oberflaechenbeschichtung>(22.08.2022)

Umweltbundesamt (UBA) (2020f): Emissionen aus Betrieben der Metallindustrie.

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/industrie/emissionen-aus-betrieben-der-metallindustrie#umweltbelastende-emissionen-aus-der-metallindustrie-> (22.08.2022)

UN – United Nations (2021): Human rights and the global water crisis: water pollution, water scarcity and water-related disasters. Report of the Special Rapporteur on the issue of human rights obligations relating to the enjoyment of a safe, clean, healthy and sustainable environment. United Nations general Assembly. Human Rights Council. Forty-sixth session. 22 February-19 March 2021. A/HRC/46/28. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/G21/012/23/PDF/G2101223.pdf?OpenElement> (14.09.2021)

UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development (2020): Commodities at a Glance. Special issue on strategic battery raw materials. Geneva. Download unter: https://unctad.org/system/files/official-document/ditccom2019d5_en.pdf

UNO-Generalversammlung (2007): United Nations Declaration on the Rights of Indigenous Peoples (UNDRIP), UN-Doc A/RES/61/295 (2.10.2007)

USGS – United States Geological Survey (2021): Mineral Commodities Summary 2021. United States Geological Survey (USGS). Washington. Download unter: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

USGS – United States Geological Survey (2021a): Iron Ore. United States Geological Survey (USGS). Washington. Download unter: Mineral Commodity Summaries 2022 - Iron Ore ([usgs.gov](https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-iron-ore.pdf))

USGS – United States Geological Survey (2021b): Bauxite and Alumina. Mineral Commodities Summary 2021. United States Geological Survey (USGS). Washington. Download unter: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-bauxite-alumina.pdf>

USGS – United States Geological Survey (2021c): Copper. United States Geological Survey (USGS). Washington. Download unter: Mineral Commodity Summaries 2022 - Copper ([usgs.gov](https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-copper.pdf))

Van Beukering, P. und Janssen, M. (2001): Trade and recycling of used tyres in Western and Eastern Europe. Resources, Conservation and Recycling. Volume 33. S. 235-265. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344901000829>

Van Genderen, E.; Wildnauer, M.; Santero, N.; Sidi, N. (2016). A global life cycle assessment for primary zinc production. In: The International Journal of Life Cycle Assessment, 2016, 21:11, S. 1580–1593.

Vasters, J. und Franken, G. (2020): Aluminium - Informationen zur Nachhaltigkeit. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover. Download unter: https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/aluminium.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Vasters, J.; Franken, G.; Szurlies, M. (2021): Nickel – Informationen zur Nachhaltigkeit. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover. Download unter: https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/nickel.pdf?__blob=publicationFile

VDA – Verband der Automobilindustrie e. V. (2014): Unsere Werke – Nachhaltige Automobilproduktion in Deutschland. Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA). Berlin. Download unter: <https://www.vda.de/de/services/Publikationen/unsere-werke-nachhaltige-automobilproduktion-in-deutschland.html>

VDA – Verband der Automobilindustrie e. V. (2020): Jahresbericht 2020 - Die Automobilindustrie in Daten und Fakten. Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA). Berlin. Download unter: <https://www.vda.de/de/services/Publikationen/vda-jahresbericht-2020.html>

VDA – Verband der Automobilindustrie e. V. (o. J. b): Mittelstand. Zulieferindustrie und Mittelstand. <https://www.vda.de/de/themen/automobilindustrie-und-maerkte/mittelstand/zulieferindustrie-und-mittelstand.html> (08.07.2021)

VDA – Verband der Automobilindustrie e.V. (o. J. a): Allgemeines. Angaben zu Forschungsausgaben, Umsätzen und Beschäftigten in der Automobilwirtschaft. <https://www.vda.de/de/services/zahlen-und-daten/jahreszahlen/allgemeines.html> (08.07.2021)

VdS Schadenverhütung GmbH (2018): Galvanotechnische Betriebe – Gefahren, Risiken, Schutzmaßnahmen. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) 3412: 2018-01. <https://shop.vds.de/publikation/vds-3412> (08.12.2022)

Vishnu, V.; Priyadarshini, C.S.; Hilbert, H. (2011): Environmental Issues Caused by Rubber Industry. <https://businessimpactenvironment.wordpress.com/2011/10/03/environmental-issues-caused-by-rubber-industry/> (12.07.2021)

- Voiland, A. (2017): A Manmade Volcano over Norilsk. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/92246/a-manmade-volcano-over-norilsk> (12.07.2017)
- Volkswagen AG (2021): Der Stoff, aus dem die Zukunft ist. <https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2018/05/the-fabric-of-the-future.html> (06.07.2021)
- Wang, S.; Huang, J.; YU, H.; Ji, C. (2020): Recognition of Landscape Key Areas in a Coal Mine Area of a Semi-Arid Steppe in China: A Case Study of Yimin Open-Pit Coal Mine. In: Sustainability, 2020, 12:6. <https://doi.org/10.3390/su12062239>
- Warren-Thomas, E.; Dolman, P.; Edwards, D. P. (2015): Increasing Demand for Natural Rubber Necessitates a Robust Sustainability Initiative to Mitigate Impacts on Tropical Biodiversity. In: Conservation Letters, 2015, 8:4, S. 230-241
- WDK – Wirtschaftsverband der Deutschen Kautschukindustrie e. V. (2018): Die Kautschukindustrie 2018/2019. Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e. V. Frankfurt am Main. Download unter: <https://www.wdk.de/kautschukindustrie-unterseite-von-konjunktur/>
- Weiss, D.; García, B.; van Ackern, P.; Rüttinger, L.; Albrecht, P.; Dech, M.; Knopf, J. (2020): Die Achtung von Menschenrechten entlang globaler Wertschöpfungsketten – Risiken und Chancen für Branchen der deutschen Wirtschaft. Forschungsbericht 543. adelphi consult GmbH, Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde. Berlin, Stuttgart, Eberswalde. Download unter: <https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/fb-543-achtung-von-menschenrechten-entlang-globaler-wertschoepfungsketten.pdf>
- Weiss, D.; Hajduk, T.; Knopf, J. (2017): Schritt für Schritt zum nachhaltigen Lieferkettenmanagement. Praxisleitfaden für Unternehmen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit; Umweltbundesamt. Link: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/leitfaden_nachhaltige_lieferkette_bf.pdf. (14.12.2021)
- Weiss, D.; Grüning, C.; Kriege, K.; Buderath, M.; Dovidat, L.; Jungmichel, N.; Aron, M. (2022): Umweltrisiken und -auswirkungen in globalen Lieferketten deutscher Unternehmen - Branchenstudie Automobilindustrie; Umweltbundesamt. Link: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltrisiken-auswirkungen-in-globalen-lieferketten> (06.12.2022)
- Wirtschaftsvereinigung Metalle (WVMetalle) (2020): Metallstatistik 2020. <https://www.wvmetalle.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=314715&token=ae6cf4b3bd20efc41f3d76bfb263e9af22798787>
- Willand, W.; Baron, Y.; Blepp, M.; Weber, R.; Herold, C. (2020): Beste verfügbare Techniken für die PFOS-Substitution in der Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen sowie Analyse der alternativen Substanzen zu PFOS beim Einsatz in Anlagen zur Verchromung und Kunststoffbeize; Umweltbundesamt. Link: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/beste-verfuegbare-techniken-fuer-die-pfos> (08.12.2022)
- World Governance Indicators (2020): Interactive Data Access. <https://info.worldbank.org/governance/wgi/Home/Reports> (26.10.2021)
- World Resources Institute (2021): Global Forest Watch. <https://www.globalforestwatch.org/> (12.07.2021)
- World Steel Association (2021): World Steel in Figures 2021 now available. <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2021/world-steel-in-figures-2021.html> (06.07.2021)
- WWF – World Wide Fund for Nature (2020): WWF Water Risk Filter: From Risk Assessment to Response. <https://waterriskfilter.panda.org/> (12.07.2021)

WWF – World Wide Fund for Nature (2021): Naturkautschuk – Rohstoff mit Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. <https://www.wwf.de/themen-projekte/landwirtschaft/produkte-aus-der-landwirtschaft/naturkautschuk> (12.07.2021)

Yu, A. und Sumangil, M. (2021): Top electric vehicle markets dominate lithium-ion battery capacity growth. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/blog/top-electric-vehicle-markets-dominate-lithium-ion-battery-capacity-growth> (16.02.2021)

Zeng, H.; Zhang, C.; Fu, X. (2020): From Coal to Renewables in China: Solving the Water Stress-Power Plant Mismatch. <https://www.wri.org/insights/coal-renewables-china-solving-water-stress-power-plant-mismatch> (08.11.2021)

Zhang, X.; Yang, L.; Li, Y.; Li, H.; Wang, W.; Ye, B. (2011): Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China. In: Environmental Monitoring and Assessment, 2011, 184:4, S. 2261–2273.