

TEXTE

132/2023

Umweltrisiken und - auswirkungen in globalen Lieferketten deutscher Unternehmen

Branchenstudie Elektronikindustrie

von:

Carolin Grüning, Bibiana García, Daniel Weiß, Jana Beier, Marwin Outzen
adelphi, Berlin

Norbert Jungmichel, Stella Veneziano
Systain Consulting GmbH, Berlin

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 132/2023

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3720 14 103 0

FB001222

Zwischenbericht

Umweltrisiken und -auswirkungen in globalen Lieferketten deutscher Unternehmen

Branchenstudie Elektronikindustrie

von

Carolin Grüning, Bibiana García, Daniel Weiß, Jana Beier,
Marwin Outzen
adelphi, Berlin

Norbert Jungmichel, Stella Veneziano
Systain 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 GmbH
Alt Moabit 91
10559 Berlin

System Consulting GmbH
Friedrichstraße 210
10969 Berlin

Abschlussdatum:

Juli 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, September 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 von negativen Umweltauswirkungen entlang der globalen Lieferketten der deutschen Elektronikindustrie. 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 zum ausgewählten Fokusthema Halbleiterchips. Die Ergebnisse werden geografisch, sektoral und nach Lieferkettenstufe aufbereitet und umfassen die Umweltthemen Treibhausgase, Luftschadstoffe, Fläche, Wasser, wassergefährdende Stoffe sowie Abfälle. Halbleiterchips werden als ausgewählte Fokuskomponente entlang ihrer Lieferkette von der Rohstoffgewinnung (ausgewählte Rohstoffe: Kupfer, Gold, Zinn) bis zur Fertigung vertieft betrachtet. Die Studie zeigt zudem exemplarisch Zusammenhänge zwischen Risiken von negativen 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 electronics industry

The study examines risks for negative environmental impacts along the global supply chains of the German electronics industry. 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 the selected focus topic of semiconductor chips. 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, land, water, substances hazardous to water and waste. Semiconductor chips are examined in depth as a selected focus component along their supply chain from raw material extraction (selected raw materials: copper, gold, tin) to production. 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.....	8
Tabellenverzeichnis	9
Abkürzungsverzeichnis.....	10
Zusammenfassung.....	13
Summary	17
1 Einleitung.....	21
1.1 Hintergrund.....	21
1.2 Ziele und Anwendungshinweise	21
1.3 Bezug der Studie zum Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz	21
1.4 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Studie.....	22
1.4.1 Übersicht über erfasste Umweltthemen	22
1.4.2 Kriterien zur Bewertung von negativen Umweltauswirkungen	25
1.4.3 Methodisches Vorgehen	27
1.4.4 Aufbau der Studie	29
2 Die deutsche Elektronikindustrie im Überblick.....	30
3 Umweltthemen entlang der Lieferkette	33
3.1 Übersicht relevanter Umweltthemen und Vorleistungssektoren in der Lieferkette.....	33
3.2 Zusammenhänge zwischen Risiken von negativen Auswirkungen auf die Umwelt und Menschenrechte	35
3.2.1 Treibhausgase	39
3.2.2 Luftschadstoffe	41
3.2.3 Fläche	46
3.2.4 Wasser	48
3.2.5 Wassergefährdende Stoffe	54
3.2.6 Abfälle	58
4 Fokusthema Halbleiterchips.....	64
4.1 Hintergrund und methodische Hinweise	64
4.2 Beschreibung der Technologie und Wertschöpfungskette	67
4.3 Rohstoffabbau, -aufbereitung und -veredelung.....	69
4.3.1 Rohstoff Kupfer	69
4.3.2 Rohstoff Gold	72
4.3.3 Rohstoff Zinn.....	77
4.4 Herstellung von Halbleiterchips.....	80

5	Ansatzpunkte und Maßnahmen zur Minderung von Umweltrisiken und zur Erfüllung umweltbezogener Sorgfaltspflichten	86
5.1	Maßnahmen, um Risiken von negativen Auswirkungen zu identifizieren und zu bewerten	86
5.1.1	Breit angelegte Risikoanalyse und vertiefte Risikoanalyse für prioritäre Themen.....	86
5.1.2	Verbindung des eigenen Unternehmens zu potenziellen oder tatsächlichen negativen Auswirkungen bestimmen und Handlungsfelder für Maßnahmen priorisieren.....	89
5.2	Beseitigen, Vermeiden und Mindern von (potenziellen) negativen Auswirkungen.....	90
6	Quellenverzeichnis	108

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Due-Diligence-Prozesse und Maßnahmen	23
Abbildung 2:	Wertschöpfungsanteile direkter Lieferanten und tieferer Lieferkettenstufen entlang der Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie (in Mio. EUR)	31
Abbildung 3:	Sektorale Verteilung der Wertschöpfung entlang der Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie	32
Abbildung 4:	Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie	40
Abbildung 5:	Verteilung der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie nach sektoralem Aufkommen	41
Abbildung 6:	SO ₂ -Emissionen entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie (in 1.000 t SO ₂ -Äquivalenten)	42
Abbildung 7:	Sektorale Verteilung der Emissionen an SO ₂ -Äquivalenten in der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie.....	43
Abbildung 8:	Emissionen von Feinstaub entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie (in 1.000 t Feinstaub PM _{2,5} -Äquivalenten)	44
Abbildung 9:	Sektorale Verteilung der Emissionen von Feinstaub PM _{2,5} -Äquivalenten entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie	45
Abbildung 10:	Flächeninanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie	47
Abbildung 11:	Wasserverbrauch entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie	50
Abbildung 12:	Sektorale Verteilung des Wasserverbrauchs in der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie	51
Abbildung 13:	Aggregierte Wasserknappheitsrisiken in der vorgelagerten Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie	52
Abbildung 14:	Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie (in Tonnen DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser).....	56
Abbildung 15:	Sektorale Verteilung der Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie (Bewertung mittels DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser)	57
Abbildung 16:	Verteilung des Abfallaufkommens entlang der Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie nach Abfallklassen.....	60
Abbildung 17:	Abfallaufkommen gesamt entlang der Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie (in 1.000 Tonnen).....	61

Abbildung 18: Sektorale Verteilung des Abfallaufkommens in der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie62

Abbildung 19: Überblick über den Lebenszyklus eines Halbleiterchips68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Farbliche Unterlegung der Umwelt-Governance-Indices.....26

Tabelle 2: Leitfragen und Quellen zur Einschätzung von Schwere und Eintrittswahrscheinlichkeit einer negativen Umweltauswirkung27

Tabelle 3: Überblick über untersuchte Umweltthemen33

Tabelle 4: Umweltrelevante Sektoren in der Lieferkette der untersuchten Fokussektoren34

Tabelle 5: Zusammenhänge zwischen Umweltauswirkungen, menschenrechtlichen Auswirkungen und Menschenrechten (Beispiele)37

Tabelle 6: (Umwelt-) Governancekontext – Kupfer71

Tabelle 7: (Umwelt-)Governancekontext – Gold74

Tabelle 8: (Umwelt-)Governancekontext - Zinn.....78

Tabelle 9: (Umwelt-)Governancekontext – Herstellung von (Halbleiter-)Chips82

Tabelle 10: (1) Steuerung: Verankerung eines nachhaltigen Lieferkettenmanagements im Unternehmen91

Tabelle 11: (2) Steuerung: Definition von klaren Zielen in der Lieferkette.92

Tabelle 12: (3) Kommunikation: Interner Wissensaufbau und Austausch zu Umweltthemen und Maßnahmen in der Lieferkette95

Tabelle 13: (4) Kommunikation: Transfer von Wissen zu Umweltthemen und Maßnahmen an (Vor-) Lieferanten96

Tabelle 14: (5) Dialog: Austausch mit (potenziell) Betroffenen als Input zur Risikoanalyse und zur effektiven Lösungsfindung.....98

Tabelle 15: (6) Pilotprojekte: Punktuelle Umsetzung von Veränderungen in der Lieferkette und anschließende Ausweitung.....100

Tabelle 16: (7) Einkauf und Lieferantenmanagement: Zertifizierungen und Standards bei Produzenten und/oder Rohstoffen101

Tabelle 17: (8) Allianzen: Unternehmens- und branchenübergreifende Ansätze zur Schaffung nachhaltigerer Lieferketten103

Tabelle 18: (9) Stoffkreisläufe: Einsatz von Sekundärrohstoffen und Recycling von Rohstoffen104

Tabelle 19: (10) Transparenz: Die eigene Lieferkette für das Management (potenzieller) negativer Auswirkungen nachvollziehen106

Abkürzungsverzeichnis

AEMR	Allgemeine Erklärung der Menschenrechte
AI	Artificial-Intelligence
ARM	Alliance for Responsible Mining
ASM	Artisanal and Small-scale Mining (dt. artisanaler und Kleinbergbau)
ATP	Back-end Assembly, Testing, and Packaging (dt. Back-End-Montage, Prüfung und Verpackung)
AWS	Alliance for Water Stewardship
BFR	Brominated Flame Retardants (dt. bromhaltige Flammschutzmittel)
BOD	Biochemical Oxygen Demand (dt. biochemischer Sauerstoffbedarf)
CDP	Carbon Disclosure Project
CEPN	Clean Electronics Production Network
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CO₂-eq	CO ₂ -Äquivalente
COD	Chemical Oxygen Demand (dt. chemischer Sauerstoffbedarf)
CSR	Corporate Social Responsibility
CVD	Chemical Vapour Deposition (dt. chemische Gasphasenabscheidung)
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 Index
ESIA	European Semiconductor Industry Association
EUR	Euro
F-Gase	Fluorierte Treibhausgase
FKW	Vollfluorierte Kohlenwasserstoffe
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
HTF	Heat-Transfer Fluids (dt. Wärmeübertragungsflüssigkeiten)
HFKW	Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe
ICA	International Copper Association
ICMM	International Council on Mining and Metals
ICSG	International Copper Study Group
IDM	Integrated Device Manufacturer (dt. integrierte Bauelementehersteller)
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
iTSCi	ITRI Tin Supply Chain Initiative
IRMA	Initiative for Responsible Mining Assurance
ISO	International Organization for Standardization (dt. Internationale Organisation für Normung)

kg	Kilogramm
km²	Quadratkilometer
KPIs	Key-Performance-Indikatoren
LBMA	London Bullion Market Association
LkSG	Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz
m³	Kubikmeter
Mio	Millionen
Mrd	Milliarden
MRIO-Analyse	Multiregionale Input-Output-Analyse
Mt	Megatonnen
NatuReS	Natural Resources Stewardship Programm
NF₃	Stickstofftrifluorid
nm	Nanometer
NO_x	Stickoxide
OECD	Organisation for Economic Co-Operation and Development (dt. Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
OS Hub	Open Supply Hub
PBB	Polybromierte Biphenyle
PBDE	Polybromierte Diphenylether
PFC	Perfluorierte Kohlenwasserstoffe
POPs	Persistent Organic Pollutants (dt. persistente organische Schadstoffe)
RBA	Responsible Business Alliance
RCA	Radio Corporation of America
RMAP	Responsible Minerals Assurance Process
RMI	Responsible Minerals Initiative
SF₆	Schwefelhexafluorid
Si	Rohsilizium
SiO₂	Siliziumdioxid
SO₂	Schwefeldioxid
t	Tonnen
TSMC	Taiwan Semiconductor Manufacturing Company
UBA	Umweltbundesamt
UN	United Nations (dt. Vereinte Nationen)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
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)
UNO-Pakt I	Internationaler Pakt über wirtschaftliche, soziale und kulturelle Rechte
UNO-Pakt II	Internationaler Pakt über bürgerliche und politische Rechte

VOC	Volatile Organic Compounds (dt. flüchtige organische Verbindungen)
VR	Virtual-Reality
WGI	Worldwide Governance Indicators
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 von negativen Umweltauswirkungen entlang der Lieferketten der deutschen Wirtschaft beschrieben und illustriert. Die vorliegende Studie zur deutschen Elektronikindustrie ist die dritte 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 der deutschen Elektronikindustrie. Die Studie:

- ▶ gibt einen Überblick über Risiken von negativen Umweltauswirkungen auf den einzelnen Stufen der vorgelagerten internationalen Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie 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 von 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 die beiden Hauptsektoren „Herstellung von DV-Geräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen“ (WZ08-26 gemäß der Klassifikation der Wirtschaftszweige) und „Herstellung von elektrischen Ausrüstungen“ (WZ08-27 gemäß der Klassifikation der Wirtschaftszweige). Methodisch setzt die Studie auf einen Mix aus ökologisch erweiterten, multiregionalen Input-Output (MRIO) Modellen, einschlägigen Studien, Online-Tools und Expertinnen- und Experteninterviews.

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

- ▶ **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. Knapp drei Viertel der gesamten

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

Treibhausgasemissionen entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette entstehen auf der Ebene der indirekten Lieferanten, d. h. Vorleistungsprozesse auf den tieferen Wertschöpfungsstufen (englisch „tier“ 2-n). Die Stufe der direkten Lieferanten (tier 1) macht hingegen etwa ein Viertel der Gesamtemissionen aus. Die meisten Emissionen entlang der Wertschöpfungskette entfallen auf Lieferanten und Vorlieferanten in Deutschland (38 %), vor allem auf der Stufe der direkten Lieferanten. Die meisten Treibhausgasemissionen entstehen in den Vorleistungssektoren der Stromerzeugung, der Gewinnung von Energieträgern sowie der Metallerzeugung und -verarbeitung.

- ▶ **Luftschadstoffe (Schwefeldioxidäquivalente und Feinstaub der Partikelgröße PM_{2,5}-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 Schwefeldioxyden und Stickstoffoxiden können zudem zu Atemwegserkrankungen führen und die menschliche Gesundheit gefährden. Etwa 43 % der Emissionen von SO₂-Äquivalenten entstehen auf der Stufe der direkten Lieferanten, der Rest auf den tieferen Lieferkettenstufen. Die Emissionen an SO₂-Äquivalenten gehen mit einem Anteil von 44 % vorrangig auf Deutschland zurück, vor allem auf der Stufe der direkten Lieferanten. Die Emissionen entstehen vorrangig bei der Stromerzeugung durch fossile Energieträger sowie in der Metallerzeugung und -verarbeitung. Feinstaub kann ebenfalls Atemwegserkrankungen auslösen. In der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie entstehen etwa 42 % der Feinstaubemissionen der Partikelgröße PM_{2,5}-Äquivalente auf der Stufe der direkten Lieferanten. Mehr als die Hälfte der Feinstaubemissionen (59 %) entsteht bei Lieferanten und Vorlieferanten in Deutschland. Treiber sind die Vorleistungen aus der Metallerzeugung und -verarbeitung und der Stromerzeugung.
- ▶ **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 der Elektronikindustrie. Geografisch sind die höchsten Flächeninanspruchnahmen in China und Deutschland zu verorten.
- ▶ **Wasser:** Der Verbrauch von großen Wassermengen aus (natürlichen) Wasserreservoirs kann lokale Wasserknappheiten verschärfen. Dies ist insbesondere beim Verbrauch von Wasser 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 der Elektronikindustrie – und damit im unmittelbaren Einflussbereich der Unternehmen dieser Branche – sind Länder bzw. Regionen mit hohem Wasserverbrauch bei gleichzeitig hohen Knappheitsrisiken zu finden wie beispielsweise in Teilen Chinas, der USA oder der Türkei. 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 der Elektronikindustrie – 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 43 % des Gesamtabfallaufkommens aus, die Abfälle bei der Gewinnung von mineralischen Rohstoffen etwa ein Drittel. 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 hervor.

Neben der Analyse einzelner Umweltthemen enthält die Studie auch eine vertiefte Betrachtung des Fokusthemas Halbleiterchips, 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 MRIO-Analyse geschlossen werden, insbesondere im Hinblick auf die Umweltauswirkungen im Rohstoffabbau.

Für die folgende Elektronik-Komponente werden die Risiken von negativen Umweltauswirkungen entlang vorgelagerter Wertschöpfungsstufen erfasst und illustriert:

Halbleiterchips

- ▶ Rohstoffabbau, -aufbereitung und -verarbeitung
 - Rohstoff Kupfer
 - Rohstoff Gold
 - Rohstoff Zinn
- ▶ Herstellung von Halbleiterchips

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: Punktuelle 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: Die eigene Lieferkette für das Management (potenzieller) negativer Auswirkungen nachvollziehen

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 Environment Agency (UBA), aims to support companies in the practical implementation of the concept of environmental and human rights due diligence in their supply chains. In a series of sector studies, risks of negative environmental impacts along the supply chains of the German industry are being described and illustrated. The study at hand on the German electronics industry is the third publication in the series of sector studies.² In addition, the studies aim to strengthen an integrative perspective on environmental and human rights issues in supply chains. The research project is being conducted by adelphi in cooperation with Systain.

The present study is dedicated to the German electronics industry. It:

- ▶ provides an overview of which potential and actual negative environmental impacts arise at the individual stages of the upstream international value chain of the German automotive industry as a whole;
- ▶ 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 exemplary 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. The study goes beyond the environmental due diligence requirements of the German Supply Chain Due Diligence Act (Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz – LkSG) and understands the management of actual and potential negative environmental impacts in the value chain as an independent field of action. It aims to contribute to an integrative understanding of environmental and human rights due diligence, as there are multi-layered connections between environmental impacts and human rights (cf. Scherf et al. 2019).

This study looks specifically at the two main sectors "Manufacture of computer, electronic and optical products" (WZ08-26 according to the Classification of Economic Activities) and "Manufacture of electrical equipment" (WZ08-27 according to the Classification of Economic Activities). Methodologically, the study relies on a mix of ecologically extended input-output models (MRIO), relevant studies, online tools and expert interviews. The study makes use of existing data (sources) and does not collect primary data.

The following environmental issues in the value chains of the German electronics industry are analysed:

- ▶ **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. Almost three fourth of total emissions occur at the level of indirect

² The study at hand on the German electronics industry particularly corresponds in chapters 1 and 4 to the publication „Umweltrisiken und -auswirkungen in globalen Lieferketten deutscher Unternehmen der Automobilindustrie“ (Weiss et al. 2022).

suppliers, i.e. intermediate processes at lower stages of the value chain (tier 2-n). In contrast, the direct supplier stage (tier 1) represents about a quarter of total emissions, respectively. Suppliers and upstream suppliers in Germany account for 38 % of the emissions along the value chain. Most greenhouse gas emissions occur in the intermediate input sectors of electricity generation, the extraction of energy sources, and metal production and processing.

- ▶ **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. About 43 % of the SO₂-equivalent emissions are generated at the direct supplier level, the rest at the upper tier-level. The emissions of SO₂-equivalents are primarily attributable to Germany with a share of 44 %, especially at the level of direct suppliers. Emissions are primarily caused by electricity generation from fossil fuels and in metal production and processing. Fine dust can also trigger respiratory diseases. In the electronics sector about 42 % of particulate matter emissions of particle size PM2.5 equivalents occur at the direct supplier stage. More than half of the fine dust emissions (59 %) occur in Germany. Drivers are intermediate inputs from metal production and processing and power generation.
- ▶ **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 electronics sector. Geographically, the highest land use is in China and Germany.
- ▶ **Water:** The usage of large quantities of water from (natural) water reservoirs can exacerbate local water shortages. This is particularly critical in the case of water use 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 of the electronics industry - and thus in the direct sphere of influence of the companies - countries or regions with high water consumption and simultaneously high scarcity risks can be found, for example in parts of China, the United States, and Turkey. 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. In addition to the analysis

by environmental aspects, the study includes an in-depth analysis of the focus topic semiconductor chips, which aims to further support users in the implementation of environmental and human rights due diligence. The in-depth analysis is also used to close possible information gaps in the MRIO analysis, especially with regard to the ecological impacts in raw material extraction phase.

- ▶ **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 the electronics sector - 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 43 % of total waste volume, waste from the extraction of mineral raw materials for one third. 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.

For the following electronic component, the risks for negative environmental impacts along upstream stages of the value chain are identified and illustrated:

Semiconductor chips

- ▶ Raw material mining, processing and refining
 - Raw material Copper
 - Raw material Gold
 - Raw material Tin
- ▶ Manufacturing of semiconductor chips

Based on the analytical results, selected courses of action and measures that companies can use to eliminate, avoid or mitigate negative environmental impacts in the supply chain and can be part of a coherent due diligence process are suggested in ten fact sheets:

1. Management: Establishing sustainable supply chain management in the company
2. Management: Definition of clear targets in the supply chain
3. Communication: Set-up of internal know-how and know-how exchange regarding environmental issues and measures in the supply chain
4. Communication: Know-how transfer regarding environmental issues and measures to suppliers
5. Dialogue: Exchange with (potentially) affected stakeholders as input to risk analysis and effective solution finding
6. Pilot projects: Selective implementation of changes in the supply chain and subsequent scaling up
7. Sourcing 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: tracking of the 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 for this study.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

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 von negativen Umweltauswirkungen entlang der Lieferketten von Branchen der deutschen Wirtschaft beschrieben und illustriert werden. Bei der Risikobeschreibung soll zudem eine integrative Perspektive auf Umwelt- und Menschenrechtsrisiken in Lieferketten gestärkt werden. In der hier vorliegenden Studie werden die beiden Hauptsektoren „Herstellung von DV-Geräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen“ (WZ08-26) und „Herstellung von elektrischen Ausrüstungen“ (WZ08-27) gemeinsam betrachtet (siehe Kapitel 2).

1.2 Ziele 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 von negative Umweltauswirkungen auf den einzelnen Stufen der vorgelagerten internationalen Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie und beschreibt tatsächliche negative Auswirkungen;
- ▶ analysiert im Detail die mit ausgewählten Rohstoffen, Prozessen und Wertschöpfungsstufen verbundenen Risiken von negativen 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.

Konkrete umwelt- oder menschenrechtsbezogene Herausforderungen und Auswirkungen in Wertschöpfungsketten von Unternehmen der Elektronikindustrie 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 seit Anfang 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 aus drei internationalen Übereinkommen (§ 2 (3) 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 (Persistent Organic Pollutants, POPs) und das Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung vom 22. März 1989.³

Diese 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 von negativen 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).

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 Leitfadens der Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln (OECD 2018) ein, wie in Abbildung 1 dargestellt. Sie soll Unternehmen der Elektronikindustrie 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 Inhalte dieser Studie bieten einen ersten Anhaltspunkt für Umweltauswirkungen auf Branchenebene, können eine auf Unternehmensebene durchzuführende Risikoanalyse der eigenen spezifischen Zulieferkette jedoch nicht ersetzen.

³ Die Studie befasst sich nicht explizit mit den Anforderungen der drei genannten Umweltabkommen.

Abbildung 1: Due-Diligence-Prozesse und Maßnahmen



Quelle: Eigene Darstellung, adelphi. 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 sechs **Umwelthemen**:

- ▶ Treibhausgase
- ▶ Wasser
- ▶ Fläche
- ▶ Luftschadstoffe
- ▶ Wassergefährdende Stoffe
- ▶ Abfälle

Für die sechs Umwelthemen werden auf den verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie die Umweltauswirkungen ermittelt (Kapitel 3). Für ausgewählte Rohstoffe und Prozesse 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 (International Organization for Standardization) 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 4 zu ausgewählten Rohstoffen und Prozessen auch nachgelagerte Abschnitte der Wertschöpfungskette mit betrachtet.

Erläuterungen zum Risiko-Begriff

In Anlehnung an den OECD-Leitfaden für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln und die Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte der Vereinten Nationen (UN-Leitprinzipien) 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 vorausblickenden Analyse.

Herausforderungen für die Ermittlung der Risiken von negativen 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 tatsächliche und potenzielle Umweltauswirkungen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie (Kapitel 2) und eine grobe Risikobewertung für typische negative Umweltauswirkungen in den Wertschöpfungsstufen ausgewählter Rohstoffe und Prozesse (Kapitel 4).

1.4.2 Kriterien zur Bewertung von negativen 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 UN-Leitprinzipien (Deutsches Global Compact Netzwerk (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.

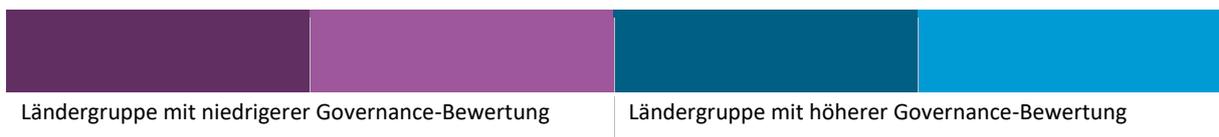
Worldwide Governance Indicators (WGI)

- ▶ 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 angegeben⁴.
- ▶ Von den in dieser Studie betrachteten Staaten liegt Finnland mit einem berechneten Durchschnittswert von 1,80 auf Platz 1 der besten Regierungsführung. Somalia erhält mit -2,06 den schlechtesten Wert aller hier betrachteten Länder. Deutschland erhält die Wertung 1,43.

Die Indice-Werte werden in den jeweiligen Analysen des Kapitels 4 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 1: Farbliche Unterlegung der Umwelt-Governance-Indices



Quelle: Eigene Darstellung, adelphi.

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

⁴ 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>

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

	LEITFRAGEN	QUELLEN(-TYPEN)
Schwere	Ausmaß: Wie gravierend ist die negative Umweltauswirkung?	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure (ENCORE)-Datenbank: „Materiality-Rating“
	Umfang: In welchem Umfang kommt es zu Schädigungen der Umwelt? Wie ist die lokale, regionale oder globale Umwelt betroffen?	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Qualitative Auswertung bestehender Daten- und Literaturquellen, insb. Datenbanken, wissenschaftliche Forschungsarbeiten und Studien o. Ä. von zivilgesellschaftlichen Akteuren, Verbänden oder anderen Institutionen
	Irreversibilität: Inwieweit besteht die Möglichkeit, die Umwelt wieder in einen Zustand zu versetzen, der mindestens dem Zustand vor der negativen Auswirkung entspricht?	
Eintrittswahrscheinlichkeit	Wie wahrscheinlich ist es, dass die negative Umweltauswirkung eintritt?	(Umwelt-)Governance-Indikatoren zu zentralen Abbau-/Produktionsländern: <ul style="list-style-type: none"> ▶ Environmental Performance Index (EPI) ▶ World Governance Indicators (WGI) (<i>Mittelwert der sechs Indices</i>) ▶ ENCORE-Datenbank: „Materiality-Rating“⁵

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

1.4.3 Methodisches Vorgehen

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

Mithilfe der MRIO-Analyse liefert die Studie einen Überblick darüber, welche Umweltauswirkungen in der vorgelagerten globalen Wertschöpfungskette der Unternehmen der deutschen Elektronikindustrie auftreten bzw. auftreten können. Bei der MRIO-Analyse werden

⁵ 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>

zunächst Verflechtungen von vorgelagerten Wertschöpfungsketten auf Grundlage volkswirtschaftlicher Daten modelliert. Somit wird aufgezeigt, in welchem Umfang die deutsche Elektronikindustrie Vorleistungen aus welchen Ländern und von welchen Vorleistungssektoren bezieht. Die Modellierung erfolgt weiter für die tieferen Lieferkettenstufen bis hin zur Gewinnung von Rohstoffen, Energieträgern und land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen. Auf diese Weise wird die Struktur der globalen vorgelagerten Wertschöpfungsketten offengelegt. 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 Elektronikindustrie 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 des Rohstoffabbaus im Vergleich zu industriellen Prozessen weniger detailliert abgebildet sind.

Die Angaben der MRIO-Analyse bilden die Verteilung für die deutsche Elektronikindustrie 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 der deutschen Elektronikindustrie Komponenten eines anderen Werkes innerhalb Deutschlands, z. B. Platinen, ist dies im MRIO-Modell als Vorleistung – mit den damit verbundenen negativen Umweltauswirkungen wie Treibhausgasemissionen – ausgewiesen.

Die Analysen auf Basis der MRIO-Analysen werden qualitativ ergänzt durch eine Auswertung der Tools ENCORE zur Bewertung der ökologischen Relevanz von Sektoren („Materiality-Rating“), des World Wide Fund For Nature (WWF) Water Risk Tools zur Analyse von regionalen Knappheitsrisiken bei Wasser sowie des MVO Nederland Corporate Social Responsibility (CSR) Risk Checks zur Identifizierung von ökologischen Risiken einzelner Sektoren. ENCORE bewertet die ökologische Relevanz („Materiality“) von einzelnen Sektoren und damit verbundenen Prozessen.⁶ 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 Komponenten und Rohstoffe, denen in der Elektronikindustrie eine wichtige Bedeutung zukommt und die mit hohen Risiken von (potenziellen) negativen Umweltauswirkungen einhergehen, werden Risiken von negativen Umweltauswirkungen entlang vorgelagerter Wertschöpfungsstufen basierend auf bestehenden Datenquellen und Studien genauer identifiziert und teils durch Vorfälle illustriert. Dadurch sollen auch mögliche Lücken in der Aussagekraft der MRIO-Analyse geschlossen werden, insbesondere im Hinblick auf die ökologischen Auswirkungen im Rohstoffabbau. Zu den fokussiert betrachteten Rohstoffen und Prozessen gehört die Herstellung elektronischer Bauelemente, im Speziellen von (Halbleiter-)Chips, sowie verschiedene Schritte und Rohstoffe, die für die Produktion notwendig sind. Dazu gehören die metallischen Rohstoffe Kupfer, Gold und Zinn.

⁶ Zur Bewertung der Materialität vgl. hier (ENCORE o. J.): <https://encore.naturalcapital.finance/en/data-and-methodology/materiality>.

1.4.4 Aufbau der Studie

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

In **Kapitel 3** sind die Umweltthemen anhand der Nachbildung der Lieferkettenstrukturen dargelegt: Welche negativen Umweltauswirkungen sind auf welchen vorgelagerten Wertschöpfungsstufen der deutschen Elektronikindustrie 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 von negativen Umweltauswirkungen vorliegen und ob das Unternehmen durch seine Geschäftstätigkeit entsprechende 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 5).

In **Kapitel 4** werden die o. g. Umweltthemen entlang der Wertschöpfungskette für ausgewählte Rohstoffe und Prozesse der Elektronikindustrie (Gewinnung und Verarbeitung der Rohstoffe Kupfer, Gold und Zinn sowie der Herstellungsprozess von (Halbleiter-)Chips) 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 5** werden auf den vorherigen Kapiteln aufbauend geeignete Schritte zur Identifizierung und Bewertung sowie mögliche Handlungsansätze zur Beseitigung, Vermeidung und Minderung von Risiken von negativen 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 Die deutsche Elektronikindustrie im Überblick

Die Studie untersucht die beiden Wirtschaftssektoren (nach Klassifikation der Wirtschaftszweige – NACE) „Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen“ (Sektorcode C26) und „Herstellung von elektrischen Ausrüstungen“ (Sektorcode C27). Beide Hauptsektoren in der Sektorklassifikation bilden die Elektronikindustrie ab und werden im Folgenden zusammenfassend als Sektor „Elektronikindustrie“ bezeichnet. Die Elektronikindustrie erzielte im Jahr 2021 einen Umsatz von etwa 175 Milliarden (Mrd.) Euro (EUR) (DESTATIS 2022). Knapp 647.000 Beschäftigte sind in der Elektronikindustrie tätig. Die folgenden Untersektoren nehmen den größten Anteil der deutschen Elektronikindustrie ein. Sie machen mehr als die Hälfte des Umsatzes der Elektronikindustrie aus:

- ▶ Herstellung von Mess-, Kontroll-, Navigations- und ähnlichen Instrumenten (Umsatz 2021 = 28,7 Mrd. EUR)
- ▶ Herstellung von elektronischen Bauelementen (Umsatz 2021 = 28,1 Mrd. EUR)
- ▶ Herstellung von Elektrizitätsverteilungs- und -schalteneinrichtungen (Umsatz 2021 = 24,7 Mrd. EUR)
- ▶ Herstellung von Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren (Umsatz 2021 = 14,6 Mrd. EUR)

Weitere wichtige Bereiche der deutschen Elektronikindustrie sind die Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, Telekommunikationstechnik, Unterhaltungselektronik, optischen Geräten, Batterien und Akkumulatoren, Installationsmaterial, Lampen sowie Haushaltsgeräten.

Für die weitere Betrachtung der vorgelagerten, globalen Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie dient die MRIO-Modellierung der beiden o. g. Hauptsektoren. Hierbei werden statistische Mittelwerte der Produktionsstätten – inklusive ihrer vorgelagerten Lieferketten – des Sektors herangezogen. Im Modell werden vorgelagerte Produktionsstandorte als Vorleistung angesehen. Das bedeutet, bei vertikal integrierten Unternehmen, die an unterschiedlichen Standorten sowohl Schaltelemente als auch Elektronikgeräte herstellen, in denen die Schaltelemente verbaut sind, zählt die Herstellung der Schaltelemente als Vorleistung bzw. Lieferant. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Modellierung anhand statistischer Daten nur für Produktionsstandorte der Elektronikindustrie hierzulande und dazugehörige Vorketten erfolgen kann. Eigene Produktionsstandorte von deutschen Unternehmen der Elektronikindustrie im Ausland bildet die Modellierung nicht ab, da diese in die Statistiken des betreffenden Landes einfließen. Das heißt, die folgenden Daten gelten nur für Produktionsstandorte innerhalb Deutschlands, nicht für Produktionsstandorte deutscher Unternehmen im Ausland mit dortigen lokalen Wertschöpfungs- und Lieferketten.

Verteilung der Wertschöpfungsanteile nach Lieferkettenstufen

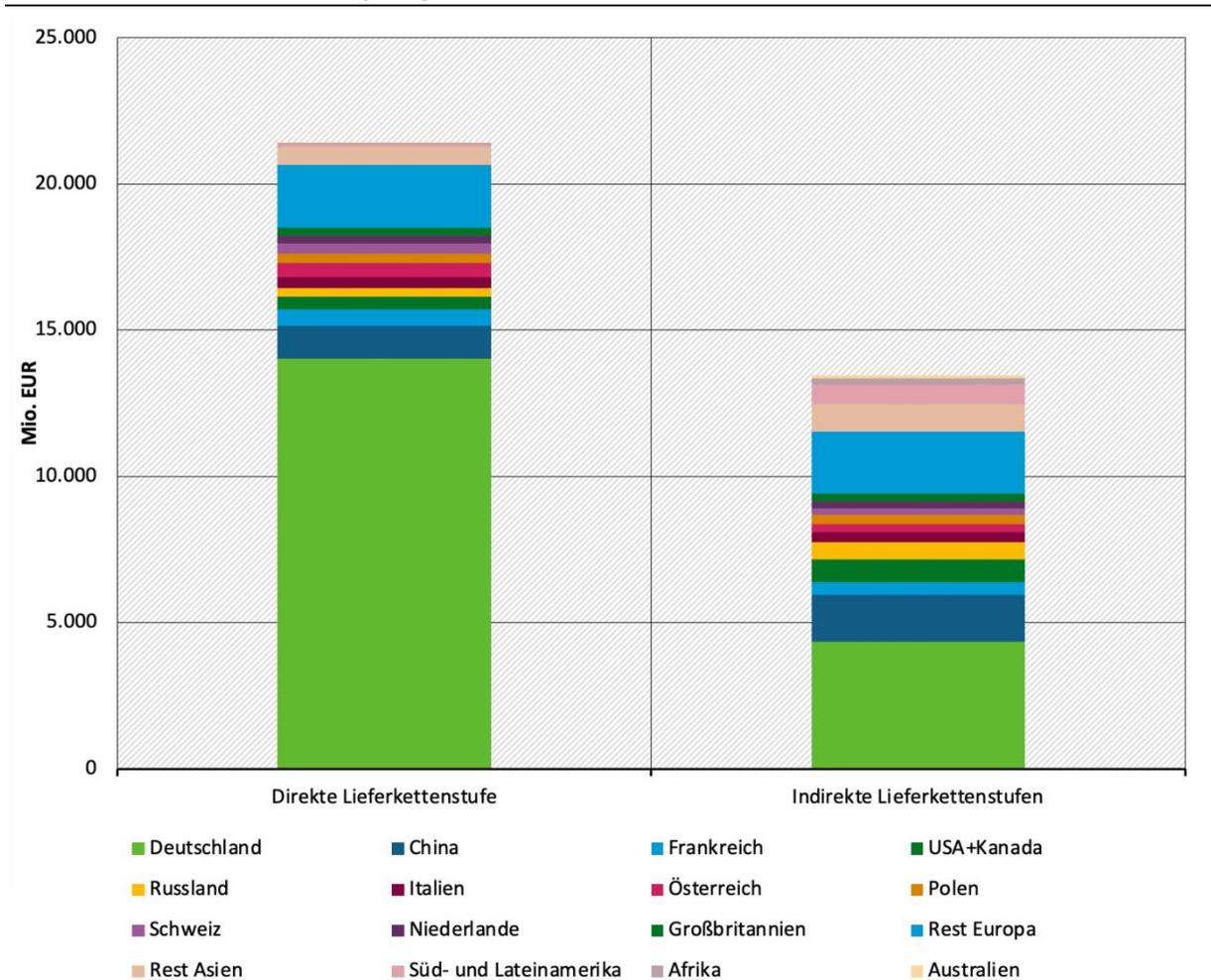
Die Wertschöpfungskette wurde aufgrund des Datenstandes der Modelle der erweiterten Input-Output-Analyse für das Jahr 2019 analysiert. Die Wertschöpfung auf den vorgelagerten Lieferkettenstufen bzw. der Vorleistungen der Elektronikindustrie betrug in jenem Jahr etwa knapp 35 Mrd. EUR. Der höchste Anteil der Wertschöpfung wurde auf der Stufe der direkten Lieferanten erzielt, wie die Modellierung zeigt (61 % der Wertschöpfung; siehe Abbildung 2). Die Wertschöpfung auf den tieferen Stufen bis hin zur Rohstoffgewinnung betrug 39 %.

Mit steigender Lieferkettenstufe (tier) 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 ist bei den meisten Umweltthemen 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).

Geografische Verteilung

Wie Abbildung 2 zeigt, wurde der Großteil der Wertschöpfung entlang der Lieferkette im Jahr 2019 in Deutschland erbracht. Dies erstreckt sich sowohl über die direkte Lieferkettenstufe als auch die indirekten bzw. tieferen Lieferkettenstufen und macht insgesamt 53 % der Wertschöpfung in der Lieferkette aus. In Europa wurden im Jahr 2019 28 % der Wertschöpfung der gesamten Lieferkette erbracht, insbesondere in Frankreich (3 %), Russland, Italien, Österreich, Polen und Schweiz mit je rund 2 %. China machte 8 % der Wertschöpfung aus, USA und Kanada 3 % – sowohl auf der Stufe der direkten Lieferanten als auch auf der Stufe der Vorlieferanten.

Abbildung 2: Wertschöpfungsanteile direkter Lieferanten und tieferer Lieferkettenstufen entlang der Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie (in Mio. EUR)

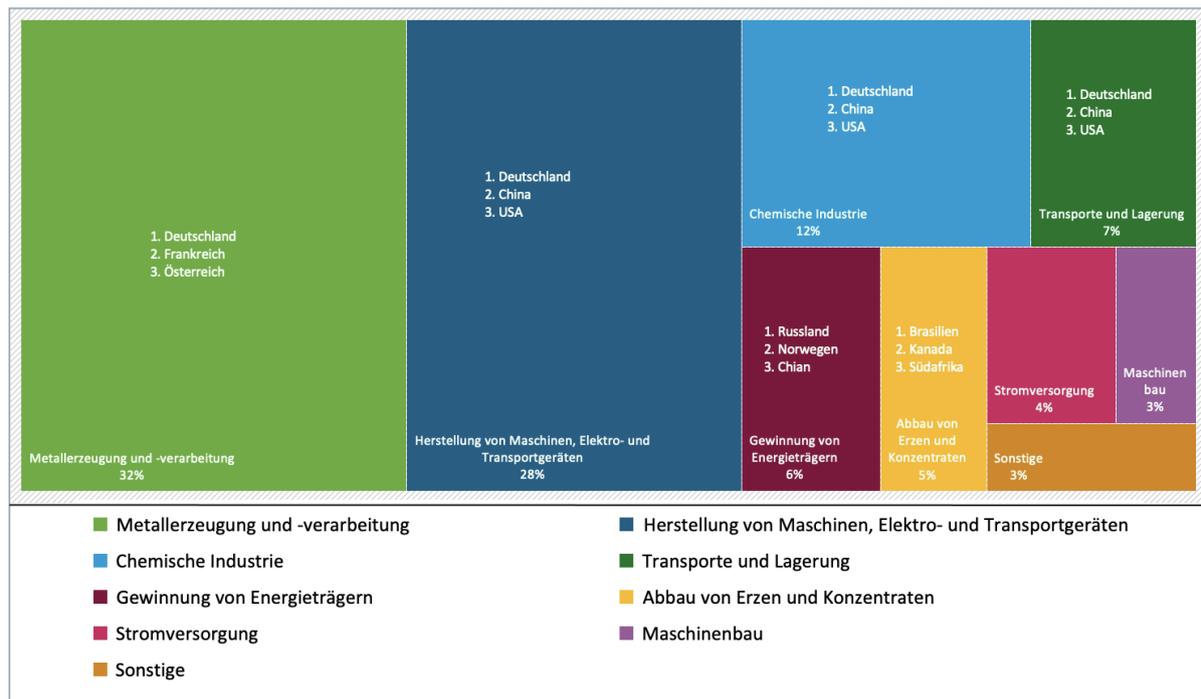


Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung

Ein Drittel der Wertschöpfung wird in der metallherzeugenden und -verarbeitenden Industrie erbracht (Abbildung 3), hierbei insbesondere in Deutschland. Der Wertschöpfungsanteil ist insbesondere auf die hohe Nutzung von hochwertigen Metallen und Edelmetallen zurückzuführen. Etwa 28 % der Vorleistungen werden wertmäßig innerhalb des Elektronikindustriesektors erbracht, dabei vorrangig ebenfalls innerhalb Deutschlands. Weitere relevante Vorleistungssektoren bezogen auf die Wertschöpfung sind die chemische Industrie sowie Transporte.

Abbildung 3: Sektorale Verteilung der Wertschöpfung entlang der Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

3 Umweltthemen entlang der Lieferkette

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, Luftschadstoffe, wassergefährdende Stoffe und Abfall betrachtet. Ausgangspunkte bilden Modellierungen der Lieferkette der Elektronikindustrie. 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 5). Vorleistungssektoren oder Länder in der eigenen Wertschöpfungskette, die hohe Auswirkungen auf ein bestimmtes Umweltthema besitzen, 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 Quellen auch direkt 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	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente (CO ₂ -eq)	MRIO, ENCORE, CSR Risk Check
Luftschadstoffe	Versauerungspotenzial mit der Angabe in Schwefeldioxid (SO ₂)-Äquivalenten sowie die Angabe von gesundheitsschädlichen Feinstaubemissionen durch den Indikator der PM _{2,5} -Äquivalente	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, ÖkoRess II
Wassergefährdende Stoffe	Einträge von sechs ausgewählten Schwermetallen, Analyse der regionalisierten Gewässerbelastung auf Basis des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BOD)	MRIO, ENCORE, CSR Risk Check

Umweltthema	Messgröße/Definition	Quellen
Abfall	Aufkommen an gefährlichen und ungefährlichen Abfällen sowie Entsorgung und Recycling von Abfällen	MRIO, ENCORE, CSR Risk Check

Quelle: Eigene Darstellung, adelphi.

Tabelle 4 zeigt überblicksartig die umweltrelevanten Sektoren in der Lieferkette der Elektronikindustrie und die entsprechenden Umweltthemen. Der Vorleistungssektor der Metallerzeugung und -verarbeitung ist hierbei besonders bedeutsam wegen seiner negativen Auswirkungen in Bezug auf Treibhausgase, Luftschadstoffe, Wasser, wassergefährdende Stoffe sowie Abfälle. Des Weiteren ist der Stromverbrauch entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette ein entscheidender Faktor bei mehreren Umweltthemen, v. a. bei Treibhausgasemissionen, den Emissionen von Luftschadstoffen und dem Wasserverbrauch. Die Gewinnung von Energieträgern hat negative Auswirkungen auf die Umwelt insbesondere beim Abfallaufkommen, bei den Treibhausgasemissionen und beim Ausstoß von Luftschadstoffen.

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, Abfall	Hoher Energiebedarf sowie direkte Emissionen; negative Umweltauswirkungen insbesondere bei Nutzung fossiler Energieträger; besondere Relevanz in Ländern wie China, welche einen hohen Kohlestromanteil wie auch 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 wie auch regionale Wasserknappheiten aufweisen
Gewinnung von Energieträgern	Vorlieferanten	Treibhausgase, Luftschadstoffe, Abfälle	Mit der Reduktion der Nutzung von fossilen Energieträgern entlang der Wertschöpfungskette sinken auch die Emissionen durch die Gewinnung von Energieträgern
Chemische Industrie	Direkte Lieferanten und Vorlieferanten	Treibhausgase, Luftschadstoffe, Wasser, wassergefährdende Stoffe, Abfall	-/-
Elektronikindustrie	Direkte Lieferanten	Treibhausgase, Wasser, wassergefährdende Stoffe	-/-

Vorleistungssektor	Relevanz Lieferkettenstufen	Umweltthemen	Anmerkungen
Transporte	Direkte Lieferanten und Vorlieferanten	Treibhausgase, Luftschadstoffe	-/-

Quelle: Eigene Darstellung, adelphi.

3.2 Zusammenhänge zwischen Risiken von negativen Auswirkungen auf die Umwelt und Menschenrechte

Die Umweltauswirkungen in den Lieferketten der Elektronikindustrie können auch mit menschenrechtlichen Risiken in Verbindung stehen. Die möglichen Zusammenhänge sind vielschichtig und oftmals wechselseitig. In vielen Fällen ist der Umweltzustand ausschlaggebend dafür, Menschenrechte wie das Recht auf Zugang zu sauberem Trinkwasser oder auf Gesundheit ausüben zu 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.⁷ 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. 2019, 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)⁸
- ▶ Recht auf einen angemessenen Lebensstandard (Art. 25 AEMR; Art. 11 UNO-Pakt I)

⁷ 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).

⁸ 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.

- ▶ Recht auf Wohnung und Schutz vor Vertreibung (Art. 25 AEMR; Art. 11 UNO-Pakt I)
- ▶ Gesundheit und Sicherheit der Arbeiterinnen und Arbeiter (ILO-Konvention Nr. 155 sowie 187⁹⁾)
- ▶ Rechte indigener Völker (UN-Deklaration zu den Rechten indigener Völker, UNDRIP¹⁰⁾)

⁹ 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.

¹⁰ 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, adelphi.

3.2.1 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 durch das Erreichen von sogenannten Kipp-Punkten künftige Folgen 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.

Verteilung von Treibhausgasemissionen nach Lieferkettenstufen

Die Treibhausgasemissionen in der globalen vorgelagerten Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie summierten sich im Jahr 2019 auf 33,6 Megatonnen (Mt) CO₂-eq. Die meisten Emissionen entstanden auf der Ebene der indirekten Lieferanten auf den tieferen Stufen des Sektors (tier 2-n): Knapp drei Viertel der Emissionen wurden dort verursacht. Dagegen machten Emissionen auf der Stufe der direkten Lieferanten (tier 1) etwa ein Viertel der Gesamtemissionen aus (Abbildung 4)

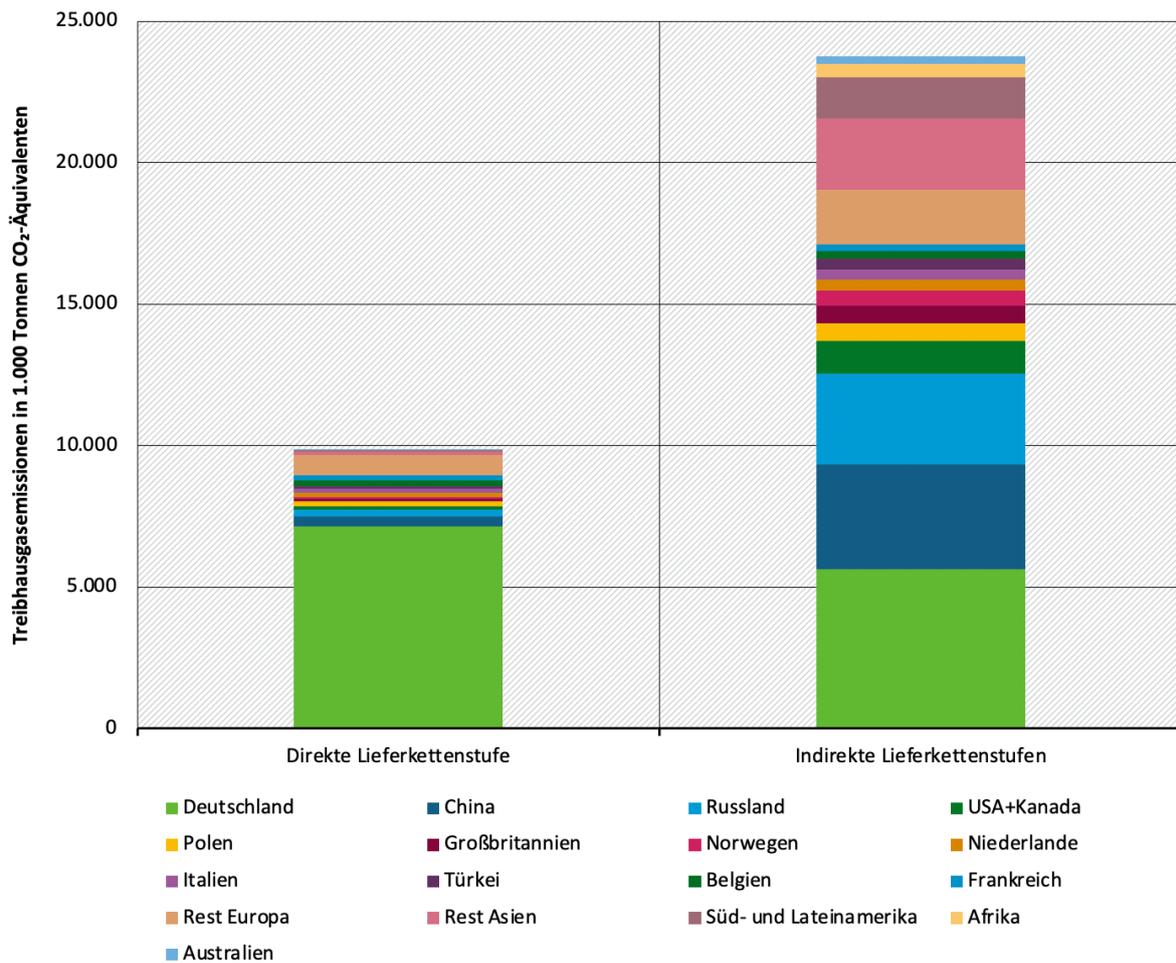
Geografische Verteilung der Treibhausgasemissionen

Der Großteil der Treibhausgasemissionen im Jahr 2019 entstand in Deutschland mit einem Anteil von 38 % bzw. knapp 12,8 Mt CO₂-eq. Auf der direkten Lieferkettenstufe betrug der inländische Anteil an den Emissionen etwa 56 % und auf den tieferen Wertschöpfungsstufen 44 % (im Folgenden Abbildung 4).

Das restliche Europa – inkl. Russland und Türkei – stellte 35 % der Gesamtemissionen in der Wertschöpfungskette des Sektors dar – vorrangig auf den tieferen Wertschöpfungsstufen. Die Hauptemittenten waren im Jahr 2019 Russland mit 10 % der gesamten Treibhausgasemissionen sowie Polen, Großbritannien, Norwegen und Italien mit je 2 % Anteil.

In China entstanden etwa 12 % der Treibhausgasemissionen, insbesondere auf den tieferen Stufen in der Lieferkette. Der Rest Asiens machte etwa 8 % der Gesamtemissionen aus, insbesondere in den Ländern Indien, Japan und Südkorea. Der Anteil Nordamerikas betrug knapp 4 %.

Abbildung 4: Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Verteilung der Treibhausgasemissionen zwischen den Untersektoren der Elektronikindustrie

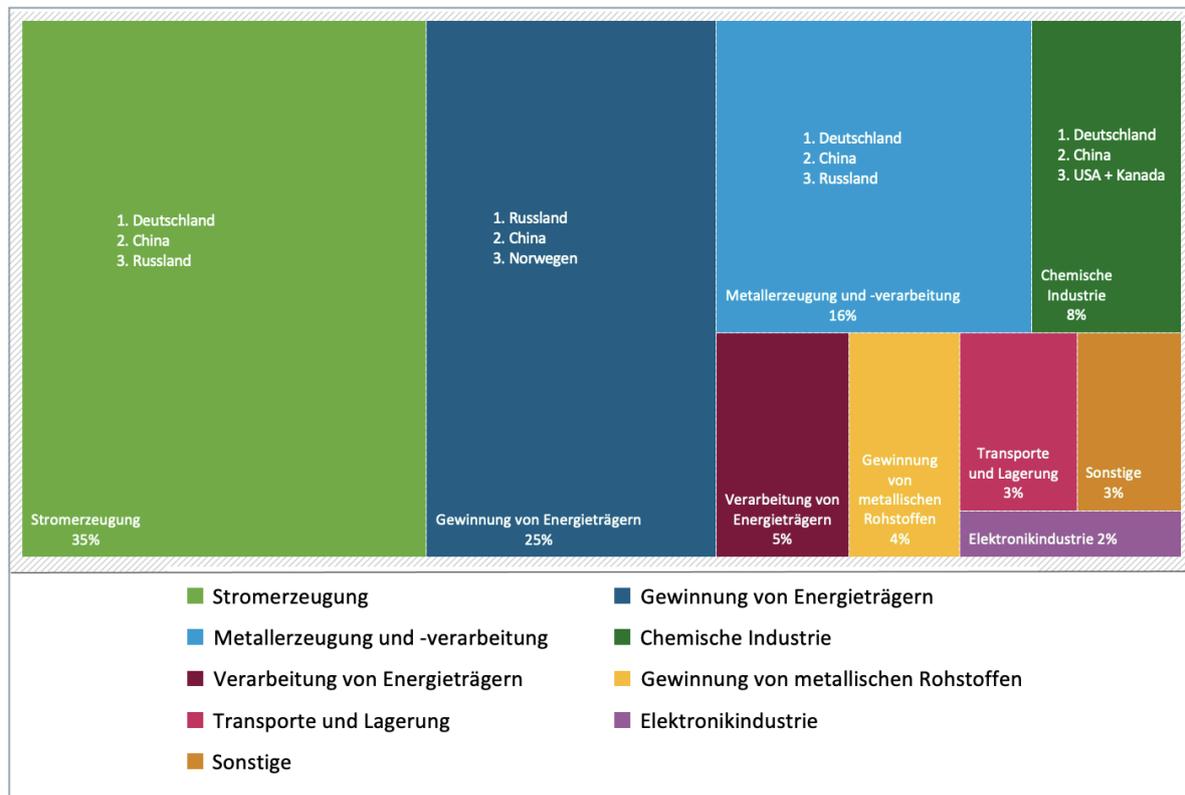
Der Untersektor der Herstellung von Elektrizitätsverteilungs- und -schalteneinrichtungen nahm mit knapp einem Fünftel den höchsten Anteil an den Treibhausgasemissionen entlang der vorgelagerten Lieferkette ein. Jeweils etwa 10 % machten die Untersektoren der Herstellung von Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren sowie die Herstellung von elektronischen Bauelementen aus. Diese Untersektoren gehören zu den umsatzseitig höchsten Bereichen und besitzen gleichzeitig einen hohen Anteil an Vorleistungen.

Verteilung von Treibhausgasemissionen nach sektoralem Aufkommen

Abbildung 5 zeigt, dass die Stromerzeugung für etwa ein Drittel der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette verantwortlich ist. Insgesamt gehen 11,8 Mt CO₂-eq auf die Stromerzeugung zurück. Insbesondere in Ländern mit einem hohen Kohlestromanteil – wie vor allem China, Polen und Russland (neben Deutschland) – zeigen sich hohe Emissionen des Stromsektors. Die Gewinnung von Energieträgern entlang der Wertschöpfungskette machte ein Viertel aus. Dies umfasst die Emissionen für Energieträger, die Lieferanten und Vorlieferanten selbst einsetzen, für Energieträger für die Stromerzeugung sowie die Emissionen zur Herstellung fossil basierender Rohstoffe wie Erdöl für Kunststoffe. Schwerpunktländer sind hierbei Russland und China. Die Metallerzeugung und -verarbeitung machte 16 % aus, insbesondere in

Deutschland, China und Russland. Die chemische Industrie besitzt einen Anteil von 8 % und verteilt sich vor allem auf Deutschland und China.

Abbildung 5: Verteilung der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie nach sektoralem Aufkommen



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Ergänzungen

Die ergänzende sektorale Analyse der negativen ökologischen Auswirkungen anhand des ENCORE-Tools zeigt lediglich die Bedeutung der klimarelevanten Fluorierten Treibhausgase (F-Gase) für die Halbleiterherstellung an. Diese direkten Emissionen entstehen dann, wenn Halbleiterkomponenten als Vorprodukt von der deutschen Elektronikindustrie bezogen werden. Für die Stromerzeugung insgesamt sowie die Gewinnung von Energieträgern ergibt sich bei ENCORE eine hohe Bewertung bei Treibhausgasen. Dies ist hauptsächlich auf die Nutzung von fossilen Energieträgern zurückzuführen. Der MVO Nederland CSR Risk Check trifft keine Aussagen zu den Treibhausgasemissionen bei der Herstellung von Elektronikprodukten und -komponenten und verweist vielmehr auf die Emissionen in der Nutzungsphase durch den Stromverbrauch (MVO Nederland 2023).

3.2.2 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 (SO₂) und Stickoxide (NO_x). Die Versauerung von Böden und Gewässern kann Pflanzen schädigen. Hohe lokale Konzentrationen

von SO₂ und NO_x können zudem zu Atemwegserkrankungen führen und die menschliche Gesundheit gefährden (UBA 2021a). Feinstaubemissionen entstehen primär ebenfalls bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Feinstaub kann zudem Atemwegserkrankungen auslösen und das Krebsrisiko erhöhen, je nach Eindringungstiefe und Partikelgröße (UBA 2021). Die Emission von Luftschadstoffen kann die Gesundheit von Menschen und somit das Menschenrecht auf den Schutz der Gesundheit beeinträchtigen.

Verteilung von Schwefeldioxidäquivalenten nach Lieferkettenstufen

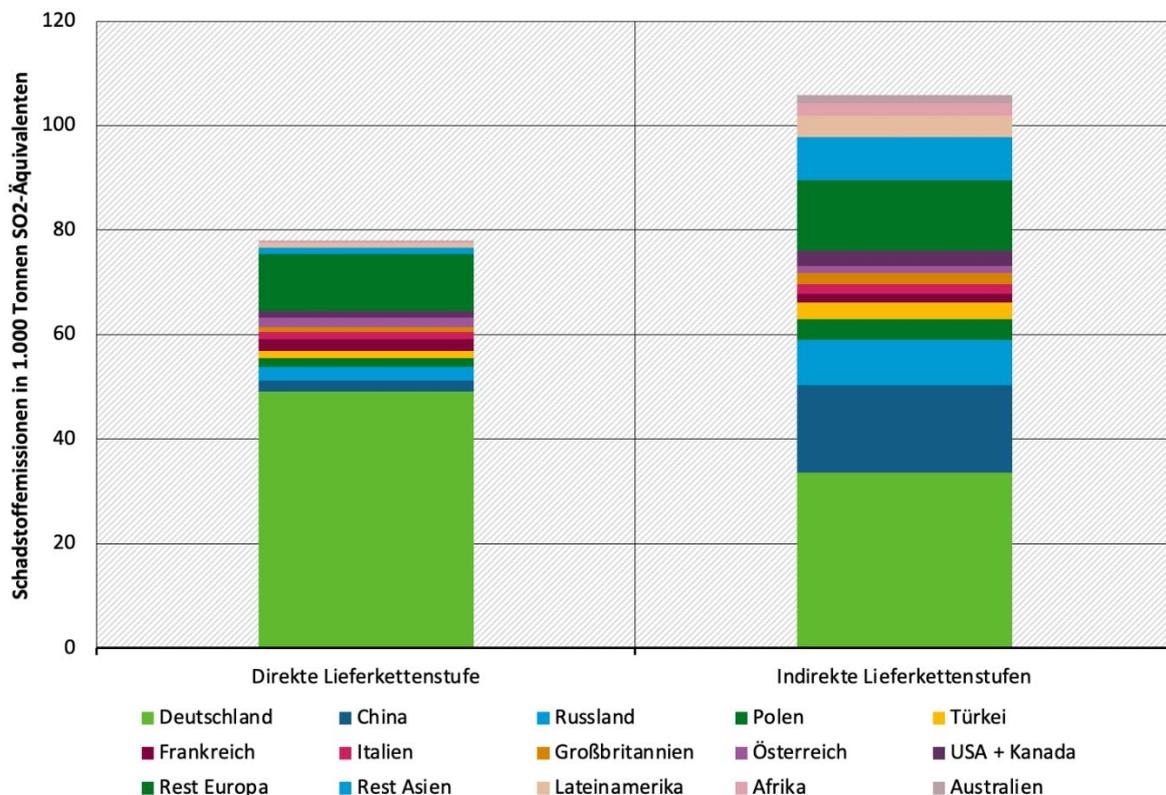
Im Jahr 2019 verursachte die deutsche Elektronikindustrie in der vorgelagerten Wertschöpfungskette ca. 183.800 t an SO₂-Äquivalenten. Etwa 43 % werden auf der Stufe der direkten Lieferanten emittiert (tier 1; Abbildung 6).

Geografische Verteilung von Schwefeldioxidäquivalenten

Der Großteil der Emissionen an SO₂-Äquivalenten entstand in Deutschland mit einem Anteil von 44 % (Abbildung 6). Die Emissionen traten vor allem auf der Stufe der direkten Lieferanten auf, wozu auch die Stromversorgung zählt. Auf China entfielen 10 % der Emissionen von SO₂-Äquivalenten. Die Emissionen entstanden vorrangig auf den tieferen Lieferkettenstufen und gingen vor allem auf die Stromerzeugung und die Metallerzeugung und -verarbeitung zurück.

Des Weiteren waren Russland (6 %) und Polen (3 %) relevant. Die beiden Länder wiesen einen Anteil von 5 % bzw. 3 % an den SO₂-Äquivalenten entlang der Lieferkette auf. Treiber war in beiden Ländern die Stromerzeugung mit einem hohen Anteil an fossilen Energieträgern. In Europa (außer Deutschland) entstanden ein Drittel der Emissionen.

Abbildung 6: SO₂-Emissionen entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie (in 1.000 t SO₂-Äquivalenten)



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

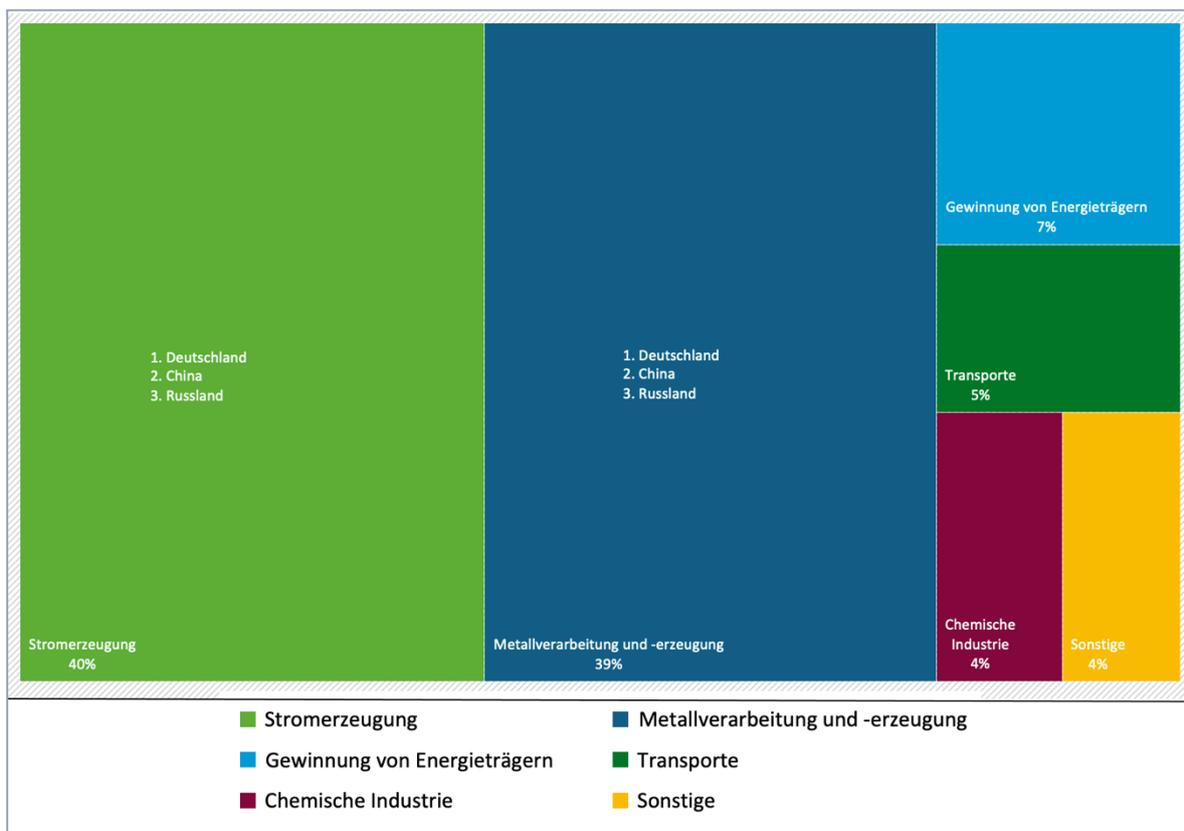
Verteilung von Schwefeldioxidäquivalenten zwischen den Untersektoren der Elektronikindustrie

Wie auch bei den Treibhausgasemissionen besaß der Untersektor der Herstellung von Elektrizitätsverteilungs- und -schalteneinrichtungen den höchsten Anteil an den Emissionen von SO₂-Äquivalenten (22 %). Der Sektor der Herstellung von Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren machte etwa 11 % aus, der Untersektor der Herstellung von elektronischen Bauelementen knapp 10 %. Die beiden Untersektoren der Herstellung von Drähten und Kabeln sowie der Herstellung von Haushaltsgeräten machten jeweils 9 % aus.

Sektorale Verteilung von Schwefeldioxidäquivalenten nach sektoralem Aufkommen

Sektoral ist der größte Teil der Emissionen an SO₂-Äquivalenten auf die Stromerzeugung durch fossile Energieträger entlang der gesamten Wertschöpfungskette zurückzuführen. Dies machte 40 % der Emissionen aus, wie Abbildung 7 zeigt. Fast die Hälfte dieser Emissionen entstanden in Deutschland. Im Ausland handelte es sich vor allem um die Stromproduktion in China, Russland und Polen. Ein Drittel der Emissionen an SO₂-Äquivalenten ging auf die Prozesse an den Standorten der metallverarbeitenden und -erzeugenden Industrie zurück, insbesondere in Deutschland, China, Russland und Frankreich. Die Gewinnung von Energieträgern für die energetische und die stoffliche Verwertung nahm einen Anteil von 7 % ein, Transporte machten 5 % der Emissionen aus.

Abbildung 7: Sektorale Verteilung der Emissionen an SO₂-Äquivalenten in der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

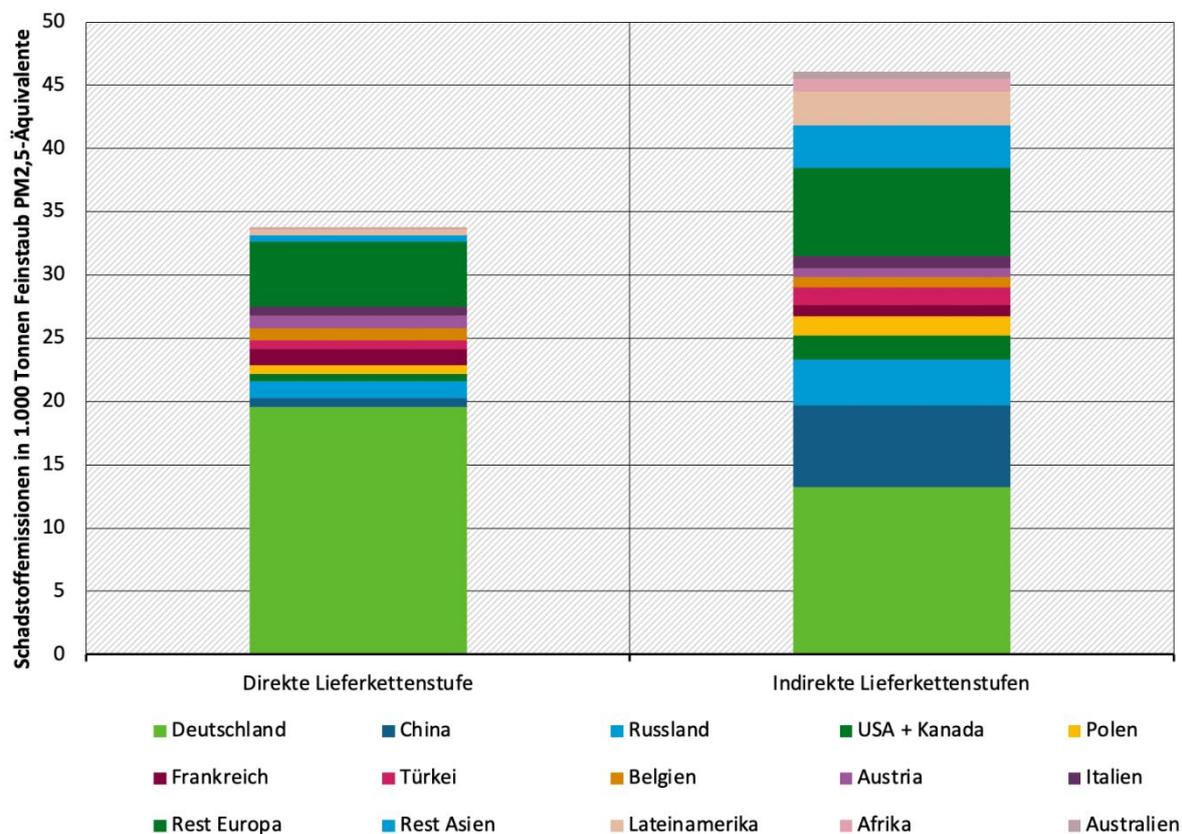
Verteilung der Emission von Feinstaub (PM_{2,5}-Äquivalente) nach Lieferkettenstufen

Entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie entstanden im Jahr 2019 etwa 79.800 t an Feinstaubäquivalenten der Partikelgröße 2,5 µm und kleiner (PM_{2,5}-Äquivalente). Auf die Stufe der direkten Lieferanten (tier 1) gingen 42 % der Feinstaubemissionen zurück (Abbildung 8).

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

Etwa 41 % der Emissionen an PM_{2,5}-Äquivalenten entstanden innerhalb Deutschlands, wie Abbildung 8 illustriert. Etwa 9 % des Emissionsaufkommens an PM_{2,5}-Äquivalenten traten in China auf, wobei dies auf den tieferen Lieferkettenstufen zu verorten ist. In Europa (außer Deutschland) waren es insgesamt 36 % der Emissionen, insbesondere in Russland (6 %), Polen, Frankreich und der Türkei mit jeweils 3 %,

Abbildung 8: Emissionen von Feinstaub entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie (in 1.000 t Feinstaub PM_{2,5}-Äquivalenten)



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

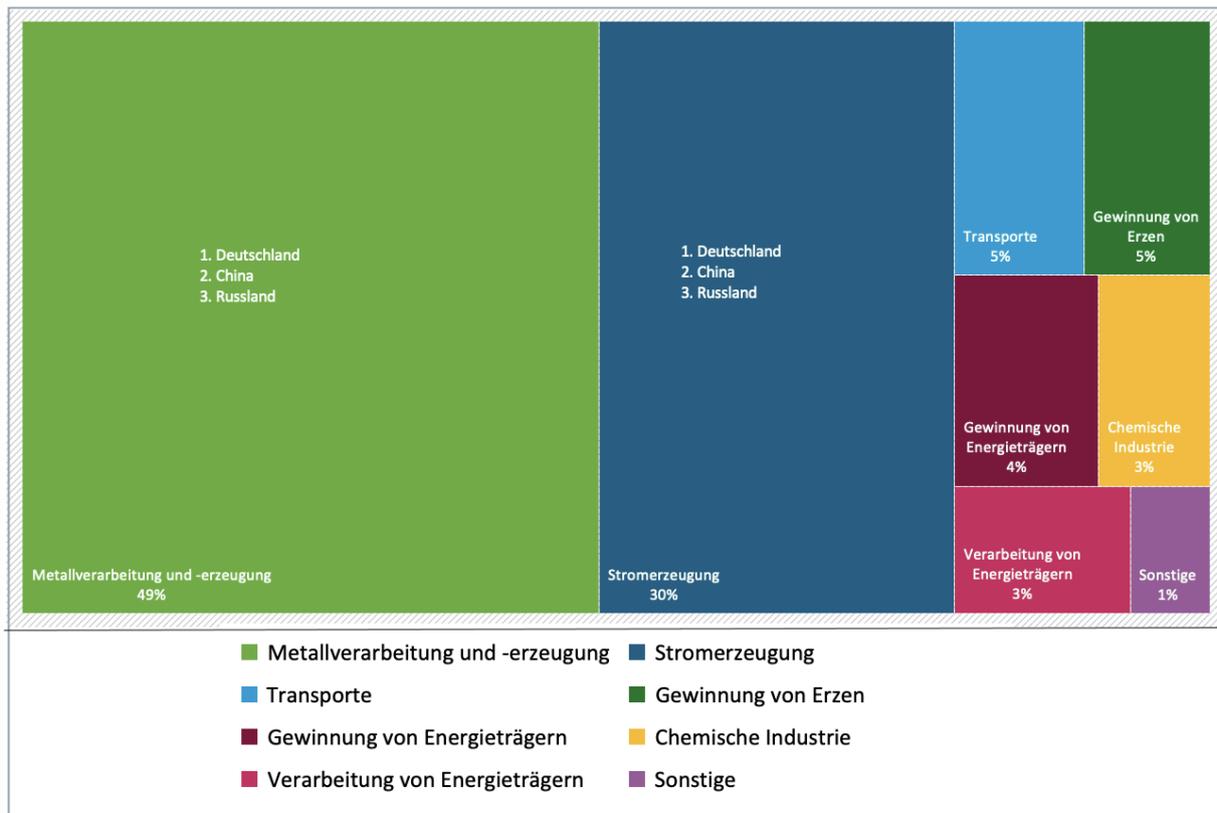
Verteilung von Feinstaub (PM_{2,5}-Äquivalente) zwischen den Untersektoren der Elektronikindustrie

Der Untersektor der Herstellung von Elektrizitätsverteilungs- und -schalteneinrichtungen hatte mit etwa einem Viertel den höchsten Anteil an den Feinstaubemissionen. Die Untersektoren der Herstellung von Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren sowie der Herstellung von Haushaltsgeräten machten etwa 15 % aus.

Verteilung von Feinstaub (PM_{2,5}-Äquivalente) nach sektoralem Aufkommen

Die Feinstaubemissionen gingen zu 49 % auf die Produktionsstandorte der metallverarbeitenden und -erzeugenden Industrie zurück (siehe Abbildung 9). Auch hier lag der Großteil der Emissionen innerhalb Deutschlands. Bei der Metallverarbeitung und -erzeugung im Ausland entstanden die Feinstaubemissionen vor allem in China, Russland und Frankreich. Etwa 30 % der Emissionen an Feinstaubäquivalenten PM_{2,5} waren auf die Stromerzeugung zurückzuführen, insbesondere in Deutschland, China, Russland und Polen. Weitere Feinstaubemissionen entstanden im Transportsektor, bei der Gewinnung von Erzen (jeweils 5 %) sowie bei der Gewinnung von Energieträgern (4 %).

Abbildung 9: Sektorale Verteilung der Emissionen von Feinstaub PM_{2,5}-Äquivalenten entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Ergänzungen

Das ENCORE-Tool, welches zur weiteren Analyse herangezogen wurde, weist keine spezifischen Risiken für die Elektronikindustrie in Bezug auf Emission von Luftschadstoffen aus. Bei der Analyse der Vorleistungssektoren der Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern, der Metallverarbeitung und -erzeugung sowie der Gewinnung von Metallen mithilfe von ENCORE ergeben sich Risiken. Dies umfasst insbesondere den Ausstoß von Feinstaub, SO₂ sowie flüchtiger organischer Verbindungen. Bei der Gewinnung von Energieträgern bewertet ENCORE die Freisetzung von Cyaniden als relevant, 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 nennt für die Elektronikindustrie keine Risiken hinsichtlich der Emission von Luftschadstoffen. Bei der Betrachtung der Vorleistungssektoren weist der MVO Nederland CSR Risk Check auf die Freisetzung von Quecksilber, Blei, Arsen und Cadmium bei der Verbrennung von Kohle hin (MVO Nederland 2023). 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 v. a. bei der Metallherzeugung in China und in 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.).

3.2.3 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 2020). 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. der 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 im Folgenden beschreiben 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.

Verteilung der Flächeninanspruchnahme nach Lieferkettenstufen

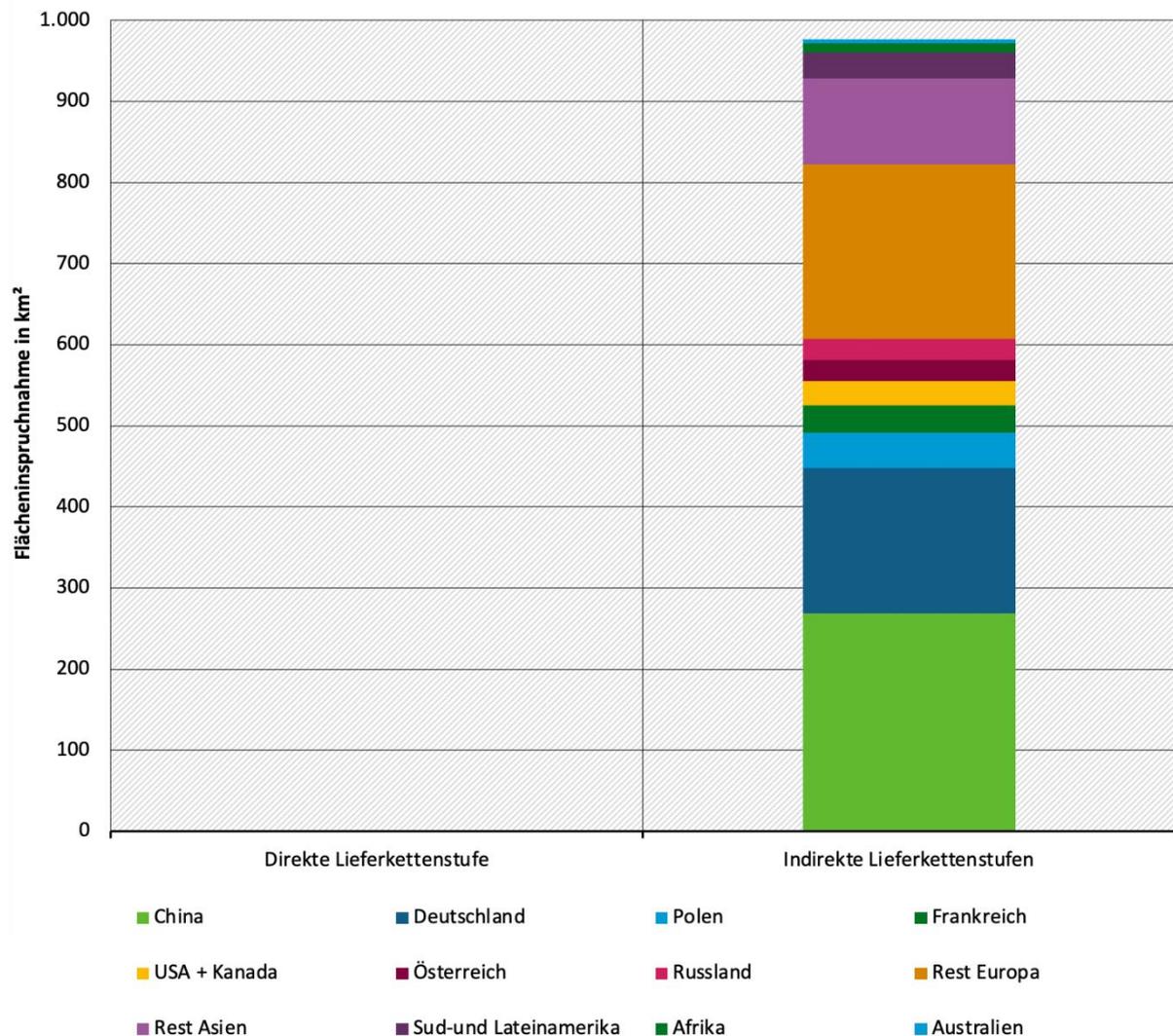
Die Vorkette der deutschen Elektronikindustrie nahm im Jahr 2019 ca. 977 Quadratkilometer (km²) Fläche in Anspruch. Die Flächeninanspruchnahme erfolgte fast ausschließlich in der tieferen Lieferkette, wie in Abbildung 10 zu sehen ist. Die Stufe der direkten Lieferanten beansprucht i. d. R. lediglich Flächen der eigenen Produktionsstandorte, welche als marginal einzustufen sind.

Geografische Verteilung der Flächeninanspruchnahme

Etwa 27 % der genutzten Flächen wird in China beansprucht (im Folgenden Abbildung 10). Ein weiterer großer Teil der Flächeninanspruchnahme geht auf inländische Flächen innerhalb Deutschlands zurück (18 %), gefolgt von Polen mit einem Anteil von 4,4 % und Frankreich mit

3,5 %. Die Flächeninanspruchnahme resultiert vor allem aus land- und forstwirtschaftlichen Prozessen zur Gewinnung von Basischemikalien aus natürlichen Ressourcen für die chemische Industrie sowie Energieträgern aus landwirtschaftlichen Prozessen. 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 von 10 % (FAO 2021). 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. der Veränderung der Landnutzung beitragen.

Abbildung 10: Flächeninanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Verteilung der Flächeninanspruchnahme zwischen den Untersektoren der Elektronikindustrie

Der Untersektor der Herstellung von optischen Erzeugnissen nahm mit 16 % den höchsten Anteil an der Flächeninanspruchnahme entlang der vorgelagerten Lieferkette ein. Etwa 14 % machten der Untersektoren der Herstellung von Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren aus und knapp 11 % die Herstellung von Haushaltsgeräten.

Sektorale Verteilung der Flächeninanspruchnahme nach sektoralem Aufkommen

Sektoral lag der größte Teil der Flächeninanspruchnahme naturgemäß bei den land- und forstwirtschaftlichen Prozessen in der Vorkette. Treiber sind Rohstoffe aus natürlichen Ressourcen sowohl zur stofflichen als auch zur energetischen Verwertung.

Ergänzungen

Ergänzend zur quantitativen Analyse bietet das ENCORE-Tool weitere Anhaltspunkte für potenzielle negative Umweltauswirkungen hinsichtlich der Flächeninanspruchnahme durch Vorleistungssektoren der Elektronikindustrie (im Folgenden ENCORE 2023):

- ▶ 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. 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 Gefahren 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 zur gesteigerten 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 2023) adressiert.

3.2.4 Wasser

Problemaufriss und (potenzielle) negative Auswirkungen

Im Folgenden wird der Verbrauch von sogenanntem blauem Wasser betrachtet, d. h. der Verbrauch von Süßwasser aus Gewässern und dem Grundwasser, welches nicht wieder zurückgeführt wird. Wasserverbrauch beinhaltet gemäß der Definition des Global Water Footprint Standard (herausgegeben vom Water Footprint Network) Wasser, welches entweder in einem Produkt eingeschlossen wird oder im Zuge der Herstellung desselben verdunstet (Hoekstra et al. 2011).

Der Verbrauch 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.

Verteilung des Wasserverbrauchs nach Lieferkettenstufen

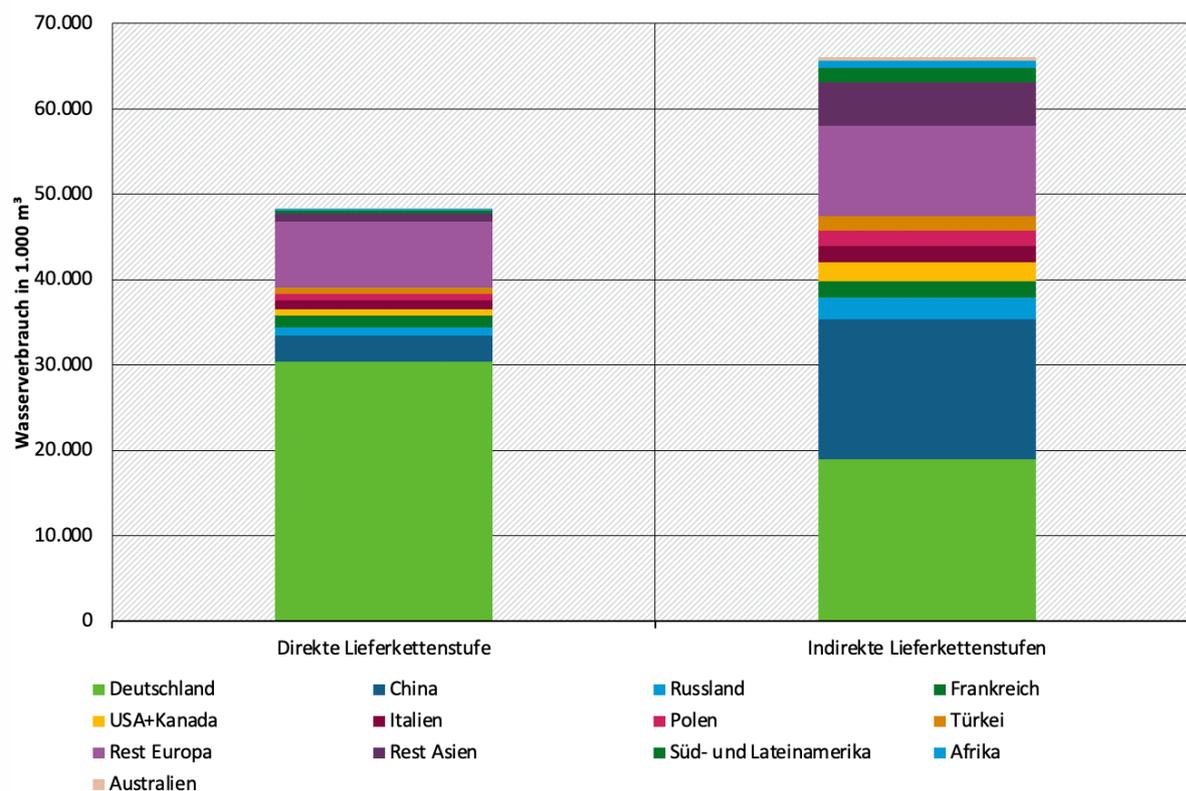
Insgesamt wurden in der vorgelagerten Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie im Jahr 2019 etwa 114 Millionen (Mio.) Kubikmeter (m³) Wasser verbraucht. Der Wasserverbrauch in der Lieferkette entstand zu 42 % auf der direkten Lieferkettenstufe und zu 58 % auf den tieferen Lieferkettenstufen (Abbildung 11).

Geografische Verteilung des Wasserverbrauchs

Sowohl auf der direkten Lieferkettenstufe als auch in der tieferen Lieferkette fand im Jahr 2019 der größte Wasserverbrauch in Deutschland statt mit einem Anteil von 43 % bzw. knapp 50 Mio. m³ (im Folgenden Abbildung 11). Etwa 29 % entfielen auf das restliche Europa, insbesondere in Russland und Frankreich mit jeweils 3 % und Polen sowie Türkei mit jeweils 2 %. Auf China entfielen 17 % des Wasserverbrauchs mit einer Menge von 19 Mio. m³ Wasser.

Die Wasserverbräuche in China entstehen vor allem 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 2022) hohe bis sehr hohe Risiken der Wasserknappheit. Beide Provinzen sind durch die Stahl- und Metallindustrie sowie die Kohleverstromung geprägt. In den USA und Kanada summierte sich der Wasserverbrauch im Jahr 2019 auf 3 Mio. m³ und somit knapp 3 % des gesamten Wasserverbrauchs. Etwa 6 Mio. m³ Wasserverbrauch gingen auf Lieferanten und Vorlieferanten in Asien (ohne China) zurück, insbesondere in den beiden Ländern Indien und Japan.

Abbildung 11: Wasserverbrauch entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

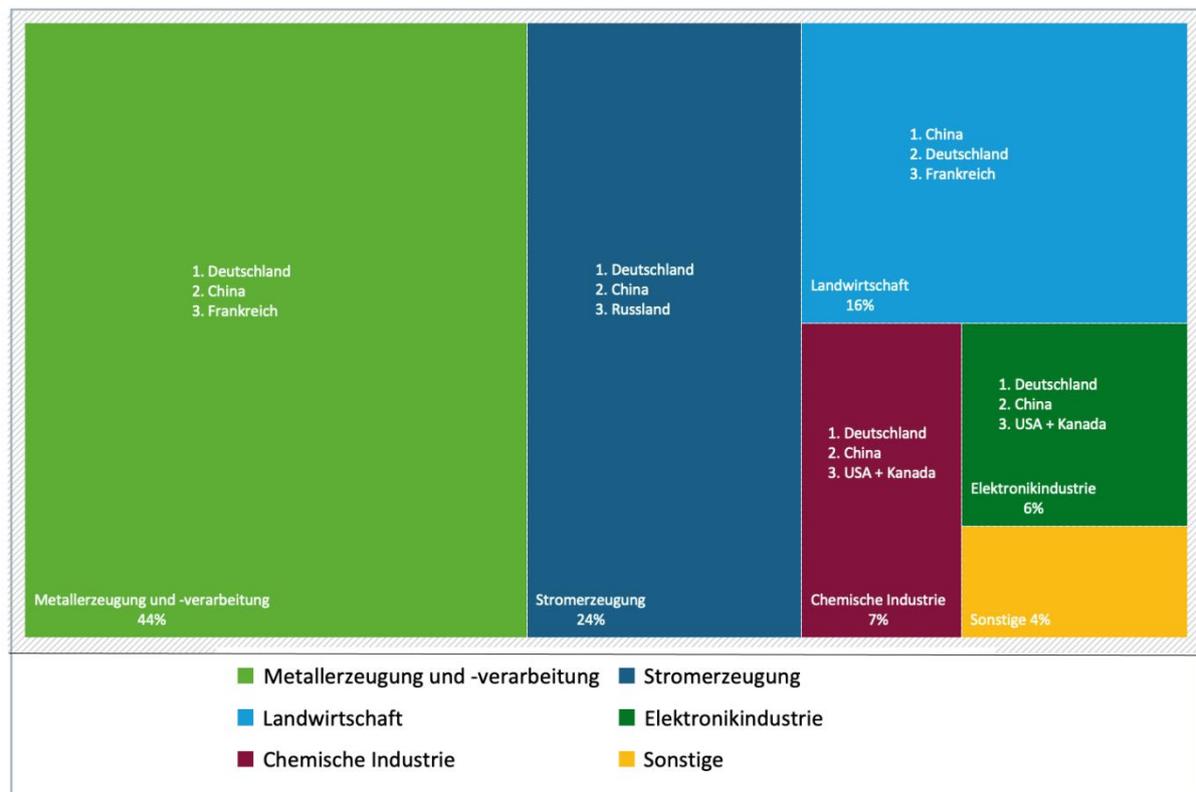
Verteilung des Wasserverbrauchs zwischen den Untersektoren der Elektronikindustrie

Der Untersektor der Herstellung von Elektrizitätsverteilungs- und -schalteneinrichtungen nahm mit 18 % den höchsten Anteil an den Wasserverbräuchen entlang der vorgelagerten Lieferkette ein. Knapp 12 % des Wasserverbrauchs entfielen auf die Herstellung von Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren. Jeweils 11 % sind auf die Herstellung von Elektrogeräten und den Untersektor der Herstellung von elektronischen Bauelementen zurückzuführen.

Sektorale Verteilung des Wasserverbrauchs

Sektoral betrachtet verteilt sich der Wasserverbrauch über die gesamte vorgelagerte Wertschöpfungskette hinweg mit einem Anteil von knapp 44 % bzw. 49,8 Mio. m³ (siehe Abbildung 12) vor allem auf die metallherstellende und -verarbeitende Branche. In der Metallverarbeitung kommt Wasser vor allem zur Prozesskühlung, zur Abführung von Abfällen, zur Feinstaubbindung sowie zur Löschung in der Kokerei zum Einsatz. Schwerpunktländer sind Deutschland und China. Auf die Stromerzeugung entfielen 24 % des Wasserverbrauchs, insbesondere in Deutschland und China. Der Wasserverbrauch durch landwirtschaftliche Prozesse in der Vorkette machte etwa 16 % aus. Der Wasserverbrauch hier hängt vor allem mit der Produktion von biogenen Energieträgern und Kraftstoffen sowie land- und forstwirtschaftlichen Grundstoffen der chemischen Industrie für die Herstellung von Lösemitteln, Lacken, Klebstoffen, Harzen u. Ä. zusammen und betrifft vor allem die Länder Deutschland, China, Frankreich, USA und Kanada sowie Spanien.

Abbildung 12: Sektorale Verteilung des Wasserverbrauchs in der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie



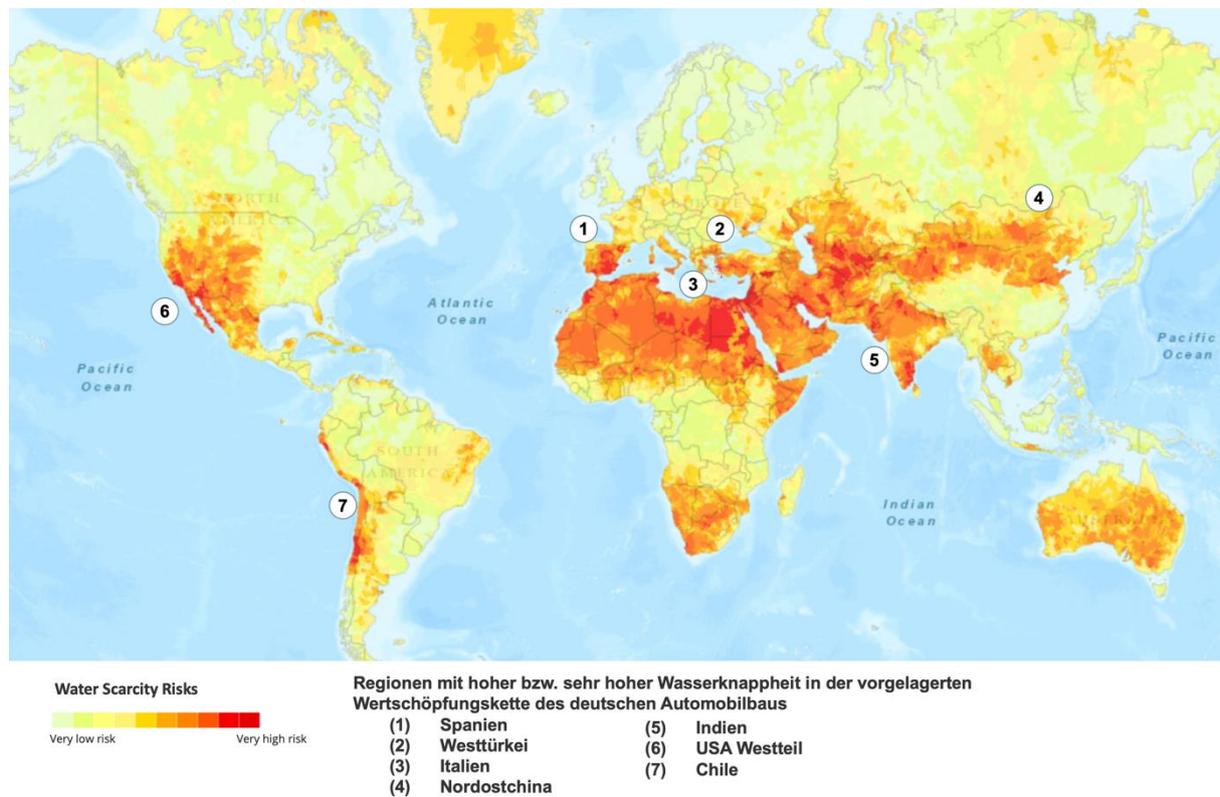
Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

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 2022). Der Indikator aggregiert sieben risikobasierte Bewertungen bzw. Knappheitsindikatoren zur Verfügbarkeit und zur Nutzung von Süßwasser.¹¹ Dies ist auf der Weltkarte in Abbildung 13 dargestellt. In der Abbildung sind besondere Risikogebiete markiert. 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 wichtiges Industriecluster in Spanien (siehe Nummer 1 in Abbildung 13). In der Türkei besteht für die Industriezentren um Bursa und Izmir mit der dortigen Schwerindustrie ein hohes Wasserknappheitsrisiko (siehe Nummer 2 in Abbildung 13). Darüber hinaus ist Italien als ein wichtiges Land mit industriellen Vorleistungssektoren der Elektronikindustrie wie v. a. der metallherstellenden und -verarbeitenden Industrie und einem Wasserverbrauch von 2,8 Mio. m³ bei gleichzeitigen Knappheitsrisiken in Europa relevant (siehe Nummer 3 in Abbildung 13).

¹¹ Aridity; water depletion; baseline water stress; blue water scarcity; available water remaining; drought frequency probability; projected change in drought occurrence (WWF 2022). Water Risk Filter. Methodology. Link: <https://waterriskfilter.panda.org/en/Explore/DataAndMethod>

Abbildung 13: Aggregierte Wasserknappheitsrisiken in der vorgelagerten Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie



Quelle: WWF (2022).

Beim Wasserverbrauch in China ist ebenfalls die dortige Wasserknappheit zu berücksichtigen. Dies betrifft insbesondere Vorleistungen aus der metallherstellenden und -verarbeitenden Industrie sowie bei der Stromversorgung für Lieferanten und Vorlieferanten im Nordosten Chinas. Die dortigen Wasserknappheitsrisiken sind mit hohen bis sehr hohen Risiken eingestuft (siehe Nummer 4 in Abbildung 13). Die Provinzen in diesem Landesteil sind durch die Stahl- und Metallindustrie sowie die Kohleverstromung geprägt. In dieser Region ist mit einer signifikanten Verschärfung der lokalen Wasserknappheit innerhalb der nächsten zehn Jahre zu rechnen. Dies bestätigt auch die Szenarioanalyse des WWF Water Risk Filters für künftige Wasserknappheitsrisiken angesichts steigender Temperaturen (WWF 2022).

Ein ähnliches Bild ergibt sich für den Rest Asiens. Beispielsweise finden sich die großen industriellen Ballungszentren Indiens mit der Stahlindustrie sowie der Metallherzeugung und -verarbeitung fast ausschließlich in Regionen mit sehr hoher Risikoausprägung von Wasserknappheit (siehe Nummer 5 in Abbildung 13). Auch für Indien muss in der Zukunft mit einer signifikanten Verschärfung der lokalen Wasserknappheit gerechnet werden (WWF 2022).

Auch in den USA sind regionale Knappheitsrisiken vorzufinden. Besonders der Westen der USA ist von sehr hohen Wasserknappheitsrisiken betroffen (siehe Nummer 6 in Abbildung 13), insbesondere mit Blick auf die dortige Elektronik- und Halbleiterindustrie. Darüber hinaus ist der Norden Chiles als Region mit sehr hohen Knappheitsrisiken zu nennen, da Chile eines der Hauptförderländer des für die Elektronikindustrie wichtigen Rohstoffs Kupfer ist (siehe Nummer 7 in Abbildung 13). Dehoust et al. 2020 (Projekt ÖkoRess II) bewerten die Rohstoffgewinnung von Kupfer mit einem hohem Umweltgefährdungspotenzial in der Kategorie „Wasserstress“.

Die Bewertung negativer ökologischer Auswirkungen von Sektoren bezogen auf deren Wasserverbrauch im ENCORE-Tool gibt weitere Aufschlüsse (im Folgenden ENCORE 2023). ENCORE verzeichnet für den Untersektor der Herstellung von Halbleitern hohe negative Auswirkungen durch den hohen Wasserverbrauch in der Produktion. Zudem ist ein hoher Chemikalieneinsatz für die Abwassereinigung notwendig. Dies ist dann relevant, wenn Halbleiter als Vorleistung durch Unternehmen der Elektronikindustrie bezogen werden, um diese in ihren Produkten zu verbauen.

Für die drei Sektoren mit den höchsten Wasserverbräuchen der MRIO-Analyse (Metallerzeugung und -verarbeitung, Stromerzeugung, Landwirtschaft) identifiziert ENCORE ebenfalls hohe negative Auswirkungen bei diesem Umweltthema. Bei der Metallerzeugung und -verarbeitung geht der hohe Wasserverbrauch laut ENCORE auf die Flotation, die Verhüttung und die 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 hohe Verdunstung bei Stauseen aufgrund der großen Wasseroberfläche hin. Landwirtschaftliche Prozesse weisen ebenfalls eine hohe Einstufung der negativen ökologischen Auswirkungen beim Wasserverbrauch auf (ENCORE 2023), sofern es sich um industrielle Anbaumethoden mit künstlicher Bewässerung handelt. Darüber hinaus bewertet ENCORE die Gewinnung von Bodenschätzen mit hoher Relevanz in Bezug auf den Wasserverbrauch. 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.¹² Das Abpumpen kann zur Grundwassersenkung führen.

¹² 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.

3.2.5 Wassergefährdende Stoffe

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. Je nach Reaktivität und Auswirkungen auf Mensch und Ökosysteme sind diese zu bewerten. Die Ökotoxizität dieser Schwermetalle ist in DCB-Äquivalenten (1,4-Dichlorbenzol) an Einträgen in Süßwasser angegeben.

Hohe Konzentrationen von Schwermetallen im Wasser gefährden Lebewesen und die menschliche Gesundheit (im Folgenden UBA 2019). 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 (über 90 % Anteil bei beiden Fokussektoren). Kupfer ist ein Hauptbestandteil der Materialien, welche in der Elektronikindustrie eingesetzt werden. Arsen wird in der Halbleiterindustrie verwendet, insbesondere zur Herstellung von Hochfrequenzbauelementen, Leucht- sowie Laserdioden. Antimon wird zur Herstellung von Verbindungshalbleitern genutzt, welche wiederum für Leucht- und Laserdioden eingesetzt werden.

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 der Wasserverschmutzung und bezeichnet die Menge an notwendigem Sauerstoff, um enthaltenes organisches Material biologisch zu zersetzen (in Abgrenzung zum chemischen Sauerstoffbedarf (Chemical Oxygen Demand, COD) 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 eingeschränkt 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.

Verteilung der Einträge von ausgewählten Schwermetallen nach Lieferkettenstufen

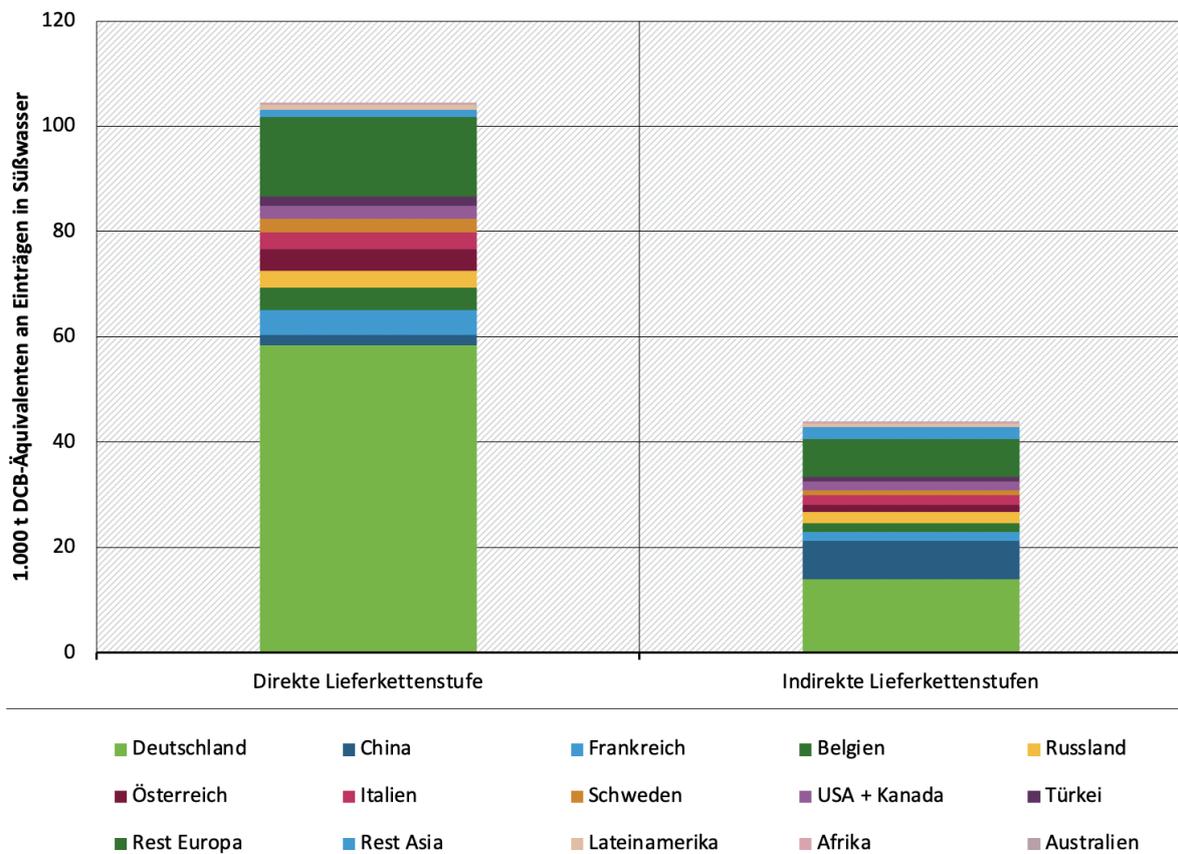
Die Analyse der Modellierung der Lieferkette anhand der MRIO-Tabellen zeigt, dass im Jahr 2019 auf der direkten Lieferkettenstufe (tier 1) mehr als doppelt so viele Schwermetalleinträge in Süßwasser vorzufinden waren als auf den vorgelagerten Stufen insgesamt (siehe Abbildung 14). Bei dieser Verteilung ist zu berücksichtigen, dass das Bild durch die Datenqualität in den Ländern beeinflusst wird, d. h. in zahlreichen Ländern die Daten unzureichend die Schwermetalleinträge widerspiegeln.

Mit Blick auf die direkte Stufe der Lieferkette ist anzumerken, dass die Elektronikindustrie Vorprodukte bezieht, bei denen Veredelungsprozesse (z. B. die Beschichtung von Metallen) mitunter auf der direkten Lieferkettenstufe stattfinden und dort Schwermetalleinträge zu verzeichnen sind. In diesem Fall besteht aufgrund der direkten Lieferantenbeziehung ggfs. Handlungsspielraum in der Lieferkette.

Geografische Verteilung der Einträge von ausgewählten Schwermetallen

Die Modellierung ergab einen Anteil von 49 % der Schwermetalleinträge bei Lieferanten und Vorlieferanten in Deutschland sowie weitere 38 % entlang der Wertschöpfungskette im europäischen Ausland (inkl. Russland und der Türkei) (siehe Abbildung 14). Dabei sind Schwermetalleinträge vor allem in den westeuropäischen Ländern Frankreich, Belgien, Österreich und Italien zu verzeichnen. Es ist davon auszugehen, dass das Bild durch eine vergleichsweise gute Datenqualität in den europäischen Ländern beeinflusst ist. In China wurden 6 % der Einträge der untersuchten Schwermetalle identifiziert, knapp 3 % im Rest Asiens.

Abbildung 14: Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie (in Tonnen DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser)



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Verteilung der Einträge von ausgewählten Schwermetallen zwischen den Untersektoren der Elektronikindustrie

Den höchsten Anteil an Schwermetalleinträgen entlang der globalen Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie ist für das Jahr 2019 auf den Untersektor der Herstellung von Elektrizitätsverteilungs- und -schalteneinrichtungen zurückzuführen. Dessen Anteil der untersuchten Schwermetallemissionen in Gewässer betrug 21 %. Etwa 15 % gingen auf den Untersektor der Herstellung von Drähten und Kabeln zurück und jeweils ein Zehntel auf die Untersektoren der Herstellung von elektronischen Bauelementen und der Herstellung von Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren.

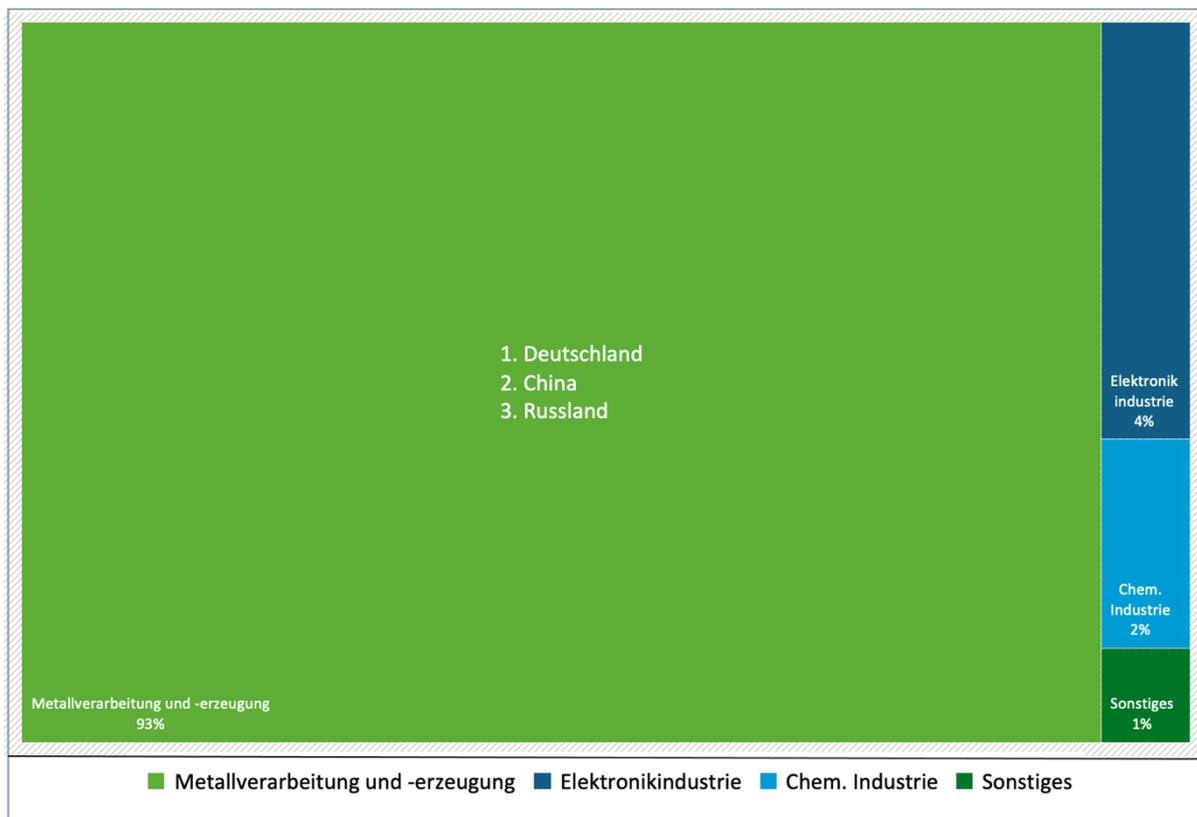
Mit Blick auf das Schwermetall Quecksilber zeigt sich, dass im Jahr 2019 etwa 12 % der Quecksilbereinträge entlang der Wertschöpfungskette auf den Untersektor der Herstellung von Batterien und Akkumulatoren zurückgingen. Jeweils ein Zehntel der Quecksilberemissionen sind den Untersektoren der Herstellung von elektronischen Bauelementen, der Herstellung von Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren sowie von elektrischem Installationsmaterial zuzuordnen.

Sektorale Verteilung der Einträge von ausgewählten Schwermetallen

Sektoral entstanden die meisten Schwermetallbelastungen in der metallherstellenden und -verarbeitenden Industrie, z. B. durch Abwässer bei Beschichtungs- und Legierungsprozessen. Der Anteil machte über 90 % der schwermetallhaltigen Abwässer entlang

der Vorkette der Elektronikindustrie aus (siehe Abbildung 15). Schwerpunktländer sind vor allem Deutschland und China. Bei Lieferanten und Vorlieferanten, die dem Sektor der Elektronikindustrie zuzuordnen sind, entstanden 4 % und in der chemischen Industrie etwa 2 % der Schwermetalleinträge ins Wasser. Es ist darauf hinzuweisen, dass der Wassereintrag von Schwermetallen in der Rohstoffgewinnung bzw. beim Bergbau aufgrund der schlechten Datenlage nur unzureichend in den MRIO-Modellen abgebildet ist. Sektoral ist daher von einem deutlich höheren Anteil der Rohstoffgewinnung auszugehen.

Abbildung 15: Sektorale Verteilung der Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie (Bewertung mittels DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser)



Quelle: Eigene Darstellung, Sustain.

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 der Wasserverschmutzung. Bereits innerhalb Deutschlands zeigt sich anhand der regionalisierten Aufschlüsselung des WWF Water Risk Filters ein hohes bis sehr hohes Risiko der Gewässerverschmutzung. Mit dem hohen Wertschöpfungsanteil innerhalb Deutschlands besteht somit ein erhöhtes Risiko bereits für inländische Lieferanten und Vorlieferanten bei der Wasserverschmutzung. Weitere hohe bis sehr hohe Risiken zeigen sich für die osteuropäischen Länder wie u. a. Polen, wo vorgelagerte Prozesse der deutschen Elektronikindustrie verortet sind. Dies 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 der Gewässerverschmutzung entlang der Küstenregionen festzustellen, in denen sich auch die wichtigen Industrie-Cluster befinden sowie die energieintensive Schwerindustrie

mit dem metall erzeugenden und -verarbeitenden Sektor im Nordosten des Landes. 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.

Für die Elektronikindustrie selbst identifiziert ENCORE bei den Einträgen wasserverschmutzender Stoffe die Schwermetallbelastungen durch Arsen und säurehaltige Einträge bei der Halbleiterherstellung. Diese werden mit einer hohen Relevanz bewertet (ENCORE 2023). Bei der Produktion von elektronischen Geräten wird die Vielzahl an Chemikalien, welche in den Herstellungsprozessen zum Einsatz kommen, mit einer hohen Relevanz bewertet. Mit Blick auf das Lieferkettenmanagement eines Unternehmens der Elektronikindustrie ist dies relevant, wenn z. B. elektronische Bauelemente bezogen werden, um diese in Schalteinrichtungen zu verbauen.

ENCORE identifiziert hohe ökologische Belastungen bei der Gewinnung, Erzeugung sowie Verarbeitung von Metallen. Die Erzgewinnung ist mit hohen säurehaltigen und schwermetallhaltigen Abwässern verbunden (ENCORE 2023). Zudem weist ENCORE auf eine hohe Relevanz der Wasserverschmutzung bei der Gewinnung von Rohstoffen und Energieträgern hin (ENCORE 2023). Dies umfasst die Belastung durch Schwermetalle wie Zyanid, Quecksilber und Arsen. Eine sehr große Bedeutung der Gewässerverschmutzung identifiziert ENCORE für die Gewinnung von Erdöl und Erdgas aufgrund des hohen Verschmutzungspotentials bei Störfällen.

Der MVO Nederland CSR Risk Check identifiziert Risiken der 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 2023). Die Gewinnung von metallischen Rohstoffen wird aufgrund von Schwermetallbelastungen sowie saure Grubenwässer in den Abbauregionen ebenfalls mit hohen Risiken der 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. 2020). 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.

3.2.6 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 im Falle einer Entsorgung anstelle des Recyclings wertvolle Ressourcen vernichtet werden. Gefährliche Abfälle können auch menschenrechtliche Auswirkungen bedingen, da Schadstoffe gesundheitsgefährdend sein können. In einigen Regionen werden zudem toxische Abfälle zum Teil offen verbrannt oder 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-Analyse quantifiziert. Dabei wurden folgende Indikatoren herangezogen:

- ▶ Menge an gefährlichen Abfällen, die entsorgt bzw. deponiert werden
- ▶ Menge an gefährlichen Abfällen, die ins Recycling fließen
- ▶ Menge an nicht gefährlichen Abfällen, die entsorgt bzw. deponiert werden
- ▶ 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 Elektronikgeräten, -ausrüstungen und -bauteilen am Ende von deren Nutzungszeit sind nicht Gegenstand dieser 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).

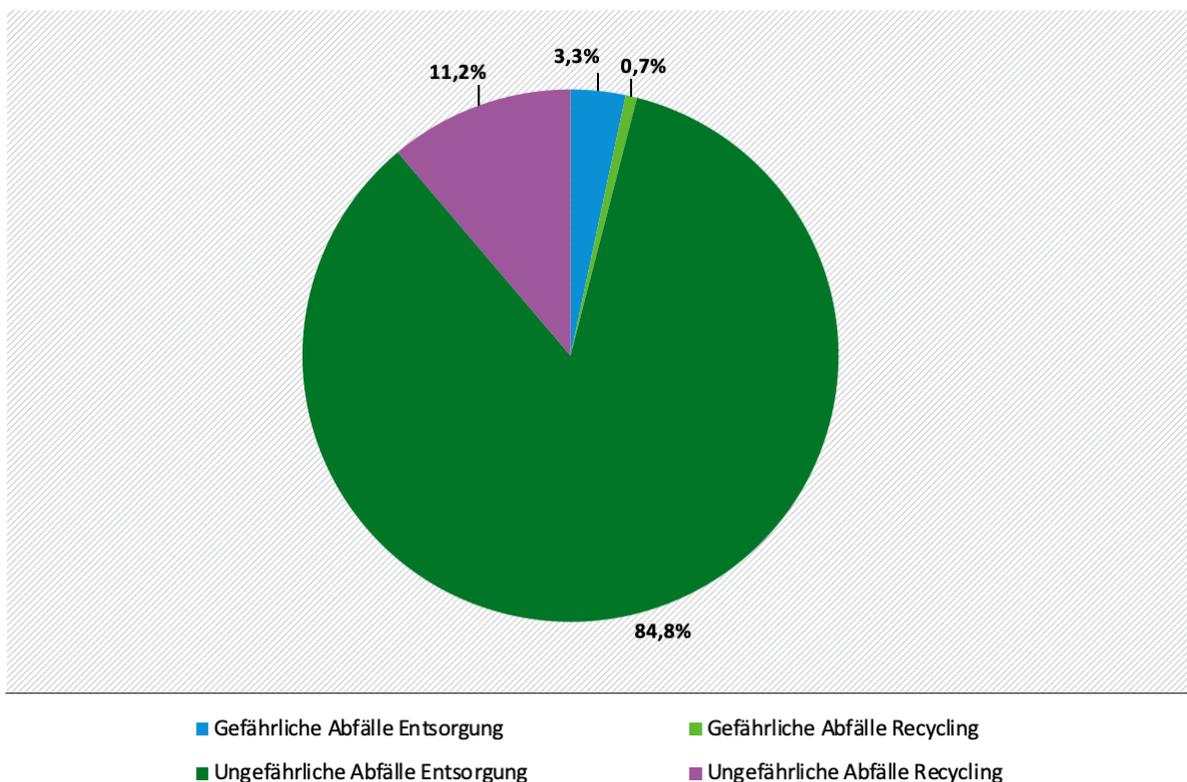
1. Potenzielle negative Umweltauswirkungen beim Bergbau durch Mengenflüsse:
 - Flächeninanspruchnahme durch die Gewinnung der Rohstoffe und durch Halden für Reststoffe bzw. Abraum
 - Vegetations- und Bodenzerstörung durch Abtrag und Überdeckung durch Halden
 - Verlust von Lebensräumen und Landschaftsveränderung durch den Abbau
 - Verschlammung von Oberflächenwässern durch Erosion der Reststoffe, quantitativer Eingriff in den lokalen Wasserhaushalt durch u. a. Versiegelung und Drainagen
2. Potenzielle negative Umweltauswirkungen beim Bergbau in Folge 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 und 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 Schlammteichen (beispielsweise können Dämme von Schlammteichen 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.

Verteilung des Abfallaufkommens nach Abfallklassen

Für die deutsche Elektronikindustrie sind für das Jahr 2019 insgesamt etwa 4,35 Mt Abfall entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette zu veranschlagen. Dabei sind 4 % der Abfälle als gefährliche Abfälle zu klassifizieren, wie Abbildung 16 zeigt. Der größte Teil der gefährlichen Abfälle wird nicht recycelt, sondern geht in die Entsorgung. Insgesamt wird nur ein Anteil von 12 % der Abfälle recycelt, während der Großteil der Abfälle in die Entsorgung geht.

Abbildung 16: Verteilung des Abfallaufkommens entlang der Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie nach Abfallklassen



Quelle: Eigene Darstellung, Sustain.

Verteilung des Abfallaufkommens nach Lieferkettenstufen

Wie Abbildung 17: Abfallaufkommen gesamt entlang der Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie (in 1.000 Tonnen) zeigt, ist der Großteil des Abfallaufkommens im Jahr 2019 in den tieferen Lieferkettenstufen zu verorten (86 %). Der Anteil der Abfälle auf der Stufe der direkten Lieferanten betrug hingegen nur 14 % und war insbesondere in Deutschland zu verorten. Der hohe Anteil der Abfallmenge ist insbesondere auf das Abfallkommen in der Rohstoffförderung zurückzuführen.

Geografische Verteilung des Abfallaufkommens

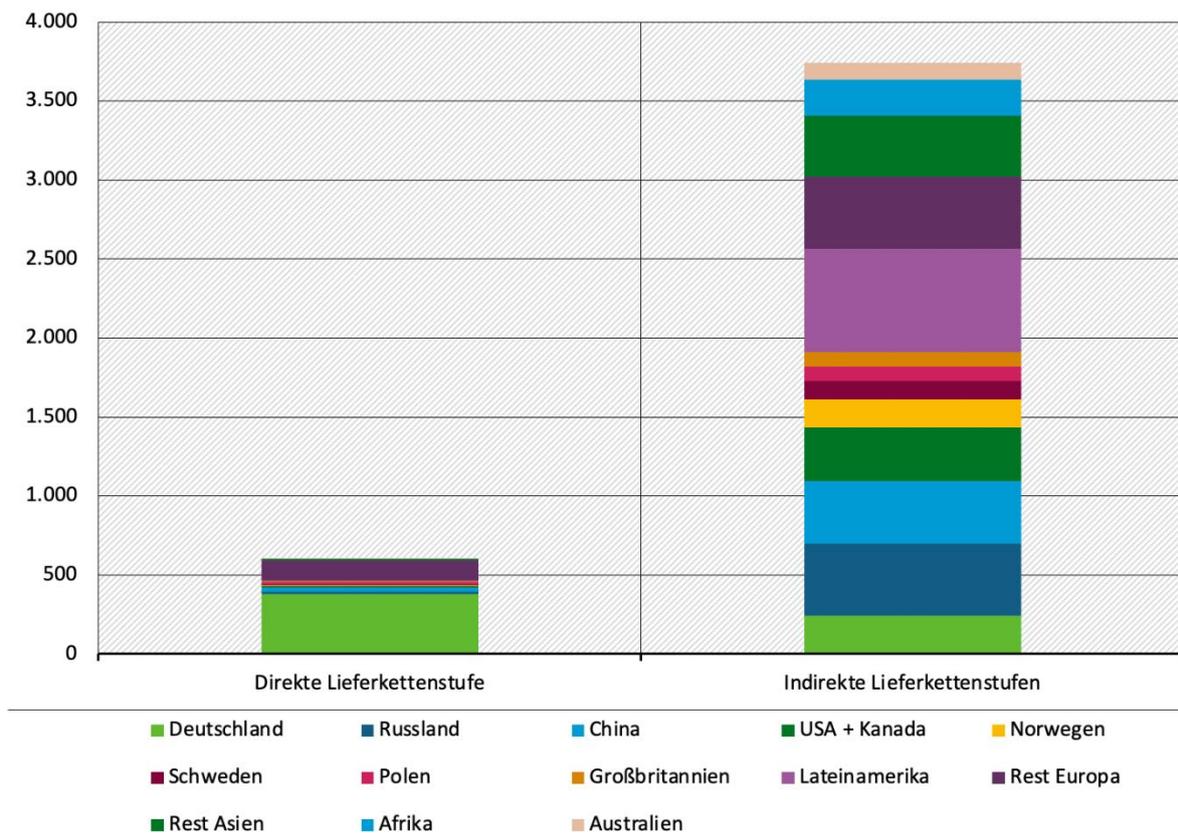
In den inländischen Teilen der Wertschöpfungskette entstanden im Jahr 2019 etwa 0,62 Mt Abfälle, hauptsächlich auf der Stufe der direkten Lieferanten, wie Abbildung 17 zeigt. Das sind 14 % der gesamten Abfälle entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie. Etwa 30 % der Abfälle in der Wertschöpfungskette in Deutschland wurden

dem Recycling zugeführt. Deutschland besitzt damit einen der höchsten Recyclinganteile in den Hauptländern des Abfallaufkommens. Etwa 36 % des Abfalls entstanden im Jahr 2019 im europäischen Ausland (inkl. Russland und der Türkei).

In China und Russland entstanden 11 % bzw. 10 % der Abfälle. Die Abfälle waren vorrangig auf den tieferen Lieferkettenstufen zu verorten. Im Jahr 2019 war China nach Deutschland das Land mit dem höchsten Abfallaufkommen auf der direkten Lieferkettenstufe. Der Recyclinganteil war mit jeweils 8 % in beiden Ländern niedrig. In allen außereuropäischen Ländern lag der Recyclinganteil im Jahr 2019 unter 10 % (Ausnahmen: Korea, Taiwan, USA). China und Russland waren auch die beiden Länder mit dem höchsten Aufkommen an gefährlichen Abfällen. Auch bei diesen Abfällen war die Recyclingrate niedrig: 6 % in China und 7 % in Russland, während sie in Deutschland 33 % betrug.

Etwa 4 % der Abfälle entstanden in Nordamerika sowie 15 % in Lateinamerika. Knapp ein Zehntel der Abfälle sind in Asien (ohne China) zu verorten. Insgesamt zeigt die Auswertung der Länderverteilung, dass die Abfälle vor allem in Ländern bzw. Regionen entstehen, in denen Rohstoffe und fossile Energieträger gefördert werden.

Abbildung 17: Abfallaufkommen gesamt entlang der Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie (in 1.000 Tonnen)



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

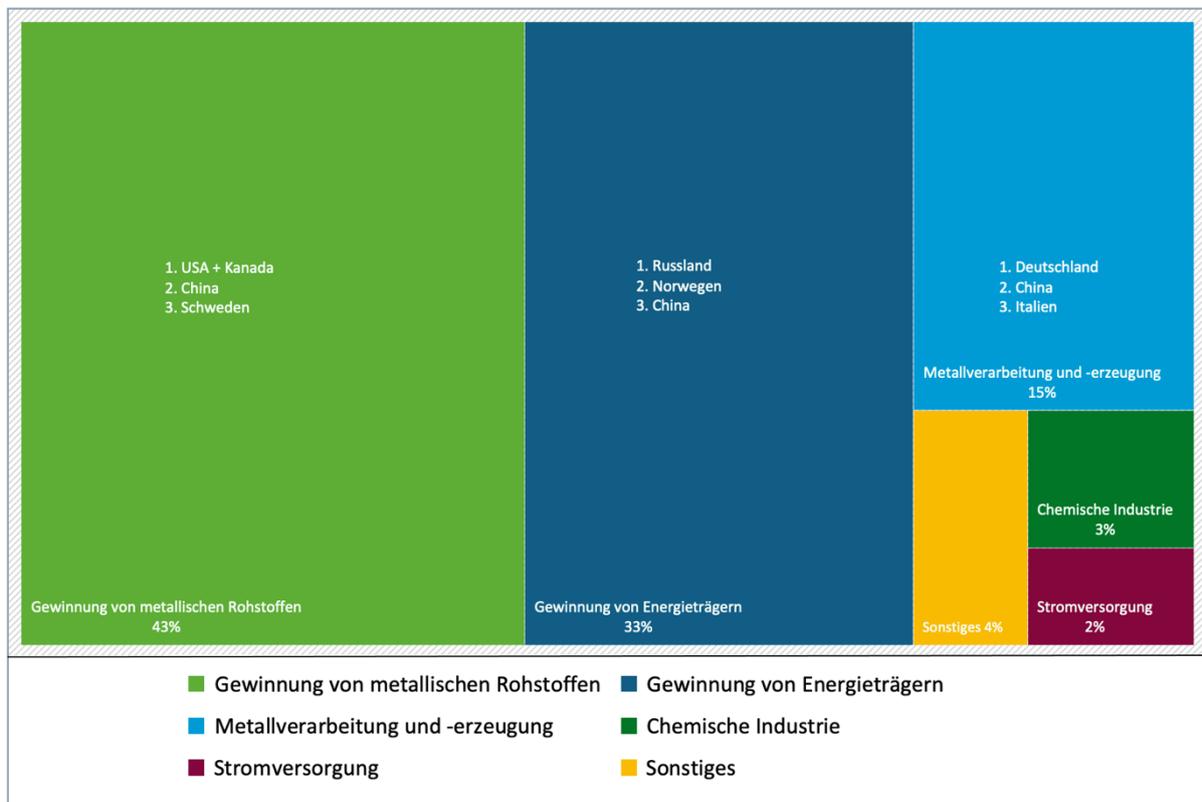
Verteilung des Abfallaufkommens zwischen den Untersektoren der Elektronikindustrie

Innerhalb der deutschen Elektronikindustrie und deren Vorketten entstand das höchste Abfallaufkommen im Untersektor der Herstellung von Elektrizitätsverteilungs- und -schaltanlagen. Dessen Anteil am Gesamtabfallaufkommen betrug im Jahr 2019 etwa ein Viertel. Die nächstfolgenden Untersektoren sind die Herstellung von Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren sowie die Herstellung von Drähten und Kabeln mit jeweils einem Anteil von 11 % bzw. 10 % am Gesamtabfallaufkommen. Auch innerhalb der einzelnen Abfallklassen sind die Anteile ähnlich. Hier spiegeln sich die Umsatzanteile der einzelnen Untersektoren innerhalb der Elektronikindustrie wieder.

Sektorale Verteilung des Abfallaufkommens

Wie in Abbildung 18 ersichtlich ist, liegt mit einem Anteil von 43 % der Großteil des Abfallaufkommens auf der Stufe der Gewinnung von metallischen Rohstoffen. Schwerpunktländer sind insbesondere die USA und Kanada, China, Schweden, Brasilien, Russland und Australien. Die Abfälle bei der Gewinnung von fossilen Energieträgern für die energetische und stoffliche Verwertung machen etwa ein Drittel aus. Die Abfälle bei der Rohstoffgewinnung gehen größtenteils in die Deponierung, d. h. beispielweise in Abraumhalden in der Nähe der Abbaustätte. Kritisch ist dies insbesondere, wenn die Abraumabfälle und Klärschlämme mit Schadstoffen kontaminiert sind und die Abfallbehandlung bzw. Deponierung nicht fachgerecht erfolgt. Weitere 15 % der Abfälle sind auf die Prozesse der Metallherzeugung und -verarbeitung zurückzuführen sowie 3 % auf die chemische Industrie und 2 % auf die Stromerzeugung. Weitere 15 % der Abfälle sind auf die Prozesse der Metallherzeugung und -verarbeitung zurückzuführen sowie 3 % auf die chemische Industrie und 2 % auf die Stromerzeugung. Weitere 15 % der Abfälle sind auf die Prozesse der Metallherzeugung und -verarbeitung zurückzuführen sowie 3 % auf die chemische Industrie und 2 % auf die Stromerzeugung.

Abbildung 18: Sektorale Verteilung des Abfallaufkommens in der Wertschöpfungskette der Elektronikindustrie



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

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. Ähnlich stuft ENCORE die Abfälle bei der Metallverarbeitung und -erzeugung aufgrund der hohen Abfallmenge durch Abraum oder Hochofenschlacken mit einer hohen Relevanz ein. Bei der Herstellung von Elektronikartikeln weist ENCORE eine mittlere Relevanz durch Abfälle („solid waste“) aus.

Der MVO Nederland CSR Risk Check weist auf die Schadstoffbelastung von Böden, Gewässern und Atmosphäre hin, wobei diese Gefährdungen auch auf die Abfälle und deren Entsorgungswege zurückzuführen sind (MVO Nederland 2023). Durch eine nicht fachgerechte Deponierung oder Verbrennung der z. T. gefährlichen Abfälle entstehen Schadstoffeinträge in Boden, Wasser und Luft. Diese können zur gesundheitlichen Gefährdung von Menschen führen.

Wie oben bereits aufgezeigt, beschränkt sich die vorliegende Untersuchung auf die vorgelagerte Wertschöpfungskette. Dennoch ist zu erwähnen, dass bei Elektronikprodukten ökologische Belastungen durch Elektroschrott und unsachgemäßer Entsorgung entstehen (MVO Nederland 2023). Die Zerlegung und Verbrennung in Schwellen- und Entwicklungsländern führen zur Freisetzung von gefährlichen und giftigen Chemikalien sowie zur Verseuchung von Böden und (Trink-)Wasser mit gesundheitlichen Folgen für die lokale Bevölkerung. Ein fachgerechtes Recycling kann Rohstoffe für die Elektronikindustrie zurückgewinnen und diese der vorgelagerten Wertschöpfungskette wiederzuführen.

4 Fokusthema Halbleiterchips

4.1 Hintergrund und methodische Hinweise

Dieses Kapitel befasst sich mit dem Fokusthema Halbleiterchips. Zunächst werden die Technologie und die Wertschöpfungskette beschrieben. Da die Rohstoffe Kupfer, Gold und Zinn bei der Chipherstellung, aber auch in der gesamten Elektronikindustrie eine wichtige Rolle spielen, werden Abbau, Aufbereitung und Verarbeitung der drei Rohstoffe gesondert betrachtet. Anschließend werden die Risiken beim Herstellungsprozess von Halbleiterchips in Kapitel 4.4 aufgezeigt. Die Nutzung und das Ende des Lebenszyklus von Halbleiterchips werden in dieser Studie nicht vertieft betrachtet, es stehen die vorgelagerten Lieferkettenstufen im Vordergrund.

Chips (auch: integrierte Schaltungen, mikroelektronische Chips oder Computerchips)¹³ dienen der Speicherung und Verarbeitung von Daten. Es handelt sich um ein sehr kleines elektronisches Bauteil, das aus einem Stück Trägermaterial (Wafer) und zahlreichen darauf angebrachten Komponenten und Schichten besteht (Attiyate und Shah 2013). Chips können verschiedenste Aufgaben erfüllen und sind demnach unterschiedlich aufgebaut (OECD 2019, S. 11). Für die Verwendung in elektrischen Geräten werden in der Regel verschiedene Chips auf einer Leiterplatte befestigt (gelötet, geklebt oder gesteckt) und miteinander verbunden. Das Grundmaterial der meisten Chips ist derzeit Silizium. Silizium ist ein „Halbleiter“, also ein Material, welches gut zwischen den Zuständen leitend und nichtleitend wechseln kann. Für besondere Anwendungen, u. a. im Bereich Photovoltaik (z. B. Solarzellen), LEDs und Sensoren, kommen auch andere Halbleitermaterialien wie Germanium zum Einsatz (Platzer et al. 2020, S. 20). Zukünftig könnten zudem DNA-Moleküle die Funktion von Halbleitern in sogenannten „Biochips“ ersetzen (Rüdiger und Ostler 2020). Die vorliegende Studie widmet sich jedoch der Produktion der weiterhin am weitesten verbreiteten halbleiterbasierten Chips.

Halbleiterchips werden in verschiedensten Produkten der Elektronik- sowie der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)-Industrie verwendet: vom Smartphone über Elektrofahrzeuge bis hin zur Windturbine und zum Solarpanel. Insbesondere mit Blick auf die Verwendung von Chips in Zukunftstechnologien für die Gewinnung erneuerbarer Energien, der E-Mobilität und einer stetig steigenden globalen Nachfrage nach IKT-Produkten, die komplexe Anforderungen an die Umsetzung von Artificial-Intelligence (AI)- oder Virtual-Reality (VR)-Anwendungen erfüllen müssen, wird die Nachfrage nach Chips zukünftig weiter steigen. Gleichzeitig benötigen Chipfabriken große Mengen an Wasser und Energie, was mit hohen Treibhausgasemissionen einhergeht. Auch entstehen signifikante Mengen an gefährlichen Abfällen, die sachgerecht behandelt werden müssen (Belton 2021). Insbesondere aufgrund der zentralen Bedeutung von Chips für viele Zukunftstechnologien ist eine intensive Auseinandersetzung mit den umweltbezogenen und menschenrechtlichen Auswirkungen entlang der Wertschöpfungskette von zentraler Bedeutung.

Die Halbleiterindustrie ist eine der rohstoffintensivsten Industrien der Welt (Betruzzi 2022). Es kommen bei der Produktion von Halbleiterchips neben Silizium u. a. die Rohstoffe Kupfer, Gold und Zinn zum Einsatz (WVMetalle 2021, S. 12; DERA 2019, S. 5). Insgesamt hat der Elektroniksektor einen Anteil von 57 % an den Haupteinsatzgebieten von Kupfer. Neben Halbleitern wird das Metall insbesondere für Kabel, Drähte, Steckverbinder, Transformatoren und Batterien verwendet (WVMetalle 2021, S. 12). Die Elektronikindustrie ist zudem innerhalb der deutschen Industriesektoren der wichtigste Abnehmer von Gold. Das Edelmetall wird in

¹³ Im täglichen Gebrauch werden die Begriffe „Chip“ und „integrierte Schaltung“ oftmals synonym verwendet. Da „integrierte Schaltung“ eher auf die spezifische Funktion hinweist, während der Begriff „Chip“ vielmehr das physische Bauteil beschreibt, verwendet diese Studie den Begriff „Chip“ (Shunlongwei, o. J.).

Leiterplatten und vor allem in Schaltkontakten verbaut (DERA 2019, S. 5). Auch Zinn ist in seiner Funktion als Lötzinn zentraler Bestandteil elektronischer Bauteile, u. a. von Leiterplatten. Etwa ein Drittel des in Deutschland verbrauchten Zinns fließt in die Lötmittelproduktion (Elsner et al. 2014, S. 60).

Im nachfolgenden Kapitel 4.2 wird zunächst ein Überblick über die Technologie und die Wertschöpfungskette von Halbleitern als wichtige Komponente zahlreicher elektronischer Bauteile gegeben. Anschließend wird für die Fokusrohstoffe Kupfer, Gold und Zinn wie auch für die Herstellung von Halbleiterchips dargelegt, welche hohen Risiken von negativen Umweltauswirkungen anhand von Datenbanken und Studien identifiziert werden können bzw. welche Auswirkungen bereits auftreten. 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 von 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 (in einem Durchschnittswert zusammengefasst) (WGI 2022) 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 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 o. J.). Umweltthemen, die im ENCORE-Tool mit einer hohen oder sehr hohen Wesentlichkeit (sogenanntes „Materiality-Rating“¹⁴) 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.

¹⁴ Informationen zur Methodik des „Materiality-Rating“ und zugrundeliegenden Leitfragen (ENCORE o. J.)

Wie in Kapitel 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 drei Rohstoffe Kupfer, Gold und Zinn sowie für den Herstellungsprozess von Halbleiterchips exemplarisch Zusammenhänge skizziert:

- ▶ **Beispiel zu Rohstoff „Kupfer“:** Bis zu 350 m³ Wasser wird für den Abbau und die Aufbereitung einer Tonne Kupfer benötigt (Gilsbach 2020, S. 14). Der hohe Wasserverbrauch in Abbau- und Aufbereitungsregionen kann zur Erschöpfung von Grundwasserleitern führen und zu einer erhöhten Intensität und/oder Häufigkeit von Dürren beitragen (ENCORE 2023). Dies kann in Gebieten mit Wasserstress zu Konflikten mit der lokal ansässigen Bevölkerung führen, wie z. B. in Peru (Gilsbach 2020, S. 12). Dadurch können Menschenrechte wie das Recht auf Wasser und das Recht auf Leben verletzt werden.
- ▶ **Beispiel zu Rohstoff „Gold“:** Beim Abbau von Gold im Kleinbergbau kommt häufig Quecksilber zum Einsatz. Etwa 60 % des Quecksilbers gelangen dabei in umliegende Gewässer (Hütz-Adams et al. 2012, S. 16), was zu negativen Effekten für Pflanzen, Tiere, Menschen und ganze Ökosysteme führt, da Quecksilber sich in Organismen ablagert (Bioakkumulation) und die Giftstoffe so innerhalb der Nahrungskette weitergegeben werden (Welfens et al. 2013). Bei Tieren und Menschen wirkt sich Quecksilber negativ auf das Nerven-, Verdauungs- und Immunsystem aus und wird über die Haut, die Atemwege und Nahrung aufgenommen (Verité 2017, S. 66). Kleinschürferinnen und -schürfer im brasilianischen Amazonas-Gebiet, in Suriname, Tansania, Ghana oder der Demokratischen Republik Kongo (DR Kongo) sind dem Quecksilber häufig direkt ausgesetzt (Buderath et al. 2021, S. 26). Dadurch kann es zu einer Verletzung von Menschenrechten wie dem Recht auf Schutz der Gesundheit, dem Recht auf Zugang zu sauberem Trinkwasser und dem Recht auf Nahrung kommen.
- ▶ **Beispiel zu Rohstoff „Zinn“:** Beim Abbau von Zinnseifen im Meer kann es zur Schädigung von Küstenökosystemen kommen. Die durch den Abbau und den Abraum freigesetzten Schwebstoffe können sich über eine Fläche von mehr als 5.000 km² verteilen und ganze Ökosysteme wie Riffe oder Mangrovegebiete abtöten. Berichte über solche Umweltschäden durch Zinnabbau im Meer gibt es u. a. aus Indonesien (Elsner et al. 2014). Durch die Eingriffe in die maritimen Ökosysteme können sich die Fischbestände so stark reduzieren, dass Fischerinnen und Fischer auf andere Gebiete ausweichen müssen oder ihre Einkommensquelle verlieren (Buderath et al. 2021). Dadurch kann es zu einer Verletzung von Menschenrechten wie dem Recht auf Nahrung, dem Recht auf einen angemessenen Lebensstandard oder der Rechte indigener Völker kommen.
- ▶ **Beispiel zu „Herstellung von Halbleiterchips“:** Durch den Einsatz zahlreicher Chemikalien und Reinstwasser entstehen bei der Produktion von (Halbleiter-)Chips große Mengen an Abwasser, welches potenziell umwelt- und gesundheitsschädliche Verunreinigung wie Lösungsmittel, Arsen, Antimon, Säuren, Laugen, Salze, Eisenoxidpartikel und andere organische und anorganische Verbindungen enthalten kann (Shen et al. 2018, S. 1; ENCORE 2023). Bei den Ätzverfahren und der Reinigung von Wafern kommen in Fertigungsanlagen (sogenannten „Fabs“) große Mengen an Säuren, insbesondere Flusssäure zum Einsatz. Abfalllösungen aus Flusssäure machen über 40 % der in der Halbleiterindustrie anfallenden gefährlichen Stoffe aus. Überschüssige Flusssäure kann bei Menschen Knochenerkrankungen und Zahnflecken verursachen (Shen et al. 2018, S. 2). In San Jose, USA, wurde Anfang der 1980er-Jahre durch ein Leck in einem Lagertank für Abfalllösungsmittel eines Fabs der Firma Fairchild Semiconductor Copr. großflächig Boden und Grundwasser durch flüchtige

organische Verbindungen (VOCs) belastet (Shen et al. 2018, S. 2). Es besteht die Gefahr, dass aufgrund der negativen Umweltauswirkungen Menschenrechte wie das Recht auf Zugang zu sauberem Trinkwasser, das Recht auf Nahrung sowie das Recht auf Schutz der Gesundheit verletzt werden.

Weitere mögliche Zusammenhänge von negativen umweltbezogenen und menschenrechtlichen Auswirkungen sind exemplarisch direkt in den folgenden Kapiteln aufgeführt. Die Analysen sollen Unternehmen eine (erste) Orientierung dazu geben, welche Umweltthemen (im Zusammenhang mit Menschenrechtsthemen) auch in einer unternehmensspezifischen Risikoanalyse relevant sein können. Sie erheben nicht den Anspruch auf eine vollständige und vertiefte Abbildung aller umweltbezogenen Risiken in der Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie.

4.2 Beschreibung der Technologie und Wertschöpfungskette

Der weltweite Markt für Halbleiterchips erwirtschaftete im Jahr 2021 einen Umsatz von rund 555,9 Mrd. US-Dollar, wovon der größte Anteil (46 %) auf Halbleiterunternehmen mit Hauptsitz in den USA entfiel (gefolgt von Südkorea mit 19 %, Japan und Europa mit je 9 %, Taiwan mit 8 % und China mit 7 %) (SIA 2022, S. 16-20). Auch von den 15 größten Halbleiterunternehmen der Welt, gemessen am Umsatz, hatten 2019 sechs ihren Hauptsitz in den USA (darunter Intel, Micron Technology, Broadcom, Qualcomm, Texas Instruments und Nvidia). Nicht alle Halbleiterunternehmen betreiben auch eigene Fabs, sondern sind von internationalen Zulieferern abhängig. Die weltweiten Produktionskapazitäten von Halbleiterchips konzentrieren sich vielmehr in Ostasien (Platzer et al. 2020, S. 7). 2019 entfielen zwei Drittel der globalen Produktionskapazitäten von Halbleiterchips auf Südkorea (28 %), Taiwan (22 %) und Japan (16 %). Es folgten China (12 %), Nordamerika (hauptsächlich die USA; 11 %) und schließlich Europa (3 %) sowie der Rest der Welt (7 %) (Platzer et al. 2020, S. 18). Das weltweit größte Fab wird vom taiwanischen Konzern Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) betrieben (Platzer et al. 2020, S. 14) (siehe dazu Kapitel 4.4, Tabelle 9).

Halbleiterchips können zahlreiche verschiedene Funktionen in unterschiedlichen elektronischen Geräten erfüllen. Grob lassen sie sich in vier Kategorien aufteilen: Mikroprozessoren und Logikbausteine, Speicher, Analog- und Optoelektronik, Sensoren und diskrete Bauteile. In bestimmten Fabs werden auch Halbleiterchips für spezifische Anwendungen gezielt hergestellt, (Platzer et al. 2020, S. 8) gemessen am Umsatz machen jedoch Mikroprozessoren und Logikbausteine sowie Speicher den größten Anteil aus (zwei Drittel des weltweiten Umsatzes) (WSC 2012).

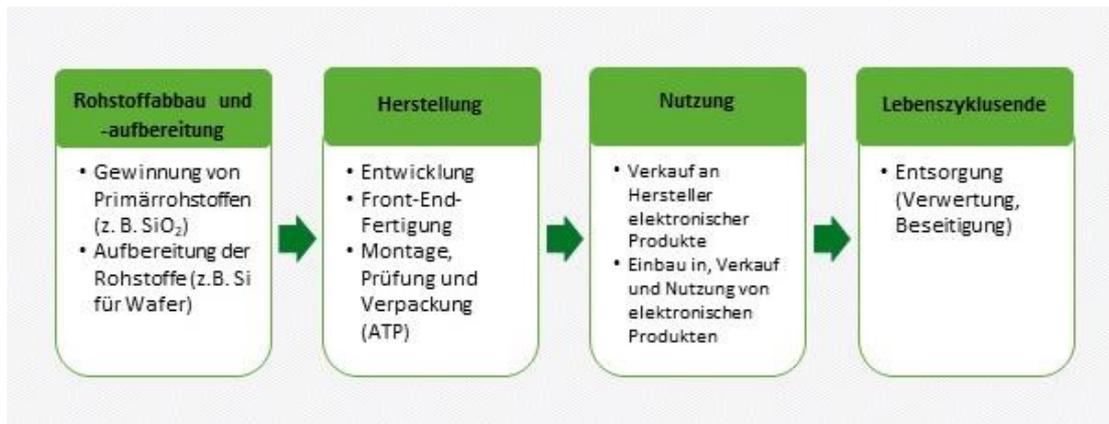
Die Leistung und Weiterentwicklung moderner Halbleiterchips wird anhand zweier Kerngrößen beschrieben: der Strukturbreite und der Größe des Wafers. Je kleiner die Strukturbreite, desto dichter können Transistoren und andere Elemente auf dem Wafer angebracht werden (Benz 2013). Damit erhöht sich die Leistungsfähigkeit des Chips. Die Strukturbreite wird in Nanometern (nm) angegeben. Der Großteil der 2019 produzierten Halbleiterchips lag im Bereich 14 nm und 10 nm; ein paar Hersteller produzierten auch bereits 7-nm- und 5-nm-Chips mit dem Ziel einer Reduktion der Strukturbreite auf 2 nm bis 1 nm (Platzer et al. 2020, S. 4). Parallel zur Verkleinerung der Strukturbreite wird seit Jahren an einer Vergrößerung der Wafer-Oberfläche gearbeitet. Bei den Wafers moderner Halbleiterchips handelt es sich in der Regel um dünne Scheiben aus reinem Silizium. Je größer die Oberfläche des Wafers, desto mehr Chips können daraus in einem Arbeitsschritt hergestellt werden und desto effizienter verläuft die Produktion.

Die größten Wafer, die derzeit im Einsatz sind, haben einen Durchmesser von 30 cm (Platzer et al. 2020, S. 4).

Gliederung der Wertschöpfungskette(n)

Der Lebenszyklus eines Halbleiterchips lässt sich grundsätzlich in vier Schritte gliedern (Abbildung 19).

Abbildung 19: Überblick über den Lebenszyklus eines Halbleiterchips



Quelle: Eigene Darstellung, adelphi. In Anlehnung an Platzer et al. (2020).

Zunächst erfolgen der Abbau und die Aufbereitung der Rohstoffe. Silizium wird aus Quarzsand gewonnen, welcher zu großen Teilen aus Siliziumdioxid (SiO_2) besteht. Das Siliziumdioxid wird anschließend in Lichtbogenöfen zu Rohsilizium (Si) reduziert, wobei zusätzlich durch Hinzugabe von Salzsäure und Destillation eine Reinheit von annähernd 100 % erreicht wird. Im Anschluss wird aus dem flüssigen Rohsilizium ein Monokristall hergestellt, von dem dünne Scheiben als Wafer für die Produktion von Halbleiterchips abgeschnitten werden können. In China werden jährlich knapp 10 Mio. t Silizium produziert, womit das Land an der weltweiten Spitze steht. U. a. aufgrund der hohen Anforderungen an die Reinheit des Siliziums ist der Prozess der Wafer-Herstellung sehr energieintensiv. Zudem kommen potentiell umwelt- und gesundheitsschädliche Chemikalien wie Wasserstoffperoxid, Salzsäure, Flußsäure oder Trichlorsilan zum Einsatz. Für einige Produktionsschritte muss ein Hochvakuum oder eine schützende Edelgasatmosphäre erzeugt werden (Benz 2013). Die Prozesse der Rohstoffgewinnung und -veredelung weiterer Rohstoffe (Kupfer, Gold, Zinn) und damit verbundene Risiken von negativen Umweltauswirkungen werden im anschließenden Kapitel 4.3 ausführlich beleuchtet.

Der anschließende Herstellungsprozess beginnt bereits mit der Entwicklung, bei der Unternehmen die Spezifikationen des Chips für die genauen Bedürfnisse von Kundinnen und Kunden oder von neuen Produkten entwerfen. Im nachfolgenden Schritt, der Front-End-Fertigung, werden in Fabs durch das Ätzen mikroskopisch kleiner elektronischer Schaltungen auf den Wafern und das Anbringen von Kupferschichten zur Verbindung der Transistoren die Halbleiterchips hergestellt (Benz 2013) (weitere Details in Kapitel 4.4).

Im letzten Herstellungsschritt, der Montage, Prüfung und Verpackung (engl. back-end assembly, testing, and packaging, ATP), werden Schutzschichten (u. a. aus Gold, siehe Kapitel 4.4) und die Kontaktflächen mit Lotkugeln aus Zinn angebracht. Die Elemente werden auf ihre Qualität hin überprüft, der Wafer wird in einzelne Halbleiterchips zerteilt und mit Kunststoff umhüllt (Benz 2013). Manche Unternehmen führen alle Herstellungsschritte selbst durch (sogenannte integrierte Bauelementehersteller, eng. Integrated Device Manufacturer (IDM)), viele

Halbleiterunternehmen haben jedoch die Fertigung und Montage an Auftragnehmer ausgelagert und konzentrieren sich auf die Entwicklung von Chips (sogenannte „Fabless Firms“). Während viele der weltweit umsatzstärksten „Fabless Firms“ aus den USA stammen (Platzer et al. 2020, S. 11-12), sind sowohl die Hersteller von Chips als auch die Zulieferer von Anlagen, Werkzeugen, Software und Silizium-Wafern („Contract Foundries“) größtenteils in Ostasien ansässig (überwiegend Taiwan). Da der letzte Herstellungsschritt, die Montage, Prüfung und Verpackung, sehr arbeitsintensiv ist, findet er oftmals in Ländern mit niedrigem Lohnniveau wie Malaysia, Vietnam und den Philippinen statt („Outsourced ATP“) (Platzer et al. 2020, S. 17).

Die fertigen Halbleiterchips werden im Anschluss an die Hersteller elektronischer Produkte verkauft. Etwa 60 % der globalen Nachfrage nach Halbleiterchips kamen 2020 aus China, wo sich auch ein großer Anteil der globalen Produktion von Unterhaltungs-/Verbraucherelektronik konzentriert (Platzer et al. 2020, S. 25). 2021 war der weltweit größte Absatzmarkt für Halbleiterchips die Herstellung von Computern (31,5 %), gefolgt von Kommunikationsgeräten (Smartphones etc.) (30,7 %), der Automobilindustrie (12,4 %), Unterhaltungselektronik (12,3 %) und anderen Industriebranchen (12,0 %). Etwa 1 % der globalen Nachfrage kam direkt von Regierungseinrichtungen (SIA 2022, S. 19).

4.3 Rohstoffabbau, -aufbereitung und -veredelung

4.3.1 Rohstoff Kupfer

Kupfer ist nach Eisen und Aluminium der mengenmäßig meistgeförderte metallische Rohstoff. Die International Copper Study Group (ICSG) sagt für 2023 eine globale Nachfrage von etwa 26 Mio. t voraus, das wäre ein Anstieg von 2,8 % im Vergleich zum Vorjahr (ICSG 2022). Im Jahr 2021 wurden über 1 Mio. t Kupfer nach Deutschland eingeführt. Deutschland ist damit der größte europäische Verbraucher und der drittgrößte weltweit, hinter China (14 Mio. t) und den USA (1,7 Mio. t) (Bookhagen et al. 2022, S. 44). Die Raffinade-Produktion ist deutlich höher als die Minenförderung, weil viel Kupfer recycelt wird (Rapp und Réthy-Jensen 2022, S. 16). Sekundäres Kupfer macht in der Kupfer-Raffinade-Produktion weltweit 17 %, in Deutschland 41 % aus (Gilsbach 2020, S. 3-7). Aufgrund der guten Leitfähigkeit kommt Kupfer in großen Mengen und in zahlreichen Funktionen in der Elektronikindustrie zum Einsatz. Gemäß der Metallstatistik der Wirtschaftsvereinigung Metalle besitzt der Elektroniksektor einen Anteil von 57 % an den Hauptverwendungsgebieten von Kupfer insbesondere durch Kabel, Leitungen, Draht, Steckverbinder, Transformatoren, Leiterplatten und Batterien (WVMetalle 2021, S. 12). Bei der Produktion von (Halbleiter-)Chips wird Kupfer v. a. für Leiterbahnen zwischen den verschiedenen Transistoren genutzt (Benz 2013).

Kupfer – Anwendungsbeispiel Kabel

Wichtigster Anwendungsbereich von Kupfer in der Elektronikindustrie sind Kabel (Gilsbach 2020, S. 3). Kabel dienen in elektrischen Systemen und Bauteilen der Übertragung elektrischer Leistung oder Signale (Katzier 2015, S. 177). Die Herstellung von Kabeln ist geografisch durch Asien, insb. China, dominiert. Von den insgesamt etwa 8.000 Kabelherstellern weltweit sind nach Schätzungen zwischen 4.000 und 6.000 in China angesiedelt. Aufgrund der vielseitigen Anwendungsbereiche ist der Markt für Kabelprodukte stark diversifiziert und einzelne Produktionsstandorte stellen oftmals verschiedenste Kabelarten her (Aupetit 2021, S. 1).

Neben Kupfer und Kupferlegierungen werden je nach Anforderungen an die Eigenschaften des Kabels (etwa die elektrische Leitfähigkeit) metallische Werkstoffe wie Aluminium, Aldrey, Silber, Nickel, Gold, Zinn, Zink, Stahl, Blei, Eisen, Bronze oder Messing in Kabeln verwendet. Zudem

kommen Kunststoffe zur Isolierung zum Einsatz (Katzier 2015, S. 68-69). Abbau und Aufbereitung der verschiedenen metallischen Rohstoffe können mit hohen Risiken von negativen Umweltauswirkungen einhergehen. Auch die Herstellung von Kunststoffen ist mit zahlreichen umweltbezogenen Risiken verbunden.

Risiken von (potenziellen) negativen Umweltauswirkungen sowie Gesundheitsschädigungen für Arbeiterinnen und Arbeiter oder Anwohnende während des Herstellungsprozesses von Kabeln bestehen vor allem aufgrund des Einsatzes von Materialien wie Blei, Flammschutzmitteln, Antimonverbindungen, Cadmium, Zink, PVC, Vinylchlorid, Chlorwasserstoff und Dioxin. Viele dieser Stoffe sind toxisch, bioakkumulierend und/oder persistent und können bei (unkontrollierter) Freisetzung Umwelt und Menschen ab bestimmten Konzentrationen schädigen (Toxics Use Reduction Institute 2002, S. 26).

Auch in der Nutzungsphase des Kabels bestehen Risiken von negativen Umweltauswirkungen, wenn die Materialqualität aufgrund mangelnder Prüfung oder langer Nutzungsdauer nachlässt und sich dadurch die Gefahr von Kabelbränden erhöht. Bei Kabeln wird aufgrund der guten Recycelbarkeit und Haltbarkeit oftmals noch PVC als Isolierungs- und Ummantelungsmaterial genutzt. Verbrennt PVC, entsteht dichter Rauch und es werden korrosive Gase freigesetzt, welche stark gesundheitsschädigend wirken können.

Während die Kupferkomponenten von Kabeln in der Regel gut recycelt und wiedergewonnen werden können, werden die Kunststoffbestandteile oftmals auf Deponien und Verbrennungsanlagen entsorgt, was zu Flächennutzung, Boden- und Luftverschmutzung führen kann (BASEC 2019). Zudem enthalten viele Kabel bromhaltige Flammschutzmittel (BFR). Da das Recycling von BFR-haltigen Kunststoffen sehr kostspielig ist, werden diese Kunststoffe zumeist unter kontrollierten Bedingungen verbrannt, um die Freisetzung von Dioxinen und Furanen zu vermeiden. Erfolgt die Verbrennung jedoch nicht sachgemäß, können diese Stoffe sich negativ auf Umwelt und Gesundheit auswirken. In der EU sind bromhaltige Flammschutzmittel wie polybromierte Diphenylether (PBDE) und polybromierte Biphenyle (PBB) verboten, da sie persistent, bioakkumulierend und toxisch sind und zu Nierenschäden, Hauterkrankungen und Schädigungen des Nerven- und Immunsystems führen können (Forti et al. 2020, S. 60).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Porphyrische und damit assoziierte Kupferskarn-Lagerstätten, deren hydrothermale Entstehung im Zusammenhang mit Vulkanismus steht, stellen zurzeit für etwa 60 bis 70 % der Weltkupferproduktion bereit. Sie sind z. B. als große Lagerstätten in Chile oder Peru vorhanden, während sedimentäre Kupferlagerstätten z. B. in der DR Kongo vorkommen (Gilsbach 2020, S. 4). Die führenden Länder in der Kupferraffinade sind China, Chile und Japan. Einige dieser Länder erhalten niedrige (Umwelt-)Governance-Werte (siehe Tabelle 6) und weisen damit eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit für die mit diesen Wertschöpfungsschritten verbundenen Risiken von negativen Umweltauswirkungen auf.

Tabelle 6: (Umwelt-) Governancekontext – Kupfer

	Hauptproduktionsländer	EPI (Yale University)	Durchschnittswert der WGI (Weltbank)
Kupferabbau	Chile	46,7	0,75
	Peru	39,8	-0,26
	China	28,4	-0,25
	USA	51,1	1,03
	DR Kongo	36,9	-1,54
Kupfer- raffinade	China	28,4	-0,25
	Chile	46,7	0,75
	Japan	57,2	1,34

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5¹⁵

Quelle: Eigene Darstellung, adelphi. Basierend auf EPI (2022) und WGI (2022).

Der Abbau und die Verhüttung und Raffinade von Kupfer sind mit einer Reihe von Risiken von hohen negativen Umweltauswirkungen verbunden, wobei technische Maßnahmen einen starken Einfluss auf das Risiko haben können. So können in den Kupferhütten moderne Abscheideeinrichtungen über 99 % der SO₂-Emissionen auffangen, welche dann zur Herstellung von Schwefelsäure genutzt werden (Gilsbach 2020, S. 2).

Risiko	Umweltthemen
	Treibhausgase: Abbau und Aufbereitung von Kupfererzen verbrauchen viel Energie, was je nach Energiequelle zu hohen Treibhausgas-Emissionen führen kann. Das Kupferbergwerk Cerro Verde ist z. B. für 9 % des gesamten peruanischen Energieverbrauchs verantwortlich (Gilsbach 2020, S. 10). Fossile Energieträger stellen in Peru die Hauptenergiequelle dar (IEA 2021).
	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, was zur Erschöpfung von Grundwasserleitern führt und zu einer erhöhten Intensität und/oder Häufigkeit von Dürren beitragen kann (ENCORE 2023). Der hohe Wasserverbrauch kann in Gebieten mit

¹⁵ 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>Wasserstress zu Konflikten mit der lokal ansässigen Bevölkerung führen, wie z. B. in Peru (Gilsbach 2020, S. 12).</p> <p>Fläche: Der Tagebau ist flächenintensiv, und durch den geringen Kupfergehalt im Erz entstehen große Halden. Größere Bergwerke inklusive Infrastruktur können leicht eine Fläche von mehr als 30 km² umfassen (Gilsbach 2020, S. 8). Es wird geschätzt, dass global über 4.000 km² Fläche direkt durch den Kupferbergbau beansprucht werden, wobei jährliche neue Flächen hinzukommen (Murguía 2015). Die Flächeninanspruchnahme wirkt sich auf die lokale Biodiversität aus, insbesondere in Abbaugebieten mit hoher Biodiversität wie tropische Regionen, die diesbezüglich hohe Risiken von negativen Auswirkungen haben (Gilsbach 2020, S. 8).</p>
	<p>Luftschadstoffe: Bei der Röstung der Kupfererze wird oftmals SO₂ freigesetzt, wenn es nicht sachgemäß aufgefangen wird (Gilsbach 2020, S. 14). SO₂ kann Pflanzen schädigen und nach Ablagerung in Ökosystemen Versauerung von Böden und Gewässern bewirken. Bei Menschen können Gesundheitsprobleme wie Augenreizungen und Atemwegsprobleme hervorrufen werden (UBA 2021a).</p>
	<p>Wassergefährdende Stoffe: Von den Reststoffen des Abbaus geht eine Gefahr des Schadstoffaustrags von Schwermetallen (z. B. Blei, Zink) und Metalloiden (Arsen, Antimon) aus, wobei 70 % des Austrags ins Wasser eingehen (Gilsbach 2020, 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 2023). Auch entstehender Säurenebel und Abregnungen führen zu hohen Risiken der Kontamination von Boden, Flora und Fauna. Die Bildung saurer Grubenwässer im Kupferbergbau ist weit verbreitet (Gilsbach 2020, S. 10).</p>
	<p>Abfälle: Durch den relativ geringen Kupfergehalt im Erz fallen große Mengen an Reststoffen an (insbesondere die durch die Flotation anfallenden 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 1 t 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 (ebd., S. 6).</p>
	<p>Sonstige Umweltthemen</p>

4.3.2 Rohstoff Gold

Die globale Nachfrage nach Gold betrug 2022 insgesamt 4.731 t (World Gold Council 2023). Die größte Verwendung findet Gold in Schmuck (Stand 2021: 46 %), gefolgt von der Verarbeitung zu Goldbarren oder -münzen (Stand 2021: 39 %) (Schütte 2022, S. 3). Von der weltweiten Goldnachfrage entfielen zwischen 2010 und 2021 durchschnittlich 6 % auf die Elektronikindustrie (Schütte 2022, S. 3). Zwischen 2017 und 2022 wurden etwa 260 t Gold pro

Jahr in elektronischen Produkten verbaut (ebd.). In Deutschland ist die Elektronikindustrie damit unter den Industriesektoren der wichtigste Abnehmer von Gold, gefolgt von dem Dental- und Medizinsektor, welcher einen jährlichen Goldbedarf von etwa 30 t hat (Gronwald 2019, S. 14). In der Elektronikindustrie wird der Rohstoff u. a. bei der Produktion von Leiterplatten, Schaltkontakten, Handys (ca. 0,02 Gramm/Smartphone) und Laptops (ca. 0,2 Gramm/Laptop) genutzt, da das Metall eine hohe Resistenz gegen Korrosion und gute Leiteigenschaften aufweist (Schütte 2022, S. 12; DERA 2019.).

Gold kommt in verschiedenen Lagerstättentypen vor und der Abbau ist aufgrund des hohen Preises bereits ab geringen Erzgehalten rentabel, weshalb die Landschaft von Abbaustätten sehr divers ist (Schütte 2022, S. 4). Bei der bergbaulichen Gewinnung von Primärgold wird zwischen sogenanntem Berggold und Waschgold unterschieden. Berggold muss in Form von Goldpartikeln aus dem Gestein extrahiert werden (zumeist mit Zyanid-Laugung¹⁶) und wird im Anschluss in einer Goldscheideanstalt raffiniert (Stähr und Schütte 2016, S. 3). Der Extraktionsprozess ist sehr aufwändig und wird deswegen größtenteils von großen Goldfirmen wie Barrick Gold Corp. aus Kanada (4,9 % der weltweiten Goldförderung) oder Newmont Mining Corp. aus den USA (4,5 % der weltweiten Goldförderung) in Bergwerken praktiziert (Bastian et al. 2019). Zwischen 2016 und 2020 wurden im industriellen Goldbergbau jährlich 3.200 bis 3.500 t Gold gewonnen, was den Großteil der globalen Produktion darstellt (Schütte 2022, S. 5). In einem deutlich geringeren Umfang wird im Kleinbergbau Berggold aus oberflächlichem Festgestein manuell gefördert (sowohl über Tage als auch unter Tage). Bei der Berggolddförderung aus Groß- sowie Kleinbergbau oder durch natürliche Verwitterung und Erosion kann Gestein in Flüsse gelangen und somit ins Umland von Berggold-Minen abgetragen werden (DERA 2019). Die dadurch entstehenden sogenannten Seifenlagerstätten ermöglichen den Abbau von Waschgold (Schütte 2022, S. 5). Sowohl bei Waschgold als auch bei Gold aus Festgestein wird im Kleinbergbau zumeist Quecksilber genutzt, um das Gestein aufzuarbeiten und das darin enthaltene Gold von weiteren Begleitmineralien zu trennen¹⁷. Von der Goldgewinnung im Kleinbergbau sind weltweit etwa 10 bis 20 Mio. Menschen abhängig (DERA 2019). In der nachgelagerten Lieferkette entstehen in Goldscheideanstalten Zwischenprodukte wie beispielsweise Goldbarren, Münzen und Granulate. In der Elektronikindustrie kommt das Metall oft zur Vergoldung von Produktionsteilen in sogenannten galvanischen Bädern zum Einsatz, um die Leitfähigkeit und den Korrosionsschutz der Bauteile und Komponenten zu erhöhen (Schütte 2022, S. 11).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

2022 wurden weltweit 3.100 t Primärgold industriell gefördert. Unter den Top 5 Förderländern waren China (330 t), Russland (320 t), Australien (320 t) und Kanada (220 t) (U.S. Geological Survey 2023b). Aufgrund der vorherrschenden Intransparenz in dem oftmals informell organisierten Sektor kann die Menge des im Kleinbergbau geförderten Goldes nur geschätzt werden (Schätzung 2017: 20 bis 30 % der Primärgolddförderung (Gronwald 2019)). Fest steht

¹⁶ Eine der wichtigsten Aufbereitungschemikalien im industriellen Goldbergbau ist die Zyanid-Laugung. Dafür wird das Roherz zunächst gemahlen, ggf. auf dem Gelände der Goldmine gelagert und vor Ort in offenen Rückhaltebecken oder geschlossenen Tanks mit Wasser und Zyanidsalz vermischt. Dabei trennt sich das Gold von nicht gewünschten Gesteinsbestandteilen. (Rettet den Regenwald e.V. 2023)

¹⁷ Im Kleinbergbau erfolgt das Lösen des Goldes im Gestein von nicht brauchbaren Bestandteilen häufig mithilfe einer Gold-Quecksilber-Amalgamierung. Um das Gold vom Quecksilber zu trennen, wird das Amalgam erhitzt und ein Großteil des Quecksilbers verdampft. Das restliche Quecksilber wird entweder für weitere Amalgamierungen aufbewahrt oder entsorgt. Es entstehen 37,7 % der menschengemachten Quecksilberemissionen durch den Kleinbergbau von Gold (U.S. Geological Survey 2023a, S. 117).

jedoch, dass sich der Kleinbergbau aufgrund der hohen Goldpreise in den letzten Jahren ausgeweitet hat und bereits in 70 bis 80 Ländern nachgewiesen wurde. Länder mit den größten Goldfördermengen aus dem Kleinbergbau sind Indonesien, Sudan, China, Ghana und Peru (Schütte 2022, S. 7).

China und Russland erhalten als führende Länder beim industriellen Abbau von Primärgold eher niedrige (Umwelt-)Governance-Werte. Auch unter den wichtigsten Ländern, in denen Gold im Kleinbergbau gewonnen wird, sind viele Länder mit niedrigen (Umwelt-)Governance-Werten vertreten (siehe Tabelle 7); sie weisen damit eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit für die mit diesen Wertschöpfungsschritten verbundenen Risiken von negativen Umweltauswirkungen auf. Ein wesentlicher Grund für das erhöhte Risiko negativer Umwelt- und Menschenrechtsauswirkungen im Kleinbergbau ist die Informalität des Sektors und die damit verbundene geringere Überwachung und geordnete Schließung von Abbaustätten (World Gold Council 2022).

Tabelle 7: (Umwelt-)Governancekontext – Gold

	Hauptproduktionsländer	EPI (Yale University)	Durchschnittswert der WGI (Weltbank)
Abbau von Primärgold (industrielle Förderung)	China	28,4	-0,25
	Russland	37,5	-0,70
	Australien	60,1	1,50
	Kanada	50,0	1,48
	USA	51,1	1,03
Abbau von Primärgold (Kleinbergbau)	Indonesien	28,2	-0,05
	Sudan	27,6	-1,50
	China	28,4	-0,25
	Ghana	27,7	0,00
	Peru	39,8	-0,26

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5¹⁸

Quelle: Eigene Darstellung, adelphi. Basierend auf EPI (2022) und WGI (2022).

Trotz der im Vergleich zu anderen metallischen Rohstoffen wie Kupfer geringen mengenmäßigen Förderung gehen mit der Gewinnung und Weiterverarbeitung von Gold relevante Risiken von negativen Umweltauswirkungen einher. Dies liegt vor allem an den sehr geringen Erzgehalten der Goldförderung, welche sich im Gramm-pro-Tonne-Bereich befinden. So wird das aggregierte Umweltgefährdungspotenzial für Gold in der ÖkoRes-II-Studie unabhängig von der Fördermenge rein qualitativ als hoch eingeschätzt (Dehoust et al. 2020). Insbesondere im Kleinbergbau können negative umweltbezogene Auswirkungen auch mit Verletzungen von Menschenrechten im Zusammenhang stehen (Buderath et al. 2021, S. 22).

¹⁸ 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).

In Bezug auf die gesamte Elektronikbranche ist zu beachten, dass Gold in sehr viel geringeren Mengen als z. B. Kupfer verwendet wird (siehe Kapitel 4.3.1). Da Gold jedoch mit hohen Umweltrisiken verbunden ist, sollten auch Unternehmen mit vergleichsweise geringem Goldverbrauch eine individuelle Risikoanalyse für Gold durchführen.

Risiko	Umweltthemen
	<p>Treibhausgase: Insgesamt werden die spezifischen Treibhausgas-Emissionen verglichen zu Kupfer oder Kobalt als sehr hoch eingeschätzt (The Dragonfly Initiative 2018, S. 38). Aufgrund verschiedener Rechenmethoden von Bergwerken und Institutionen schwanken die Angaben zu jährlichen Treibhausgas-Emissionen jedoch stark. So werden bei der Scope¹⁹ 1 und 2 Betrachtung (World Gold Council 2019, S. 7) von Primärgold aus industriellen Bergwerken des Unternehmens Wood MacKenzie für das Jahr 2019 55.000 t CO₂-eq pro Tonne Gold (Wood Mackenzie 2021) und vom World Gold Council für das Jahr 2018 32.689 t CO₂-eq pro Tonne Gold (World Gold Council, 2019 S. 8) angegeben. Verlässliche Daten zu Treibhausgasemissionen im Kleinbergbau sind nicht verfügbar (ebd., S. 7). Neben CO₂-Emissionen kann es dazu kommen, dass während des Gold-Abbaus bestimmte oxidative und schwefelhaltige Bedingungen zu Methanausstoß führen (ENCORE 2023).</p>
	<p>Wasser: Beim Abbau von Berggold werden große Mengen an Wasser benötigt, insbesondere für die Kühlung von Maschinen und die Beseitigung von Staubaufwirbelungen bei Sprengungen (ENCORE 2023). Der hohe Wasserverbrauch kann zur Senkung des Grundwasserspiegels und einer geringeren Wasserverfügbarkeit für die lokale Bevölkerung führen (Buderath et al. 2021, S. 24). Besonders im Kleinbergbau kann dies zu Konflikten mit angrenzenden Gemeinschaften führen (Hütz-Adams et al. 2012). Des Weiteren wird viel Wasser für den Aufbereitungsprozess der Zyanid-Laugung benötigt (ebd.). Insgesamt wird im industriellen Goldbergbau ein Wasserverbrauch von 700 000 l Wasser pro 1 kg Gold geschätzt (Abbau und Aufbereitung) (Schütte 2022, S. 12).</p>
	<p>Fläche: Der Goldbergbau ist sehr flächenintensiv, insbesondere aufgrund der Infrastruktur wie Zugangsstraßen, Stromzufuhr und Mitarbeitergebäude, die rund um Minen errichtet wird. Zusätzlich kommt die Lagerung von Aufbereitungsabgängen und Abraum, welche im industriellen Goldbergbau etwa dreimal so viel Fläche wie der eigentliche Tagebau beansprucht. Zwischen 2000 und 2017 wurden weltweit schätzungsweise 11 400 km² Land für den industriellen Goldabbau genutzt. Durchschnittlich werden somit für 1 Mio. t Golderz 6,7 Hektar Fläche benötigt (Schütte 2022, S. 13). Der Bedarf an Fläche geht mit der Rodung von Waldflächen einher, die abhängig von der gerodeten Fläche und der vorhandenen Artenvielfalt negative Auswirkungen auf die Biodiversität nach sich zieht. Während im industriellen Bergbau häufig behördliche Genehmigungen mit Renaturierungsaufgaben einhergehen, sind die Rodungen im Kleinbergbau zumeist unkontrolliert. Aufgrund des Schutzes und der Unzugänglichkeit von tropischen Wäldern sind illegale Waldrodungen im Kleinbergbau</p>

¹⁹ Die Emissions-Kategorien (Scopes) nach dem Greenhouse Gas Protocol umfassen Scope 1 (Emissionen aus Quellen, die im Besitz oder Geltungsbereich des Unternehmens sind), Scope 2 (Emissionen aus der Nutzung der Energie, die ein Unternehmen einkauft) und Scope 3 (Emissionen, die aus Aktivitäten resultieren, die nicht direkt zum Unternehmen gehören) (Wbcsd, W. R. I., 2004).

besonders in Regenwäldern mit hoher Biodiversität zu beobachten, z. B. in Kolumbien, Peru und Brasilien (The Dragonfly Initiative 2018).

Des Weiteren geht der Bedarf an Fläche mit dem Einsatz von schweren Maschinen und Sprengstoffen einher, was zu Bränden, Bewegung von Bodenmaterial (Gefahr von Bodenerosionen) und weiteren negativen Auswirkungen auf Flora und Fauna führen kann (ENCORE 2023). Diese Auswirkungen sind aufgrund der im Kleinbergbau genutzten rudimentärer Technik besonders hoch (Gronwald 2019).



Luftschadstoffe: Etwa 40 % des benutzten Quecksilbers entweichen bei dem Prozess der Gold-Quecksilber-Amalgamierung im Kleinbergbau in die Luft (Hütz-Adams et al. 2012). Die giftigen Dämpfe führen u. a. zu trockenen Kehlen, Übelkeit und zur Schädigung an Augen bei Menschen (The Dragonfly Initiative 2018). Beim Aufbereitungsprozess von Gold im industriellen Bergbau kann Zyanid verdampfen und sich in giftigen Staub umwandeln und verbreiten. Daraus entstehen Gesundheitsgefährdungen für die Arbeitenden und umliegende Gemeinden (ENCORE 2023). Bei Extraktionsverfahren wird beim Goldabbau aufgrund der Sprengungen Feinstaub freigesetzt, der Flora und Fauna verschmutzen kann (Buderath et al. 2021; ENCORE 2023). Des Weiteren ist die hohe Staubbelastung besonders unter Tage gesundheitsschädlich für Minenarbeiterinnen und -arbeiter (Hütz-Adams et al. 2012). Beim nachgelagerten Goldscheideprozess kommen in Goldscheideanstalten Chemikalien wie Salpetersäure zum Einsatz (Schütte 2022, S. 20). Das führt zu Stickoxyd-Emissionen. Dazu entstehen volatile Spurenelemente wie Blei, Arsen, Selen oder Kadmium, deren Emissionen bei der Überschreitung vorgegebener Grenzwerte gesundheitsgefährdend sein können (ebd.).



Wassergefährdende Stoffe: Etwa 60 % des Quecksilbers gelangen bei der Gold-Quecksilber-Amalgamierung in Gewässer (Hütz-Adams et al. 2012, S. 16). Durch den Verbrennungsprozess kondensiert das Quecksilber in Form von Tröpfchen im unmittelbaren Umland und kontaminiert somit Wasserkreisläufe. Das hat negativen Einfluss auf Pflanzen, Tiere, Menschen und ganze Ökosysteme, da Quecksilber sich in Organismen ablagert (Bioakkumulation) und die Giftstoffe so innerhalb der Nahrungskette weitergegeben werden. Dazu wird das Quecksilber, das nicht verdampft, häufig direkt in Flüsse entsorgt (Welfens et al. 2013). Bei Tieren und Menschen wirkt sich Quecksilber negativ auf das Nerven-, Verdauungs- und Immunsystem aus und wird über die Haut, Atemwege und Nahrung aufgenommen (Verité 2017). Kleinschürferinnen und -schürfer im brasilianischen Amazonas-Gebiet, in Suriname, Tansania, Ghana oder der DR Kongo sind dem Quecksilber häufig direkt ausgesetzt (Buderath et al. 2021, S. 26). Die Zyanid-Lauge ist sehr giftig und kann bei einem Unfall inklusive unkontrollierter Freisetzung zu starken Umwelt- und Gesundheitsrisiken führen, besonders wenn angrenzende Gewässer kontaminiert werden (Schütte 2022, S. 14). Kontaminationsrisiken für die Umwelt verstärken sich, wenn sowohl Quecksilber als auch Zyanid beim Abbau genutzt werden (sogenannter Quecksilber-Zyanid-Komplex). Dies ist vereinzelt im Kleinbergbau zu beobachten (Schütte 2022, S. 16). Im Golderz enthaltene Sulfidminerale können zu sauren Grubengewässern führen. Im Witwatersrand-Gebirge in Südafrika wurden inaktive Goldbergwerke geflutet, wodurch die Grubenwässer mit Kalk- und Dolomitgestein in der Umgebung reagieren. Dadurch entsteht Sulfat, welches das Grundwasser belastet. Neben Sulfat wurden auch signifikante Schwermetallbelastungen gemessen. Allein im Witwatersrand-Gebirge treten täglich geschätzte 350 Mio. l belastete Grubenwässer aus (Schütte 2022, S. 12). Diese kontaminierten sauren Gewässer können Einfluss auf andere

Oberflächengewässer und die kommunale Wasserversorgung haben, besonders wenn Gewässer stark auf pH-Wert-Veränderungen reagieren (ENCORE 2023).



Abfälle: Die Gefahr für die Umwelt durch giftigen Müll von der Goldproduktion wird als sehr hoch eingeschätzt (The Dragonfly Initiative 2018, S. 38). So wird beispielsweise in Peru Abraumaterial in Flüsse eingeleitet, was zur Kontamination von Gewässern, die mehrere hundert Kilometer entfernt sind, führen kann (Rüttinger et al. 2015). Des Weiteren führen die großen Mengen an Abraum zu einer großen Flächennutzung und den damit anfallenden negativen Umwelteinwirkungen.



Sonstige Umweltthemen:

Beim Abbau anfallende Lärmemissionen können negative Auswirkungen auf Tiere im Umland haben (ENCORE 2023).

4.3.3 Rohstoff Zinn

Zinn ist in seiner Funktion als Lötzinn ein zentraler Bestandteil elektronischer Bauteile, u. a. von Leiterplatten. Etwa ein Drittel des in Deutschland verbrauchten Zinns (Raffinadezinn und Sekundärzinn) wird für die Produktion von Lötzinn verwendet (Elsner et al. 2014). Darüber hinaus liefern große ausländische Produzenten Lötzinn nach Deutschland (Elsner et al. 2014). Weltweit wurde im Jahr 2018 fast die Hälfte des abgebauten Zinns für die Lötmittelproduktion (47 %) verwendet (Buderath et al. 2021). Dies macht die Bedeutung der Elektronikbranche als Abnehmer für Zinn deutlich. Außerdem findet Zinn Anwendung in der Chemieindustrie (18 %), aber auch in der Produktion von Weißblech (13 %) und Blei-Säure-Batterien (7 %) sowie in Kupferlegierungen (5 %). Bei der Herstellung von (Halbleiter-)Chips wird Zinn auch genutzt, um die Kupferoberfläche vor Oxidation zu schützen. Dazu werden in der Regel lötbare Schutzschichten angebracht, die aus Zinn oder Zinn-Blei bestehen (Nowotnick 2014). Im letzten Herstellungsschritt der Halbleiter-Produktion werden zudem mit Lotkugeln aus Zinn Kontaktflächen auf den Chips angebracht.²⁰

Zinn wird aus Zinnerzen (Festgestein) oder Zinnseifen (Lockersedimenten) gewonnen (Elsner et al. 2014). Kassiterit wird als bedeutendstes Zinnerz aus Festgestein, dem sogenannten primären Zinnvorkommen, abgebaut. Der Abbau erfolgt in der Regel durch konventionelle Sprengungen und Bohrungen. Je nach Lagerstättentyp erfolgt der Abbau entweder unter Tage entlang der Zinnerzgänge oder bei oberflächennahen Lagerstätten im Tagebau (Elsner et al. 2014). Die Gewinnung von Zinnseifen aus Lockersedimenten (sekundäre Zinnvorkommen), die in relativ dünnen Ablagerungsschichten vorliegen, erfolgt an Land in sogenannten Kiespumpwerken. Diese Pumpwerke liegen häufig entlang noch intakter oder ehemaliger Flussläufe. Zinnseifen können auch auf dem Meer mit Pumpenbaggern abgebaut werden, diese Methode wird vor allem in Indonesien angewandt (Buderath et al. 2021). Nach dem Abbau wird das Zinnerz in Zinnhütten geschmolzen und aus dem Hauptrohstoff Kassiterit zu metallischem Zinn reduziert. Trotz des mehrstufigen Schmelzprozesses ist der Zinngehalt nach der Verhüttung für viele Anwendungen noch zu gering. Daher ist eine weitere Raffination erforderlich, um einen Zinngehalt von mindestens 99 % zu erreichen (Elsner et al. 2014).

²⁰ Andere Anwendungsgebiete von Primärzinn liegen im medizinischen Bereich, bei der Herstellung von Floatglas oder z.B. Orgelpfeifen (Buderath et al. 2021).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Der wichtigste Handelspartner Deutschlands für raffiniertes Zinn ist Indonesien, wo Zinn sowohl gewonnen als auch verhüttet wird. Der zweitwichtigste deutsche Handelspartner für Zinn ist Belgien. Belgien fördert selbst kein Zinn, betreibt aber zwei Zinnschmelzen. Der größte Teil des in den belgischen Hütten verarbeiteten Zinns stammt aus recyceltem zinnhaltigem Schrott (Elsner et al. 2014). Der dritt wichtigste Handelspartner Deutschlands für raffiniertes Zinn sind die Niederlande, wo Zinn weder gewonnen noch verhüttet, sondern nur transportiert wird (Buderath et al. 2021).

Im Gegensatz zur Weiterverarbeitung findet die Zinngewinnung fast ausschließlich außerhalb Europas statt. Aus chinesischen Festgesteinsvorkommen stammten 2018 34,1 % der weltweiten Zinnproduktion. Weitere relevante Förderungen aus primären Zinnvorkommen erfolgten in Myanmar (15,6 %), Peru (5,3 %), Bolivien (4,9 %), der DR Kongo (2,5 %) und Australien (2 %) (Buderath et al. 2021). Die bedeutendsten Fördermengen aus sekundären Zinnvorkommen stammen aus Seifenlagerstätten in Indonesien (23,9 %), Brasilien (4,9 %) und Malaysia (1,1 %).²¹ Zinn wird vor allem in Ländern abgebaut, die mittlere bis niedrige (Umwelt-) Governance-Bewertungen erhalten und damit eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit für die mit diesen Wertschöpfungsschritten verbundenen Risiken von negativen Umweltauswirkungen aufweisen. Aus der DR Kongo sind zudem Fälle bekannt, in denen der Zinnabbau das Einkommen von bewaffneten Gruppen sichert. Deshalb ist Zinn von der EU als „Konfliktmineral“ gelistet und fällt unter die EU-Konfliktmineralienverordnung. Damit unterliegt Zinn strengeren Anforderungen an die Sorgfaltspflicht in der Lieferkette (Vasters und Franken 2020).

Tabelle 8: (Umwelt-)Governancekontext - Zinn

	Hauptproduktionsländer	EPI (Yale University)	Durchschnittswert der WGI (Weltbank)
Zinnförderung aus Festgestein	China	28,4	-0,25
	Myanmar	19,4	-1,46
	Peru	39,8	-0,26
	Bolivien	40,1	-0,72
	DR Kongo	36,9	-1,54
	Australien	60,1	1,50
Zinnförderung aus Seifenlagerstätten	Indonesien	28,2	-0,05
	Brasilien	43,6	-0,26
	Malaysia	35,0	0,40

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

Quelle: Eigene Darstellung, adelphi. Basierend EPI (2022) und WGI (2022).

²¹ Eigene Berechnung aufgrund von Vasters und Franken (2020) mit Daten für das Jahr 2018. Prozentangaben sind auf die erste Nachkommastelle gerundet.

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).

Risiken für das Auftreten negativer umweltbezogener oder menschenrechtlicher Auswirkungen können sich je nach Abbauort und Bergbauverfahren stark unterscheiden. Außerdem unterscheidet sich der industrielle Bergbau von dem artisanalen und Kleinbergbau (engl. artisanal and small-scale mining, ASM), welcher häufig kein Teil des formellen Sektors ist. Der ASM hat einen hohen Anteil an der weltweiten Zinnproduktion, BGR gibt den Anteil mit rund 27 % an (Vasters und Franken 2020), die Raw Material Outlook Plattform geht von einem Anteil von 40 % (RMOP 2023) aus. Dies bedeutet zum einen, dass der Zinnabbau für die wirtschaftliche und soziale Entwicklung in den Abbauländern von besonderer Bedeutung ist. Andererseits ist der informelle Sektor häufig durch schlechte Arbeitsbedingungen, unkontrollierten Abbau und fehlende Renaturierung gekennzeichnet (Elsner et al. 2014). Während die menschenrechtlichen Risiken im industriellen Bergbau und im ASM zum Teil sehr unterschiedlich sind, so ist diese Unterscheidung bei den Umweltauswirkungen nicht eindeutig. Ein Beispiel ist Indonesien, wo in mehreren Gebieten sowohl industrieller Onshore-Seifenbergbau als auch Kleinbergbau betrieben wird. Dort ist es schwieriger, die negativen Umweltauswirkungen der einzelnen Bergbauprojekte voneinander zu trennen (Buderath et al. 2021).

Das aggregierte Umweltgefährdungspotenzial von Zinn wird von der ÖkoRess-II-Studie als „mittel“ eingestuft (Dehoust et al. 2020). Jedoch ergeben sich beim Zinnabbau besonders hohe Risiken dadurch, dass die Regierungsführung in zentralen Abbauländern in Bezug auf Umweltschutz als eher schwach zu bewerten ist.

Risiko	Umwelthemen
	Treibhausgase
	Wasser: Durch die bergbauliche Gewinnung von Zinnerzen kann das Grundwasser verschmutzt oder versandet werden. Dies kann negative Auswirkungen auf den Trinkwasserzugang haben. Teilweise ist die Lebensmittelproduktion bedroht, weil auch die Landwirtschaft sauberes Wasser für den Ackerbau benötigt. Berichte über dieses Risiko gibt es aus asiatischen Ländern (China, Indonesien, Myanmar), sowie südamerikanischen Ländern (Brasilien, Bolivien) (Maplecroft 2017; Elsner et al. 2014). Der Abbau von Zinnerz kann darüber hinaus in trockenen Regionen zu Wasserknappheit führen. In Peru bedroht dies die Lebensgrundlage der lokalen Bevölkerung in der Nähe mehrere Zinnerz-Bergwerke, da außerhalb der Regenzeit nicht genügend Wasser für Viehzucht und Landwirtschaft zur Verfügung steht (Häntsche et al. 2014). Im industriellen Seifenbergbau gibt es bereits Ansätze, das Wasser zur Wiederverwendung zu filtern (Elsner et al. 2014). Solche Systeme sind jedoch nicht flächendeckend etabliert.
	Fläche: Die Gewinnung von Zinnseifen aus Lockersedimenten ist besonders flächenintensiv und erfolgt oft entlang von (ehemaligen) Flussläufen. Durch die Erdumschichtung wird Land irreversibel zerstört oder durch Erosion gefährdet (Elsner et al. 2014). Auch beim Abbau von Zinnseifen im Meer kann es zur Schädigung von Küstenökosystemen kommen. Denn die durch den Abbau und den Abraum freigesetzten Schwebstoffe können sich über eine Fläche von mehr als 5.000 km ² verteilen und ganze Ökosysteme wie Riffe oder Mangrovegebiete abtöten. Berichte über solche Umweltschäden durch Zinnabbau im Meer gibt es u. a. aus Indonesien (Elsner et al. 2014). Durch die Eingriffe in die maritimen Ökosysteme können sich die Fischbestände so stark reduzieren, dass Fischerinnen und Fischer auf andere Gebiete ausweichen müssen oder ihre Einkommensquelle verlieren (Buderath et al. 2021). Der Flächenverbrauch beim Abbau von primären Zinnvorkommen im konventionellen Tagebau ist grundsätzlich nicht so hoch wie beim Abbau von Zinnseifen. Jedoch müssen

Risiko	Umweltthemen
	zusätzlich zu den Betriebsflächen große Außenhalden angelegt werden (Elsner et al. 2014).
	Luftschadstoffe: Der Abbau von primären Zinnvorkommen unter Tage kann zu einer Freisetzung von radioaktivem Radongas führen und die Umwelt belasten (Buderath et al. 2021). Beim sekundären Abbau von Zinnseifen sind in den Zinnvorkonzentraten neben Zinn auch andere Schwerminerale. Diese Schwerminerale sind zum Teil radioaktiv, z.B. Monazit oder Zirkon. Wenn bei der Abtrennung des Zinns die Nebenprodukte nicht ihrer Strahlungseigenschaften entsprechend gelagert oder entsorgt werden, kann dies zu belasteten Schwermineralhalden führen (Elsner et al. 2014). Im Allgemeinen tragen Bergbauaktivitäten durch den Transport zu Feinstaubbelastungen bei, die gesundheitsschädigend für Beschäftigte und Anwohnende sein können (Buderath et al. 2021).
	Wassergefährdende Stoffe: Saures Grubenwasser, welches auf den Abraumhalden oder in stillgelegten Bergwerken durch Oxidation sulfidischer Metalle entstehen kann, ist für die Umwelt gefährlich (Dehoust et al. 2020). Beispielsweise in Peru entstehen regelmäßig Konflikte zwischen der lokalen Bevölkerung und Bergbauunternehmen aufgrund von Wasserverschmutzungen, die den Zugang zu Trinkwasser beeinträchtigen oder zu Ernteeinbußen führen (OCMAL 2018).
	Abfälle: In Indonesien und Myanmar kommt es häufig zu illegalem Nachbergbau. Dabei bauen artisanale Bergleute Restbestände von Zinn in bereits stillgelegten Abbaustätten ab. Anschließend findet in der Regel keine (erneute) Rekultivierung statt (Vasters und Franken 2020). Wenn Abbaustätten nach der Stilllegung nicht wieder naturnah rekultiviert werden, kann sich das ursprüngliche Ökosystem nicht mehr erholen. Außerdem können giftige Schwermetalle oder Chemikalien austreten (Buderath et al. 2021).
	Sonstige Umweltthemen

4.4 Herstellung von Halbleiterchips

Die Herstellung moderner Halbleiterchips ist ein hochpräziser und komplexer Vorgang, der durch die steigenden Anforderungen an die Funktionen der Chips stetig an Komplexität gewinnt. Auf den modernsten Chips sind heute über eine Billion Transistoren enthalten (Platzer et al. 2020, S. 6-9), die in den Fabs auf briefmarkengroße Abschnitte des Wafers angebracht werden (Belton 2021). Die Herstellung erfolgt in sogenannten „Reinräumen“, die über eine Klima- und Feuchtigkeitskontrolle mit Überdruck und Partikelfilterung verfügen, da jede Verunreinigung die Funktionsfähigkeit der Halbleiterbauteile beeinträchtigen kann (Burkacky et al. 2022). Aufgrund der Komplexität und Präzision der Herstellungsprozesse wird jede Verkleinerung bei der Strukturgröße daher auch als ein Übergang zur nächsten Generation von Fertigungstechnologien betrachtet, der mit hohen Investitionen in die Umstellung der Produktion einhergeht (Benz 2013). Schätzungen zufolge kostet der Bau einer neuen Halbleiterfabrik heute mindestens 7 Mrd. USD. Gleichzeitig gehen Branchenexpertinnen

und -experten davon aus, dass die Fabrikationstechnologien schon nach fünf bis sechs Jahren veraltet sind (Platzer et al. 2020, S. 14).

Der Herstellungsprozess eines Halbleiterchips kann je nach Komplexität des Designs bis zu zwei Monate dauern und umfasst über 250 photolithographische und chemische Verarbeitungsschritte (Platzer et al. 2020, S. 16). Entsprechend der Komplexität kommt eine große Werkzeugflotte, bestehend aus Lithographiegeräten, Ionenimplantatoren und Hochtemperaturöfen zum Einsatz. Fabs betreiben zudem oftmals zahlreiche eigene Anlagen zur Abgasreinigung sowie zur Wasserkühlung und -aufbereitung (Burkacky et al. 2022). Chiphersteller kaufen i. d. R. Silizium-Wafer von Zulieferern ein, auf denen dann im ersten Arbeitsschritt der Front-End-Fertigung Transistoren angebracht werden (Flächenauftrag). Dazu wird entweder über den Prozess des Ätzens Material des Wafers entfernt, durch Kristallzucht, Bedampfen oder Galvanisierung neue Schichten aufgetragen oder die Eigenschaften des Materials hinsichtlich der Leitfähigkeit durch Hitze oder Kollision mit Fremdatomen verändert (Benz 2013). Dabei kommen als Prozessgase u. a. F-Gase zum Einsatz (UBA 2022). Dazu zählen vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), Schwefelhexafluorid (SF_6) und Stickstofftrifluorid (NF_3) (UBA 2022). F-Gase werden genutzt, um komplizierte Schaltkreismuster in die Siliziumoberfläche des Wafers zu ätzen. Außerdem kommen F-Gase für die schnelle und gründliche Reinigung der Werkzeugkammern für die chemische Gasphasenabscheidung (engl. chemical vapour deposition, CVD) zum Einsatz (EPA 2022). Darüber hinaus werden fluorierte Wärmeübertragungsflüssigkeiten (engl. Heat-Transfer Fluids, HTF) und Stickstoffoxid für die Kühlung von Prozessanlagen, zur Temperaturkontrolle des Wafers und während der Bauteilprüfung, zur Reinigung von Substratoberflächen und zum Löten genutzt (EPA 2022). Die feinen Muster werden u. a. durch den Einsatz von UV-Licht über photolithographische Prozesse in die Wafer-Oberfläche und die aufgetragenen Schichten neuen Materials „eingebrannt“. Die Vorgänge werden so lange wiederholt, bis die einzelnen Transistoren fertiggestellt sind (Benz 2013). Im nächsten Schritt werden diese durch Leiterbahnen aus Kupfer miteinander verbunden. Dies erfolgt durch verschiedene Schritte des Schichtauftrags, Ätzens, Galvanisierens in Kupfersulfat und Schleifens, bis in mehreren Zyklen bis zu 30 Verbindungsebenen entstanden sind (Benz 2013; Nowottnick 2014). Im anschließenden Schritt der Montage, Prüfung und Verpackung werden auf der obersten Verbindungsebene Schutzschichten und Kontaktflächen angebracht. Dafür wird u. a. eine dünne Schicht aus Zinn oder auch Gold, Silber oder Nickel aufgetragen, welche das Kupfer vor Oxidation schützt und gleichzeitig weitere Schritte wie das Löten, Kleben und Bohren ermöglicht (Nowottnick 2014). Danach werden auf dem Wafer kleine Lotkugeln (oft aus Zinn) angebracht, um den Chip später mit anderen elektrischen Bauteilen zu verbinden. Um die Kupferoberfläche vor Oxidation zu schützen, werden in der Regel zudem lötbare Schutzschichten angebracht, die aus Zinn oder auch Gold, Silber oder Nickel bestehen können (Nowottnick 2014, S. 27). Die so fertiggestellten Elemente werden einem Funktionstest unterzogen. Im Anschluss wird der Wafer in Einzelteile gesägt, sodass die einzelnen Halbleiterchips entstehen, die je nach Verwendungszweck ein Gehäuse oder eine Unterlage (Die-Carrier) erhalten (Benz 2013).

Nach jedem nasschemischen Prozess wird die Wafer-Oberfläche mit „Reinstwasser“ gespült (grundsätzlich wird nach jedem Zwischenschritt eine Reinigung vollzogen, um zu verhindern, dass Kleinstpartikel zwischen den Schichten eingeschlossen werden). Dafür kann ein Ultraschallbad oder eine Spülung mit deionisiertem Wasser zum Einsatz kommen. Um schwer lösliche Verunreinigungen zu entfernen, werden auch Lösungsmittel, Salzsäure oder

Wasserstoffperoxid genutzt. Bei einer vollständigen Reinigung (unabhängig von den Zwischenspülungen) durchlaufen die Wafer zudem eine ganze Reihe von Reinigungsschritten hintereinander, die jeweils mit einer Spülung in Reinstwasser enden (Halbleitertechnologie von A bis Z 2023).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Das weltweit größte Fab wird durch den taiwanischen Hersteller TSMC betrieben. TSMC gehört neben Samsung (Hauptsitz: Südkorea) und Intel (Hauptsitz: USA) zu den einzigen Herstellern, die auch Halbleiterchips der modernsten Generation von 10 nm oder kleiner produzieren. TSMC ist ein wichtiger Lieferant von Halbleiterchips für verschiedene US-amerikanische und chinesische Technologieunternehmen (u. a. Apple, Qualcomm, Broadcom, Nvidia, Huawei und Xilinx). Der Großteil der Produktion durch TSMC findet in Taiwan statt, wo das Unternehmen drei Fabs betreibt, die monatlich über 100.000 Wafer herstellen (Platzer et al. 2020, S. 15). Zu den weiteren weltweit umsatzstärksten Halbleiterchipunternehmen mit eigenen Produktionsstandorten²³ gehören außerdem SK Hynix mit Hauptsitz in Südkorea, Micron und Texas Instruments mit Hauptsitz in den USA, Kioxia (früher Toshiba) und Sony mit Hauptsitz in Japan, Infineon mit Hauptsitz in Deutschland sowie NXP mit Hauptsitz in den Niederlanden (Platzer et al. 2020, S. 50).

Damit erfolgt ein großer Anteil der globalen Produktion von (Halbleiter-)Chips in Ländern mit verhältnismäßig hohen (Umwelt-)Governance-Bewertungen (siehe Tabelle 9). Dies legt niedrigere Eintrittswahrscheinlichkeiten von negativen Umweltauswirkungen nahe. Von den Ländern mit relevanten Produktionsanteilen erhält lediglich China relativ niedrige (Umwelt-)Governance-Bewertungen, was auf eine erhöhte Eintrittswahrscheinlichkeit für negative Umweltauswirkungen schließen lässt.

Tabelle 9: (Umwelt-)Governancekontext – Herstellung von (Halbleiter-)Chips

	Hauptproduktionsländer	EPI (Yale University)	Durchschnittswert der WGI (Weltbank)
Herstellung von (Halbleiter-)Chips	Südkorea	46,9	1,00
	Taiwan	45,3	1,22
	Japan	57,2	1,34
	China	28,4	-0,25
	USA	51,1	1,03

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

Quelle: Eigene Darstellung, adelphi. Basierend auf EPI (2022) und WGI (2022).

Die Herstellung von Halbleiterchips ist dennoch mit einer Reihe von Risiken von hohen negativen Umweltauswirkungen verbunden, die im Folgenden tabellarisch aufgeführt sind. Anzumerken ist, dass technische Maßnahmen einen starken Einfluss auf das Risiko haben können. Chiphersteller setzen teilweise Anlagen zur Luftreinigung ein, um die Emissionen von

²³ Ausgenommen sind die „Fabless Firms“ Broadcom, Qualcomm, Nvidia und MediaTek.

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).

Treibhausgasen während des Herstellungsprozesses zur verringern oder ersetzen F-Gase mit weniger klimaschädlichen Reinigungs- oder Ätzgasen, z. B. mit Fluor (Solvay 2023). Der Austausch von Chemikalien und Gasen ist jedoch dadurch beschränkt, dass die Halbleiterproduktion von hochspezialisierten und präzisen Prozessen abhängig ist. Sobald ein Bestandteil des Prozesses ausgetauscht wird, zieht dies eine langwierige Neu- und Feinjustierung des Produktionsprozesses nach sich (Belton 2021). Zudem werden in den meisten Fabs Anlagen zur Wasseraufbereitung installiert, um den Frischwasserverbrauch zu reduzieren (Calma 2021). Auch bei der Lagerung und Aufbereitung von chemikalienreichen Abwässern und der Behandlung gefährlicher Abfälle bestehen zumeist hohe Auflagen (Silicon Semiconductor Magazine 2020).

Risiko

Umwelthemen



Treibhausgase: Die Herstellung von Halbleiterchips geht mit hohen Emissionen von Treibhausgasen einher, von denen etwa 80 % auf die Bereiche Scope 1 oder 2 zurückgehen. Das heißt, die Emissionen entstehen entweder während der Chipproduktion selbst oder durch deren Energiebezug. Der größte Anteil entsteht dabei durch den Energiebedarf für den Betrieb von Anlagen zur Klima- und Feuchtigkeitskontrolle, zur Abgas- und Wasserreinigung oder für Aufbereitungsanlagen in den Fabs (Burkacky et al. 2022). Je nach regionalem Strommix kann der Elektrizitätsbedarf zu hohen Treibhausgasemissionen führen. Fabs beziehen ihren Strom oftmals noch aus netzgebundenen Quellen, um die Versorgungssicherheit zu garantieren, sodass ein Großteil der Energie aus fossilen Kraftwerken stammt (Burkacky et al. 2022). Für die Fertigung neuer Generationen von kleineren Wafers ist mit einem Anstieg des Energiebedarfs zu rechnen (Gupta et al. 2021).

Neben den energiebezogenen Emissionen spielen auch Prozessgase eine signifikante Rolle. Fast 30 % aller Treibhausgas-Emissionen während der Herstellung gehen laut TSMC, dem marktführenden Chiphersteller, auf perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFCs) sowie andere Chemikalien und Gase zurück (Gupta et al. 2021). Die bei der Halbleiterproduktion zum Ätzen, Reinigen und zur Temperaturkontrolle eingesetzten F-Gase, die zur Gruppe der PFC gehören, sind je nach Substanz 100- bis 24.000-mal klimawirksamer als CO₂, heizen die Atmosphäre also stärker oder länger an (UBA 2022). Unter normalen Betriebsbedingungen in der Halbleiterproduktion reagieren zwischen 10 und 80 % der verwendeten F-Gase nicht in den Kammern der Fertigungswerkzeuge und werden in die Luft freigesetzt. Die Emissionen variieren u. a. in Abhängigkeit des verwendeten Gases, der Art der Ausrüstung, der Entstehung von F-Gasen als Nebenprodukten und sind davon abhängig, ob bereits geeignete Anlagen zur Minderung der Emissionen installiert wurden (EPA 2022). In Deutschland wurden 2021 insgesamt 11,1 Mt CO₂-eq an F-Gasen emittiert (UBA, 2023). Laut Angaben des United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) gingen davon 0,174745 Mt CO₂-eq (entspricht ca. 1,57 %) auf die deutsche Halbleiterindustrie zurück (UNFCCC, 2023). In der EU ist der Einsatz von F-Gasen durch die EU-Verordnung Nr. 517/2014 geregelt, welche auf eine Reduktion der Emissionen abzielt (UBA 2022). Laut der European Semiconductor Industry Association (ESIA) hat die europäische Halbleiterindustrie zwischen 2010 und 2020 eine absolute Reduzierung der Emission von F-Gasen um 40 % erreicht (ESIA 2021). Die United States Environmental Protection Agency schätzt jedoch, dass die Emissionen der Elektronikbranche zwischen 2015 und 2030 um etwa 80 % ansteigen werden, besonders in den Ländern China, Süd-Korea, USA, Singapur und Japan (EPA 2019, S. 30). Kommt es zu Lecks, können große Mengen an F-Gasen in die die

Risiko	Umweltthemen
	<p>Luft entweichen (Becken et al. 2010). Grundsätzlich sind die Emissionen von Prozessgasen in die Umwelt vom Alter der Fabs und der Ausstattung mit Anlagen zur Emissionsminderung abhängig (Burkacky et al. 2022). Auch die HTF, die im Fertigungsprozess und zur Prüfung von Chips eingesetzt werden, um eine bestimmte Temperatur zu halten, zahlen auf den Scope-1-Treibhausgas-Fußabdruck von Fabs ein. Beim Chip-Hersteller NXP machen die HTF-bezogenen Emissionen etwa 9 % der gesamten Treibhausgas-Emissionen aus (NXP 2023).</p>
	<p>Wasser: Bei der Produktion von (Halbleiter-)Chips kommen große Mengen an Wasser zum Einsatz, insbesondere für die Herstellung von „Reinstwasser“, welches im Chip-Herstellungsprozess selbst benötigt wird. Auch bei anderen Reinigungsschritten sowie zur Kühlung, Abgasminderung und als Feuerlöschmittel wird Wasser in Fabs verwendet (Jones und Vacuum 2022). Ein einzelnes Fab kann unterschiedlichen Schätzungen zufolge am Tag mehrere Mio. Liter Wasser verbrauchen (ENCORE 2023). In den fünf führenden Produktionsländern für Halbleiterchips (Taiwan, Japan, China, Südkorea, USA) werden jährlich jeweils weit über 100 Mrd. l Wasser durch Fabs gebraucht (Jones und Vacuum 2022). Gleichzeitig sind viele Fabs derzeit in Regionen angesiedelt, die bereits einem hohen Wasserstress ausgesetzt sind (Jones und Vacuum 2022). In Taiwan etwa führte der hohe Wasserverbrauch durch TSMC für die Halbleiterproduktion während einer starken Dürre im Jahr 2021 zu Auseinandersetzungen mit der lokalen Agrarindustrie (Belton 2021). Kontroversen bestehen auch in Bezug auf ein Fab der Firma Intel (Ocotillo), welche in Arizona angesiedelt ist, einem der trockensten Staaten der USA, der 2021 ebenfalls mit einer der schlimmsten Dürren seit Jahrzehnten konfrontiert war (Calma 2021). In Fabs sind in der Regel Wasseraufbereitungsanlagen integriert, um die Entnahme von Frischwasser zu reduzieren. Intel hat sich beispielsweise verpflichtet, bis 2030 mehr Frischwasser wiederherzustellen und einzuspeisen, als es nutzt. Da mit steigender Komplexität der Chips auch der Wasserverbrauch der Herstellungsprozesse zunimmt, besteht jedoch das Risiko, dass negative Umweltauswirkungen durch Wasserentnahme in der Zukunft weiter zunehmen werden. So wird für die Herstellung von 2-nm-Chips etwa doppelt so viel Wasser benötigt wie für 28-nm-Chips (Betruzzi 2022).</p>
	<p>Fläche</p>
	<p>Luftschadstoffe</p>
	<p>Wassergefährdende Stoffe: Durch den Einsatz zahlreicher Chemikalien und Reinstwasser im Herstellungsprozess entstehen bei der Produktion von (Halbleiter-) Chips große Mengen an Abwasser, welches potenziell umwelt- und gesundheitsschädliche Verunreinigungen wie Lösungsmittel, Arsen, Antimon, Säuren, Laugen, Salze, Eisenoxidpartikel und andere organische und anorganische Verbindungen enthalten kann (Shen et al. 2018). Bei den Ätzverfahren und der Reinigung von Wafern kommt in Fabs u. a. Flusssäure zum Einsatz. Abfalllösungen aus Flusssäure machen über 40 % der in der Halbleiterindustrie anfallenden gefährlichen Stoffe aus (Shen et al. 2018). Überschüssige Flusssäure kann bei Menschen Knochenerkrankungen und Zahnflecken verursachen (Shen et al. 2018). Da der Transport der gefährlichen Stoffe zur Deponie sehr kostspielig ist, verfügen die meisten Fabs über eigene</p>

Risiko	Umweltthemen
	<p>Wasseraufbereitungsanlagen (Shen et al. 2018). In San José, USA, wurde Anfang der 1980er-Jahre durch ein Leck in einem Lagertank für Abfalllösungsmittel eines Fabs der Firma Fairchild Semiconductor Corp. großflächig Boden und Grundwasser durch flüchtige organische Verbindungen (VOCs) belastet (EPA o. J). Die Verunreinigungen belasteten auch das Trinkwasser in Tausenden umliegenden Haushalten und sollen in Zusammenhang mit abnormen Schwangerschaftsergebnissen und einem erhöhten Risiko für Fehlgeburten sowie angeborenen Herzanomalien in den exponierten Stadtvierteln stehen (Kim et al. 2014, S. 96). In den späten 1990er-Jahren wurden in Taiwan Grundwasser- und Bodenkontaminationen durch Lösungsmittel aus einer Produktionsstätte der US-amerikanischen Radio Corporation of America (RCA) festgestellt, in der u. a. Halbleitergehäuse produziert wurden. Sowohl bei Angestellten als auch in umliegenden Gemeinden sollen die Verunreinigungen mit erhöhten Raten an Krebserkrankungen in Zusammenhang stehen (Kim et al. 2014, S. 99). 2022 entschied der Oberste Gerichtshof Taiwans zugunsten von 222 ehemaligen RCA-Beschäftigten, die geklagt hatten, weil sie krebserregenden Chemikalien ausgesetzt waren (Taipei Times 2022).</p>
	<p>Abfälle: Bei den zahlreichen chemikalienbasierten Prozessen der Halbleiterchipproduktion (wie Abscheiden, Beschichten, Ätzen, Belichten etc.) kommen über 200 hochreine organische und anorganische Verbindungen zum Einsatz und es fallen erhebliche Säureabfälle an (Shen et al. 2018). Viele der Chemikalien, die im Laufe des Herstellungsprozesses genutzt werden oder entstehen, sind krebserregend und können bei unzureichender Behandlung zu Gesundheitsschädigungen bei Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern sowie Anwohnenden führen (Shen et al. 2018). Gefährliche Abfälle müssen sachgerecht gelagert und behandelt werden, damit das Risiko für negative Umweltauswirkungen und Gesundheitsschäden möglichst reduziert wird (UBA 2017).</p>

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

5.1 Maßnahmen, um Risiken von negativen 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 von negativen Auswirkungen bestimmen
- ▶ **Handlungsfelder** für Präventions- oder Minderungsmaßnahmen priorisieren

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

5.1.1 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, 3 und 4 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, 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 Verschmutzungen, Schadensfällen für 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 Herkunftsstandorte 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>)
- ▶ Nutzung der Ergebnisse der Studie der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) **„Menschenrechtliche und ökologische Risiken im Elektroniksektor“** zur Umsetzung unternehmerischer Sorgfaltspflichten mit einer Einführung in die Risiken in Elektroniklieferketten. (Link: : <https://systain.com/wp-content/uploads/2023/04/menschenrechtliche-oekologische-risiken-elektroniksektor-systain.pdf>)

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

- ▶ **Copper Mark** (<https://coppermark.org/>) ist ein Rahmenwerk zur Förderung der verantwortungsvollen Gewinnung und Produktion von Kupfer. Der Copper-Mark-Nachhaltigkeitsstandard zeichnet weltweit Unternehmen aus, die sich für einen verantwortungsvollen Umgang mit der Umwelt, den Mitarbeitenden, den lokalen Gemeinschaften und der 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.
- ▶ Das **ITRI Tin Supply Chain-Initiative (iTSCi)** (<https://www.itsci.org/>) ist eine Initiative des industriegeführten International Tin Research Institute (ITRI) zu Rückverfolgbarkeit und Sorgfaltspflicht. Sie wurde mit einem Fokus auf die DR Kongo und Konfliktmineralien entwickelt, kann jedoch weltweit angewendet werden. Die Initiative arbeitet mit lokalen Regierungen und ihren Vertreterinnen und Vertretern vor Ort zusammen und unterstützt Unternehmen bei der Umsetzung der Sorgfaltspflicht durch unabhängige Risikobewertungen.
- ▶ Die **Responsible Minerals Initiative (RMI)** (<https://www.responsiblemineralsinitiative.org>) setzt sich für Sorgfaltsprozesse in der Rohstoffbeschaffung ein und entwickelt z. B. entsprechende Standards für Raffinerien und Hütten. Teil der RMI ist das Auditprogramm „Responsible Minerals Assurance Process“ (RMAP). Im Rahmen dieses Programms werden Hütten, die als „compliant“ eingestuft wurden, öffentlich gelistet.

- ▶ 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.
- ▶ 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, u. a. Gold, sicherzustellen und die Integrität globaler Lieferketten zu schützen.
- ▶ Die **Responsible Business Alliance** (RBA – <https://www.responsiblebusiness.org/>) wurde 1944 von Unternehmen der Elektronikindustrie gegründet und umfasst heute Unternehmen aus den Bereichen Elektronik, Einzelhandel, Automobil und Spielwaren. RBA-Mitgliedsunternehmen verpflichten sich zur Einhaltung eines gemeinsamen Verhaltenskodex. Darüber hinaus haben sie Zugang zu Schulungs- und Bewertungsinstrumenten zur Unterstützung der Verbesserung der sozialen und ökologischen Verantwortung in ihren Lieferketten.
- ▶ Das **Clean Electronics Production Network** (CEPN – <https://cleanelectronicsproduction.org/>) befasst sich mit der Minimierung der Exposition von Arbeitnehmern und Arbeitnehmerinnen gegenüber toxischen Prozesschemikalien in Elektronik-Lieferketten. Im Rahmen des CEPN „Towards Zero Exposure Program“ arbeiten Elektronikunternehmen mit Zulieferern zusammen, um Daten über die in der Lieferkette verwendeten Prozesschemikalien zu sammeln, gesundheitsschädliche Chemikalien zu eliminieren oder zu ersetzen und über die erzielten Fortschritte zu berichten.
- ▶ Der **Open Supply Hub** (OS Hub – <https://opensupplyhub.org/>) ist eine branchenübergreifende Open-Source-Plattform zur Abbildung von Lieferketten. Unternehmen, aber auch andere Stakeholder können sie befüllen und nutzen. Durch die Bereitstellung standardisierter globaler Lieferkettendaten bietet die Plattform einen besseren Einblick in einzelne Produktionsstandorte, denen standardisierte Identifikationsnummern zugeordnet werden.

5.1.2 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).

5.2 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 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: Punktuelle 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: Die eigene Lieferkette für das Management (potenzieller) negativer Auswirkungen nachvollziehen

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, 3 und 4 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.

Tabelle 10: (1) Steuerung: Verankerung eines nachhaltigen Lieferkettenmanagements im Unternehmen

Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Festlegung zentraler Verantwortlichkeiten zur Steuerung des Themas im Unternehmen
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Voraussetzung für weitere Schritte, z. B. die Entwicklung von Zielen und Maßnahmen, die Nachverfolgung der Umsetzung etc.
Verbundenheit zum eigenen Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dieser Handlungsansatz ist zunächst intern ausgerichtet.
Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Allen für das nachhaltige Lieferkettenmanagement relevanten Organisationseinheiten (z. B. Einkauf, Logistik, Risikomanagement, Produktentwicklung, Produktionsplanung, Qualitäts- und Umweltmanagement) sollten klare Verantwortlichkeiten zugewiesen werden. ▶ 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.
Beispiele für mögliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Verankerung in der zentralen Steuerung: Die Erkenntnisse über soziale und umweltbezogene Auswirkungen und Risiken, die mithilfe der Risikoanalyse gewonnen werden, sollten als Ausgangspunkt für ein kritisches Hinterfragen des

	<p>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?</p> <p>► 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. Z. B. 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. Grundlage können z. B. Abgleiche der eigenen Lieferkette mit der regionalen Risikoanalyse des WWF Water Risk Filters bilden. Mögliche Anknüpfungspunkte bestehen zudem, wenn das Unternehmen bereits beim Carbon Disclosure Project (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.</p>
--	--

Tabelle 11: (2) Steuerung: Definition von klaren Zielen in der Lieferkette

Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes	<p>► Festlegung von konkreten Zielen zur Verringerung negativer Umweltauswirkungen</p>
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen	<p>► 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.</p>
Verbundenheit zum eigenen Unternehmen	<p>► Basis ist die Risikoanalyse über potenzielle negative Auswirkungen der eigenen Unternehmensaktivitäten auf die Umwelt. Dies sollte sowohl die direkten Lieferanten (tier 1) als auch Stufen der vorgelagerten Lieferkettenstufen wie z. B. die Rohstoffgewinnung betreffen.</p>

Umsetzung

- ▶ 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.
 - **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 zu Anteilen von erneuerbaren Energien.
 - **Measurable (messbar)**, d. h. auf Basis von geeigneten Key-Performance-Indikatoren (KPIs) wie 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 die Ziele die direkten Lieferanten umfassen (Anzahl xy Lieferanten besitzen Umweltmanagement), wenn noch keine Transparenz über tiefere Lieferkettenstufen besteht. Das Kriterium der Erreichbarkeit sollte ambitionierte Zielsetzungen nicht unterbinden.
 - **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 beispielsweise 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.

- ▶ 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.

**Beispiele für
mögliche
Maßnahmen**

- ▶ Ziele zum Bezug von Energie aus erneuerbaren Quellen in der Lieferkette. Diese Maßnahme bezieht sich auf die Ergebnisse aus Kapitel 3. Sie zielt auf mehrere Umweltthemen zur Verringerung negativer Auswirkungen ein, insbesondere 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 hohem Energie- und Strombedarf und Länder mit hohem Anteil an fossilen Energieträgern sein. Beim Bezug von Strom aus erneuerbaren Quellen sind jedoch auch mögliche negative Effekte 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

	<p>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 z. B. 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 sollte 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 Abnahmevolumen und Vertragsdauer können bei (Vor-)Lieferanten die Voraussetzungen dafür geschaffen werden, ebenfalls nachhaltige Unternehmenspraktiken zu integrieren (siehe dazu auch Handlungsansatz 7 unten).</p>
--	--

Tabelle 12: (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 zahlt 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,

	<p>Produktentwicklung, Business Development, Risikomanagement, Umwelt-, Qualitäts- und Arbeitssicherheitsmanagement.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 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.
<p>Beispiele für mögliche Maßnahmen</p>	<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 zur Seite stehen bei konkreten Fragen etc. Sie wirken zum einen als Wissensträgerinnen und Wissensträger und zum anderen als Multiplikatoren.

Tabelle 13: (4) Kommunikation: Transfer von Wissen zu Umweltthemen und Maßnahmen an (Vor-) Lieferanten

<p>Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes</p>	<p>Bereitstellung von Wissen innerhalb der Lieferkette sowohl über (potenzielle) negative Auswirkungen auf die Umwelt und Menschen als auch über Best Practices</p>
<p>Beitrag zur Verringerung von</p>	<p>Dieser Handlungsansatz ist übergreifend wirksam und zahlt auf die einzelnen Umweltthemen ein.</p>

<p>negativen Auswirkungen</p>	
<p>Verbundenheit zum eigenen Unternehmen</p>	<p>Der Handlungsansatz ist sowohl für direkte Lieferanten als auch für die vorgelagerten Stufen der Lieferkette geeignet.</p>
<p>Umsetzung</p>	<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 oder 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.
<p>Beispiele für mögliche Maßnahmen</p>	<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, Umstellung auf erneuerbare Energien sowie managementbezogene Maßnahmen. Auch klassische Hindernisse und der Umgang damit wie beispielsweise 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 zum Wissenstransfer an (Vor-)Lieferanten erwogen werden.

Tabelle 14: (5) Dialog: Austausch mit (potenziell) Betroffenen als Input zur Risikoanalyse und zur effektiven Lösungsfindung

<p>Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes</p>	<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. 50 ff.)
<p>Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen</p>	<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.
<p>Verbundenheit zum eigenen Unternehmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Der Dialog kann auf allen Stufen der Verbundenheit greifen.
<p>Umsetzung</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Ausgangspunkt können Informationsquellen von z. B. 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, etwa beim Rohstoff Kupfer,

der auch in anderen Sektoren wie der Automobilindustrie und dem Maschinenbau Einsatz findet.

**Beispiele für
mögliche
Maßnahmen**

- ▶ Etablierung von Beschwerdemechanismen: 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 verschaffen. 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).
- ▶ Zusammenarbeit mit lokalen Organisationen: Der Kleinstbergbau (artisanaler Bergbau) zur Gewinnung von Rohstoffen wie z. B. bei Gold (Gronwald 2019) 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 GIZ bieten Unternehmen Partnerschaften an, um vor Ort daran zu arbeiten, Kleinstbergbau zu formalisieren, sicherer, produktiver und fairer zu machen.
- ▶ Beteiligung an einer Water-Stewardship-Initiative: Im Rahmen eines nachhaltigen Wassermanagements (Water Stewardship) ist eine Zusammenarbeit mit verschiedenen Stakeholdern in einem Wassereinzugsgebiet, eine sog. 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 der Ressource Wasser zu reduzieren. Oftmals werden diese Initiativen durch die Partnerschaft mit einer spezialisierten

	<p>Organisation unterstützt. Institutionen wie die Alliance for Water Stewardship (AWS), der WWF, das Natural Resources Stewardship Programm (NatuReS) und das 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 et al. 2020).</p>
--	--

Tabelle 15: (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.

<p>Beispiele für mögliche Maßnahmen</p>	<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 zur Verbesserung der Energieeffizienz bei der Produktion von Halbleitern. Ein Ansatz besteht darin, die verschiedenen Anlagentypen der Halbleiterproduktion auf Energieverluste zu untersuchen. Technologische Möglichkeiten liegen z. B. in der Reduzierung des Luftdrucks in Reinnräumen, der Begrenzung des Luftaustauschs in ungenutzten Bereichen oder der Beseitigung von Lecks in Luftzufuhrleitungen (Burkacky et al. 2022). Für die Halbleiterindustrie gibt es außerdem bereits Best-Practice-Ansätze zur Reduktion von PFC-Emissionen, u. a. von der European Semiconductor Industry Association (ESIA), welche für die Entwicklung von Pilotprojekten hilfreich sind (ESIA 2022). Die technologische Umsetzbarkeit kann gemeinsam mit dem (Vor-)Lieferanten 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, ebenso die Einbindung von Forschungsinstituten oder die Mobilisierung von Fördergeldern. ▶ <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 auftretende Nebeneffekte, die sich durch die lokalen Bedingungen vor Ort ergeben, können so besser verstanden und anschließend gezielter angegangen werden.
--	--

Tabelle 16: (7) Einkauf und Lieferantenmanagement: Zertifizierungen und Standards bei Produzenten und/oder Rohstoffen

<p>Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 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</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Je nach Zertifizierungssystem kann dies auf die verschiedenen Umweltaspekte wirken. Zertifizierungen für Rohstoffminen decken ebenso wie Zertifizierungen von

negativen Auswirkungen	<p>Rohstofflieferketten mehrere Umweltaspekte ab, etwa die Verschmutzung von Wasser, Luftverschmutzung, 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>IRMA</u> etwa zertifiziert industriell betriebene Minen und deckt die Umweltthemen Wasserqualität und -verbrauch, Bergbauabfälle, Luftemissionen, Lärm, Treibhausgas-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).● Darüber hinaus können Rohstoffe aus zertifizierten Lieferketten mit Nachhaltigkeitsstandards verwendet werden, u. a.:<ul style="list-style-type: none">■ <u>ITRI Tin Supply Chain-Initiative (iTSCi)</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 (Werden die wichtigsten sozialen und ökologischen Herausforderungen in dem ausgewählten Bereich möglichst gezielt und umfassend adressiert?) auch die formalen Anforderungen geprüft werden: Ist das Zertifizierungssystem/der Standard durch ein glaubwürdiges Umsetzungssystem abgesichert? Wird etwa die Einhaltung der Anforderungen durch eine unabhängige qualifizierte Stelle überprüft?</p> <p>► Die Studie "<u>Industriestandards im Rohstoffsektor auf dem Prüfstand</u>" von Germanwatch vergleicht die wichtigsten Standards und stellt die Ergebnisse in übersichtlichen Tabellen dar.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 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 die Elektronikindustrie 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>Beispiele für mögliche Maßnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ <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.

Tabelle 17: (8) Allianzen: Unternehmens- und branchenübergreifende Ansätze zur Schaffung nachhaltigerer Lieferketten

<p>Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Brancheninitiativen, -dialoge und auch branchenübergreifende Initiativen bündeln Ressourcen und können breite Lösungsansätze schaffen.
<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

	<p>beziehen als auch auf Umweltauswirkungen in der vorgelagerten Lieferkette oder in der nachgelagerten Wertschöpfungskette.</p>
Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 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.
Beispiele für mögliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ <u>Etablierung eines branchenweiten Beschwerdemechanismus:</u> Bisher besteht kein eigener branchenspezifischer Beschwerdemechanismus für die Elektronikindustrie. 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 der Elektronikindustrie, 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.

Tabelle 18: (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.
---	--

<p>Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen</p>	<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.
<p>Verbundenheit zum eigenen Unternehmen</p>	<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.
<p>Umsetzung</p>	<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.
<p>Beispiele für mögliche Maßnahmen</p>	<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. Auch beim Erschließen neuer Sekundärrohstoffquellen muss auf die Umweltauswirkungen im Recyclingprozess geachtet werden. ▶ <u>Recyclingfähigkeit von Komponenten</u>: 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

	<p>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>
--	---

Tabelle 19: (10) Transparenz: Die eigene Lieferkette für das Management (potenzieller) negativer Auswirkungen nachvollziehen

Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 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.
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Ein systematisches Verständnis über die eigene Lieferkette und die umweltbezogenen und sozialen Auswirkungen ist als interner Treiber für ein lieferkettenumfassendes Nachhaltigkeitsmanagement und als wichtiger Bestandteil der gesamtgesellschaftlichen Kooperation in Richtung Nachhaltigkeit unerlässlich.
Verbundenheit zum eigenen Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Der Ansatz ist übergreifend über die gesamte vorgelagerte Lieferkette eines Unternehmens und bedarf der Einbindung von Lieferanten und Vorlieferanten, um zunehmend die Transparenz zu verbessern.
Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 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 Vorleistungen bzw. Vorprodukten) stehen. ▶ Ein Austausch mit verschiedenen Stakeholdergruppen, insbesondere Partnern in der eigenen Wertschöpfungskette, ist hierbei unerlässlich.

**Beispiele für
mögliche
Maßnahmen**

- ▶ Ein erster Schritt zur Gewinnung von Informationen über Auswirkungen in der Lieferkette kann ein Fragebogen für Lieferanten zu den einzelnen 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- und Minderungsmaßnahmen. Als erster Schritt eignen sich Lieferanten mit hohem Umsatzanteil am Beschaffungsvolumen oder strategische Lieferanten von Vorprodukten und Rohstoffen.

6 Quellenverzeichnis

AEMR – Allgemeine Erklärung der Menschenrechte, UN-Doc GA/RES 217 A (III) (10.12.1948)

<https://www.un.org/depts/german/menschenrechte/aemr.pdf> (15.08.2023)

Attiyate, Y.; Shah, R. (2013): Wörterbuch der Mikroelektronik und Mikrorechner-technik mit Erläuterungen / Dictionary of Microelectronics and Microcomputer Technology with Definitions. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 42

Apetit, A. (2021): Overview of the Global Cable Industry – Markets and Materials. In: Beyer, G. [Hrsg.]: The Global Cable Industry: Materials, Markets, Products, John Wiley & Sons. S. 1

BASEC – British Approvals Service for Cables (2019): Mitigating the lifetime environmental impact of cables.

<https://www.basec.org.uk/news/2019/9/19/mitigating-the-lifetime-environmental-impact-of-cables/> (02.05.2023)

Bastian, D.; Brandenburg, T.; Buchholz, P.; Huy, D.; Liedtke, M.; Schmidt, M.; Sievers, H. (2019): DERA Rohstoffliste 2019 – Angebotskonzentration bei mineralischen Rohstoffen und Zwischenprodukten – potenzielle Preis- und Lieferrisiken. DERA-Rohstoffinformationen 40: 166S., Berlin.

Becken, K.; de Graaf, D.; Elsner, C.; Hoffmann, G.; Krüger, F.; Martens, K.; Plehn, W.; Sartorius, R. (2010): Fluorierte Treibhausgase vermeiden – Wege zum Ausstieg. Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau.

<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/dokumente/3962.pdf> (15.08.2023)

Belton, P. (2021): The computer chip industry has a dirty climate secret.

<https://www.theguardian.com/environment/2021/sep/18/semiconductor-silicon-chips-carbon-footprint-climate> (02.05.2023)

Benz, B. (2013): Vom Sand zum Chip: So entsteht ein moderner Prozessor.

<https://www.heise.de/hintergrund/Vom-Sand-zum-Chip-So-entsteht-ein-moderner-Prozessor-6550454.html> (02.05.2023)

Betruzzi, L. (2022): Katastrophale Umweltschäden bei Halbleiterproduktion von EU-Kommission ignoriert.

<https://www.euractiv.de/section/innovation/news/katastrophale-umweltschaeden-bei-halbleiterproduktion-von-eu-kommission-ignoriert/> (18.10.2022)

Bookhagen, B. et al. (2022): Deutschland – Rohstoffsituation 2021. BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (15.08.2023)

Buderath, M.; Weiß, D.; van Ackern, P.; Garcia, B. (2021): Rohstoffe im Fokus. Menschenrechts- und Umweltrisiken integrativ betrachten. adelphi. Berlin.

https://adelphi.de/system/files/mediathek/bilder/211101_Adelphi_Rohstoffe_im_Fokus_A4_DE_bf.pdf (15.08.2023)

Burkacky, O.; Göke, S.; Nikolka, M.; Patel, M.; Spiller, M. (2022): Sustainability in semiconductor operations: Toward net-zero production. <https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/sustainability-in-semiconductor-operations-toward-net-zero-production> (04.05.2023)

Calma, J. (2021): Water shortages loom over future semiconductor fabs in Arizona.

<https://www.theverge.com/22628925/water-semiconductor-shortage-arizona-drought> (04.05.2023)

Dehoust, G.; Manhart, A.; Dolega, P.; Vogt, R.; Auberger, A.; Kämper, C.; von Ackern, P.; Rüttinger, L.; Rechlin, A.; Priester, M. (2020): Weiterentwicklung von Handlungsoptionen einer ökologischen Rohstoffpolitik ÖkoResS

II – Abschlussbericht. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau.

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekoress-ii> (15.08.2023)

DERA – Deutsche Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2019): Rohstoff Gold. Berlin. https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/m-gold.pdf;jsessionid=DE60F791D2B4B199512F1170D7022E4C.2_cid292?__blob=publicationFile&v=4 (15.08.2023)

DESTATIS – Statistisches Bundesamt (2022). Beschäftigte und Umsatz der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige (WZ2008 Hauptgruppen und Aggregate) <https://www.genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=42111-0002&bypass=true&levelindex=1&levelid=1692344332450#abreadcrumb> (18.08.2023)

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. https://www.globalcompact.de/migrated_files/wAssets/docs/Menschenrechte/Publikationen/leitprinzipien_fuer_wirtschaft_und_menschenrechte.pdf (15.08.2023)

Dorninger, C.; Hornborg, A.; Abson, D. J.; Von Wehrden, H.; Schaffartzik, A.; Giljum, S.; Feller, R.; Hubacek, K.; Engler, J.-O.; Wieland, H. (2021): Global patterns of ecologically unequal exchange: Implications for sustainability in the 21st century. In: Ecological Economics, 179, [106824]. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106824>

Elsner H.; Schmidt, M.; Schütte, P.; Näher, U. (2014): Zinn – Angebot und Nachfrage bis 2020. Bundesanstalt für Geowissenschaften (BGR). Berlin. https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-20.pdf;jsessionid=C47935EE163ED2D8BF417CF36CD1A415.1_cid321?__blob=publicationFile&v=9 (15.08.2023)

ENCORE – Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure (2023): Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure –Tool. <https://encore.naturalcapital.finance/en> (04.05.2023)

ENCORE – Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure (o.J.): Materiality. <https://encore.naturalcapital.finance/en/data-and-methodology/materiality> (04.05.2023)

EPA – United States Environmental Protection Agency (2019): Global Non-CO2 Greenhouse Gas Emission Projections & Mitigation 2015-2050. https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-09/documents/epa_non-co2_greenhouse_gases_rpt-epa430r19010.pdf (15.08.2023)

EPA – United States Environmental Protection Agency (2022): Semiconductor Industry. <https://www.epa.gov/f-gas-partnership-programs/semiconductor-industry> (18.01.2023)

EPA – United States Environmental Protection Agency (o.J.): Superfund Site - Fairchild Semiconductor Corp. (South San Jose Plant). <https://cumulis.epa.gov/supercpad/cursites/csitinfo.cfm?id=0901685> (15.08.2023)

EPI – Environmental Performance Indicator (2022): 2022 EPA Results. <https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/epi> (15.08.2023)

ESIA – European Semiconductor Industry Association (2021): European Semiconductor industry reduces its fluorinated greenhouse gas emissions by 42 percent in Europe during the last decade. https://www.eusemiconductors.eu/sites/default/files/ESIA_PR_PFC_EmissionReductions.pdf (18.01.2023)

ESIA – European Semiconductor Industry Association (2022): PFC Gases.

<https://www.eusemiconductors.eu/esia/public-policy/sustainability-esh/pfc-gases> (04.05.2023)

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

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

Forti, V.; Baldé, C. P.; Kuehr, R.; Bel, G. (2020): The global e-waste monitor 2020 – Quantities, flows, and the circular economy potential. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn, Geneva, Rotterdam. https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM_2020_def_july1_low.pdf (15.08.2023)

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

https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/kupfer.pdf;jsessionid=896CC32FAAAF5292F36DEFFCA563A619.2_cid292?__blob=publicationFile&v=3 (15.08.2023)

Gronwald, V. (2019): Der Goldsektor in Deutschland. Marktstudie für verantwortungsvolles Gold aus dem Kleinbergbau.

https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/studie_BGR_Marktstudie_Deutschland_Gold_ASM_2019.pdf;jsessionid=990579AF2A1C7926B3917E5A86456617.2_cid321?__blob=publicationFile&v=5 (15.08.2023)

Gupta, U. et al. (2021): Chasing Carbon: The Elusive Environmental Footprint of Computing. 2021 IEEE International Symposium on High-Performance Computer Architecture (HPCA), Seoul, Korea (South), 2021, pp. 854-867, doi: 10.1109/HPCA51647.2021.00076.

Häntsche P.; Eidam F.; Schmitz M.; Winkelmann L.; Ellermann S. (2014): Peru – Herausforderungen und Chancen für eine nachhaltige Entwicklung im Rohstoffsektor. Asmuth Druck & Crossmedia GmbH & Co. KG, Köln

Halbleitertechnologie von A bis Z (2021): Nasschemie: Scheibenreinigung.

<https://www.halbleiter.org/nasschemie/scheibenreinigung/> (04.05.2023)

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

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Earthscan, London, UK.

https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_English.pdf (27.06.2023)

Hütz-Adams, F.; Müller M.; Morazán, P.; Täubert, A. (2012): Auf der Suche nach dem sauberen Gold: Kleinbergbau von Gold in Peru und DR Kongo. https://www.bicc.de/uploads/tx_bicctools/BICC_brief_46_d.pdf (15.08.2023)

ICSG – International Copper Study Group (2022): Copper Market Forecast 2022/2023. https://icsg.org/wp-content/uploads/2022/05/2022_05_03-ICSG_Forecast_Press_Release.pdf (15.08.2023)

IEA – International Energy Agency (2021): Electricity generation by Source, Peru 1990 – 2019.

<https://www.iea.org/countries/china> (03.11.2021)

Jalalova, N. (2016): Ökologische Menschenrechte im Europa- und Völkerrecht. <https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/opus4->

wuerzburg/frontdoor/deliver/index/docId/21160/file/Jalalova_Narmina_Oekologische_Menschenrechte.pdf (15.08.2023)

Jones, C.; Vacuum, E. (2022): Water Supply Challenges for the Semiconductor Industry
<https://www.semiconductor-digest.com/water-supply-challenges-for-the-semiconductor-industry/>
(04.05.2023)

Katzier, H. (2015): Elektrische Kabel und Leitungen. Bad Salgau, Leuze Verlag.

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

Kim, M.H.; Kim, H.; Paek, D. (2014): The health impacts of semiconductor production: an epidemiologic review. Int J Occup Environ Health. 2014 Apr-Jun;20(2):95-114 doi: 10.1179/2049396713Y.0000000050

Maplecroft (2017): Tech supply chains risk links to human rights abuses outside ‘conflict minerals’ hotspots – Research. <https://reliefweb.int/report/democratic-republic-congo/tech-supply-chains-risk-links-human-rights-abuses-outside-conflict> (04.05.2023)

Murguía, D. (2015): Global area disturbed and pressures on biodiversity by large-scale metal mining. University of Kassel, Faculty of Civil and Environmental Engineering. Kassel.
<http://www.unikassel.de/upress/online/OpenAccess/978-3-7376-0040-8.OpenAccess.pdf> (15.08.2023)

MVO Nederland (2023): CSR Risk Check. <https://www.mvorisicochecker.nl/en> (02.05.2023)

Nowottnick (2014): Konstruktion und Fertigung elektronischer Baugruppen: Leiterplattenkonstruktion und -fertigung. https://www.uni-rostock.de/storages/uni-rostock/UniHome/Weiterbildung/KOSMOS/E-Technik/Material_Ergebnisse_E-Technik/Skript_Leiterplattenkonstruktion.pdf (15.08.2023)

NXP (2023): Emissions. <https://www.nxp.com/company/about-nxp/sustainability-and-esg/environment/emissions:EMISSIONS#:~:text=Semiconductor%20manufacturing%20is%20not%20considered,%20transfer%20fluids%20> (04.05.2023)

OCMAL - Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina (2018): Conflictos Mineros en América Latina. https://mapa.conflictosmineros.net/ocmal_db-v2/ (04.05.2023)

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. <https://mneguidelines.oecd.org/OECD-leitfaden-fur-die-erfullung-der-sorgfaltspflicht-fur-verantwortungsvolles-unternehmerisches-handeln.pdf> (15.08.2023)

OECD – Organisation for Economic Development (2019): Measuring distortions in international markets: The semiconductor value chain. OECD Trade Policy Papers, No. 234, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/8fe4491d-en>.

Platzer, M.D.; Sargent Jr., J.F.; Sutter K.M. (2020): U.S. Semiconductor Manufacturing: Industry. Trends, Global Competition, Federal Policy. Congressional Research Service R46581
<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46581> (02.05.2023)

Priester, M.; Dolega, P. (2015): Bergbauliche Reststoffe – Teilprojektbericht ÖkoRes. Berlin.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/dokumente/oekoress_-_teilbericht_bergbauliche_reststoffe.pdf (15.08.2023)

Rapp, H. W.; Réthy-Jensen, I. (2022): Hightech-Metalle und Seltene Erden – Akute Rohstoff-Risiken für Europas Zukunft. Bad Homburg. https://www.feri-institut.de/media/iywibbzj/fcfi_hightechmetalle-und-seltene-erden_final.pdf (15.08.2023)

Rettet den Regenwald e.V. (2023): Fragen und Antworten zum Thema Gold.
<https://www.regenwald.org/themen/gold/fragen-und-antworten> (22.08.2023)

RMOP – Raw Material Outlook Plattform (2023): Tin Value Chain and Risks
<https://www.rawmaterialoutlook.org/tin> (04.05.2023)

Rüdiger, A.; Ostler, U. (2020): Was ist eigentlich ein Chip? <https://www.datacenter-insider.de/was-ist-eigentlich-ein-chip-a-950087/> (04.05.2023)

Rüttinger, L. et al. (2015): Umwelt- und Sozialauswirkungen der Goldgewinnung in Madre de Dios, Peru. Berlin: adelphi.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/umssoress_fallstudie_gold_peru_final.pdf (15.08.2023)

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. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-03_texte_102-2019_ap_1-unternehmerische-sorgfaltspflichten.pdf (15.08.2023)

Schütte, P. (2022): Gold – Informationen zur Nachhaltigkeit. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover.
https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/gold.pdf?__blob=publicationFile&v=2#:~:text=Die%20Raffinade%20von%20Gold%20erfolgt,auch%20einzelne%20nachgeschaltete%20Raffinadeschritte%20durchf%C3%BChren. (15.08.2023)

SIA – Semiconductor Industry Association (2022): State of the U.S. semiconductor Industry.
https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2022/11/SIA_State-of-Industry-Report_Nov-2022.pdf (02.05.2023)

Shen, C-w.; Tran, P. P.; Minh Ly, P. T. (2018): Chemical Waste Management in the U.S. Semiconductor Industry. Sustainability, 10,1545. <https://doi.org/10.3390/su10051545>

Shunlongwei (o.J.): Der Unterschied zwischen Chips und Halbleitern und integrierten Schaltkreisen.
<https://www.shunlongwei.com/de/the-difference-between-chips-and-semiconductors-and-integrated-circuits/> (20.06.2023)

Silicon Semiconductor Magazine (2020): Semiconductor Manufacturing: Achieving Water Authority Compliance.
https://siliconsemiconductor.net/article/110727/Semiconductor_Manufacturing_Achieving_Water_Authority_Compliance (15.08.2023)

Solvay (2023): A fluorine F2-based alternative to global waring greenhouse gases to clean the semiconductor tools with much lower environmental impact. <https://www.solvay.com/en/brands/solvaclean> (20.06.2023)

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

Stähr, F.; Schütte, P. (2016): Der Bezug von Gold aus dem Kleinbergbau. Prüfbericht zur Pilotierung verantwortungsvoller Rohstoff-Lieferketten.

https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Bericht_gold_kleinbergbau.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (15.08.2023)

Taipei Times (2022): Former workers at RCA factory win Supreme Court case.

<https://www.taipeitimes.com/News/taiwan/archives/2022/03/13/2003774699> (04.05.2023)

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. https://drivesustainability.org/wp-content/uploads/2018/07/Material-Change_VF.pdf (15.08.2023)

Toxics Use Reduction Institute (2002): Environmental, health and safety issues in the coated wire and cable industry. University of Massachusetts Lowell.

https://www.turi.org/content/download/913/4501/file/Wire_Cable_TechReport.pdf (15.08.2023)

UBA – Umweltbundesamt (2017): Gefährliche Abfälle. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallarten/gefaehrliche-abfaelle> (04.05.2023)

UBA – Umweltbundesamt (2018): Wasserfußabdruck. Thema Wasser.

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasser-bewirtschaften/wasserfussabdruck#was-ist-der-wasserfussabdruck> (14.09.2021)

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

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/wirkungen-von-luftschadstoffen/wirkungen-auf-oekosysteme/critical-loads-fuer-schwermetalle#was-sind-critical-loads> (15.08.2023)

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

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

UBA – Umweltbundesamt (2021): Feinstaub. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/feinstaub#undefined> (14.09.2021)

UBA – Umweltbundesamt (2021a): Schwefeldioxid.

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

UBA – Umweltbundesamt (2022): Emission fluorierter Treibhausgase („F-Gase“).

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/emissionen-fluorierter-treibhausgase-f-gase#entwicklung-in-deutschland-seit-1995> (04.05.2023)

UBA – Umweltbundesamt (2023): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2023.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/28_2023_cc_berichterstattung_unter_der_klimarahmenkonvention.pdf (15.08.2023)

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> (15.08.2023)

UNDRIP – United Nations Declaration on the Rights of Indigenous Peoples vom 02. Oktober 2007, UN-Doc A/RES/61/295

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (2023): Germany. 2023 Common Reporting Format (CFR) Table. <https://unfccc.int/documents/627938> (20.06.2023)

UNO-Pakt I – Internationaler Pakt über wirtschaftliche, soziale und kulturelle Rechte vom 19. Dezember 1966, UN-Doc A/RES/2200 A (XXI)

UNO-Pakt II – Internationaler Pakt über bürgerliche und politische Rechte vom 19. Dezember 1966 (BGBl. 1973 II S. 1534)

U.S. Geological Survey (2023a): Mineral commodity summaries 2023: U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf> (15.08.2023)

U.S. Geological Survey (2023b): Gold: U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-gold.pdf> (15.08.2023)

Vasters, J.; Franken, G. (2020): Zinn – Informationen zur Nachhaltigkeit. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover. https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/zinn.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (15.08.2023)

Verité (2017): Strengthening Protections Against Trafficking in Persons in Federal and Corporate Supply Chains. https://www.responsiblesourcingtool.org/download/reports/JTIP_ExecutiveOrder_Report_2017_06.pdf#page=26%0A (15.08.2023)

Wbcsd – World Business Council for Sustainable Development; W. R. I. – World Resource Institute (2004): The greenhouse gas protocol. A corporate accounting and reporting standard, Rev. ed. Washington, DC, Conches-Geneva. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf> (15.08.2023)

Weiss, D.; Hajduk, T.; Knopf, J. (2017): Schritt für Schritt zum nachhaltigen Lieferkettenmanagement. Praxisleitfaden für Unternehmen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit; Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/leitfaden_nachhaltige_lieferkette_bf.pdf (15.08.2023)

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. <https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/fb-543-achtung-von-menschenrechten-entlang-globaler-wertschoepfungsketten.pdf> (15.08.2023)

Weiss, D.; Grüning, C.; van Ackern, P.; Kriege, K.; Buderath, M.; Dovidat, L.; Jungmichel, N.; Aron, M. (2022): Umweltrisiken und -auswirkungen in globalen Lieferketten deutscher Unternehmen der Automobilindustrie. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/umweltrisiken-auswirkungen-in-globalen-lieferketten> (15.08.2023)

Welfens M. J.; Nordmann, J.; Stengel O.; Bienge K.; Kennedy K.; Lemken T.; Seibt A., Alexopoulou E. (2013):
Factsheet 5b Soziale Auswirkungen der Gewinnung von Gold.
https://www.verbraucherzentrale.nrw/sites/default/files/migration_files/media225959A.pdf (15.08.2023)

WGI – Worldwide Governance Indicators (2022): Interactive Data Access.
<https://info.worldbank.org/governance/wgi/Home/Reports> (15.08.2023)

Wood Mackenzie (2021): Is gold turning green? – A spotlight on gold mining emissions.
<https://www.woodmac.com/news/opinion/is-gold-turning-green/> (02.05.2023)

World Gold Council (2019): Gold and climate change: Current and future impacts.
<https://www.gold.org/goldhub/research/gold-and-climate-change-current-and-future-impacts> (02.05.2023)

World Gold Council (2022): Artisanal and Small -scale Mining. <https://www.gold.org/esg/artisanal-and-small-scale-gold-mining> (27.06.2023)

World Gold Council (2023): Gold Demand Trends Full Year 2022. <https://www.gold.org/goldhub/research/gold-demand-trends/gold-demand-trends-full-year-2022> (02.05.2023)

WSC – World Semiconductor Council (2012) Joint Statement of the 16th meeting of the World Semiconductor Council. <http://www.semiconductorcouncil.org/wp-content/uploads/2016/07/Public-WSC-2012-Joint-Statement-FINAL.pdf> (15.08.2023)

WVMetalle (2021): Metallstatistik Gemeinsam Aufbrechen 2020.
<https://www.wvmetalle.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=314715&token=ae6cf4b3bd20efc41f3d76bfb263e9af22798787> (15.08.2023)

WWF –World Wide Fund for Nature (2022): WWF Water Risk Filter: From Risk Assessment to Response.
<https://riskfilter.org/> (15.08.2023)