

TEXTE

56/2022

Zwischenbericht

Umweltrisiken und -auswirkungen in globalen Lieferketten deutscher Unternehmen – Branchenstudie Automobilindustrie

von:

Daniel Weiss, Carolin Grüning, Pia van Ackern, Katja Kriege, Markus Buderath, Lena Dovidat
adelphi, Berlin

Norbert Jungmichel, Max Aron
Systain Consulting GmbH, Berlin

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 56/2022

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

Forschungskennzahl 3720 14 103 0

FB000809

Zwischenbericht

Umweltrisiken und -auswirkungen in globalen Lieferketten deutscher Unternehmen – Branchenstudie Automobilindustrie

von

Daniel Weiss, Carolin Grüning, Pia van Ackern, Katja
Kriege, Markus Buderath, Lena Dovidat
adelphi, Berlin

Norbert Jungmichel, Max Aron
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://www.twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

adelphi
Alt Moabit 91
10559 Berlin

System Consulting GmbH
Friedrichstraße 210
10969 Berlin

Abschlussdatum:

März 2022 - Korrektur an Steckbrief 9 auf Seite 131 im Mai 2022

Fachbegleitung:

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, Mai 2022

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

Kurzbeschreibung: Umweltrisiken und -auswirkungen in globalen Lieferketten deutscher Unternehmen – Branchenstudie Automobilindustrie

Die Studie untersucht Risiken für negative Umweltauswirkungen entlang der globalen Lieferketten der deutschen Automobilindustrie. Die Analyse basiert auf einer erweiterten multiregionalen Input-Output-Modellierung, ergänzt um Literaturrecherchen zu ausgewählten Fahrzeugkomponenten. Die Ergebnisse der Modellierung werden geografisch und sektoral lieferkettenstufenbezogen entlang der Lieferkette aufbereitet und umfassen die Umweltthemen Treibhausgase, Wasser, Fläche, abiotische und biotische Ressourcen, Luftschadstoffe, wassergefährdende Stoffe sowie Abfälle. Die ausgewählten Fahrzeugkomponenten Traktionsbatterie, Karosserie und Reifen werden entlang ihrer Lieferkette von der Rohstoffgewinnung bis zur Fertigung der Komponenten vertieft betrachtet. Die Studie zeigt zudem exemplarisch Zusammenhänge zwischen Risiken für negative Auswirkungen auf die Umwelt und Menschenrechte auf. Auf Grundlage der Analyseergebnisse der Studie werden Ansatzpunkte und Maßnahmen zur Minderung von Umweltrisiken und zur Umsetzung umweltbezogener Sorgfaltspflichten formuliert.

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

The study examines risks for negative environmental impacts along the global supply chains of the German automotive industry. The analysis is based on extended multi-regional input-output modelling, supplemented by literature research on selected vehicle components. The results of the modelling are presented geographically, sectorally and by stage of the supply chain and includes potential negative impacts related to the environmental topics of greenhouse gases, water, land, abiotic and biotic resources, air pollutants, water pollutants and waste. The selected vehicle components electric vehicle battery, car body and tyres are examined in depth along their supply chain from raw material extraction to component 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 der Studie 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 und Begriffsdefinitionen	22
1.4.2 Kriterien zur Bewertung des Risikos für negative Umweltauswirkungen.....	25
1.4.3 Methodisches Vorgehen.....	27
1.4.4 Aufbau der Studie.....	28
2 Die deutsche Automobilindustrie im Überblick	30
3 Umweltthemen entlang der Lieferkette.....	33
3.1 Übersicht relevanter Umweltthemen und Sektoren in der Lieferkette.....	33
3.2 Zusammenhänge zwischen Risiken für negative Auswirkungen auf die Umwelt und Menschenrechte.....	35
3.3 Relevante Umweltthemen im Detail	39
3.3.1 Treibhausgase.....	39
3.3.2 Wasser.....	42
3.3.3 Fläche.....	47
3.3.4 Abiotische und biotische Ressourcen.....	50
3.3.5 Luftschadstoffe	53
3.3.6 Wassergefährdende Stoffe.....	58
3.3.7 Abfälle	62
4 Fokusthemen	64
4.1 Auswahl von Komponenten und methodisches Vorgehen	64
4.2 Aufbau der Komponenten-Kapitel	65
4.3 Fokuskomponente: Traktions-Batterie	68
4.3.1 Beschreibung der Technologie und Wertschöpfungskette	68
4.3.2 Rohstoffabbau, -aufbereitung und -veredelung.....	69

4.3.3	Rohstoff Kobalt	70
4.3.4	Rohstoff Kupfer	72
4.3.5	Rohstoff Lithium	75
4.3.6	Rohstoff Nickel	76
4.3.7	Herstellung der Batteriematerialien, -bauteile und Zellfertigung	79
4.3.8	Weitere hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Wertschöpfungskette der Batterie	81
4.4	Fokuskomponente: Karosserie	81
4.4.1	Beschreibung der Technologie und Wertschöpfungskette	81
4.4.2	Rohstoffabbau und -aufbereitung	83
4.4.3	Rohstoffe Stahl und Eisen	83
4.4.4	Rohstoff Aluminium/Bauxit	86
4.4.5	Rohstoff Zink	90
4.4.6	Karosserieherstellung	93
4.4.7	Weitere hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Wertschöpfungskette der Karosserie	95
4.5	Fokuskomponente: Reifen	96
4.5.1	Beschreibung der Technologien und Wertschöpfungskette	96
4.5.2	Rohstoffabbau und -aufbereitung	97
4.5.3	Rohstoff Naturkautschuk	97
4.5.4	Rohstoff Ruß	99
4.5.5	Reifenherstellung	101
4.5.6	Weitere hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Wertschöpfungskette von Reifen	103
5	Ansatzpunkte zur Ermittlung und Handhabung von Umweltauswirkungen und -risiken in der Lieferkette	105
5.1	Maßnahmen, um Risiken für negative Umweltauswirkungen zu identifizieren und zu bewerten	105
5.1.1	Risikoanalyse durchführen	105
5.1.2	Verbundenheit bestimmen und Handlungsfelder für Maßnahmen priorisieren	109
5.2	Beseitigen, Vermeiden und Mindern von (potenziellen) negativen Auswirkungen	109
6	Quellenverzeichnis	137

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Due Diligence-Prozesse und Maßnahmen	23
Abbildung 2:	Wertschöpfungsanteile direkter Lieferanten und tieferer Lieferkettenstufen des deutschen Automobilbaus nach Ländern (in Mrd. EUR)	31
Abbildung 3:	Sektorale Verteilung der Wertschöpfung in der vorgelagerten Wertschöpfungskette/den Vorleistungssektoren des deutschen Automobilbaus.....	32
Abbildung 4:	Treibhausgasemissionen entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus (in Mt CO ₂ -Äquivalenten).....	40
Abbildung 5:	Sektorale Verteilung der Treibhausgasemissionen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus.....	41
Abbildung 6:	Wasserverbrauch entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus (in Mio. m ³)	42
Abbildung 7:	Aggregierte Wasserknappheitsrisiken in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus.....	44
Abbildung 8:	Sektorale Verteilung des Wasserverbrauchs in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus.....	46
Abbildung 9:	Flächeninanspruchnahme entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus (in km ²)	48
Abbildung 10:	Materialinanspruchnahme entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus nach Materialklassen (in Mt) sowie deren Anteile an der Gesamtmaterialinanspruchnahme	51
Abbildung 11:	Materialinanspruchnahme entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus (in Mt)	52
Abbildung 12:	Sektorale Verteilung der Materialinanspruchnahme in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus.....	53
Abbildung 13:	SO ₂ -Emissionen entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus (in 1.000 t SO ₂ -Äquivalenten)	54
Abbildung 14:	Sektorale Verteilung der Emissionen an SO ₂ -Äquivalenten in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus	55
Abbildung 15:	Emissionen von Feinstaub entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus (in 1.000 t Feinstaub PM _{2,5} -Äquivalenten).....	56
Abbildung 16:	Sektorale Verteilung der Emissionen an Feinstaub PM _{2,5} -Äquivalenten in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus	57
Abbildung 17:	Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus anhand von sechs ausgewählten Schwermetallen (in 1.000 t DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser)	59
Abbildung 18:	Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus anhand von sechs Schwermetallen (in 1.000 t DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser)	60
Abbildung 19:	Geografische Risikobewertung der Wasserverschmutzung auf Basis des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BOD)	61

Abbildung 20:	Überblick über wesentliche Materialien und Komponenten für ein Fahrzeug	64
Abbildung 21:	Überblick über den Lebenszyklus der Traktions-Batterie.....	68
Abbildung 22:	Einsatz ausgewählter Rohstoffe in der Lithium-Ionen-Batterie.....	69
Abbildung 23:	Einsatz ausgewählter Rohstoffe in der Karosserie	82
Abbildung 24:	Überblick über den Lebenszyklus einer Karosserie	82
Abbildung 25:	Überblick über den Lebenszyklus eines Reifens	96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Farbliche Unterlegung der Indices.....	26
Tabelle 2:	Leitfragen und Quellen zur Einschätzung von Schwere und Eintrittswahrscheinlichkeit einer negativen Umweltauswirkung	27
Tabelle 3:	Überblick über untersuchte Umweltthemen.....	33
Tabelle 4:	Umweltrelevante Sektoren in der Lieferkette der deutschen Automobilindustrie	34
Tabelle 5:	Zusammenhänge zwischen Umweltauswirkungen, menschenrechtlichen Auswirkungen und Menschenrechten (Beispiele)	37
Tabelle 6:	Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Kobalt	71
Tabelle 7:	Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Kupfer	73
Tabelle 8:	Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Lithium.....	75
Tabelle 9:	Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Nickel.....	77
Tabelle 10:	Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Batterieherstellung.....	79
Tabelle 11:	Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Stahl und Eisen	84
Tabelle 12:	Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Aluminium/Bauxit	87
Tabelle 13:	Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Zink.....	90
Tabelle 14:	Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Karosserieherstellung	94
Tabelle 15:	Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Naturkautschuk	98
Tabelle 16:	Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Ruß.....	100
Tabelle 17:	Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Reifenherstellung.....	102

Abkürzungsverzeichnis

AEMR	Allgemeine Erklärung der Menschenrechte
AIAG	Automotive Industry Action Group
ASI	Aluminium Stewardship Initiative
AWS	Alliance for Water Stewardship
AZE	Alliance for Zero Extinction
BattG	Batteriegelgesetz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (jetzt: BMUV)
BOD	Biochemical Oxygen Demand (dt. biochemischer Sauerstoffbedarf)
CCD	Counter Current Decantation
CDP	Carbon Disclosure Project
CFK	Carbonfaserverstärkter Kunststoff, auch: Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CO₂-eq	CO ₂ -Äquivalente
COD	Chemical Oxygen Demand (dt. chemischer Sauerstoffbedarf)
CSR	Corporate Social Responsibility
DEU	Domestic Extraction Used
DR Kongo	Demokratische Republik Kongo
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
ENCORE	Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure
EPI	Environmental Performance Indicator
ESG	Environment, Social, Governance
EU	Europäische Union
EUR	Euro
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (dt. Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen)
FKW	Fluorkohlenwasserstoffe
FSC	Forest Stewardship Council
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GOLS	Global Organic Latex Standard
GPSNR	Global Platform for Sustainable Natural Rubber
GWh	Gigawattstunde
ha	Hektar
ICMM	International Council on Mining and Metals
ILO	International Labor Organization (dt. Internationale Arbeitsorganisation)

AEMR	Allgemeine Erklärung der Menschenrechte
IRMA	Initiative for Responsible Mining Assurance
IZA	International Zinc Association
ISO	International Organization for Standardization (dt. Internationale Organisation für Normung)
LCA	Life Cycle Assessment
LFP	Lithium-Eisenphosphat-Zelltypen
LKW	Lastkraftwagen
kg	Kilogramm
KMU	Kleinstunternehmen, kleine und mittlere Unternehmen
km³	Kubikkilometer
KPIs	Key Performance Indicators
LkSG	Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz
LiPF	Lithiumhexafluorophosphat
LKW	Lastkraftwagen
m³	Kubikmeter
Mio	Million
MJ	Megajoule
Mrd	Milliarde
MRIO-Analyse	Multi-regionale Input-Output-Analyse
Mt	Megatonnen
NAFTA	North American Free Trade Agreement (dt. Nordamerikanisches Freihandelsabkommen)
NAP	Nationaler Aktionsplan Wirtschaft und Menschenrechte
NatuReS	Natural Resources Stewardship Programm
NCA	Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid-Zellen
NGO	Non Governmental Organization
NMC	Nickel-Mangan-Kobaltoxid-Zelltypen
NPO	Non-Profit Organization
OECD	Organisation for Economic Co-Operation and Development (dt. Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
OECD-Leitfaden	OECD-Leitfaden für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln
OECD-Leitsätze	OECD-Leitsätze für multinationale Unternehmen
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PKW	Personenkraftwagen
PM	Particulate matter
POPs	Persistent organic pollutants (dt. persistente organische Schadstoffe)
SO₂	Schwefeldioxid
RMI	Responsible Minerals Initiative

AEMR	Allgemeine Erklärung der Menschenrechte
t	Tonnen
THG	Treibhausgase
TIP	Tire Industry Project
UBA	Umweltbundesamt
UN	United Nations (dt. Vereinte Nationen)
UNDRIP	UN-Deklaration zu den Rechten indigener Völker
UN-Leitprinzipien	Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte der Vereinten Nationen
UNO	äquiv. UN; United Nations Organization (dt. Vereinte Nationen)
USD	US-Dollar
VDA	Verband der Automobilindustrie
VOC	Volatile organic compounds (dt. flüchtige organische Verbindungen)
wdk	Wirtschaftsverband der Deutschen Kautschukindustrie
WGI	Worldwide Governance Indicator
WWF	World Wide Fund For Nature

Zusammenfassung

Das im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) durchgeführte Forschungsprojekt „Innovative Werkzeuge für das Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement in der Wertschöpfungskette“ (FKZ 3720 13 103 0) soll Unternehmen bei der praktischen Umsetzung des Konzepts der umweltbezogenen und menschenrechtlichen Sorgfalt in der Lieferkette unterstützen. In insgesamt acht Branchenstudien werden Risiken für negative Umweltauswirkungen entlang der Lieferketten der deutschen Wirtschaft beschrieben und illustriert. 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 und Schweizer Legal bearbeitet.

Die vorliegende Studie widmet sich der deutschen Automobilindustrie. Die Studie:

- ▶ gibt einen Überblick über Risiken für negative Umweltauswirkungen auf den einzelnen Stufen der vorgelagerten internationalen Wertschöpfungskette der deutschen Automobilindustrie und beschreibt tatsächliche negative Auswirkungen;
- ▶ analysiert im Detail die mit der Herstellung ausgewählter Fahrzeugkomponenten 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. Zudem soll sie zu einem integrativen Verständnis von umweltbezogener und menschenrechtlicher Sorgfaltspflicht beitragen, da zwischen Umweltauswirkungen und Menschenrechten vielschichtige Zusammenhänge bestehen (vgl. Scherf et al. 2019). Gleichzeitig geht die Studie bei der Identifizierung und Bewertung von Risiken für negative Umweltauswirkungen über die im Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG) genannten umweltbezogenen Sorgfaltspflichten hinaus und versteht die Auseinandersetzung mit Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Wertschöpfungskette als eigenständiges Handlungsfeld. Die Studie orientiert sich dabei an dem Sorgfaltspflichten-Verständnis des OECD-Leitfadens für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln (OECD 2018).

Die vorliegende Studie betrachtet den NACE-Sektorcode C29 und damit die „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“. Darunter fallen neben der Herstellung von Fahrzeugen und Motoren auch die „Herstellung von Kfz-Teilen und -Zubehör durch die Automobilzulieferer“ und die „Herstellung von Anhängern und Aufbauten“.

Methodisch setzt die Studie auf einen Mix aus ökologisch erweiterten Input-Output-Modellen, Ökobilanzdaten, einschlägigen Studien, Online-Tools, Nachhaltigkeitsberichten und Interviews mit Branchenexpertinnen und -experten. Grundsätzlich bedient sich die Studie dabei bestehender Daten(-quellen).

In der Studie werden die folgenden Umweltthemen für die Wertschöpfungsketten der deutschen Automobilindustrie 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. Etwa ein Viertel der Treibhausgasemissionen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette der deutschen Automobilindustrie entsteht auf der Stufe der direkten Lieferanten (tier 1). Der Großteil der Treibhausgasemissionen geht auf indirekte Lieferanten, d. h. Vorleistungsprozesse auf den tieferen Wertschöpfungsstufen (tier 2-n), zurück. In Deutschland und China entstehen die meisten Emissionen entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette.
- ▶ **Wasser:** Die Entnahme von großen Wassermengen aus (natürlichen) Wassereservoirs kann u. a. zu Beeinträchtigungen der biologischen Vielfalt führen. Dies ist insbesondere in Regionen mit Wasserknappheitsrisiken kritisch. Die fehlende Verfügbarkeit von Wasser kann lokal den Anbau von Nahrungsmitteln, die Fischerei und die Trinkwasserversorgung beeinträchtigen. Etwa 30 % des Wasserverbrauchs in der Lieferkette ist auf der Stufe der direkten Lieferanten zu verorten. Der Großteil des Wasserverbrauchs erfolgt auf den tieferen Lieferkettenstufen, d. h. bei der Produktion von Vorprodukten, Vorleistungen für die Produktion von Bauteilen und der Rohstoffgewinnung. Länder und Regionen mit hohen Wasserknappheitsrisiken sind sowohl auf der Stufe der direkten Lieferanten als auch auf den tieferen Lieferkettenstufen zu verorten.
- ▶ **Fläche:** Die Nutzung 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.
- ▶ **Abiotische und biotische Ressourcen:** Die Nutzung von natürlichen Ressourcen kann potenziell zu einer Vielzahl negativer Auswirkungen führen. Die Gewinnung von Rohstoffen ist häufig mit erheblichen Eingriffen in die Natur verbunden und geht oft mit Schadstoffeinträgen in Wasser, Luft und Boden einher. Etwa 80 % bzw. 193 Mt der Materialinanspruchnahme (in DEU - Domestic Extraction Used) sind mit der Gewinnung fossiler Energieträger für den Energiebedarf sowie mit der Herstellung von Chemikalien und Kunststoffen aus fossilen Quellen entlang der Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus verbunden. Etwa 13 % der Materialinanspruchnahme sind auf die metallischen Mineralien und deren Gewinnung zurückzuführen (32 Mt DEU).
- ▶ **Luftschadstoffe (Schwefeldioxid bzw. Schwefeldioxidäquivalente und Feinstaub anhand von 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 Schwefeldioxiden und Stickstoffoxiden können zudem zu Atemwegserkrankungen führen und die menschliche Gesundheit gefährden. Etwa 27 % der Emissionen von SO₂-Äquivalenten entstehen auf der Stufe der direkten Lieferanten. Die Emissionen entstehen vor allem im Sektor der Stromerzeugung und im metallherstellenden und -verarbeitenden Sektor. Zudem entstehen Feinstaubemissionen bei der Verbrennung

fossiler Energieträger. Feinstaub kann ebenfalls Atemwegserkrankungen auslösen. Auf der Stufe der direkten Lieferanten entstehen etwa 28 % der Feinstaubemissionen. Mit beiden Analysen werden die wesentlichen Luftschadstoffe in dieser Studie adressiert.

- ▶ **Wassergefährdende Stoffe (Schwermetalleinträge):** Hohe Konzentrationen von Schwermetallen im Wasser gefährden Lebewesen und 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. Besonders relevant 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 gefährden so mitunter Ökosysteme. Abfälle entstehen entlang der gesamten vorgelagerten Wertschöpfungskette der Automobilindustrie – sowohl in Produktionsprozessen als auch bei der Rohstoffgewinnung. Einen besonderen Aspekt stellen dabei die Abfälle in der bergbaulichen Gewinnung dar. Potenzielle negative Umweltauswirkungen der bergbaulichen Gewinnung entstehen sowohl durch die hohen Abraumengen als auch durch mögliche Auswirkungen der stofflichen Eigenschaften der Abfälle auf die Umwelt.

Neben der Analyse einzelner Umweltthemen, enthält die Studie auch eine vertiefte Betrachtung ausgewählter Komponenten und Rohstoffe, die Unternehmen bei der Umsetzung der umweltbezogenen und menschenrechtlichen Sorgfalt weiter unterstützen soll. Mithilfe der vertieften Betrachtung sollen auch mögliche Lücken in der Aussagekraft der multiregionalen Input-Output-Analyse geschlossen werden, insbesondere im Hinblick auf die Umweltauswirkungen im Rohstoffabbau.

Für die folgenden Automobil-Komponenten werden die Risiken für negative Umweltauswirkungen entlang vorgelagerter Wertschöpfungsstufen erfasst und illustriert:

Traktions-Batterie

- ▶ Rohstoffabbau, -aufbereitung und -veredelung
 - Kobalt
 - Kupfer
 - Lithium
 - Nickel
- ▶ Herstellung der Batteriematerialien, -bauteile und Zellfertigung
- ▶ Weitere hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Wertschöpfungskette der Batterie

Karosserie

- ▶ Rohstoffabbau, -aufbereitung und -veredelung
 - Stahl und Eisen
 - Aluminium/Bauxit
 - Zink
- ▶ Karosserieherstellung
- ▶ Weitere hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Wertschöpfungskette der Karosserie

Reifen

- ▶ Rohstoffabbau und -aufbereitung
 - Naturkautschuk
 - Ruß
- ▶ Weitere hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Wertschöpfungskette von Reifen

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 Bestandteil eines kohärenten Sorgfaltspflichtenmanagements sein können:

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

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 total of eight sector studies, risks for negative environmental impacts along the supply chains of the German industry are being described and illustrated. 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 and Schweizer Legal.

The present study is dedicated to the German automotive 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 the production of selected automotive components 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. 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). 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. The study is based on the due diligence understanding of the OECD Due Diligence Guidance for Responsible Business Conduct (OECD 2018).

The study covers the NACE sector code C29 including the "Manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers" and the subsectors "Manufacture of motor vehicle parts and accessories by automotive suppliers" and "Manufacture of trailers and bodies".

Methodologically, the study relies on a mix of ecologically extended input-output models, life cycle assessment data, relevant studies, online tools, sustainability reports and interviews with sectoral experts. 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 automotive industry are analysed:

- ▶ **Greenhouse gases:** The increasing concentration of greenhouse gases in the atmosphere, especially due to the use of fossil fuels, leads to an increase in the global average ground-level air temperature. About a quarter of greenhouse gas emissions in the upstream value

chain of the German automotive industry occur at the direct supplier stage (tier 1). The majority of greenhouse gas emissions are caused by indirect suppliers, i.e. upstream processes at lower stages of the value chain (tier 2-n). In Germany and China, most emissions occur along the upstream value chain of the industry.

- ▶ **Water:** The extraction of large quantities of water from (natural) water reservoirs can, among other things, lead to impairments of biodiversity. This is particularly critical in regions with water scarcity risks. The lack of water availability can affect food cultivation, fisheries and drinking water supply at local levels. About 30 % of water consumption in the supply chain is at the direct supplier level. The majority of water use occurs at lower supply chain levels, i.e. in the production of intermediate products, inputs for the production of components and the extraction of raw materials. Countries and regions with high water scarcity risks are located both at the level of direct suppliers and at the upstream supply chain levels.
- ▶ **Land:** The use of land can have significant negative impacts 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 upstream levels of the supply chain.
- ▶ **Abiotic and biotic resources:** The use of natural resources can potentially lead to a variety of negative impacts. The extraction of raw materials is often associated with considerable interference with nature and is often accompanied by pollutant inputs into water, air and soil. About 80 % or 193 Mt of material use (in DEU - Domestic Extraction Used) is associated with the extraction of fossil fuels for energy needs and with the production of chemicals and plastics from fossil sources along the German automotive value chain. About 13 % of the material use is due to metallic minerals and their extraction (32 Mt DEU).
- ▶ **Air pollutants (emissions of sulphur dioxide or rather sulphur dioxide equivalents and emissions of particulate matter based on emissions of particular matters of PM_{2,5}-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 27 % of SO₂-equivalent emissions occur at the direct supplier stage. Emissions mainly occur in the power generation sector and in the metal producing and processing sector. In addition, particulate matter emissions arise from the combustion of fossil fuels. Fine dust can also trigger respiratory diseases. At the level of direct suppliers, about 28 % of particulate matter emissions occur. Both indicators / analyses address the major air-pollution emissions.
- ▶ **Substances hazardous to water (heavy metals):** High concentrations of heavy metals in water endanger living organisms and human health. If certain concentrations are exceeded, growth disturbances in plants and organisms, disturbances in the reproduction of living organisms and in 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. The intermediate input sector of metal production and processing is particularly relevant here.

- ▶ **Waste:** Waste poses a threat to the environment. Accumulations of waste take up land and can lead to pollutant emissions to air, water and soil, sometimes endangering ecosystems. Waste is generated along the entire upstream value chain of the automotive industry – both in production processes and in the extraction of raw materials. Waste from mining operations is a special aspect of this. Potential negative environmental impacts of mining arise on the one hand from the large quantities of overburden and on the other hand from the possible effects of the material properties of the waste on the environment.

In addition to the analysis by environmental aspects, the study includes an in-depth analysis of selected components and raw materials 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 multi-regional input-output analysis, especially with regard to the ecological impacts in raw material extraction phase.

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

Electric vehicle battery

- ▶ Raw material mining, processing and refining
 - Cobalt
 - Copper
 - Lithium
 - Nickel
- ▶ Production of battery materials, components and cell manufacturing
- ▶ Other high risks for negative environmental impacts in the battery value chain

Car body

- ▶ Raw material mining, processing and refining
 - Steel and iron
 - Aluminium/bauxite
 - Zinc
- ▶ Car body production
- ▶ Other high risks for negative environmental impacts in the car body value chain

Tyres

- ▶ Raw material extraction and processing

- Natural rubber
- Carbon black

► Other high risks for negative environmental impacts in the value chain of tyres

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: 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. Product design: Ensure a long-term use phase

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 insgesamt acht Branchenstudien sollen Risiken für negative 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. Das Forschungsprojekt wird von adelphi in Zusammenarbeit mit Systain und Schweizer Legal bearbeitet.

1.2 Ziele der Studie und Anwendungshinweise

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

Die vorliegende Studie:

- ▶ gibt einen Überblick über Risiken für negative Umweltauswirkungen auf den einzelnen Stufen der vorgelagerten internationalen Wertschöpfungskette der deutschen Automobilindustrie und beschreibt tatsächliche negative Auswirkungen;
- ▶ analysiert im Detail die mit der Herstellung ausgewählter Fahrzeugkomponenten 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.

Konkrete umwelt- oder menschenrechtsbezogene Herausforderungen und Auswirkungen in Wertschöpfungsketten von Unternehmen der Automobilindustrie sind üblicherweise von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich. Daraus ergibt sich, dass die Ergebnisse der Studie zwar als Grundlage für Unternehmen dienen kann. Sie ersetzt aber nicht eine individuelle und eigenständige Auseinandersetzung von Unternehmen mit ihrer umweltbezogenen und menschenrechtlichen Sorgfaltspflicht.

1.3 Bezug der Studie zum Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz

Die Bundesregierung hat im Juni 2021 das Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten (Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz – LkSG) verabschiedet. Das LkSG stellt ab 2023 an Unternehmen ab 3.000 Mitarbeitenden Anforderungen an die Umsetzung menschenrechtlicher

und umweltbezogener Sorgfaltspflichten und wird ab 2024 auf Betriebe mit mehr als 1.000 Mitarbeitenden ausgeweitet werden. Betroffene Unternehmen werden verpflichtet, eine Grundsatzerklärung zur Achtung der Menschenrechte zu verabschieden. Zudem müssen Unternehmen eine Risikoanalyse durchführen und ein Risikomanagement sowie einen Beschwerdemechanismus einzurichten 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 unmittelbare Zulieferer. Für mittelbare Zulieferer ist eine anlassbezogene Sorgfaltspflicht vorgesehen.

Anforderungen an die umweltbezogene Sorgfalt ergeben sich aus dem LkSG, wenn negative Umweltauswirkungen (z. B. kontaminiertes Wasser) zu Menschenrechtsverletzungen führen (§ 2 (9) LkSG) und wenn es darum geht, Schadstoffe, die für Mensch und Umwelt gefährlich sind, zu verbieten. Das LkSG greift für Letzteres auf drei internationalen Übereinkommen (§ 2 (1) LkSG) bestimmte umweltbezogene Pflichten auf, die Unternehmen einzuhalten haben: das Übereinkommen von Minamata vom 10. Oktober 2013 über Quecksilber, das Stockholmer Übereinkommen vom 23. Mai 2001 über persistente organische Schadstoffe (POPs) und das Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung vom 22. März 1989.¹

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 bei der Identifizierung und Bewertung von Risiken für negative Umweltauswirkungen über die im LkSG genannten umweltbezogenen Sorgfaltspflichten hinaus und versteht die Auseinandersetzung mit Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Wertschöpfungskette als eigenständiges Handlungsfeld. Gleichwohl soll sie zu einem integrativen Verständnis von umweltbezogener und menschenrechtlicher Sorgfaltspflicht beitragen, da vielschichtige Zusammenhänge zwischen beiden Themen bestehen (vgl. Scherf et al. 2019). Die Studie orientiert sich an dem Sorgfaltspflichten-Verständnis des OECD-Leitfadens für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln (OECD 2018).

1.4 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Studie

1.4.1 Übersicht über erfasste Umweltthemen und Begriffsdefinitionen

Die vorliegende Studie bettet sich in den Sorgfaltspflichtenansatz („Due-Diligence-Prozess“) aus dem OECD-Leitfaden für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln (OECD 2018) ein, wie in Abbildung 1 (siehe Folgeseite) dargestellt. Sie soll Unternehmen der Automobilindustrie 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 aus Abbildung 1). Die in dieser Studie identifizierten Risiken bieten einen ersten Anhaltspunkt auf Branchenebene, können eine auf Unternehmensebene durchzuführende Risikoanalyse der eigenen spezifischen Zulieferkette jedoch nicht ersetzen.

¹ Die Studie befasst sich nicht explizit mit den Anforderungen der drei genannten Umwelt-Abkommen.

Abbildung 1: Due Diligence-Prozesse und Maßnahmen²



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

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

Die Studie betrachtet die folgenden sieben **Umweltthemen** und legt dar, mit welchen Risiken für negative Umweltauswirkungen diese einhergehen:

- ▶ Treibhausgase
- ▶ Wasser
- ▶ Fläche
- ▶ Abiotische und biotische Ressourcen
- ▶ Luftschadstoffe
- ▶ Wassergefährdende Stoffe
- ▶ Abfälle

Für die sieben Umweltthemen werden auf den verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette der deutschen Automobilindustrie die Umweltauswirkungen ermittelt (Kapitel 3). Für ausgewählte Fokuskomponenten (Kapitel 4) werden für die einzelnen Wertschöpfungsstufen typische Umweltauswirkungen und eingetretene Schadensfälle aufgeführt und das Risiko für negative Umweltauswirkungen anhand der im Sorgfaltspflichtenkonzept etablierten Kriterien „Schwere“ und „Eintrittswahrscheinlichkeit“ beschrieben. Leserinnen und Lesern sollen so die

² In der Grafik wird der Terminus „Responsible Business Conduct“ (RBC) verwendet.

auf Branchenebene zusammengestellten Informationen als Ausgangspunkt nutzen und mit ihren unternehmensspezifischen Daten abgleichen können.

Unter **Umweltauswirkung** wird in der Studie analog zu der Norm ISO 14001 bzw. dem Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) „jede positive oder negative Veränderung der Umwelt, die ganz oder teilweise auf Tätigkeiten, Produkte oder Dienstleistungen einer Organisation zurückzuführen ist“ (EMAS-Verordnung, Artikel 2, Absatz 8), 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 den Fokuskomponenten auch nachgelagerte Abschnitte der Wertschöpfungskette mitbetrachtet.

Erläuterungen zum Risiko-Begriff

In Anlehnung an den OECD-Leitfaden für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln und die UN Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte unterscheidet die Studie zwischen tatsächlichen und potenziellen negativen Auswirkungen auf Menschen und Umwelt. Tatsächliche Auswirkungen werden als solche verstanden, die bereits eingetreten sind oder aktuell eintreten und wiedergutmacht bzw. eingestellt werden sollten. Potenzielle Auswirkungen haben eine Wahrscheinlichkeit in der nahen oder ferneren 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, zum Beispiel bei fortwährenden oder schleichenden Umweltauswirkungen. Fortwährende Umweltauswirkungen entstehen zum Beispiel, 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 anhand 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 für negative Umweltauswirkungen sind dabei, oft:

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

Die vorliegende Studie kann Unternehmen als Ausgangspunkt für vertiefende individuelle Risikoanalysen dienen. Entsprechend enthält die Studie einen Überblick über die tatsächlichen

Umweltauswirkungen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette der deutschen Automobilindustrie (Kapitel 3) und eine grobe Risikobewertung für typische negative Umweltauswirkungen in den Wertschöpfungsstufen ausgewählter Fahrzeugkomponenten (Kapitel 4).

1.4.2 Kriterien zur Bewertung des Risikos für negative Umweltauswirkungen

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

Die Eintrittswahrscheinlichkeit kann je nach Unternehmenskontext von diversen internen und externen Faktoren (u. a. Produktionsland, Nachhaltigkeitsniveau von Lieferanten) abhängen. Um im Rahmen der Studie eine Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Umweltauswirkungen zu ermöglichen, greift die Studie neben Informationen über bereits aufgetretene negative Umweltauswirkungen als Annäherung auf länderbezogene Umweltgovernance-Bewertungen zurück. Dahinter steht die Annahme, dass die Umweltgovernance eines Landes die Eintrittswahrscheinlichkeit dessen beeinflusst, ob und in welchem Maße Umweltstandards vorliegen und von dort ansässigen (Vor-)Lieferanten eingehalten werden. 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 2020 bewertet 180 Staaten hinsichtlich ihrer Umweltperformance mit 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 2020 als Land mit der besten Umweltperformance mit einem Wert von 82,5 auf Platz 1. Den letzten Platz belegt im 2020-Ranking Liberia mit einer Gesamtbewertung von 22,6. Deutschland liegt mit einem Wert von 77,2 auf Platz 10.

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 angegeben.
- Von den in dieser Studie betrachteten Staaten liegt Finnland mit einem berechneten Durchschnittswert von 1,74 auf Platz 1 der besten Regierungsführung. Die Demokratische Republik Kongo (DR Kongo) erhält mit -1,59 den schlechtesten Wert aller hier betrachteten Länder. Deutschland erhält die Wertung 1,46.

Die Indices-Werte werden in den jeweiligen Analysekapiteln 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 Indices

Ländergruppe mit niedrigerer Governance-Bewertung		Ländergruppe mit höherer Governance-Bewertung	

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 Kriterien „Schwere“ (inkl. der Unterkriterien) und „Eintrittswahrscheinlichkeit“ und der in der Studie genutzten Quellen(-typen).

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"> ▶ ENCORE -Datenbank: „Materiality-Rating“ ▶ qualitative Auswertung bestehender Daten- und Literaturquellen, insb. Datenbanken, wissenschaftliche Forschungsarbeiten und Studien o. Ä., von zivilgesellschaftlichen Akteuren, Verbänden oder anderen Institutionen
	Umfang: In welchem Umfang kommt es zu Schädigungen der Umwelt? Wie ist die lokale, regionale oder globale Umwelt betroffen?	
	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 Indicator (WGI) ▶ ENCORE -Datenbank: „Materiality-Rating“³

Quelle: Eigene Darstellung. Leitfragen orientieren sich an der EMAS-Verordnung, Anhang I.

1.4.3 Methodisches Vorgehen

Methodisch setzt das Projekt auf einen Mix aus ökologisch erweiterten Input-Output-Modellen, Ökobilanzdaten, einschlägigen Studien, Online-Tools, Nachhaltigkeitsberichten und Interviews mit Expertinnen und Experten. Grundsätzlich bedient sich die Studie bestehender Daten(-quellen).

Mithilfe von erweiterten, multiregionalen Input-Output (MRIO)-Modellierungen liefert die Studie einen Überblick darüber, welche Umweltauswirkungen in der vorgelagerten globalen Wertschöpfungskette der Unternehmen des deutschen Automobilbaus auftreten bzw. auftreten können. Bei der MRIO-Analyse werden zunächst Verflechtungen von vorgelagerten Wertschöpfungsketten auf Grundlage volkswirtschaftlicher Daten modelliert. Somit wird aufgezeigt, in welchem Umfang die deutsche Automobilindustrie Vorleistungen aus welchen

³ 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-Rating“ (ENCORE o.J.) ist hier einzusehen: <https://encore.naturalcapital.finance/en/data-and-methodology/materiality>

Ländern und von welchen Vorleistungssektoren bezieht. Die Modellierung erfolgt hierbei auf tieferen Lieferkettenstufen bis hin zur Gewinnung von Rohstoffen, Energieträgern und land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen und legt somit die Struktur der globalen vorgelagerten Wertschöpfungsketten offen. Die volkswirtschaftlichen Daten sind ergänzt um ökologische Daten der jeweiligen Sektoren im betreffenden Land. So können beispielsweise die Treibhausgasemissionen oder der Wasserverbrauch entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des Automobilsektors quantifiziert werden. Grundlage für die erweiterte Input-Output-Analyse bildet EXIOBASE 3.7. Der Ansatz hat jedoch auch Grenzen. Die Daten für Nicht-OECD-Länder sind nur gering aufgelöst. Beispielsweise können die afrikanischen Länder derzeit bis auf Südafrika nur aggregiert angegeben werden. Zudem können einzelne Produktgruppen oder Rohstoffe nicht separat ausgewiesen werden. Darüber hinaus bestehen bei EXIOBASE Datenlücken bei der Rohstoffgewinnung, sodass die ökologischen Auswirkungen zum Rohstoffabbau im Vergleich zu industriellen Prozessen weniger detailliert abgebildet sind.

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

Die Analysen auf Basis der erweiterten MRIO-Analysen werden qualitativ ergänzt durch eine Auswertung der Tools ENCORE zur Bewertung der ökologischen Relevanz von Sektoren („Materiality-Rating“), des WWF Water Risk Tools zur Analyse von regionalen Knappheitsrisiken bei Wasser sowie des CSR Risk Checks zur Identifizierung von ökologischen Risiken einzelner Sektoren. ENCORE bewertet die ökologische Relevanz („Materiality“) von einzelnen Sektoren und damit verbundenen Prozessen.⁴ Ähnlich geht auch der MVO Nederlands 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 zu Knappheitsrisiken von Wasser.

Für die Automobil-Komponenten „Traktions-Batterie“, „Karosserie“ und „Reifen“ werden Risiken für negative Umweltauswirkungen entlang vorgelagerter Wertschöpfungsstufen basierend auf bestehenden Datenquellen und Studien genauer identifiziert und teils durch Vorfälle illustriert. Dadurch sollen auch mögliche Lücken in der Aussagekraft der MRIO-Analyse geschlossen werden, insbesondere im Hinblick auf die ökologischen Auswirkungen im Rohstoffabbau.

1.4.4 Aufbau der Studie

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

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

⁴ Zur Bewertung der Materialität vgl. hier (ENCORE o.J.): <https://encore.naturalcapital.finance/en/data-and-methodology/materiality>.

Unternehmen können so branchenbezogene Informationen mit ihren unternehmensspezifischen Daten abgleichen und eine Einschätzung dazu vorzunehmen, welche Risiken für negative Umweltauswirkungen vorliegen und, ob das Unternehmen durch seine Geschäftstätigkeit die Auswirkungen verursacht bzw. verursachen könnte, dazu beiträgt oder mit den Auswirkungen in Verbindung steht bzw. stehen könnte. Daraus ergeben sich auch Ansatzpunkte (potenzielle) negative Umweltauswirkungen zu reduzieren oder zu vermeiden, beispielsweise durch proaktives Engagement mit Wertschöpfungspartnern (siehe Kapitel 5).

Im **vierten Kapitel** werden die o.g. Umweltthemen entlang der Wertschöpfungskette für ausgewählte Automobilkomponenten (Traktions-Batterie, Karosserie, Reifen) 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 vorigen Kapiteln aufbauend geeignete Schritte zur Identifizierung und Bewertung sowie mögliche Handlungsansätze zur Beseitigung, Vermeidung und Minderung von Risiken für negative Auswirkungen aufgeführt. Entsprechende weiterführende Quellen und Hilfestellungen werden aufgezeigt. In 10 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 Automobilindustrie im Überblick

Die vorliegende Studie betrachtet den NACE-Sektorcode C29 und damit die „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“. Darunter fallen neben der Herstellung von Fahrzeugen und Motoren auch die „Herstellung von Kfz-Teilen und -Zubehör durch die Automobilzulieferer“ und die „Herstellung von Anhängern und Aufbauten“.

Die Automobilindustrie ist mit einem Umsatz von knapp 378 Mrd. EUR im Jahr 2020 der umsatzstärkste Industriesektor in Deutschland (DESTATIS 2021). Der Großteil des Umsatzes (ca. 78 %) entfällt dabei auf die Herstellung von Fahrzeugen und Motoren. So wurden von deutschen Herstellern 2019 weltweit mehr als 13 Mio. PKW produziert. Der Rest des Umsatzes wird zu knapp 19 % durch die Automobilzulieferer und zu knapp 3 % durch die Hersteller von Aufbauten und Anhängern generiert (VDA o. J. a). Im Jahresdurchschnitt waren 2020 ca. 809.000 Menschen in der Automobilindustrie beschäftigt.

Die Wertschöpfungskette des deutschen Automobilssektors ist in hohem Maße internationalisiert und ausdifferenziert. Die große Bandbreite an Bauteilen und Komponenten für das Fahrzeug führt dazu, dass eine ganze Reihe von Wirtschaftssektoren, die teilweise auf den ersten Blick keinen Bezug zur Automobilindustrie haben, mit dieser verbunden sind. Dazu gehören beispielsweise die Chemie-, die Textil- oder die Stahl- und Aluminiumindustrie. Darüber hinaus steht die Automobilindustrie vor tiefgreifenden Umbrüchen: Die Transformation hin zu alternativen Antriebstechnologien (und die digitale Transformation) wird bedeutende Auswirkungen auf die Wertschöpfungsketten haben und wirkt sich bereits heute auf Teilbereiche, etwa des Werkstoffbezugs, aus. So werden Rohstoffe, die bisher eine vergleichsweise geringe Rolle spielen, zunehmend wichtiger. Im Fokus stehen dabei beispielsweise Rohstoffe wie Lithium und Kobalt, die eine elementare Rolle bei der Herstellung von Batterien für Elektroautos spielen (VDA 2020).

Dem hohen Maß an Ausdifferenzierung entsprechend ist auch das Spektrum an Unternehmenstypen und -größen im Bereich der Automobilzulieferer sehr breit. Hier finden sich sowohl regional agierende KMUs mit 100 Mitarbeitenden als auch Weltkonzerne mit mehreren hunderttausend Mitarbeitenden. Die deutsche Automobilzulieferindustrie zählt dabei knapp 900 Unternehmen. Insgesamt werden drei Viertel der Wertschöpfung in vorgelagerten Produktionsstufen generiert (VDA o. J. b). Außerdem existiert ein nachgelagerter, unmittelbar mit der Automobilindustrie verbundener Dienstleistungssektor. Dazu gehören z. B. Autovermietungen, Kfz-Werkstätten oder Tankstellen (BMW 2020).

Nachfolgend wird die globale Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus mithilfe der erweiterten MRIO-Modellierung analysiert. Die Angaben spiegeln das statistische Mittel aller Produktionsstandorte des Automobilssektors in Deutschland mit deren zugehörigen vorgelagerten Lieferketten wider. Da Produktionsstandorte des Automobilbaus untereinander verflochten sein können, gehen die vorgelagerten Standorte als Vorleistungen des Automobilssektors ein. Bezieht beispielsweise ein Produktionswerk der Endmontage Komponenten aus einem Motorenwerk, so gilt das Motorenwerk statistisch als direkter Lieferant (auch innerhalb eines Unternehmens).

Der Großteil der Wertschöpfung erfolgt auf der Stufe der direkten Lieferanten, wie Abbildung 2 zeigt (Modellierung auf Basis der Umsatzzahlen des Jahres 2019). Die akkumulierte Wertschöpfung aller weiter vorgelagerten Wertschöpfungsstufen, d. h. Produktion und Verarbeitung von Vor-Komponenten und Zwischenprodukten bis hin zur Rohstoffgewinnung, ist geringer und nimmt mit zunehmender Tiefe der Wertschöpfungskette ab. Negative Umweltauswirkungen sind jedoch meist auf den tieferen Lieferkettenstufen zu verorten, wie die

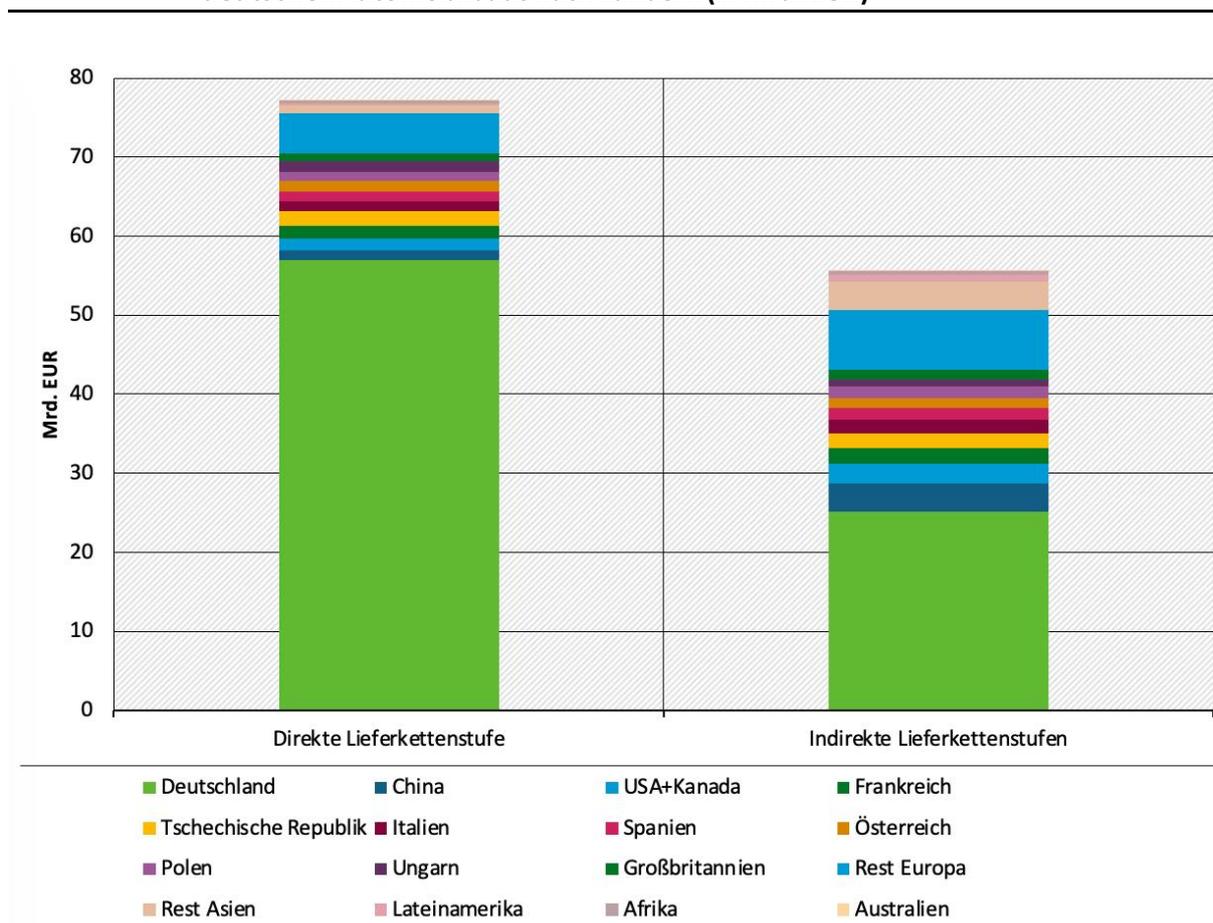
nachfolgenden Kapitel zeigen. Das Verhältnis von Wertschöpfung und negativer Umweltauswirkung ist reziprok, d. h. hohe (potenzielle) negative Auswirkungen auf die Umwelt ergeben sich vor allem auf den Lieferkettenstufen mit meist geringer Wertschöpfung (vgl. auch Dorninger et al. 2021).

Der Großteil der Wertschöpfung in den Lieferketten erfolgt innerhalb Deutschlands (insgesamt 82 Mrd. EUR; Abbildung 2). In Europa wird insgesamt ein hoher Teil der Wertschöpfung in der automobilen Lieferkette erzeugt, insbesondere in der Tschechischen Republik und in Frankreich – sowohl auf der Stufe der direkten Lieferanten als auch auf tieferen Wertschöpfungsstufen. Auf der Stufe der direkten Lieferanten umfasst dies vor allem Unternehmen des Automobilbaus, der metallherstellenden und -verarbeitenden Industrie, des Maschinenbaus sowie der kunststoffverarbeitenden Industrie. Als weitere Länder folgen Italien sowie Spanien, Österreich und Polen als Produktionsstandorte für Vorleistungen.

Etwa 4,8 Mrd. EUR der Wertschöpfung in der vorgelagerten Wertschöpfungskette werden in China erbracht. Die Wertschöpfung in China verteilt sich sowohl auf die Stufe der direkten Lieferanten als auch auf tiefere Lieferkettenstufen. Dabei handelt es sich vor allem um Unternehmen aus dem Automobilbau und der Elektronikindustrie. Die Wertschöpfung in den weiteren Ländern Asiens, insbesondere Japan und Südkorea, beträgt 4,6 Mrd. EUR.

In Nordamerika (USA und Kanada) wird eine Wertschöpfung von 3,8 Mrd. EUR erbracht, vor allem auf der Stufe der direkten Lieferanten. Lateinamerika (inkl. Mexiko) und Afrika nehmen eine untergeordnete Rolle in der Wertschöpfung ein.

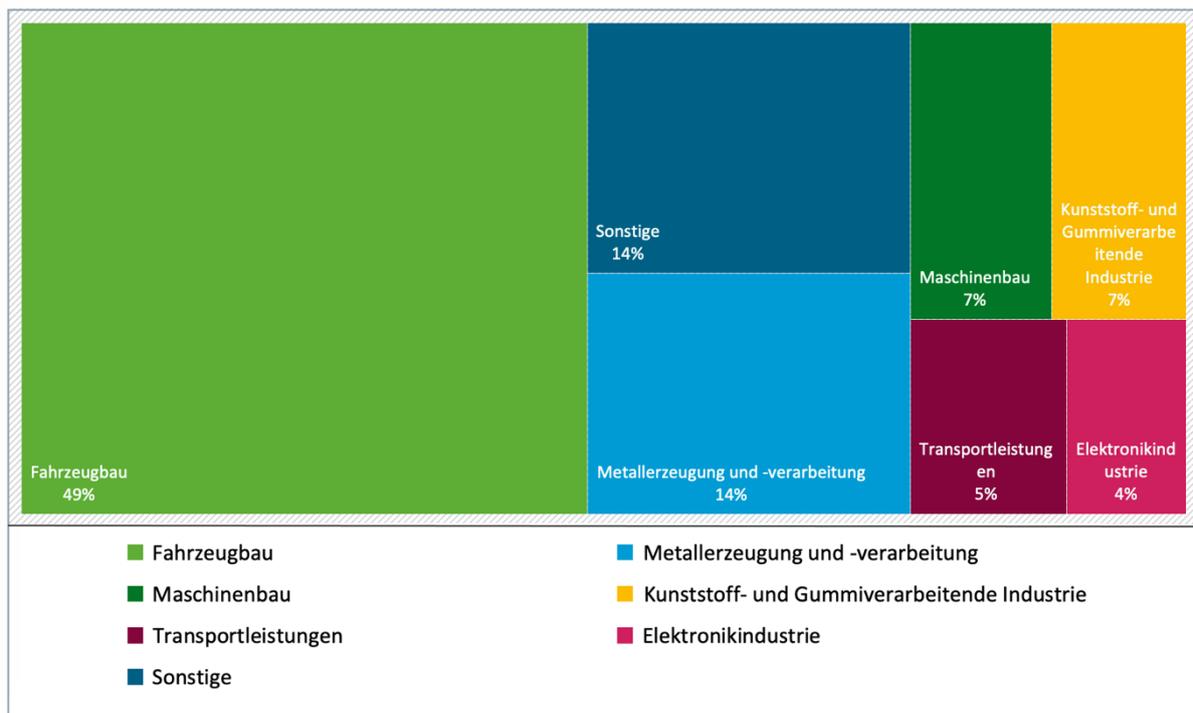
Abbildung 2: Wertschöpfungsanteile direkter Lieferanten und tieferer Lieferkettenstufen des deutschen Automobilbaus nach Ländern (in Mrd. EUR)



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Knapp die Hälfte der Wertschöpfung in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilsektors wird bei (Vor-)Lieferanten aus dem Automobilsektor selbst erbracht (Abbildung 3). Zweitwichtigster Vorleistungssektor bezogen auf die Wertschöpfung ist die metallerzeugende und -verarbeitende Industrie mit einem Anteil von 14 % an der Wertschöpfung in der vorgelagerten Kette des deutschen Automobilbaus. Die Wertschöpfung erfolgt vor allem in Deutschland, China und Italien. Jeweils 7 % der Wertschöpfung entfallen auf den Maschinenbau und den kunststoff- und gummiverarbeitenden Sektor.

Abbildung 3: Sektorale Verteilung der Wertschöpfung in der vorgelagerten Wertschöpfungskette/den Vorleistungssektoren des deutschen Automobilbaus



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

3 Umweltthemen entlang der Lieferkette

3.1 Übersicht relevanter Umweltthemen und Sektoren in der Lieferkette

Das folgende Kapitel 3 soll helfen, tatsächliche und potenzielle negative Umweltwirkungen in der eigenen vorgelagerten Wertschöpfungskette zu identifizieren. Ausgangspunkt bilden die Modellierungen der Lieferketten des Sektors. Dies umfasst die Umweltthemen Treibhausgase, Wasser, Fläche, abiotische und biotische Ressourcen, Luftschadstoffe, wassergefährdende Stoffe und Abfall. Die Angaben zu den jeweiligen Umweltthemen sollen ein besseres Verständnis schaffen, an welchen Stellen in der eigenen vorgelagerten Wertschöpfungskette der Branche 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, die einen hohen Anteil bei dem betreffenden 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 Datenbanken arbeiten, um die spezifische Wertschöpfungskette des eigenen Unternehmens zu untersuchen und Informationen über tatsächliche und potenzielle negative Umweltauswirkungen zu sammeln.

Tabelle 3: Überblick über untersuchte Umweltthemen

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

Umweltthema	Messgröße/Definition	Quellen
Abfall	Qualitative Beschreibung aufgrund fehlender Datengrundlage in den multiregionalen Input-Output-Modellen	ENCORE, CSR Risk Check

Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 4 zeigt die umweltrelevanten Sektoren in der Lieferkette und die entsprechenden Umweltthemen auf, die ein Unternehmen aus der Automobilindustrie mindestens im Blick haben sollte. Am relevantesten ist die Metallherzeugung und -verarbeitung. Des Weiteren zeigt sich, dass die vorgelagerte Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus durch einen hohen Energiebedarf geprägt ist, der sowohl bei der Stromerzeugung als auch bei der Gewinnung der Energieträger zu Treibhausgasemissionen, Luftschadstoffen sowie zu hohem Ressourcen- und Wasserverbrauch führt.

Tabelle 4: Umweltrelevante Sektoren in der Lieferkette der deutschen Automobilindustrie

Vorleistungssektor	Relevanz Lieferkettenstufen	Umweltthemen	Anmerkungen
Metallerzeugende und -verarbeitende Industrie	Direkte Lieferanten und Vorlieferanten	Treibhausgase, Luftschadstoffe, Wasser, Wassergefährdende Stoffe	Hoher Energiebedarf; negative Umweltauswirkungen insbesondere bei Nutzung fossiler Energieträger; besondere Relevanz in China und in Indien sowohl aufgrund des hohen Kohlestromanteils als auch der regionalen Wasserknappheit in diesen Ländern
Stromerzeugung	Direkte Lieferanten und Vorlieferanten	Treibhausgase, Luftschadstoffe, Wasser	Negative Umweltauswirkungen insbesondere bei Nutzung fossiler Energieträger; besondere Relevanz in China und in Indien sowohl aufgrund des hohen Kohlestromanteils als auch der regionalen Wasserknappheiten in diesen Ländern
Gewinnung von Energieträgern	Vorlieferanten	Treibhausgase, Luftschadstoffe, Fläche, Ressourcen	Besondere Relevanz in China, Russland und Indien
Chemische Industrie	Direkte Lieferanten und Vorlieferanten	Treibhausgase, Luftschadstoffe, Wasser, Wassergefährdende Stoffe	-/-
Automobilbau	Direkte Lieferanten	Treibhausgase, Wassergefährdende Stoffe	Abhängig von den Prozessen, hohe Energieintensität des Sektors
Transporte	Direkte Lieferanten und Vorlieferanten	Treibhausgase, Luftschadstoffe	-/-
Gewinnung von Mineralien	Vorlieferanten	Wasser, Fläche, Ressourcen,	Abhängig von den jeweiligen Mineralien und den damit

Vorleistungssektor	Relevanz Lieferkettenstufen	Umweltthemen	Anmerkungen
		Wassergefährdende Stoffe	verbundenen Gewinnungsprozessen; regionale Unterschiede

Quelle: Eigene Darstellung.

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

Die Umweltauswirkungen in den Lieferketten des deutschen Automobilssektors 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.⁵ Die Auflistung erhebt keineswegs Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll mithilfe von Beispielen die vielschichtigen Zusammenhänge zwischen Umweltauswirkungen und Menschenrechten skizzieren. Insgesamt sollten mögliche Zusammenhänge immer einzelfallspezifisch betrachtet werden (vgl. Scherf et al. 2020, S. 17). Zu folgenden Menschenrechten werden in der Tabelle exemplarisch Zusammenhänge mit Umweltthemen aufgezeigt:

- ▶ Recht auf Leben (Art. 3 AEMR; Art. 6 UNO-Pakt II)
- ▶ Recht auf Gesundheit (Art. 25 AEMR; Art. 12 UNO-Pakt I)
- ▶ Recht auf Nahrung (Art. 25 AEMR; Art. 11 UNO-Pakt I)
- ▶ Recht auf Wasser (Art. 11 UNO-Pakt I)⁶
- ▶ Recht auf einen angemessenen Lebensstandard (Art. 25 AEMR; Art. 11 UNO-Pakt I)
- ▶ Recht auf Wohnung und Schutz vor Vertreibung (Art. 25 AEMR; Art. 11 UNO-Pakt I)

⁵ 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).

⁶ 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.

- ▶ Gesundheit und Sicherheit der Arbeiterinnen und Arbeitern (ILO-Konvention Nr. 155 sowie 187⁷)
- ▶ Rechte indigener Völker (UNDRIP⁸)

⁷ 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.

⁸ 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)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Belastung von Ökosystemen (u. a. Schädigungen an Flora und Fauna) ▶ Quecksilberbelastung 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Gesundheitsgefährdungen ▶ Verlust von Zugang zu Jagdwild durch Artensterben 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 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	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Grundwasser- verunreinigung 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Gesundheitsgefährdungen der Arbeiterinnen und Arbeiter sowie der Anwohnerinnen und Anwohnern ▶ Einbußen bei Agrarerträgen 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 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	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Belastung von Ökosystemen (z. B. durch Wasserknappheit) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Beeinträchtigung des Zugangs zu Wasser 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Recht auf Wasser (Art. 11 UNO-Pakt I) ▶ Recht auf Leben (Art. 3 AEMR; Art. 6 UNO-Pakt II)
Fläche	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Belastung von Ökosystemen (z. B. durch Waldrodung) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Landnahme ▶ Zwangsumsiedlung, Vertreibung 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 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.

3.3 Relevante Umweltthemen im Detail

3.3.1 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 Starkniederschläge. Darüber hinaus können künftige Folgen durch das Erreichen von sog. Kipp-Punkten und 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

Für das Jahr 2019 betrugen die Treibhausgasemissionen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus 72,2 Mt CO₂-Äquivalente.⁹ Bezogen auf den Umsatz betrugen die Treibhausgasemissionen in der Lieferkette 0,19 kg CO₂-Äquivalente pro EUR.

Die Treibhausgasemissionen auf der Stufe der direkten Lieferanten (tier 1) beträgt etwa ein Viertel. Der Großteil der Treibhausgasemissionen geht auf indirekte Lieferanten, d. h. Vorleistungsprozesse auf den tieferen Wertschöpfungsstufen (tier 2 - n), zurück (Abbildung 4).

Geografische Verteilung

Etwa 38 % der Treibhausgasemissionen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette entstehen in Deutschland; insbesondere auf der Stufe der direkten Lieferanten. Wie Abbildung 4 zeigt, sinkt der inländische Anteil auf den tieferen Lieferkettenstufen. Die Emissionen entstehen vor allem durch den inländischen Strombedarf des Automobilsektors selbst¹⁰ sowie der metallverarbeitenden Industrie. Direkte Treibhausgasemissionen entstehen an Standorten der chemischen Industrie, der Automobilzulieferindustrie und der metallverarbeitenden Industrie in Deutschland.

Die Treibhausgasemissionen im europäischen Ausland inkl. Russland und der Türkei machen etwa ein Drittel der Gesamtemissionen in der Wertschöpfungskette des deutschen Automobilsektors aus. Auf der Stufe der direkten Lieferanten beträgt dieser Anteil 17 % und entsteht vor allem in Russland, Frankreich, Italien, Polen und der Tschechischen Republik. Für Russland gehen die Emissionen auf die Gewinnung von fossilen Energieträgern für den Energie- und Stromverbrauch der Automobilindustrie selbst und deren Vorleistungssektoren zurück. Zudem sind die fossilen Rohstoffe Grundlage für die Herstellung von Chemikalien und

⁹ Im ‚Umweltatlas Lieferketten‘ (Jungmichel et al. 2017) wurden für das Jahr 2015 140 CO₂-Äquivalente des deutschen Fahrzeugbaus angegeben. Die Angabe umfasst den gesamten Fahrzeugbausektor, d. h. neben dem Automobilbau (NACE 29) auch den sonstigen Fahrzeugbau für Schienenfahrzeuge, Schiffe, Flugzeuge, Zweiräder u. a. (NACE 30). Zudem beinhaltet der Wert auch die Emissionen der eigenen Standorte.

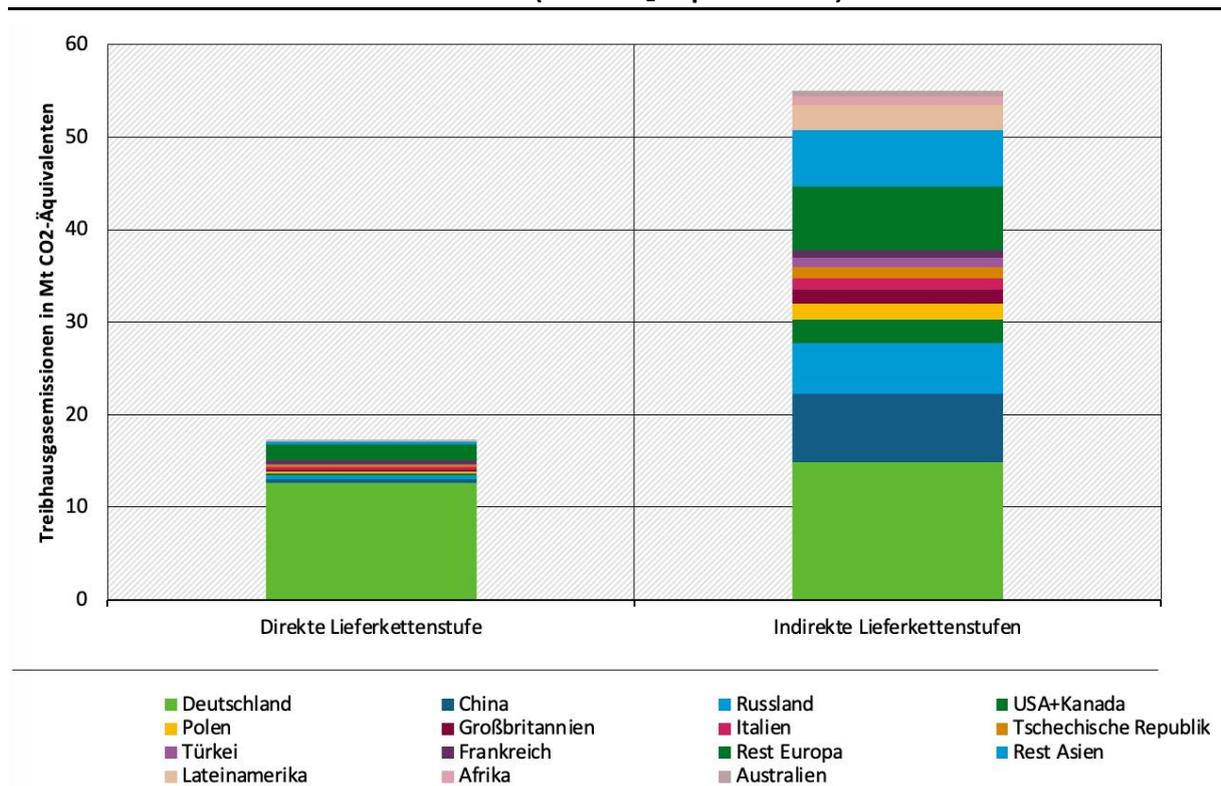
¹⁰ In der MRIO-Analyse gilt der bezogene Strom am eigenen Standort als Vorleistung, d. h. ein Stromlieferant gilt als Tier-1-Lieferant. Nicht enthalten sind direkte Emissionen am eigenen Standort durch die Nutzung fossiler Energieträger, z. B. für thermische Prozesse.

Kunststoffen. Für Polen ist der hohe Kohlestromanteil am Strommix zu berücksichtigen, der zu hohen Treibhausgasemissionen führt: Im Jahr 2019 betrug der Kohleanteil an der Stromproduktion in Polen 74 % (IEA 2021a). Ähnliches gilt für die Tschechische Republik, wo der Kohlestromanteil etwa 45 % ausmacht (IEA 2021b).

Etwa 11 % der Treibhausgasemissionen entstehen durch Vorleistungen in China, insbesondere auf den tieferen Stufen in der Lieferkette. Die Emissionen gehen auf die Stromerzeugung sowie auf die direkten Emissionen der metallherstellenden und -verarbeitenden Industrie zurück. Ausschlaggebend für die hohen Treibhausgasemissionen der Stromversorgung ist der hohe Anteil von Kohle am Strommix, der im Jahr 2019 64 % betrug (IEA 2021c).

Knapp 9 % machen die Emissionen im Rest Asiens aus. Ausschlaggebend ist u. a. der Strombedarf der vorproduzierenden Sektoren vor allem in Japan und Südkorea. Der Anteil Nordamerikas an den Treibhausgasemissionen beträgt insgesamt knapp 4 %.

Abbildung 4: Treibhausgasemissionen entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus (in Mt CO₂-Äquivalenten)

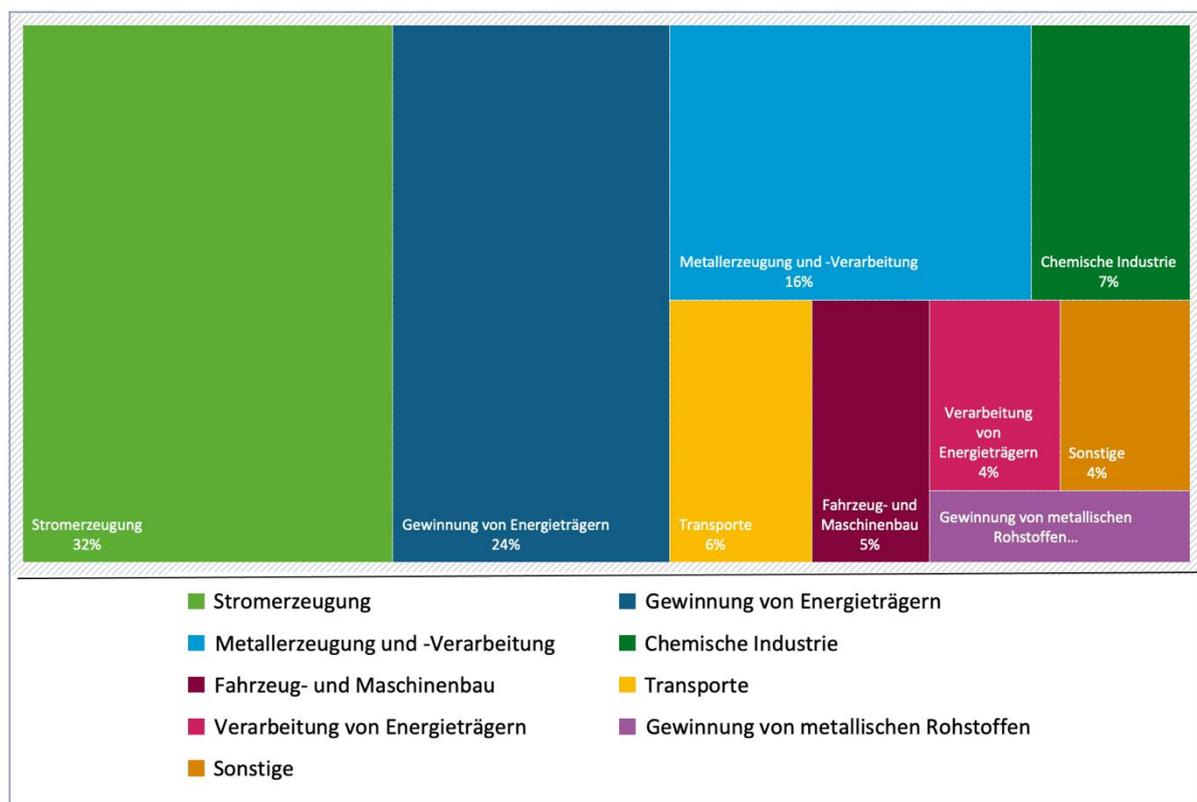


Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung

Wie Abbildung 5 zur sektoralen Verteilung der Treibhausgasemissionen in der Lieferkette zeigt, geht etwa ein Drittel der Emissionen entlang der Wertschöpfungskette auf die Stromerzeugung zurück (22,9 Mt CO₂-Äquivalente). Etwa 5,3 Mt werden durch den Strombezug der eigenen Standorte der Automobilindustrie verursacht. Etwa ein Viertel der Treibhausgasemissionen entsteht durch die Förderung von fossilen Energieträgern für die Energie- und Stromerzeugung entlang der Wertschöpfungskette sowie für die Herstellung von Chemikalien und Kunststoffen aus fossilen Quellen. Weitere Treiber für Treibhausgasemissionen sind die direkten Emissionen der metallherstellenden und -verarbeitenden Industrie und der chemischen Industrie als Vorleistungssektoren des Automobilbaus sowie Transporte.

Abbildung 5: Sektorale Verteilung der Treibhausgasemissionen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

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

3.3.2 Wasser

Problemaufriss und (potenzielle) negative Auswirkungen

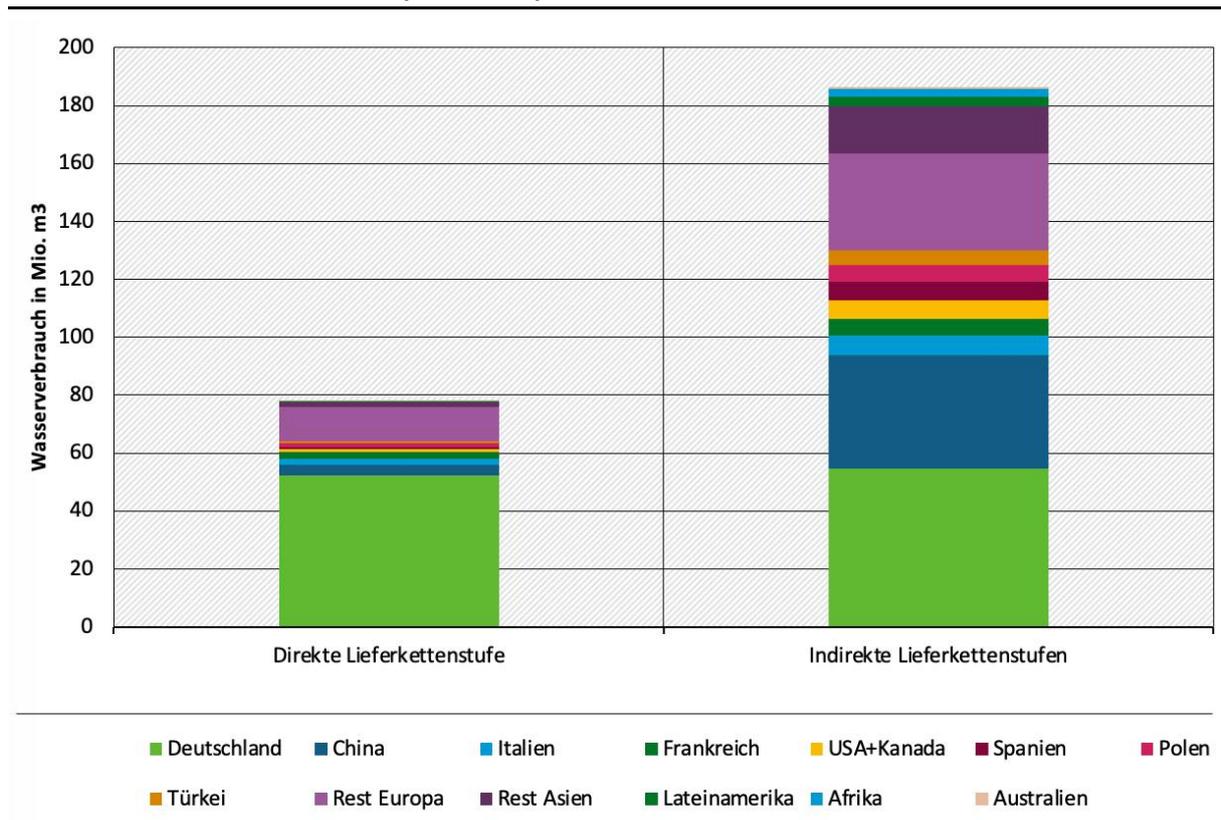
Im Folgenden wird der Verbrauch von sog. blauem Wasser betrachtet, d. h. die Entnahme von Süßwasser aus Gewässern und dem Grundwasser. Die Entnahme von großen Wassermengen aus (natürlichen) Wasserreservoirs kann zu Beeinträchtigungen der biologischen Vielfalt von Lebensräumen wie Flüssen, Seen und Feuchtgebieten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

Verteilung des Wasserverbrauchs nach Lieferkettenstufen

Der Wasserverbrauch der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilsektors betrug im Jahr 2019 knapp 265 Mio. m³.

Etwa 30 % des Wasserverbrauchs in der Lieferkette ist auf der Stufe der direkten Lieferanten zu verorten. Der Großteil des Wasserverbrauchs erfolgt auf den tieferen Lieferkettenstufen, d. h. bei der Produktion von Vorprodukten, Vorleistungen für die Produktion von Bauteilen und der Rohstoffgewinnung (Abbildung 6).

Abbildung 6: Wasserverbrauch entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus (in Mio. m³)



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Geografische Verteilung

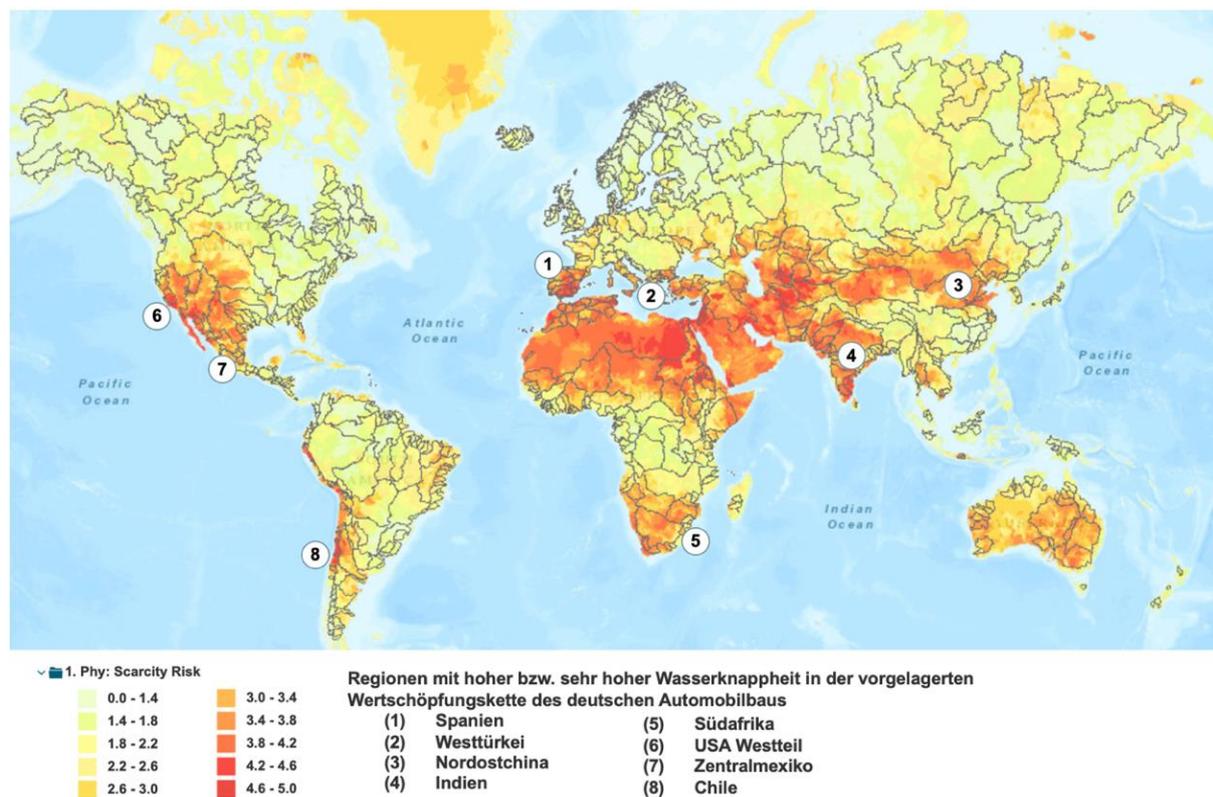
Etwa 40 % des Wasserverbrauchs in der vorgelagerten Wertschöpfungskette gehen auf Vorstufen innerhalb Deutschlands zurück. Wie Abbildung 6 zeigt, sinkt der inländische Anteil am Wasserverbrauch auf den tieferen Lieferkettenstufen.

In Europa entstehen 31 % des Wasserverbrauchs (82 Mio. m³), insbesondere in Italien, Frankreich, Spanien und in Polen sowie in der Türkei. Hierbei sind insbesondere die Vorsektoren der Metallverarbeitung sowie die Stromerzeugung und landwirtschaftliche Prozesse, z. B. für die Herstellung von Grundstoffen für die chemische Industrie, ausschlaggebend.

Zur Identifizierung von negativen Umweltauswirkungen in Regionen mit Wasserknappheit eignet sich die Nutzung des Indikators „Scarcity Risk“ des WWF Water Risk Filters, mit dem kritische Regionen lokalisiert werden können (WWF 2020). Der Indikator aggregiert sieben risikobasierte Bewertungen bzw. Knappheitsindikatoren zur Verfügbarkeit und zur Nutzung von Süßwasser¹¹ und ist auf der Weltkarte in Abbildung 7 dargestellt (Risikoeinstufung von 0 = sehr niedrig bis 5 = sehr hoch). 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 mit der dortigen Automobilindustrie und Zuliefersektoren sowie den Großraum Madrid als ebenfalls wichtiges Industriecluster in Spanien (siehe Nummer 1 in Abbildung 7). In der Türkei besteht für die Industriezentren um Bursa und Izmir mit der dortigen Schwerindustrie sowie der Automobilzulieferindustrie ein hohes Wasserknappheitsrisiko (siehe Nummer 2 in Abbildung 7).

¹¹ Aridity; water depletion; baseline water stress; blue water scarcity; available water remaining; drought frequency probability; projected change in drought occurrence (WWF 2020). Water Risk Filter. Methodology. Link: <https://waterriskfilter.panda.org/en/Explore/DataAndMethod>

Abbildung 7: Aggregierte Wasserknappheitsrisiken in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus



Quelle: WWF 2020.

Etwa 16 % des Wasserverbrauchs erfolgt in China (43 Mio. m³), dort insbesondere auf den tieferen Lieferkettenstufen. Die größten Wasserverbräuche entstehen in Vorleistungen aus der metallherstellenden und -verarbeitenden Industrie sowie bei der Stromversorgung für Lieferanten und Vorlieferanten. Wie Abbildung 7 zeigt, unterliegt der Nordosten Chinas, insbesondere die Provinzen Hebei mit Peking und Shandong (siehe Nummer 3 in Abbildung 7), hohen bis sehr hohen Risiken der Wasserknappheit. Beide Provinzen sind durch die Stahl- und Metallindustrie sowie die Kohleverstromung geprägt. Auch die Provinz Jiangsu, wo sich zahlreiche Vorlieferbranchen des Automobilsektors angesiedelt haben, u. a. auch die Batteriezellenfertigung, besitzt ein hohes Wasserknappheitsrisiko.

Weitere 7 % des Wassers entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette werden im restlichen Asien verbraucht (18 Mio. m³), insbesondere in Indien, Südkorea und Japan. Indien unterliegt einem sehr hohen Risiko der Wasserknappheit (siehe Nummer 5 in Abbildung 7). Die großen industriellen Ballungszentren des Landes mit der Stahlindustrie sowie der Metallherzeugung und -verarbeitung befinden sich fast ausschließlich in Regionen mit sehr hoher Risikoausprägung von Wasserknappheit. Sowohl für Indien als auch für China ist außerdem zu berücksichtigen, dass mit einer signifikanten Verschärfung der lokalen Wasserknappheit innerhalb der nächsten zehn Jahre zu rechnen ist. Die Szenarienanalyse des WWF Water Risk Filters für künftige Wasserknappheitsrisiken angesichts steigender Temperaturen weist vor allem für Nordindien und Nordostchina deutliche Verschärfungen auf (WWF 2020).

Auf die USA und Kanada entfallen 3 % des Wasserverbrauchs entlang der vorgelagerten Wertschöpfungsstufe. Besonders der Westen der USA ist von sehr hohen Wasserknappheitsrisiken betroffen (siehe Nummer 6 in Abbildung 7). Zentren der US-

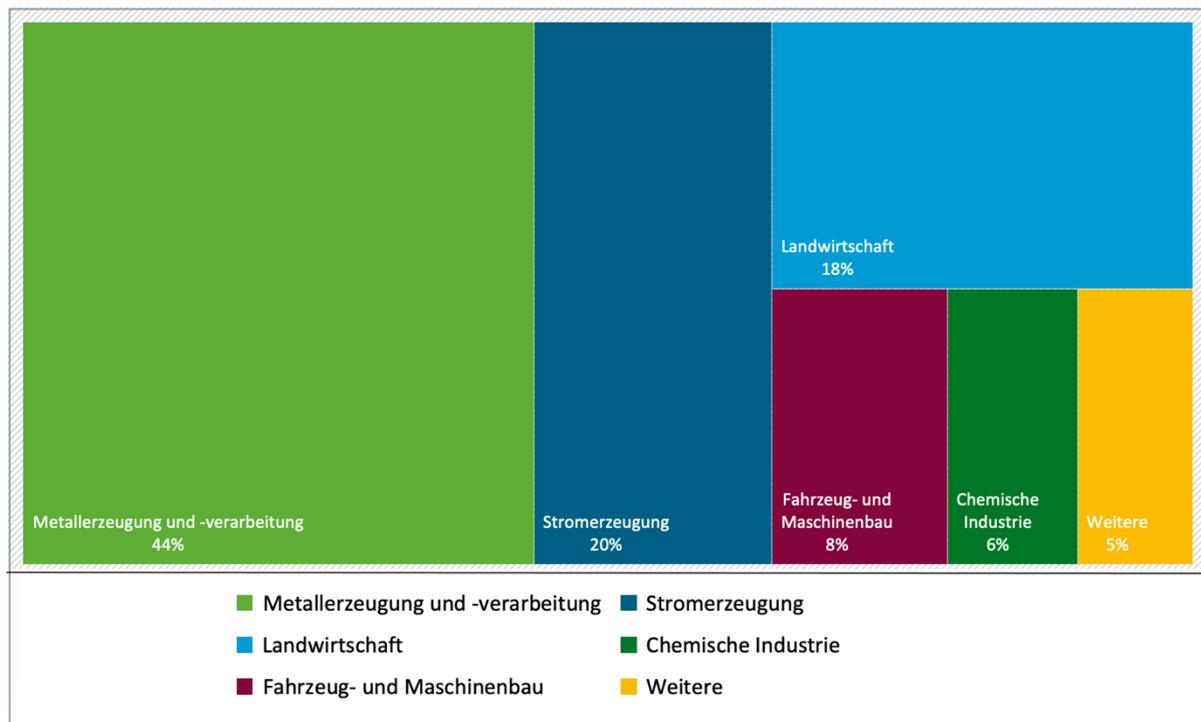
amerikanischen Automobilindustrie mit deren Zuliefersektoren wie die Metallverarbeitung sind klassisch der „Manufacturing Belt“ im Nordosten der USA sowie jüngere Produktionscluster im Südosten, wobei in Kalifornien die Elektronik- und Halbleiterindustrie als Vorleistungsbranche der Automobilindustrie angesiedelt ist. Geografisch erstreckt sich die Region mit hohen Wasserknappheitsrisiken von der Westküste der USA bis nach Zentralmexiko. In Mexiko werden insgesamt 0,8 Mio. m³ Wasser auf den Vorstufen verbraucht, insbesondere auf der zweiten und dritten Lieferkettenebene. Für das gesamte Land sind hohe Wasserknappheitsrisiken ausgewiesen, auch für die beiden wichtigen Industriezentren Mexico-City und Guadalajara (siehe Nummer 7 in Abbildung 7). Darüber hinaus ist der Norden Chiles als Region mit sehr hohen Knappheitsrisiken zu nennen, da Chile eines der Hauptförderländer der Rohstoffe Kupfer und Lithium ist (siehe Nummer 8 in Abbildung 7).

Schließlich ist in Abbildung 7 Südafrika ausgewiesen (siehe Nummer 5 in Abbildung 7). In Südafrika werden 1,9 Mio. m³ Wasser verbraucht, insbesondere auf der zweiten und dritten Lieferkettenebene des deutschen Automobilbaus. Der Verbrauch geht sektoral vor allem auf die dortigen metallverarbeitenden Vorstufen sowie die Stromerzeugung zurück. Hohe Knappheitsrisiken bestehen vor allem im industriell geprägten Nordosten des Landes. Auch die Gewinnung von Bodenschätzen findet sich größtenteils im Norden und Osten des Landes, d. h. in Regionen mit Wasserknappheitsrisiken. Südafrika ist u. a. Hauptabbau- und -verarbeitendes Land für die Automobilindustrie wichtigen Rohstoffe Platin und Chrom.

Sektorale Verteilung

Sektoral über die gesamte vorgelagerte Wertschöpfungskette hinweg betrachtet verteilt sich der Wasserverbrauch vor allem auf die metallherstellende und -verarbeitende Branche mit einem Anteil von 44 %, wie Abbildung 8 zeigt. In der Metallverarbeitung kommt Wasser vor allem zur Prozesskühlung, der Abführung von Abfällen, zur Feinstaubbindung sowie bei der Löschung in der Kokerei zum Einsatz. Wie oben dargestellt, ist dies in Regionen mit hohem Wasserknappheitsrisiko kritisch zu bewerten.

Abbildung 8: Sektorale Verteilung des Wasserverbrauchs in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Etwa 20 % des Wasserverbrauchs gehen auf die Stromproduktion entlang der Wertschöpfungskette zurück, insbesondere in Deutschland, China und in Polen. Weitere 18 % machen landwirtschaftliche Prozesse aus, z. B. für die Energieerzeugung, die Gewinnung von Grundstoffen für Harze, Zellstoffe, Fette u. Ä. sowie für Materialien wie Naturleder.

Die Bewertung negativer ökologischer Auswirkungen von Sektoren bezogen auf deren Wasserverbrauch im ENCORE-Tool ergibt ein ähnliches Bild (im Folgenden ENCORE 2020). ENCORE verzeichnet hohe negative Auswirkungen beim Wasserverbrauch für die Sektoren der Metallherzeugung und -verarbeitung sowie der Stromerzeugung. Bei der Metallherzeugung 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 2020), 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.

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

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

Weitere Informationen zu einzelnen metallischen Rohstoffen finden sich in Kapitel 4.

3.3.3 Fläche

Problemaufriss und (potenzielle) negative Auswirkungen

Die Nutzung von Böden kann je nach Nutzungsform und -intensität erhebliche negative Auswirkungen auf die Umwelt haben (im Folgenden UBA 2020e). In erster Linie kann die Flächeninanspruchnahme zur Verdrängung von natürlichen und wertvollen Ökosystemen und damit zum Verlust der lokalen Artenvielfalt führen. Dies ist z. B. der Fall, wenn für die Gewinnung von land- und forstwirtschaftlichen Flächen naturnahe Flächen umgewandelt werden. Ähnliches gilt auch für den oberflächennahen Rohstoffabbau, z. B. im Tagebau. 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 wie z. B. dem 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 (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 mit der Flächeninanspruchnahme die Lebensgrundlage der lokalen Bevölkerung verloren geht. Dies kann bis hin zu Menschenrechtsverletzungen durch Landnahme, Zwangsumsiedlungen oder Vertreibung reichen.

Verteilung der Flächeninanspruchnahme nach Lieferkettenstufen

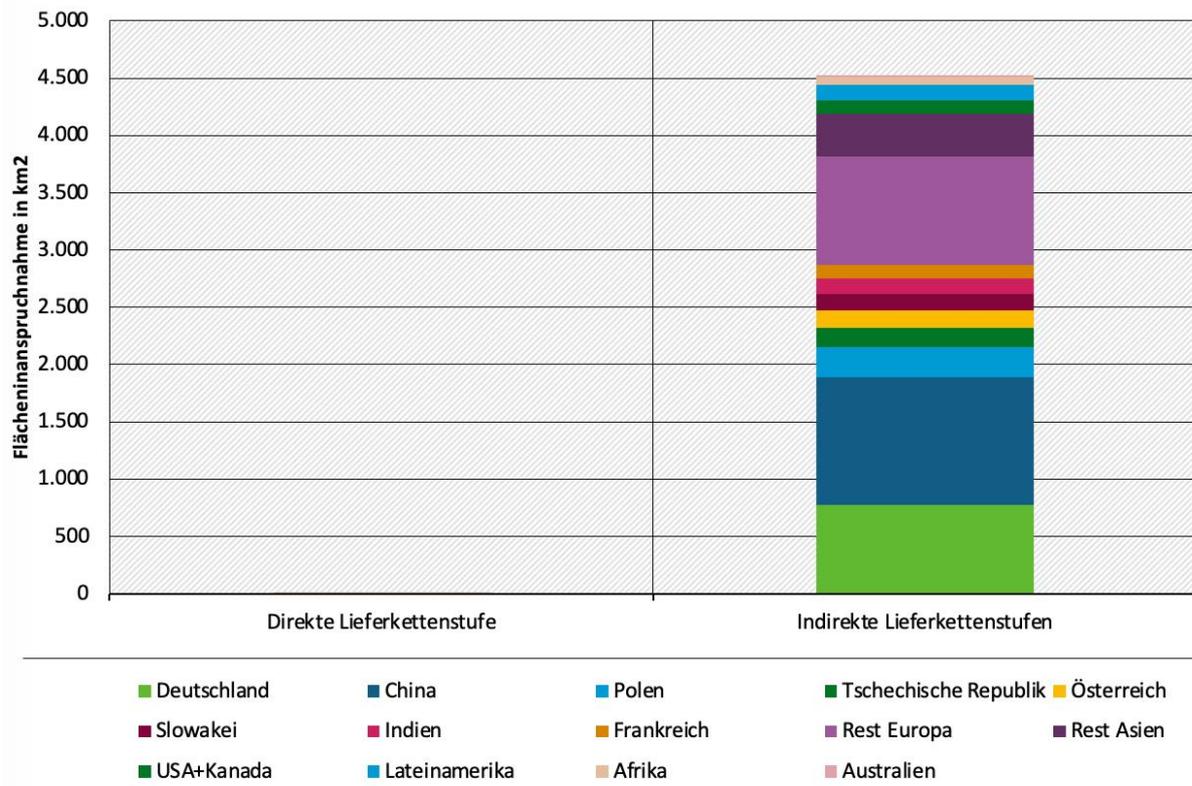
Die Ergebnisse der MRIO-Analyse beschreiben die quantitative Flächeninanspruchnahme. Sie geben keine Auskunft über die Intensität der Nutzung. Die Ergebnisse dienen daher als Anhaltspunkt, in welchem Maße Flächen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des Automobilsektors belegt werden.

Entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilsektors betrug die Flächeninanspruchnahme im Jahr 2019 ca. 4.524 km². Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, erfolgt die Flächeninanspruchnahme fast ausschließlich auf den tieferen Lieferkettenstufen.

Geografische Verteilung

Etwa 17 % (= 778 km²) der Flächeninanspruchnahme geht auf Vorstufen innerhalb Deutschlands zurück. Abbildung 9 zeigt, dass die Flächeninanspruchnahme auf den tieferen Lieferkettenstufen verortet ist, wobei dies vor allem auf die forst- und landwirtschaftlichen Prozesse zur Gewinnung von Rohstoffen, z. B. Grundstoffe für die chemische Industrie oder für textile Gewebe (Bezüge, Vliese für Innenauskleidungen, Filter u. a.) zurückzuführen ist.

Abbildung 9: Flächeninanspruchnahme entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus (in km²)



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Etwa 40 % der Flächeninanspruchnahme erfolgt innerhalb Europas, insbesondere in Polen (6 %), der Tschechischen Republik (4 %), in Österreich, der Slowakei und Frankreich (jeweils 3 %). Ausschlaggebend sind ebenfalls land- und forstwirtschaftliche Prozesse auf den tieferen Vorstufen.

Etwa ein Viertel der Flächeninanspruchnahme geht auf China zurück. Wie auch in Deutschland und in Europa ist dies vor allem auf die Gewinnung von forst- und landwirtschaftlichen Rohstoffen auf den tieferen Lieferkettenstufen zurückzuführen. In China existiert jedoch eine hohe Flächennutzungskonkurrenz aufgrund der notwendigen landwirtschaftlichen Flächeninanspruchnahme für die Nahrungsmittelversorgung der Bevölkerung sowie die damit verbundene Zurückdrängung natürlicher Flächen für die landwirtschaftliche Nutzung (Hayward 2020). Zwischen 2010 und 2018 stieg die landwirtschaftliche Fläche für den Anbau von Dauerkulturen („Land under permanent crops“) in China um 10 % (FAO 2021a). Im selben Zeitraum stieg die Produktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse für Nicht-Ernährungszwecke um 18 % (ebd.; indexbasierter Indikator „Gross Production Index Number Non-Food“). Mit der Flächeninanspruchnahme der Landwirtschaft für die Produktion von Nicht-Nahrungsmitteln

besteht das Risiko, dass sich die Flächenkonkurrenz in China bzw. die Veränderung der Landnutzung weiter verschärfen.

Etwa 11 % der Flächeninanspruchnahme erfolgt im Rest Asiens, wobei der Großteil auf Indien entfällt (3 %). Die landwirtschaftliche Produktion in Indien reicht für die Selbstversorgung des Landes mit Lebensmitteln insgesamt aus. Allerdings herrschen regional große Unterschiede, und die landwirtschaftliche Produktion leidet unter Problemen wie Bodenerosion und Desertifikation (FAO 2021b). Laut den Statistiken von Global Forest Watch (World Resources Institute 2021) ist zudem das Entwaldungsrisiko in Indonesien und Südostasien als besonders hoch einzustufen, insbesondere aufgrund der Waldbewirtschaftung zur Rohstoffgewinnung.

Sektorale Verteilung

Die Modellierung mithilfe der MRIO-Analyse ergibt, dass 99 % der Flächeninanspruchnahme auf land- und forstwirtschaftliche Prozesse entlang der Wertschöpfungskette zurückgeht, vor allem für die Produktion von Rohstoffen für die chemische Industrie, Fasern, Ölen sowie zur Energiegewinnung. Die Flächeninanspruchnahme der anderen Sektoren ist quantitativ nicht signifikant. Bei den Angaben der Input-Output-Modellierungen ist zu berücksichtigen, dass es sich um einen rein quantitativen Ansatz handelt. Das heißt, der Ansatz gibt keine Auskunft über konkrete potenzielle negative Umweltauswirkungen einzelner Formen der Flächennutzung. Flächeninanspruchnahmen, die zwar einen geringen Umfang einnehmen, aber mit hohen negativen Auswirkungen einhergehen, werden daher nur unzureichend abgebildet.

Ergänzend zur quantitativen Analyse bietet das ENCORE-Tool weitere Anhaltspunkte für Vorleistungssektoren des deutschen Automobilbaus, welche potenzielle negative Umweltauswirkungen hinsichtlich der Flächeninanspruchnahme aufweisen (im Folgenden ENCORE 2020):

- ▶ Die Gewinnung von Energieträgern, insbesondere beim Kohleabbau, führt zur Degradierung von natürlichen Flächen. Dies betrifft sowohl den Tagebau als auch den unterirdischen Abbau, bei dem Bodenabsenkungen und Erdbeben auftreten können (ENCORE 2020). Die Förderung von Erdöl und Erdgas geht ebenfalls mit hohen Risiken der Degradierung von natürlichen Flächen einher (ebd.). Auch die Flächeninanspruchnahme für die Gewinnung erneuerbarer Energien ist gemäß ENCORE als relevant einzustufen, da die Gewinnung von Wasserkraft, der Anbau von Bioenergieträgern und die Solarstromerzeugung Flächen beanspruchen (ebd.). Mit dem Energiebedarf entlang der Wertschöpfungskette der Automobilproduktion bestehen potenzielle Auswirkungen auch bezüglich des Verlustes und der Fragmentierung natürlicher Flächen. Dies trifft insbesondere für die Gewinnung von Kohle als Energieträger, für Wasserkraft und für Solarstrom zu (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. Er bewertet die Verdrängung natürlicher Ökosysteme zur Plantagenbewirtschaftung für die Gewinnung von Naturkautschuk als eine Gefahr (MVO Nederland 2020; zur Kautschukgewinnung siehe Kapitel 4.5). Zudem ist im CSR Risk Check das Risiko von Biodiversitätsverlusten und Landnutzungsänderungen durch die Gewinnung von biogenen Energieträgern genannt (MVO Nederland 2020).

3.3.4 Abiotische und biotische Ressourcen

Problemaufriss und (potenzielle) negative Auswirkungen

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

Verteilung nach Materialklassen

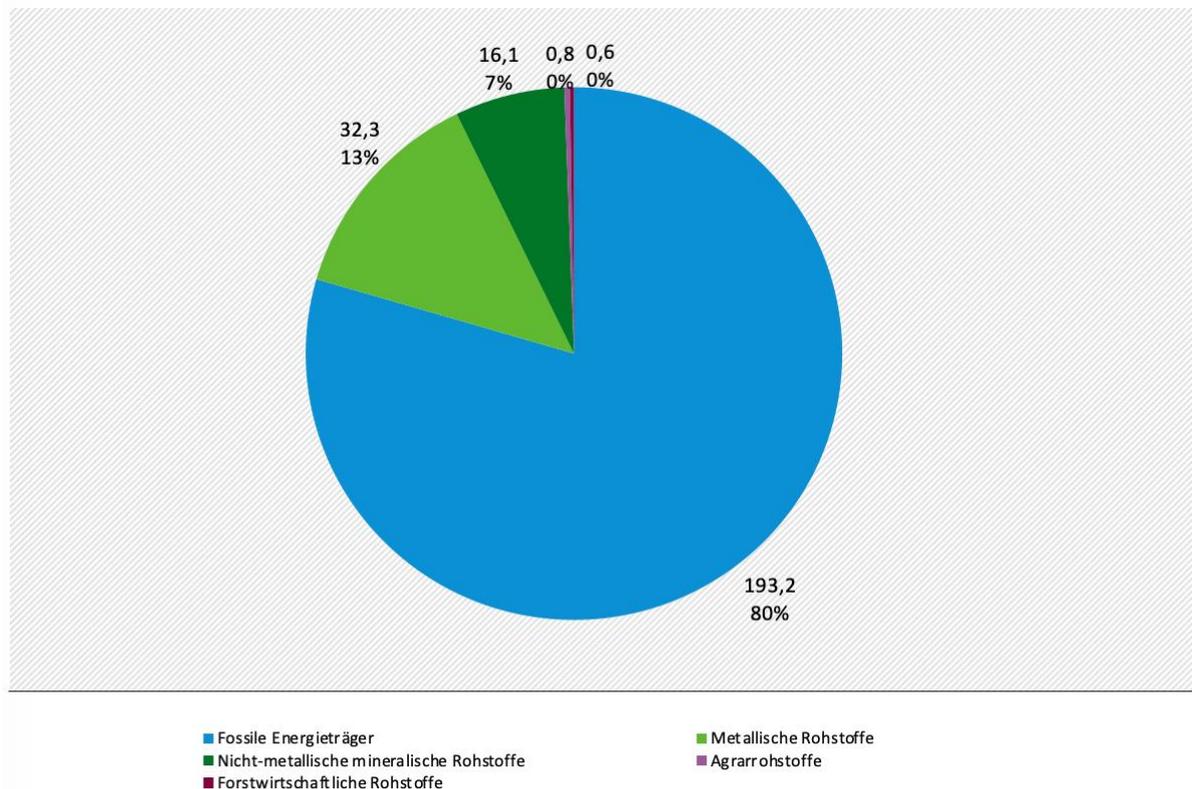
Im Folgenden ist die Inanspruchnahme biotischen und abiotischen Materials des deutschen Automobilbaus auf Basis von MRIO-Modellierungen quantifiziert. Der hierfür genutzte Indikator in Input-Output-Tabellen bei EXIOBASE ist „Domestic Extraction Used – DEU“. DEU bezeichnet sämtliche aus der Umwelt gewonnenen Rohstoffe zur weiteren Verarbeitung gemäß der EUROSTAT-Berichterstattung. Im Jahr 2019 betrug die Materialinanspruchnahme der deutschen Automobilindustrie 243 Mt DEU.

Die Materialinanspruchnahme geht fast ausschließlich auf abiotische Materialien zurück. Etwa 80 % bzw. 193 Mt DEU der Materialinanspruchnahme sind mit der Gewinnung fossiler Energieträger für den Energiebedarf sowie mit der Herstellung von Chemikalien und Kunststoffen aus fossilen Quellen¹³ entlang der Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus verbunden (siehe im Folgenden Abbildung 10). Etwa 13 % der Materialinanspruchnahme sind auf die metallischen Mineralien und deren Gewinnung zurückzuführen (32 Mt DEU). Weitere 16 Mt DEU gehen auf nicht-metallische mineralische Rohstoffe zurück. Nicht-metallische mineralische Rohstoffe umfassen u. a. Quarze, etwa für Keramik- und Elektronikbauteile am Fahrzeug, Schwefel, etwa für die Vulkanisation von Kautschuk und zur Legierung von Stählen sowie Sand, Steine und Erden, etwa für den Bau von Produktionsgebäuden. Der Masseanteil biogener Materialien aus land- und forstwirtschaftlicher Produktion liegt unter 1 %. Die mit landwirtschaftlichen Prozessen verbundenen Rohstoffe für Dünger u. ä. sind in den anderen Materialklassen enthalten. Trotz des geringen Masseanteils biogener Materialien an der gesamten Materialinanspruchnahme nehmen land- und

¹³ EXIOBASE unterscheidet nicht den Verwendungszweck von Erdöl, Erdgas und Kohle, sondern subsumiert diese Rohstoffe unter „Fossil Fuels“.

forstwirtschaftliche Prozesse einen großen Anteil beim Wasserverbrauch und bei der Flächeninanspruchnahme ein.

Abbildung 10: Materialinanspruchnahme entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus nach Materialklassen (in Mt) sowie deren Anteile an der Gesamtmaterialinanspruchnahme



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Verteilung nach Lieferkettenstufen

Wie Abbildung 11 zeigt, erfolgt die Materialinanspruchnahme fast ausschließlich auf den tieferen Lieferkettenstufen.

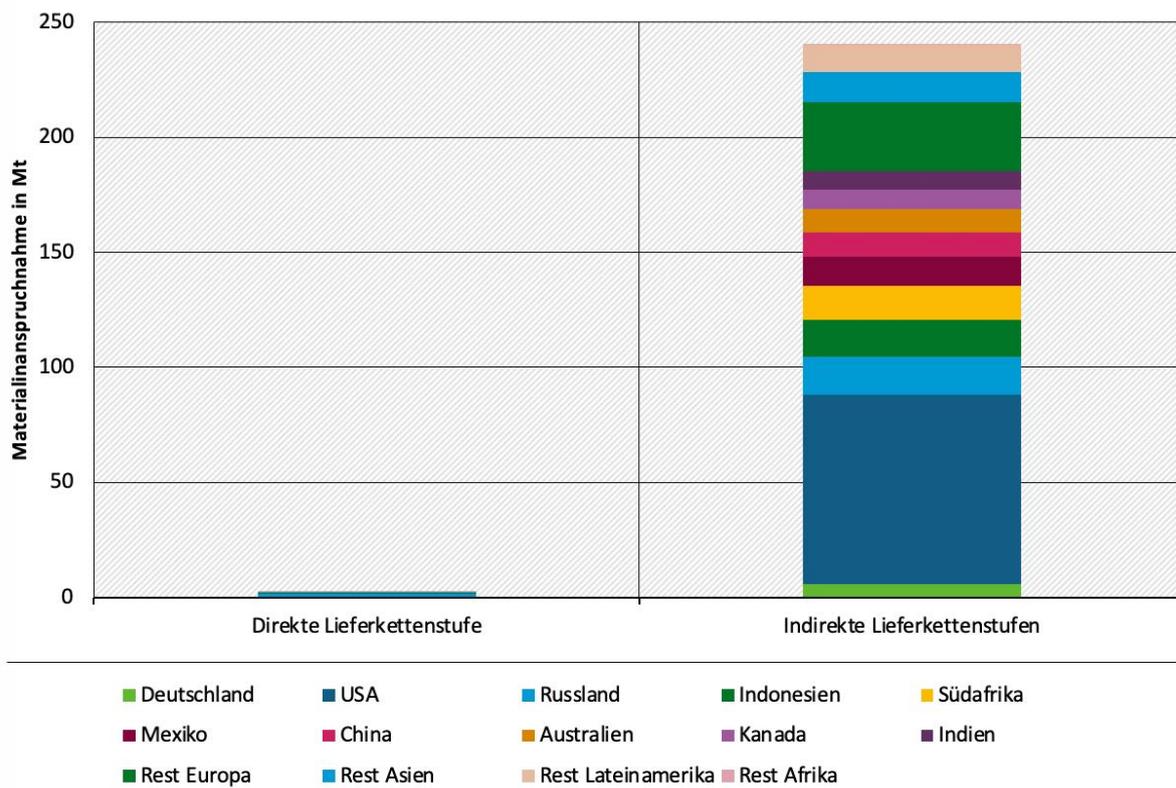
Geografische Verteilung

In Deutschland wird nur ein Anteil von 2 % der Materialien in der Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus beansprucht. Die Materialinanspruchnahme im Inland erfolgt vor allem auf der zweiten Lieferkettenstufe und geht zu drei Vierteln auf die Materialinanspruchnahme für Energieträger zurück. Wie Abbildung 11 zeigt, erfolgt die Materialinanspruchnahme vor allem auf den tieferen Lieferkettenstufen. Etwa ein Drittel bzw. die Menge von 83 Mt DEU erfolgt in den USA, insbesondere auf den Stufen vier und tiefer. Knapp 98 % davon gehen auf die Gewinnung fossiler Energieträger zurück. Russland und Indonesien machen jeweils 8 % der globalen Materialinanspruchnahme des deutschen Automobilbaus aus. Die Materialinanspruchnahme geht in beiden Ländern zu über 90 % auf die Gewinnung von fossilen Energieträgern für den Energiebedarf in der Automobilindustrie und deren Vorleistungssektoren weltweit zurück, des Weiteren auf die Gewinnung von metallischen Rohstoffen.

Auch in den weiteren Ländern, d. h. Südafrika (6 %), Mexiko (5 %) sowie China, Australien und Kanada (jeweils 4 %), liegt die Materialinanspruchnahme vorrangig auf den tieferen Wertschöpfungsstufen. Zwar geht auch in diesen Ländern der größte Teil der Materialinanspruchnahme auf fossile Brennstoffe zurück, jedoch besitzen die anderen Materialien einen höheren Anteil. In Südafrika beträgt der Anteil der metallischen Rohstoffe ein Fünftel an der dortigen Materialinanspruchnahme für den deutschen Automobilbau. In China liegt der Anteil der Materialinanspruchnahme für Metalle bei 12 % und für Minerale bei 27 %. In Australien machen die metallischen Rohstoffe sogar 69 % der Materialinanspruchnahme aus.

Biotische Rohstoffe aus land- und forstwirtschaftlicher Erzeugung stammen größtenteils aus Europa. Davon gehen etwa 42 % auf die inländische Erzeugung zurück (0,28 Mt), im europäischen Ausland vor allem auf Polen und Frankreich. Weitere 0,28 Mt der biotischen Materialinanspruchnahme gehen auf China zurück.

Abbildung 11: Materialinanspruchnahme entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus (in Mt)

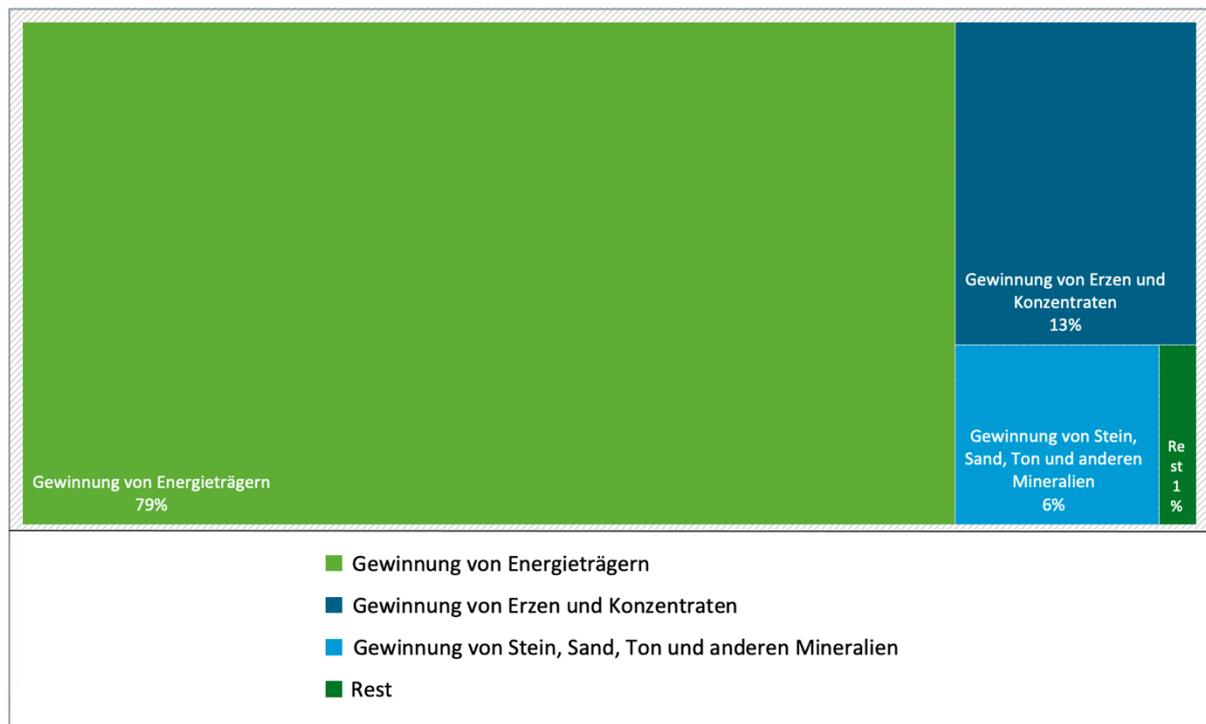


Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung

Die sektorale Verteilung zeigt, dass die Materialinanspruchnahme entlang der Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus größtenteils mit der Gewinnung von fossilen Energieträgern verbunden ist: Dies macht 79 % der Materialinanspruchnahme aus, wie Abbildung 12 zeigt. Auf die Gewinnung von Erzen und Konzentraten gehen 13 % der Materialinanspruchnahme zurück. Weiterhin ist die Gewinnung von nicht-metallischen Mineralien mit einem Anteil von 6 % relevant. Alle anderen Vorleistungssektoren besitzen zusammen einen Anteil von 1 %.

Abbildung 12: Sektorale Verteilung der Materialinanspruchnahme in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus



Quelle: Eigene Darstellung, Sustain.

3.3.5 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}-Äquivalente dargestellt. Die Verbrennung fossiler Energieträger verursacht säurebildende Abgase, insbesondere Schwefeldioxid und Stickoxide. Die Versauerung von Böden und Gewässern kann Pflanzen schädigen. Hohe lokale Konzentrationen von Schwefeldioxyden und Stickstoffoxyden können zudem zu Atemwegserkrankungen führen und die menschliche Gesundheit gefährden (UBA 2021c). Feinstaubemissionen entstehen primär ebenfalls bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Feinstaub kann ebenfalls Atemwegserkrankungen auslösen und das Krebsrisiko erhöhen, je nach Eindringungstiefe und Partikelgröße (UBA 2021a). Die Emission von Luftschadstoffen kann die Gesundheit von Menschen und somit das Menschenrecht auf Schutz der Gesundheit beeinträchtigen.

Verteilung der Emission von Schwefeldioxidäquivalenten nach Lieferkettenstufen

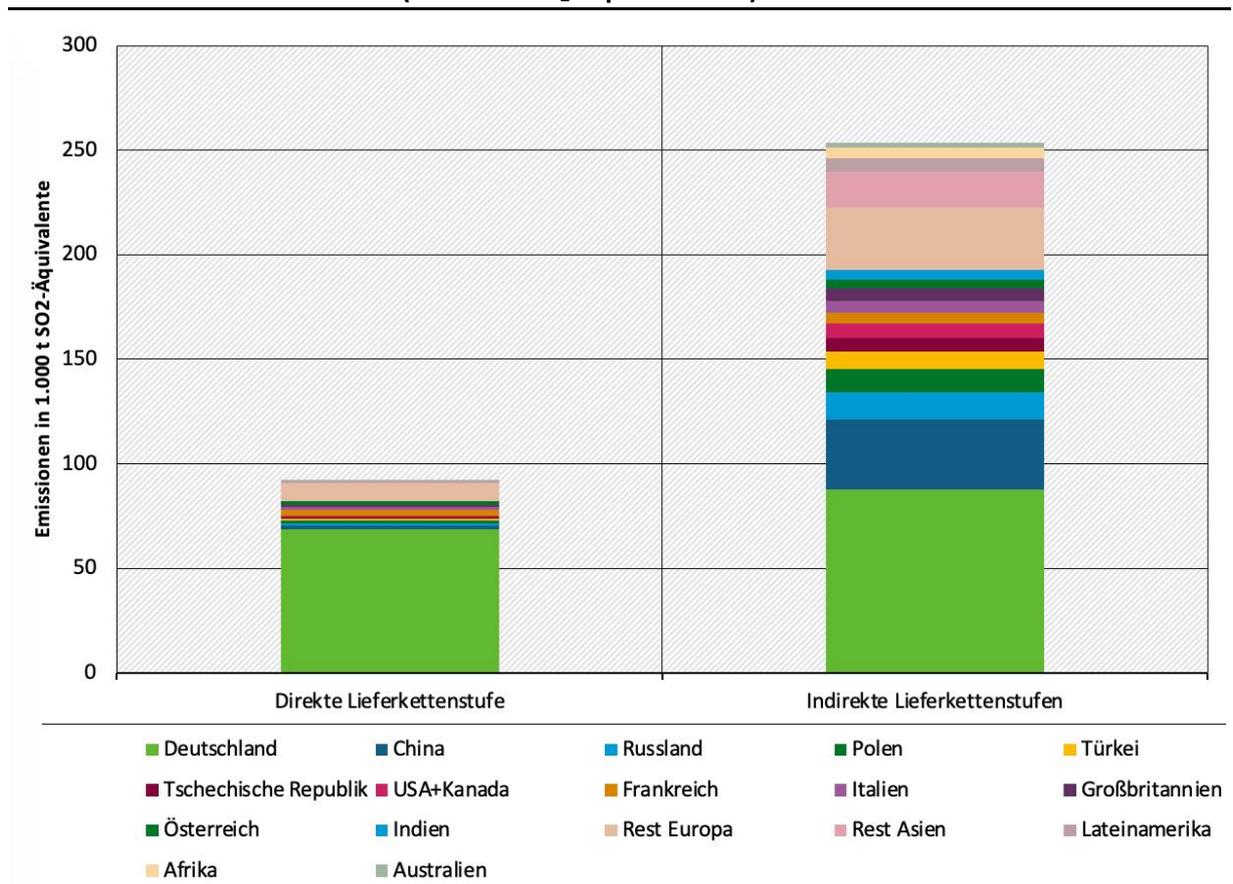
Im Jahr 2019 verursachte die deutsche Automobilindustrie in der vorgelagerten Wertschöpfungskette ca. 345.400 t an SO₂-Äquivalenten. Etwa 27 % werden auf der Stufe der direkten Lieferanten emittiert (tier 1; Abbildung 13). Etwa 29 % der Emissionen sind den direkten Vorleistungen für diese Lieferanten zuzuordnen (tier 2) und etwa 58 % den tieferen Lieferkettenstufen.

Geografische Verteilung von Schwefeldioxidäquivalenten

Der Großteil der Emissionen an SO₂-Äquivalenten geht auf Deutschland zurück (45 %), vor allem auf der Stufe der direkten Lieferanten, wozu auch die Stromversorgung zählt. Auf China entfällt ein Anteil von 10 % an den Emissionen von SO₂-Äquivalenten. Die Emissionen entstehen eher auf den tieferen Lieferkettenstufen und gehen vor allem auf die Stromerzeugung und die Metallerzeugung und -verarbeitung zurück. Des Weiteren sind Russland und Polen relevant. Die beiden Länder besitzen jeweils einen Anteil von 4 % an den SO₂-Äquivalenten entlang der Lieferkette des deutschen Automobilbaus. Treiber ist in beiden Ländern die Stromerzeugung mit einem hohen Anteil an fossilen Energieträgern.

Auf der Stufe der direkten Lieferanten (tier 1) sind vor allem die Länder Frankreich, Österreich und Italien relevant. In allen drei Ländern sind die metallherstellenden und -verarbeitenden Vorleistungssektoren ausschlaggebend.

Abbildung 13: SO₂-Emissionen entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus (in 1.000 t SO₂-Äquivalenten)



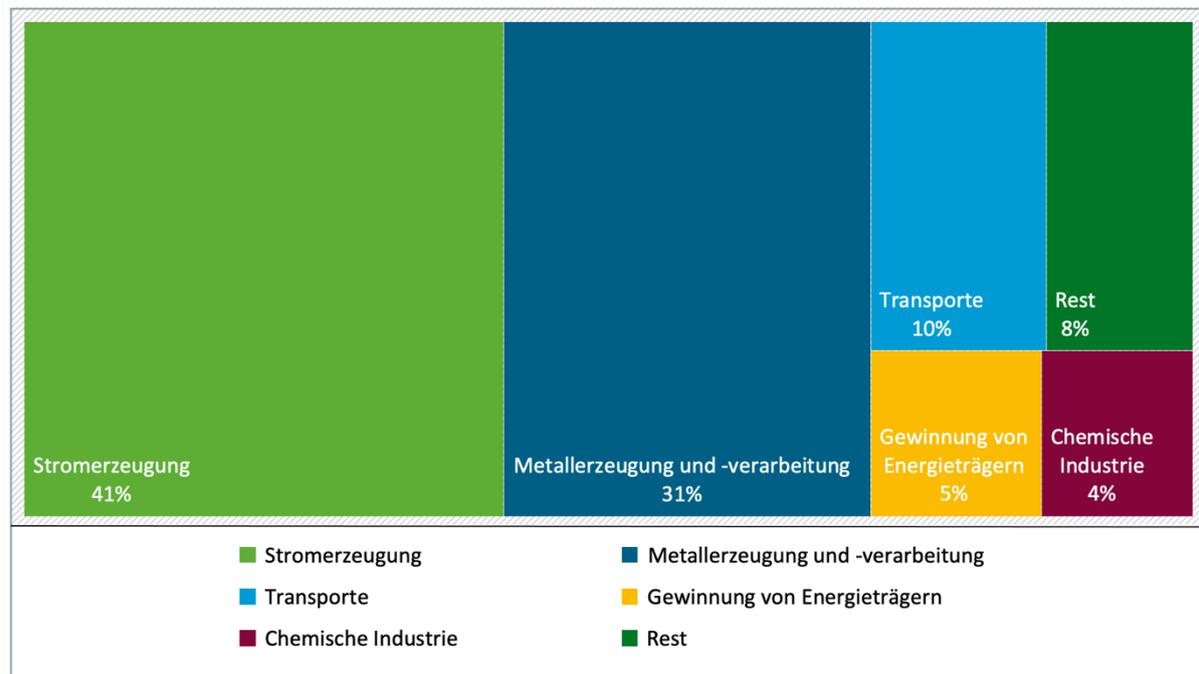
Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung von Schwefeldioxidäquivalenten

Sektoral geht der größte Teil der Emissionen an SO₂-Äquivalenten auf die Stromerzeugung durch fossile Energieträger entlang der gesamten Wertschöpfungskette zurück. Dies macht 41 % der Emissionen aus, wie Abbildung 14 zeigt. Etwa die Hälfte dieser Emissionen entsteht in Deutschland. Im Ausland handelt es sich vor allem um die Stromproduktion in China, Polen, Russland und in der Türkei. Knapp ein Drittel der Emissionen an SO₂-Äquivalenten geht auf die

Prozesse an den Standorten der metallverarbeitenden und -erzeugenden Industrie zurück, insbesondere in Deutschland und China. Transporte machen einen Anteil von 10 % aus.

Abbildung 14: Sektorale Verteilung der Emissionen an SO₂-Äquivalenten in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

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

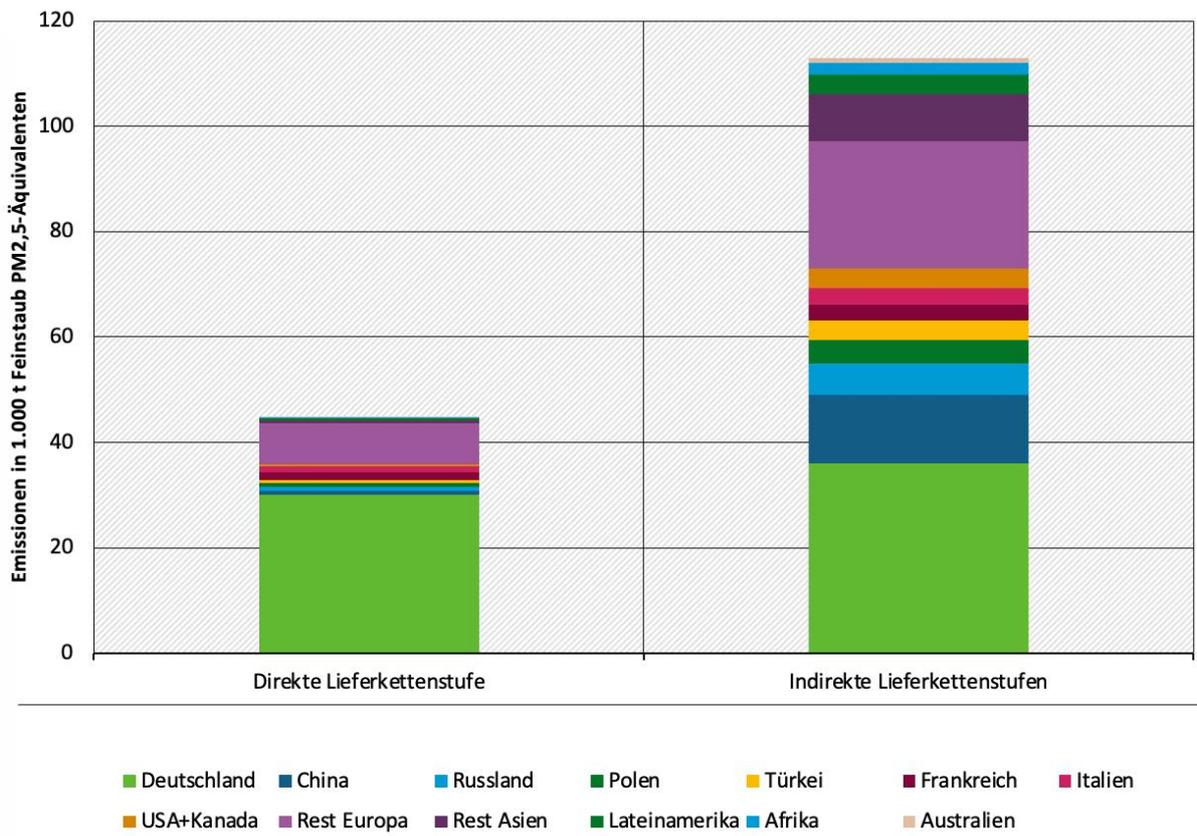
Die Modellierung der Feinstaubemissionen in der Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus zeigt, dass in der Vorkette des Sektors etwa 157.700 t an Feinstaubäquivalenten der Partikelgröße 2,5 µm und kleiner (PM_{2,5}-Äquivalente) entstehen. Auf der Stufe der direkten Lieferanten (tier 1) entstehen etwa 28 % der Feinstaubemissionen (Abbildung 16) und etwa 30 % auf der vorgelagerten Stufe dieser Lieferanten (tier 2). Etwa 42 % der Feinstaubemissionen entstehen auf den tieferen Lieferkettenstufen.

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

Etwa 42 % der Emissionen an PM_{2,5}-Äquivalenten entstehen innerhalb Deutschlands, wie Abbildung 15 illustriert. Die Emissionen gehen größtenteils auf die Stufe der direkten Lieferanten zurück, insbesondere bei der Stromerzeugung und im metallherzeugenden und -verarbeitenden Sektor.

Etwa 9 % des Emissionsaufkommens an PM_{2,5}-Äquivalenten in der Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus treten in China auf, wobei dies auf den tieferen Lieferkettenstufen verortet ist. Weitere Schwerpunktländer sind Russland mit einem Anteil von 4 % sowie Polen, die Türkei, Frankreich, Italien sowie die USA und Kanada mit jeweils 3 % an den aggregierten Feinstaubemissionen in der Wertschöpfungskette.

Abbildung 15: Emissionen von Feinstaub entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus (in 1.000 t Feinstaub PM2,5-Äquivalenten)

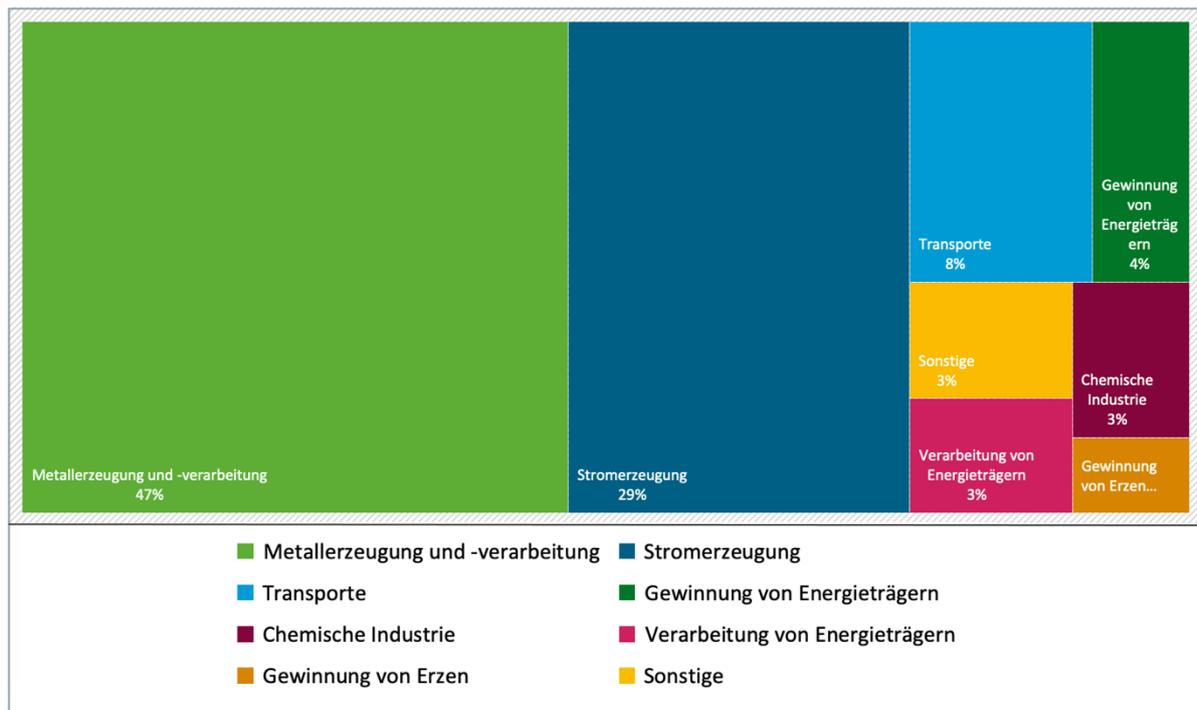


Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung von Feinstaub (PM2,5-Äquivalente)

Die Feinstaubemissionen gehen zu 47 % auf die Produktionsstandorte der metallverarbeitenden und -erzeugenden Industrie zurück (siehe Abbildung 16). Auch hier liegt der Großteil der Emissionen innerhalb Deutschlands. Im Ausland geht das Emissionsaufkommen an Feinstaub in der Metallverarbeitung und -erzeugung vor allem auf die Länder China, Frankreich, Italien und Österreich zurück. Etwa 29 % der Emissionen an Feinstaubäquivalenten PM2,5 ist auf die Stromerzeugung zurückzuführen, insbesondere in Deutschland, China, Polen und Russland. Transporte machen etwa 8 % der Feinstaubemissionen aus.

Abbildung 16: Sektorale Verteilung der Emissionen an Feinstaub PM_{2,5}-Äquivalenten in der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus



Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Relevanz von Luftschadstoffemissionen

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

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

3.3.6 Wassergefährdende Stoffe

Problemaufriss und (potenzielle) negative Auswirkungen

Zur exemplarischen Analyse wassergefährdender Stoffe entlang der Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus wurde der Gewässereintrag der ausgewählten Schwermetalle Arsen, Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel und Quecksilber in EXIOBASE modelliert. 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 2019b). Bei Überschreitung bestimmter Konzentrationen können Wachstumsstörungen bei Pflanzen und Organismen, Störungen bei der Reproduktion von Lebewesen und der mikrobiologischen Stoffumsetzung auftreten, die zum Absterben von Arten führen. Humantoxikologisch schädigen hohe Schwermetallkonzentrationen den menschlichen Organismus. Blei beispielsweise beeinflusst die neurologische Entwicklung von Kindern und kann die Nieren schädigen. Cadmium beeinträchtigt ebenfalls die Nierenfunktion und führt bei vorgeschädigten Personen zu einem erhöhten Krankheitsrisiko. Zudem zählt Cadmium zu den krebserregenden Stoffen. Quecksilber schädigt ebenfalls die Nieren und wirkt neurotoxisch.

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 COD – Chemical Oxygen Demand, welcher die chemische Oxidation misst). Verschmutztes Wasser kann die Menge an verfügbarem Sauerstoff verringern.

Insgesamt kann der Eintrag wassergefährdender Stoffe negative Auswirkungen auf die Lebewesen im Gewässer haben und das Ökosystem beeinträchtigen. Die Verschmutzung von Gewässern kann ebenfalls mit negativen Folgen für die lokale Bevölkerung einhergehen (UN 2021), wenn das Recht auf Zugang zu sauberem Wasser nicht mehr gewährleistet ist. Das Wasser steht nicht mehr als Trinkwasser oder zur Bewirtschaftung von Feldern zur Verfügung – oder kann zu gesundheitlichen Schäden führen, wenn verschmutztes Wasser trotzdem genutzt wird. 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 ausgewählter Schwermetalle nach Lieferkettenstufen

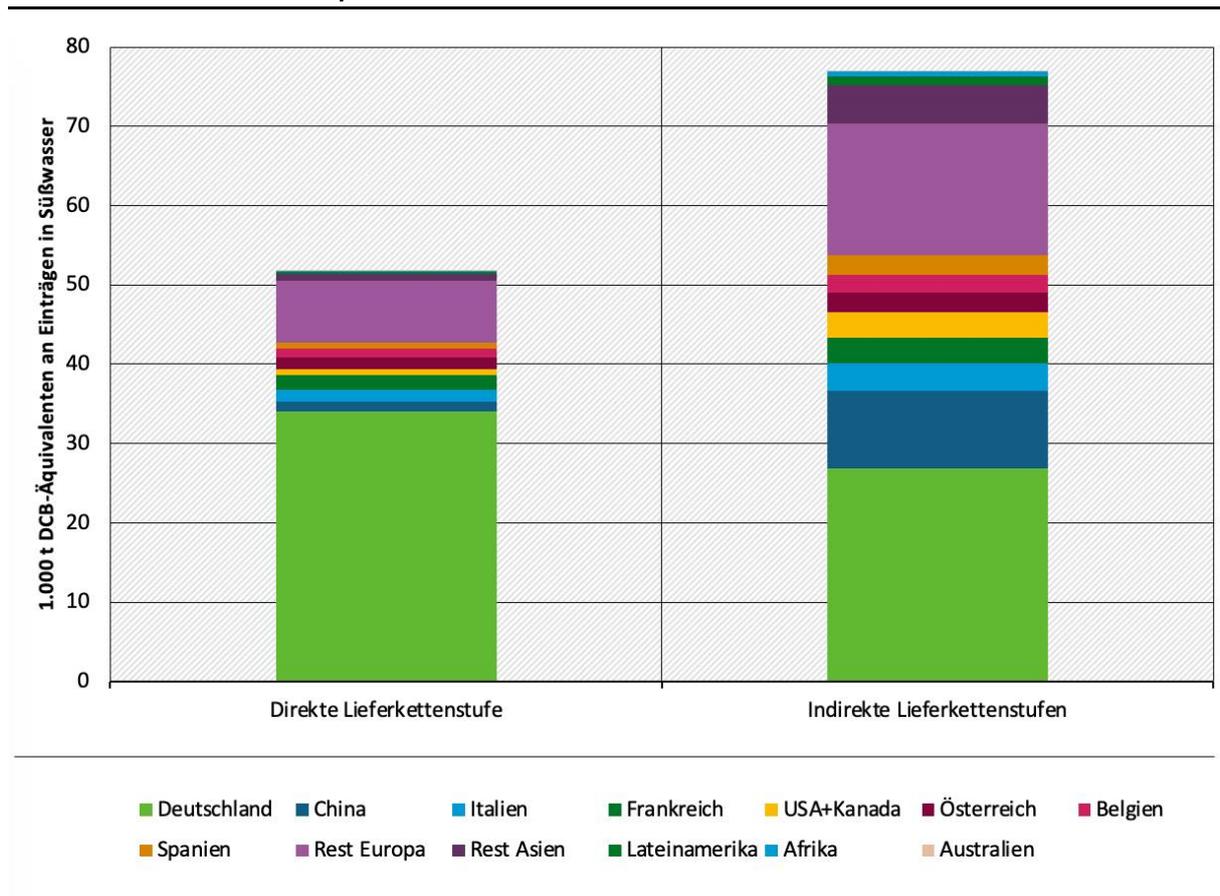
Die Modellierung kann nur Anhaltspunkte liefern, da die Daten zu den Gewässereinträgen sehr stark von der Datenlage und -qualität in den jeweiligen Ländern abhängen, d. h. ein hoher Eintrag an wassergefährdenden Stoffen kann auch auf eine gute Datenlage in dem Land zurückgehen. Darüber hinaus ist anzumerken, dass die Schwermetalleinträge (DCB-Äquivalente) vor allem auf Kupfer sowie Nickel zurückgehen und diese die Modellierungsergebnisse sehr stark beeinflussen (95 % Anteil). Die Auswertung zeigt gleichzeitig, dass sich die Verteilung auf die einzelnen Stufen der Wertschöpfungskette und auf Länderebene der untersuchten Schwermetalle ähnelt.

Wie Abbildung 17 zeigt, sind bereits auf der Stufe der direkten Lieferanten (tier 1) Schwermetalleinträge ins Wasser zu verzeichnen. Der Anteil dieser Stufe an den gesamten Schwermetalleinträgen beträgt 40 %.

Geografische Verteilung

Die Modellierung ergibt einen Anteil von 47 % der Schwermetalleinträge bei Lieferanten und Vorlieferanten in Deutschland sowie weitere 35 % entlang der Wertschöpfungskette in Europa (inkl. Russland und der Türkei). Dabei sind Schwermetalleinträge vor allem in den westeuropäischen Ländern Italien, Frankreich (jeweils 4 % Anteil an der Gesamtmenge) sowie Österreich, Belgien und Spanien (jeweils 3 %) zu verzeichnen. Einschränkend ist davon auszugehen, dass das Bild durch eine gute Datenqualität in den europäischen Ländern beeinflusst ist. In China wurden 8 % der Einträge der untersuchten Schwermetalle identifiziert, 4 % im Rest Asiens. Die Schwermetalleinträge sind dabei auf den tieferen Lieferkettenstufen zu finden.

Abbildung 17: Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus anhand von sechs ausgewählten Schwermetallen (in 1.000 t DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser)



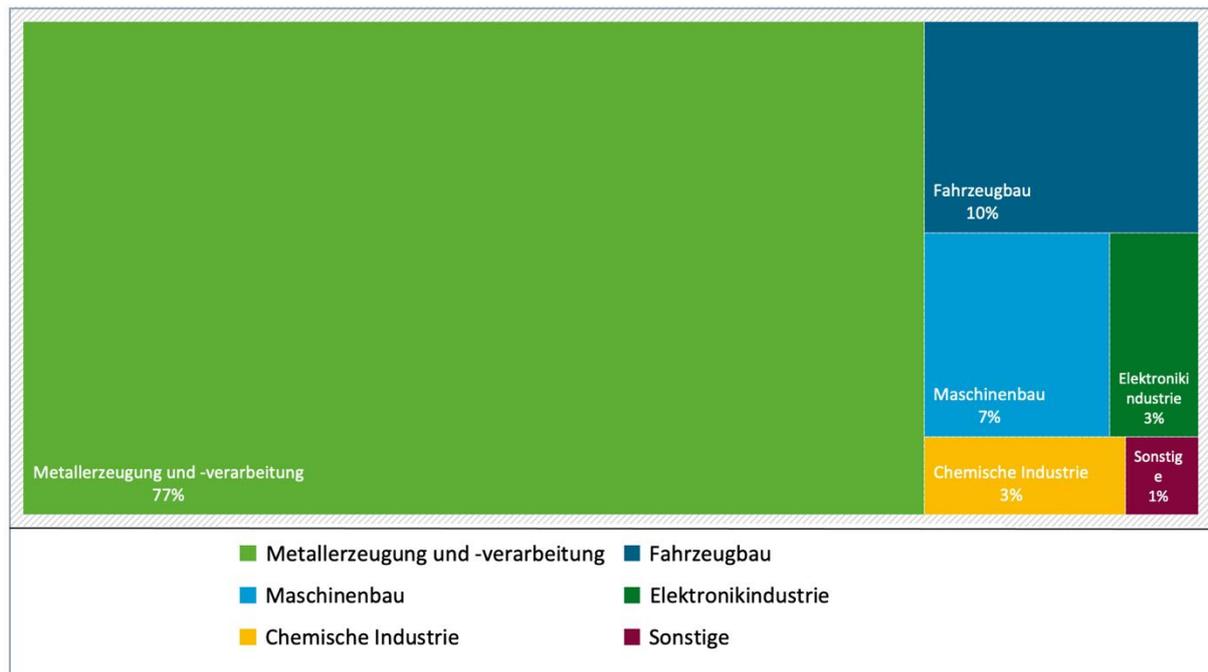
Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Sektorale Verteilung der Einträge von ausgewählten Schwermetallen

Die sektorale Verteilung der Modellierung der sechs Schwermetalleinträge ins Wasser zeigt den Schwerpunkt bei metallverarbeitenden und -erzeugenden Prozessen, wie Abbildung 18 darstellt. Auf diesen Sektor gehen mehr als drei Viertel der aggregierten Schadstoffeinträge der sechs untersuchten Schwermetalle zurück. Lieferanten und Vorlieferanten aus dem Fahrzeugbausektor machen etwa 10 % der untersuchten Schwermetalleinträge aus, der Maschinenbau etwa 7 %. Die Vorleistungssektoren der Elektronikindustrie sowie der Chemischen Industrie machen jeweils 3 % aus. Bei allen sechs untersuchten Schwermetallen besitzt der Sektor der Metallverarbeitung und -erzeugung stets den weitaus größten Anteil. Es

ist darauf hinzuweisen, dass der Wassereintrag von Schwermetallen in der Rohstoffgewinnung bzw. beim Bergbau aufgrund der schlechten Datenlage nur unzureichend in den multiregionalen Input-Output-Modellen abgebildet ist. Sektoral ist daher von einem deutlich höheren Anteil der Rohstoffgewinnung auszugehen.

Abbildung 18: Einträge von wassergefährdenden Stoffen entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette des deutschen Automobilbaus anhand von sechs Schwermetallen (in 1.000 t DCB-Äquivalenten an Einträgen in Süßwasser)



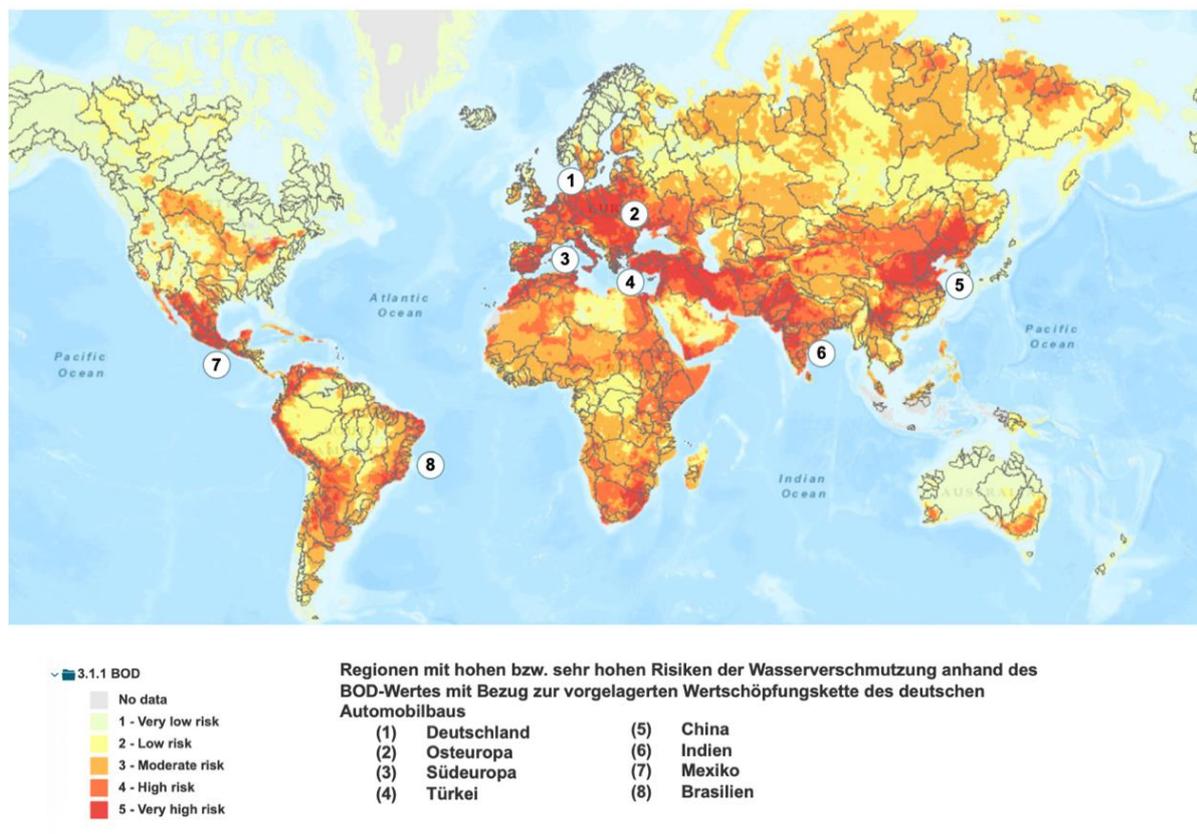
Quelle: Eigene Darstellung, Systain.

Weitere Analyse potenzieller Umweltauswirkungen durch wassergefährdende Stoffe

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. Abbildung 19 zeigt die Regionen mit hohen Risiken der Gewässerverschmutzung anhand des BOD-Wertes sowie die Zuordnung zu Lieferkettenschwerpunkten des deutschen Automobilbaus. 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 zeigt sich damit ein erhöhtes Risiko bereits für inländische Lieferanten und Vorlieferanten bei der Wasserverschmutzung (siehe Nummer 1 in Abbildung 19). Weitere hohe bis sehr hohe Risiken ergeben sich für osteuropäische Länder wie Polen, die Tschechische Republik, die Slowakei und Ungarn, in denen ebenfalls vorgelagerte Prozesse und Wertschöpfung verortet sind (siehe Nummer 2 in Abbildung 19). Dasselbe trifft auch für Südeuropa zu, insbesondere für Spanien und Italien, die ebenfalls als Risikogebiete ausgewiesen sind (siehe Nummer 3 in Abbildung 19). Darüber hinaus ist die Türkei mit den Industriezentren im Westen des Landes zu nennen (siehe Nummer 4 in Abbildung 19). 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 (siehe Nummer 5 in Abbildung 19). Ein ähnliches Bild zeigt sich für Indien, wo für die wichtigen Industriezentren, in denen u. a. die metall erzeugenden und -verarbeitenden Vorstufen des

deutschen Automobilbaus angesiedelt sind, ebenfalls hohe bis sehr hohe Risiken identifiziert werden können (siehe Nummer 6 in Abbildung 19). Auch in Mexiko und in Brasilien, beides ebenfalls relevante Produktionsländer in der vorgelagerten Wertschöpfungskette, u. a. für die Metallerzeugung und -verarbeitung, weisen in den Industrieregionen ein sehr hohes Risiko der Gewässerverschmutzung auf (siehe Nummer 7 und 8 in Abbildung 19).

Abbildung 19: Geografische Risikobewertung der Wasserverschmutzung auf Basis des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BOD)



Quelle: WWF 2020.

ENCORE weist eine hohe Relevanz der Wasserverschmutzung in den Prozessen des Automobilbaus selbst sowie des Maschinenbaus und der Elektronikindustrie als Vorleistungssektoren aus. Für die Gewinnung von Rohstoffen und Energieträgern wird die Gewässerverschmutzung ebenfalls mit hoher Relevanz gewertet. ENCORE verweist auf die Belastung durch Schwermetalle sowie durch schwefelsäurehaltige Einträge, Zyanid, Quecksilber und Arsen. Eine sehr hohe Bedeutung der Gewässerverschmutzung identifiziert ENCORE für die Gewinnung von Erdöl und Erdgas auf See aufgrund des hohen 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, Südasien und Osteuropa hin (MVO Nederland 2020). Die Gewinnung von metallischen Rohstoffen wird ebenfalls mit hohen Risiken der Gewässerverschmutzung bewertet durch Schwermetallbelastungen sowie saure Grubenwässer in den Abbauregionen. Saure Bergbauabflüsse, Haldenwässer und Sickerwässer haben die Versauerung von Böden und Gewässern zur Folge und können die dortigen Pflanzen schädigen (Dehoust et al. 2020 b).

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.

3.3.7 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 gefährden so mitunter Ökosysteme. Bei der Ansammlung von Abfällen auf dem Wasser können wassergefährdende Stoffe der Abfälle den Lebensraum in der Gewässerwelt bedrohen. Dies hat auch menschenrechtliche Auswirkungen, da die Gesundheit der lokalen Bevölkerung beeinträchtigt wird. Die Erzeugung von Lebensmitteln wird damit eingeschränkt, wie etwa die Nutzung von Wasser zur Bewässerung von Anbauflächen oder sinkende Fischbestände. Im Globalen Süden werden zudem toxische Abfälle zum Teil offen verbrannt oder fangen Feuer (siehe Kapitel 0 zu Reifen). Dies geht mit einer erhöhten Emission von Treibhausgasen und insbesondere Luftschadstoffen einher, welche die Gesundheit von Pflanzen, Tier und Mensch gefährden.

Aufgrund fehlender Daten können Abfälle nicht mithilfe der klassischen erweiterten Input-Output-Modellierung quantifiziert werden. Abfälle entstehen auf fast allen Stufen der vorgelagerten Wertschöpfungskette. In Kapitel 4 werden Abfälle exemplarisch für die Fokuskomponenten dargestellt. Einen besonderen Aspekt stellen dabei die Abfälle in der bergbaulichen Gewinnung dar. Mit der Bewegung von großen Mengen an Material zur bergbaulichen Rohstoffgewinnung entstehen große Mengen an Abfall und anderweitigen Reststoffen. Negative Umweltauswirkungen der bergbaulichen Gewinnung können sowohl durch die Mengenflüsse als auch durch mögliche Auswirkungen der stofflichen Eigenschaften der Abfälle und Reststoffe auf die Umwelt entstehen (vgl. im Folgenden Priester und Dolega 2015, S. 17-19).

- ▶ 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
- ▶ 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, wie 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.

4 Fokusthemen

4.1 Auswahl von Komponenten und methodisches Vorgehen

Kapitel 3 gibt mithilfe von MRIO-Modellierungen einen Überblick darüber, auf welcher Stufe der Wertschöpfungskette, in welchen Ländern und in welchen vorgelagerten Sektoren bzw. Produktgruppen welche Umweltauswirkungen auftreten oder auftreten können. In Kapitel 4 werden die umweltthemenbezogenen Modellierungsergebnisse um Analysen ausgewählter Automobilkomponenten und Rohstoffe ergänzt. Ebenso wie im vorigen Kapitel werden exemplarisch Zusammenhänge zwischen Umwelt- und menschenrechtlichen Themen beschrieben.

Die vertiefte Betrachtung von Komponenten und Rohstoffen ist für die Umsetzung des Konzepts der umweltbezogenen und menschenrechtlichen Sorgfalt wichtig, denn ein PKW besteht aus bis zu 10.000 einzelnen Teilen, die in mehr als 20 Komponenten zusammengefasst werden können. Zudem kommt eine große Anzahl verschiedener Rohstoffe zum Einsatz. Den mengenmäßig größten Anteil nehmen dabei metallische Rohstoffe ein. Abbildung 20 zeigt die wesentlichen Komponenten und Rohstoffe, die in einem PKW zum Einsatz kommen.

Abbildung 20: Überblick über wesentliche Materialien und Komponenten für ein Fahrzeug

Fett markierte Komponenten und Rohstoffe werden in dieser Studie betrachtet.



Quelle: Eigene Darstellung.

Die Wertschöpfungsketten sind entsprechend komplex und befinden sich angesichts der Umstellung auf alternative Antriebstechnologien zudem in einem dynamischen Wandel, der vor allem mit Änderungen beim Rohstoff- und Werkstoffbedarf der Branche einhergeht.

Für die folgenden drei Komponenten sowie Rohstoffe werden Risiken für negative Umweltauswirkungen entlang der Wertschöpfungsketten identifiziert und beschrieben:

1. **Traktions-Batterie**, für deren Herstellung u. a. die Rohstoffe Kobalt, Kupfer, Lithium und Nickel benötigt werden.
2. **Karosserie**, für deren Herstellung vor allem Stahl, Aluminium und Zink benötigt werden.
3. **Reifen**, für deren Herstellung Naturkautschuk und Ruß benötigt werden.

Die Auswahl der Komponenten wurde auf Grundlage von Literaturrecherchen¹⁴ und Hintergrundgesprächen mit Branchenvertreterinnen und Branchenvertretern getroffen.¹⁵

Für die Herstellung der betrachteten Komponenten werden eine Vielzahl an Rohstoffen benötigt. Die Studie betrachtet jeweils nur die Rohstoffe, bei denen entlang ihrer Wertschöpfungskette erkennbare hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen identifiziert wurden. Die Einschätzung der Risiken basiert auf der Analyse bestehender Daten- und Literaturquellen:

- ▶ Die Vorauswahl erfolgte in einem ersten Schritt anhand der Studie „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 2018), welche eine Liste von 37 in der Automobilindustrie gebräuchlichen Rohstoffen zugrundelegt. Aus diesen 37 Rohstoffen identifizieren die Autorinnen und Autoren der o. g. Studie 18 Rohstoffe mit hohen Risiken für negative Umweltauswirkungen. Diese Liste bildet die Grundlage für die Rohstoffauswahl in der vorliegenden Studie.
- ▶ Für die Eingrenzung auf Rohstoffe mit erkennbar hohen Risiken wurde auf die Ergebnisse der Studie „Weiterentwicklung von Handlungsoptionen einer ökologischen Rohstoffpolitik ÖkoRess II“ (Deoust et al. 2020b) und die Detailbetrachtungen der o. g. „Material Change“-Studie (The Dragonfly Initiative 2018) zurückgegriffen. Die Studie von Deoust et al. (2020) bewertet das Umweltgefährdungspotenzial für verschiedene bergbauliche Rohstoffe. Für die vorliegende Studie wurden aus den ursprünglich 18 Rohstoffen diejenigen Rohstoffe herausgefiltert, die nur ein geringes oder geringes bis mittleres Umweltgefährdungspotenzial aufweisen. Die daraus resultierenden 13 Rohstoffe mit hohem Umweltgefährdungspotenzial wurden den Komponenten eines Automobils zugeordnet. Einige Rohstoffe wurden zugunsten der Betrachtung in weiteren geplanten Branchenstudien im Rahmen des vorliegenden Projektes in dieser Studie zurückgestellt.
- ▶ Dem Umfang dieser Studie entsprechend wurden den drei Fokuskomponenten „Traktions-Batterie“, „Karosserie“ und „Reifen“ acht aus der Liste der o. g. 13 Rohstoffe zugeordnet. Der Komponente „Batterie“ wurden Kobalt, Kupfer, Nickel und Lithium zugeordnet. Der Komponente Karosserie wurden Aluminium/Bauxit, Stahl/Eisen und Zink zugeordnet. Der Komponente Reifen wurden die Rohstoffe Naturkautschuk und Ruß zugeordnet.

4.2 Aufbau der Komponenten-Kapitel

Für jede der drei ausgewählten Komponenten wird ein Überblick über die Wertschöpfungskette, zentrale Prozesse, Rohstoffe sowie Abbau- und Produktionsländer gegeben. Anschließend wird für jede Wertschöpfungsstufe dargelegt, welche hohen Risiken für negative

¹⁴ Zentral war dabei die Komponenten-Übersicht aus der Studie „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 2018).

¹⁵ Elektronikkomponenten werden in der vorliegenden Studie nicht explizit analysiert, da sie in der geplanten Branchenstudie zur Elektronikindustrie betrachtet werden, die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführt werden soll.

Umweltauswirkungen anhand von Datenbanken und Studien identifiziert werden können bzw. welche negativen Auswirkungen aufgetreten sind.

Die Einschätzung von Risiken basiert auf einer qualitativen Beantwortung der in Kapitel 1.4.2 genannten Leitfragen zu Schwere und Eintrittswahrscheinlichkeit einer Umweltauswirkung. Auf dieser Basis erfolgt eine qualitative Kategorisierung der Risiken. Dabei wird vorausgesetzt, dass grundsätzlich immer ein Risiko für negative Umweltauswirkungen vorliegen kann. Sofern in Datenbanken oder der Literatur Hinweise für hohe Risiken vorliegen, erfolgt eine Markierung des Umweltthemas.¹⁶

Grundlage für die Beschreibung und Kategorisierung bildet ein Mix verschiedener Daten- und Literaturquellen:

- ▶ **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 dem Naturkapital abhängen und wie sich deren Aktivitäten wiederum auf das Naturkapital auswirken. ENCORE wurde von der Natural Capital Finance Alliance in Zusammenarbeit mit den Vereinten Nationen (UN Environment Programme World Conservation Monitoring Centre) entwickelt (ENCORE 2020). Umweltthemen, die im ENCORE-Tool mit einer hohen oder sehr hohen Wesentlichkeit (sogenanntes „Materiality-Rating“¹⁷) 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.
- ▶ **(Umwelt-)Governance-Indikatoren:** Die Auflistung zentraler Abbau- und/oder Produktionsländer in Kombination mit Informationen zu (Umwelt-)Governance-bewertungen aus Indices ermöglicht, auf Branchenebene, eine Annäherung die Eintrittswahrscheinlichkeit negativer Umweltauswirkungen.

Wie in Kapitel 3.2 dargelegt, können negative Umweltauswirkungen auch mit negativen menschenrechtlichen Auswirkungen im Zusammenhang stehen und Menschenrechte betreffen. Tabelle 5 gibt exemplarisch einen Überblick zu solchen Zusammenhängen, die auf einer Literaturrecherche für diese Studie basieren. Im Folgenden werden für die drei Fokuskomponenten exemplarisch Zusammenhänge skizziert:

- ▶ **Beispiel aus der Fokuskomponente „Traktions-Batterie“:** Beim Kobaltabbau in der DR Kongo wird bei dem Förderprozess (oder durch Wind verursacht) Staub freigesetzt. Der Staub kontaminiert die Luft, umliegende Gewässer und Böden. Bei Menschen kann das Einatmen Gesundheitsschäden verursachen – von Atemwegserkrankungen bis hin zur Silikose sowie karzinogenen oder andere Erkrankungen (UNCTAD 2020). Zudem können

¹⁶ 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 (höheres Risiko – Risiko) gearbeitet.

¹⁷ Informationen zur Methodik des „Materiality-Rating“ und zugrundeliegenden Leitfragen (ENCORE o.J.): <https://encore.naturalcapital.finance/en/data-and-methodology/materiality>

durch die dauerhafte Staubbelastung die Möglichkeiten der lokalen Bevölkerung eingeschränkt werden, die umliegenden Gewässer und Böden zu nutzen, z. B. für die Agrarwirtschaft. Dadurch kann es zu einer Verletzung von Menschenrechten wie dem Recht auf Schutz der Gesundheit oder dem Recht auf Zugang zu sauberem Trinkwasser kommen.

- ▶ **Beispiel aus der Fokuskomponente „Karosserie“:** Bei der Eisenmetallerstellung fallen große Mengen an Abfällen an, die sicher gelagert werden müssen (Drive Sustainability 2021; ENCORE 2020). In Brasilien brachen in den Jahren 2015 und 2019 in zwei Eisenerzminen die Dämme eines Rückhaltebeckens für solche Rückstände aus der Erzaufbereitung. In beiden Fällen wurden jeweils flächendeckend Böden, Ökosysteme, Flüsse und das Grundwasser durch die riesigen Mengen des ausströmenden schwermetallhaltigen Schlammes physisch zerstört, belastet und kontaminiert und zahlreiche Arbeiterinnen und Arbeiter sowie Anwohnerinnen und Anwohner durch den Unfall getötet (Groneweg et al. 2021, S. 24). Die entstandenen Umweltschäden zerstörten nach Angaben zivilgesellschaftlicher Akteure zudem die Lebensgrundlage der umliegenden Gemeinden (Groneweg et al. 2021, S. 24), was negative Folgen für verschiedene Menschenrechte nach sich zieht, wie etwa auf das Recht auf Wohnung, das Recht auf Zugang zu sauberem Trinkwasser, das Recht auf Eigentum, das Recht auf Nahrung und das Recht auf Schutz der Gesundheit.
- ▶ **Beispiel aus der Fokuskomponente „Reifen“:** Um die steigende Nachfrage nach Naturkautschuk zu decken, werden in den Anbauländern Plantagen zur Kautschuk-Gewinnung angelegt. Diese nehmen große Flächen in Anspruch, was sich auch negativ auf die lokale (oft indigene) Bevölkerung auswirken kann. Dabei stehen vor allem ungeklärte Landnutzungsrechte im Fokus. So können bei der Inanspruchnahme von Landflächen durch Firmen und Investoren die Rechte der indigenen Bevölkerung missachtet und ihnen die Existenzgrundlage genommen werden (das kann u. a. auch das Recht auf Wohnung und den Schutz vor Vertreibung betreffen). Berichte von Landraub im Zusammenhang mit Naturkautschuk gibt es aus Kambodscha, Myanmar, Cote d’Ivoire, Liberia und Sierra Leone (Haustermann und Knauke 2019b).

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

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

4.3 Fokuskomponente: Traktions-Batterie

4.3.1 Beschreibung der Technologie und Wertschöpfungskette

Mit dem technologischen Wandel zu batterieelektrischen Antrieben von Fahrzeugen ergeben sich signifikante Veränderungen im Rohstoffbedarf und bei den Fertigungsprozessen der Antriebseinheit eines Fahrzeugs. Gegenwärtig finden Zelltypen mit Lithium-Leitsalzen Anwendung, insbesondere mit Lithiumhexafluorophosphat (LiPF₆). Lithium-Ionen-Zellen bestehen grundsätzlich aus den beiden Elektroden, den Leitsalzen bzw. Elektrolyten, dem Separator, Gehäuseeinheiten, einem Kühlsystem und dem Batteriemanagementsystem. Die Zelltechnologien werden im Wesentlichen nach den folgenden Aktivmaterialien der Kathode unterschieden:

- ▶ Nickel-Mangan-Kobaltoxid-Zelltypen (NMC)
- ▶ Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid-Zellen (NCA)
- ▶ Lithium-Eisenphosphat-Zelltypen (LFP)

Neuere Batterietypen haben einen höheren Nickelanteil bei gleichzeitig sinkendem Anteil von Kobalt zur Steigerung der Energiedichte. Bis 2030 ist für den deutschen Automobilmarkt von einer Nutzung dieser drei Zelltypen auszugehen (Purr et al. 2021). Bei LKWs finden vorrangig LFP-Zelltypen Verwendung. Zelltypen, die ohne die Verwendung von Lithium auskommen, werden erst ab 2040 auf dem deutschen Fahrzeugmarkt erwartet (ebd). Als Anodenmaterial wird vorwiegend Graphit eingesetzt, inzwischen alternativ auch Lithiumtitanat. Die konkrete Auslegung der Batteriekomponente und deren Größe wird durch die angestrebten Eigenschaften maßgeblich bedingt, v. a. Reichweitenleistung, Leistungsdichte, sicherheitsrelevante Aspekte und Lebensdauer. Darüber spielen Fahrzeugtyp und Fahrzeuggröße sowie die konkrete Preisgestaltung eine Rolle.

Gliederung der Wertschöpfungskette(n)

Der Lebenszyklus einer Batteriekomponente lässt sich grundsätzlich in vier Schritte gliedern (Abbildung 21).

Abbildung 21: Überblick über den Lebenszyklus der Traktions-Batterie



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Emilson, Dahllöf 2019 und Heimes, 2019.

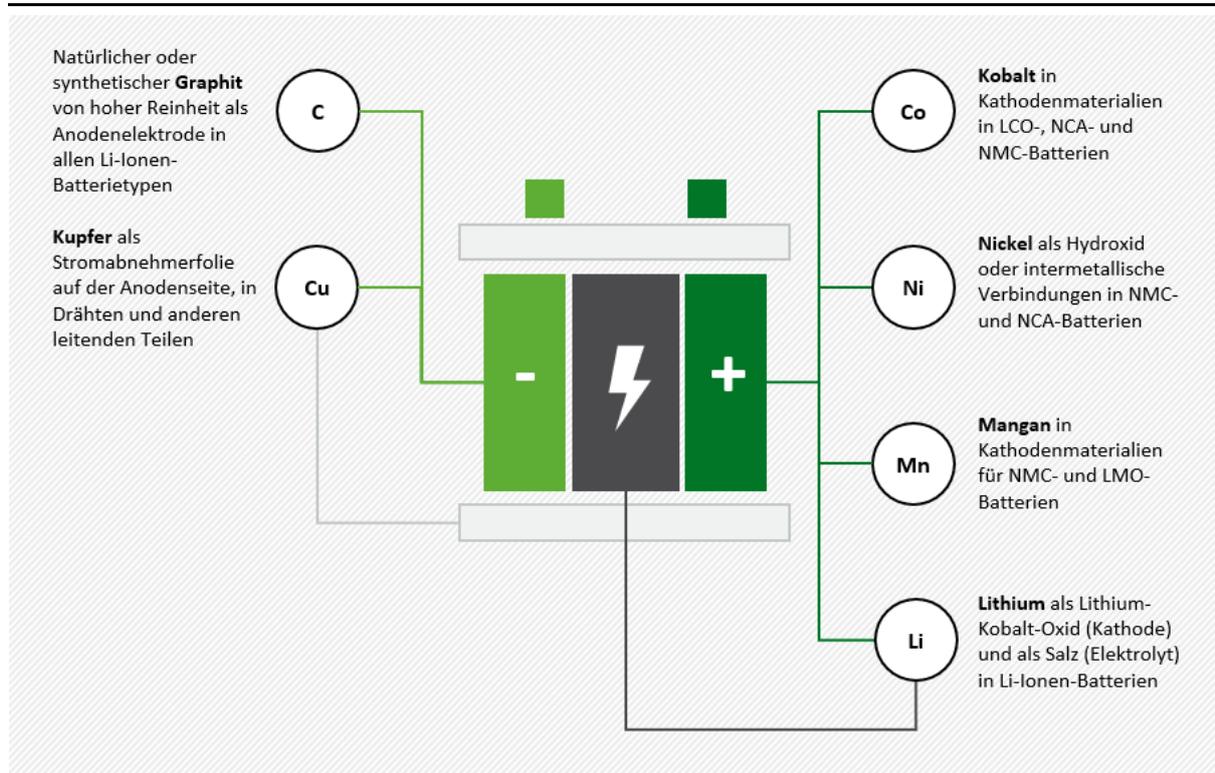
Nach dem Rohstoffabbau und der Rohstoffveredelung erfolgt die Herstellung der Batteriematerialien und -bauteile (im Folgenden Heimes et al. 2019). Zunächst werden die Nickel-, Mangan- und Sulfatlösungen zusammengeführt (Präkursor material) und anschließend synthetisiert. Hierbei sind ebenso wie für die Graphiterzeugung Hochtemperaturprozesse mit bis zu 3.000 °C notwendig. Anschließend erfolgt die Vermischung und Beschichtung der einzelnen Ausgangsstoffe, die Beschichtung der Trägerfolien (Kupfer und Aluminium) sowie die Elektrolytbefüllung der Zellstrukturen mit der Einfügung in die Graphitstrukturen der Anode (Zellassemblierung). Der Prozess der Formation und des Agings beinhaltet die ersten Lade- und Entladevorgänge der Zelle über einen Zeitraum von bis zu drei Wochen. Zum Schluss erfolgt die Montage im Fahrzeug durch den Fahrzeughersteller.

Der Batterieherstellung folgt die anschließende Nutzungsphase. Diese variiert je nach Lebensdauer des Fahrzeugs bzw. nach „Performance-Verschleiß“ durch den regelmäßigen Gebrauch. Nach dem Lebensende im Fahrbetrieb und Ausbau aus dem Fahrzeug kann eine weitere Nutzungsphase der Batterie im Sinne eines „Second Life“ angeschlossen werden. Zum Beispiel, in dem die Batterie als Strom-Zwischenspeicher in stationären Energieversorgungssystemen genutzt wird. Am Lebensende der Traktionsbatterie sollte eine größtmögliche Gewinnung von Sekundärrohstoffen stehen. Jedoch befinden sich derzeit die Verfahren hierzu noch in den Anfängen, so dass noch hohe Steigerungspotenziale, insbesondere hinsichtlich der erzeugten Produkte, sowie Rückgewinnungsraten bestehen (vgl. Emilsson und Dahllöf 2019).

4.3.2 Rohstoffabbau, -aufbereitung und -veredelung

Für die Batterieherstellung sind eine Reihe von Rohstoffen notwendig. Für die o. g. verschiedenen Batterietypen werden – mit unterschiedlichen Anteilen – gewöhnlich die Rohstoffe Kobalt, Aluminium, Eisen, Kupfer, Mangan, Lithium, Nickel, Titan, Silizium und natürliches Graphit genutzt (Europäische Kommission 2020b, S. 19, siehe Abbildung 22).

Abbildung 22: Einsatz ausgewählter Rohstoffe in der Lithium-Ionen-Batterie



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Europäische Kommission 2020b, S. 19.

Der Abbau und die Verarbeitung der Rohstoffe geht mit unterschiedlichen Risiken für negative Umweltauswirkungen einher. Diese variieren zusätzlich je nach Rohstoff in Art und Stärke entsprechend der Abbauweise (z. B. Tagebau im Vergleich zum Untertagebau), der spezifischen Umweltsituation vor Ort (z. B. Trockenheit, Wasserstress, Biodiversitätsdichte), den gesetzlichen Bestimmungen und ihrer behördlichen Überwachung, den genutzten Technologien und den unternehmensinternen Umweltschutzstandards. Grundsätzlich werden die Risiken für negative Umweltauswirkungen auch mit diversen Risiken für negative Menschenrechtsauswirkungen in Verbindung gebracht (siehe Kapitel 3.2). Des Weiteren birgt auch der Wertschöpfungsschritt der Raffinade Risiken für negative Umweltauswirkungen.

Im Folgenden wird eine Auswahl von vier Rohstoffen, Kobalt, Kupfer, Lithium und Nickel, dahingehend betrachtet, welche hohen Risiken für negative Umweltauswirkungen auf diesen Wertschöpfungsstufen auftreten.

4.3.3 Rohstoff Kobalt

Im Jahr 2020 betrug der weltweit für die Batteriefertigung eingesetzte Anteil an der Verwendung des Rohstoffs Kobalt geschätzte 57 % (Global Mining 2020). Kobalt wird überwiegend als Nebenprodukt im Kupfer- und Nickelabbau gewonnen (siehe Kapitel 4.3.4 zu Kupfer und 4.3.6 zu Nickel). Im kongolesisch-sambischen Kupfergürtel stellt dabei der Tagebau die vorherrschende Fördermethode dar (Schütte 2021, S. 6).

Bei den ersten Aufbereitungsschritten im industriellen Bergbau handelt es sich um verschiedene spezifische Kombinationen aus den Schritten Brechen und Mahlen, Laugen, Oxidation, Flotation, CCD (Counter Current Decantation), Ausfällungsprozesse und Rösten, je nachdem, ob es sich um lateritisches, sulfidisches, oxydisches Erz oder Oxid-Sulfid-Mischerz handelt (ebd., S. 7). Ein Großteil des erzeugten Erzkonzentrats wird exportiert, bevor es in der Raffinade zu Kobaltmetall oder Kobalttrihydroxid veredelt wird.

In der DR Kongo werden rund 10 bis 20 % des Kobalts im artisanalen Kleinbergbau gewonnen, wobei der Anteil je nach aktuellen Weltmarktpreisen für Kobalt schwankt (Al Barazi et al. 2021; Europäische Kommission 2020b, S. 77).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Insgesamt finden Wertschöpfungsschritte des Kobaltabbaus und der Kobaltraffinade in Hauptproduktionsländern mit verhältnismäßig niedrigen (Umwelt-)Governance-Bewertungen statt (siehe Tabelle 6). Die Bewertungen legen höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten für Risiken für negative Umweltauswirkungen nahe.

Die wichtigsten Abbauländer für Kobalterze sind die DR Kongo mit einem Anteil von 59 %, China (7 %) und Kanada (5 %) (Europäische Kommission 2020c). Während der Abbau größtenteils in der DR Kongo stattfindet, erfolgt die Raffinade vorrangig in China mit einem Anteil von 60 % der weltweiten Verarbeitungskapazitäten. China bezieht den Großteil des Kobalts aus der DR Kongo. Dies ist mit Blick auf den hohen Anteil der Batteriezellenfertigung in China und importierten Batteriezellen zu berücksichtigen.

Der Kleinbergbau findet im Unterschied zum industriellen Bergbau meist unreguliert statt, was dazu führen kann, dass Umweltstandards, sofern sie vorliegen, nicht angewendet werden (Schütte 2021). Beim Kleinbergbau ergeben sich durch das Nichteinhalten von

Arbeitsschutzstandards und durch die räumliche Nähe zu Siedlungen zudem hohe Menschenrechtsrisiken für die lokale Bevölkerung.

Tabelle 6: Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Kobalt

	Hauptproduktionsländer	Environmental Performance Index (EPI)	Worldwide Governance Indicators (WGI)
Kobaltabbau	Demokratische Republik Kongo	n. a.	-1,59
	China	37,3	-0,36
	Kanada	71	1,51
Kobaltraffination	China	37,3	-0,36

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

Quelle: eigene Darstellung, basierend auf EPI 2020 und WGI 2020.

Bei der energieintensiven Wertschöpfungsstufe der Kobaltraffination können hohe Treibhausgasemissionen entstehen. Mit dem Kobaltabbau können zudem ein hoher Flächenverbrauch, die Emission von Schadstoffen in die Luft und von wassergefährdenden Stoffen sowie die Belastung von Böden einhergehen. Das betrifft vor allem hohe Schwermetallkonzentrationen in Luft, Wasser und Böden, die Bildung von sauren Grubenwässern sowie die Freisetzung von radioaktivem Uran und Thorium beim Abbau vor Ort. Diese hohen Kontaminationen können dabei durch Nickel-Kobalt-, Kupfer-Kobalt- wie auch direkten Kobaltabbau verursacht werden.

Bewertung	Umweltthema
	Treibhausgase
	Wasser
	Fläche
	Abiotische und biotische Ressourcen
	Luftschadstoffe
	Wassergefährdende Stoffe
	Abfälle
	Sonstige Umweltthemen

Treibhausgase: Es treten vor allem bei der energieintensiven Verhüttung und Raffination in China hohe Emissionen von Treibhausgasen aufgrund der Nutzung fossiler Energieträger, insbesondere Kohle, auf (Reuter et al. 2019, S. 98). Der Energiemix der Bergwerke in der DR

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).

Kongo ist dagegen relativ klimafreundlich, da er nahezu komplett auf der Wasserkraft beruht (Schütte 2021, S. 15).

Fläche: Große Flächen werden für die Lagerung von Abraum- und Bergehalden belegt und bedeuten einen Verlust an Lebensraum für die lokale Flora und Fauna. Im kongolesisch-sambischen Kupfergürtel haben sich durch die jahrzehntelange Förderung mehrere 100 Mio. t an Aufbereitungsabgängen und Schlacken angesammelt. Vor allem für industrielle Altlasten der Flächennutzung und den derzeitigen Kleinstbergbau fehlt eine adäquate Rekultivierung (Schütte 2021, S. 11-12). Der Kobalt- bzw. Nickelbergbau in Südostasien wird teilweise mit der Rodung von ökologisch wertvollem Regenwald in Verbindung gebracht (Schütte 2021, S. 11).

Luftschadstoffe: Bei der Verhüttung wird Schwefeldioxid in die Luft abgegeben. Des Weiteren treten bei der energieintensiven Verhüttung und Raffination in China Emissionen von Luftschadstoffen aufgrund der Nutzung fossiler Energieträger, insbesondere Kohle, auf (Reuter et al. 2019, S. 98). Staub, der durch die Förderung oder durch den Wind von den Halden freigesetzt wird, kann bei Einatmung Schäden verursachen. Aus der Belastung können Atemwegserkrankungen bis hin zur Silikose sowie karzinogene oder andere Erkrankungen resultieren. Staub kann aber auch z. B. Uran enthalten, und durch Strahlungen können Gesundheitsschädigungen auftreten (UNCTAD 2020, S. 46).

Wassergefährdende Stoffe: Die Reststoffe des Abbaus können in Verbindung mit Wasser und Sauerstoff Schwefelsäure bilden, was zur Bildung sogenannter saurer Grubenwässer führt. Die Verwitterung von Reststoffen aus dem Bergbau sowie freigelegtem Gestein kann eine kontinuierliche Nachsäuerung verursachen. Die sauren Grubenwässer können zur Mobilisierung von Schwermetallen in Böden führen, Trinkwasserverschmutzen und Flüsse, Seen und andere Gewässer langfristig beeinträchtigen (UNCTAD 2020). Des Weiteren trägt bei der Verhüttung das freigesetzte Schwefeldioxid in Niederschlägen als Säurenebel zur Versauerung von Oberflächengewässern bei. Dadurch erhöht sich die Mobilität von Schwermetallen, die wie Schwefeldioxid selbst in erhöhten Konzentrationen toxisch für Flora und Fauna sind (Kosiorek 2019) und mit Gesundheitsproblemen der in der Nachbarschaft der Minen lebenden Bevölkerung in Verbindung gebracht werden (Kayika et al. 2017).

Sonstige Umweltthemen: In der DR Kongo zeigen Flusssedimente und Böden im Umfeld des kongolesischen Bergbauzentrums Kolwezi eine starke Kontamination u. a. mit Kobalt, Kupfer, Nickel, Zink, Blei und Thorium, lokal auch mit Arsen und Uran, welche mit Bergbau und Verhüttungsaktivitäten in der Vergangenheit in Verbindung gebracht wird (Schütte 2021). Die empfohlenen Grenzwerte für Kobalt und Kupfer werden um den Faktor 100 – 1.000 überschritten (Atibu et al. 2018).

4.3.4 Rohstoff Kupfer

Nach Eisen und Aluminium ist Kupfer der mengenmäßig meist geförderte metallische Rohstoff. Deutschland gehört zu den Top 10-Importeuren von Rohkupfer und raffiniertem Kupfer. Für den Bereich E-Mobilität wird für einen Zehnjahreszeitraum global bis 2027 eine Bedarfszunahme von etwa 800 % im Vergleich zu 2017 geschätzt, bedingt vor allem durch die steigende Nachfrage nach rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen. Dies erhöht die Rolle von sekundärem Kupfer, welches in der Kupfer-Raffinadeproduktion derzeit weltweit 17 %, in Deutschland 41 % ausmacht.

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 (Schütte 2021, S. 4). Die führenden Länder in der Kupferraffinade sind China, Chile und Japan. Einige dieser Länder erhalten niedrige (Umwelt-)Governance-Werte (siehe Tabelle 7) und weisen damit eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit für die mit diesen Wertschöpfungsschritten verbundenen Risiken für negative Umweltauswirkungen auf.

Tabelle 7: Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Kupfer

	Hauptproduktionsländer	Environmental Performance Index (EPI)	Worldwide Governance Indicators (WGI)
Kupferabbau	Chile	55,3	0,95
	Peru	44	-0,05
	China	37,3	-0,36
	USA	69,3	1,13
	Demokratische Republik Kongo	n. a.	-1,59
Kupferraffinade	China	37,3	-0,36
	Chile	55,3	0,95
	Japan	75,1	1,32

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

Quelle: EPI 2020 und WGI 2020.

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

Bewertung	Umweltthema
⚠	Treibhausgase
⚠	Wasser
⚠	Fläche
	Abiotische und biotische Ressourcen
⚠	Luftschadstoffe
⚠	Wassergefährdende Stoffe
⚠	Abfälle

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

Bewertung	Umweltthema
	Sonstige Umweltthemen

Treibhausgas: Abbau und Aufbereitung von Kupfererzen verbrauchen viel Energie, was je nach Energiequelle zu hohen Treibhausgas-Emissionen führen kann. Das Kupferbergwerk Cerro Verde ist zum Beispiel für 9 % des gesamten peruanischen Energieverbrauchs verantwortlich (Gilsbach 2020, S. 10). Fossile Energieträger stellen in Peru die Hauptenergiequelle dar (IEA 2021d).

Wasser: Bis zu 350 m³ Wasser wird 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 2020). Der hohe Wasserverbrauch kann in Gebieten mit Wasserstress zu Konflikten mit der lokal ansässigen Bevölkerung führen, wie z. B. in Peru (Gilsbach 2020, S. 12).

Fläche: Der Tagebau ist flächenintensiv, und durch den geringen Kupfergehalt im Erz entstehen große Halden. Es wird geschätzt, dass global über 4.000 km² Fläche direkt durch den Kupferbergbau beansprucht werden (Murguía 2015). Die Flächeninanspruchnahme wirkt sich auf die lokale Biodiversität aus, insbesondere in Abbaugebieten mit hoher Biodiversität wie tropische Regionen, die diesbezüglich hohe Risiken für negative Auswirkungen haben (Gilsbach 2020, S. 8).

Luftschadstoffe: Bei der Röstung der Kupfererze wird oftmals Schwefeldioxid freigesetzt, wenn es nicht sachgemäß aufgefangen wird. (Gilsbach 2020, S. 14). Schwefeldioxid kann Pflanzen schädigen und nach Ablagerung in Ökosysteme Versauerung von Böden und Gewässern bewirken. Bei Menschen können Gesundheitsprobleme wie Augenreizungen und Atemwegsprobleme hervorrufen werden (UBA 2021c).

Wassergefährdende Stoffe: Von den Reststoffen des Abbaus geht eine Gefahr des Schadstoffaustrags von Schwermetallen (z. B. Blei, Zink) und Metalloiden (Arsen, Antimon) aus, wobei 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 2020). Auch entstehender Säurenebel und Abregnungen führen zu hohen Kontaminationsrisiken für den Boden, die Flora und Fauna. Die Bildung saurer Grubenwässer im Kupferbergbau ist weit verbreitet (Gilsbach 2020, S. 10).

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 Abraumverhältnis von 3:1 führt eine Tonne erzeugtes Kupfer zu ca. 570 t bergbaulichen Rückständen (Gilsbach 2020, S. 10). Zumeist werden Tailings als Suspension in großen Absetzbecken (engl. tailings dam) abgelagert, wobei Teile des eingespülten Wassers zur Wiederverwendung zurückgewonnen werden können (ebd., S. 6).

4.3.5 Rohstoff Lithium

Durch seine spezifischen Eigenschaften ist Lithium in Lithium-Ionen-Akkus für Elektrofahrzeuge unverzichtbar, sodass von einer stark steigenden Nachfrage ausgegangen werden kann. Lithium wurde entsprechend in die Liste der kritischen Rohstoffe für die EU aufgenommen (Drobe 2020, S. 3, Europäische Kommission 2020b, S. 9).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Lithium wird entweder aus Festgestein (z. B. in Australien) oder aus Salaren, verdunstetem lithiumhaltigen Salzwasserseen (z. B. in Chile oder Argentinien), gewonnen. Mit einer Förderung von rund 60.000 t Lithium-Inhalt jährlich führt Australien die Hauptförderländer an, gefolgt von Chile mit rund 18.000 t und China mit rund 7.000 t. Im Hinblick auf die erwartete steigende Nachfrage ist zu beachten, dass sich die größten Lithium-Reserven in Salaren im sogenannten Lithiumdreieck zwischen Südbolivien, Nordchile und Nordwestargentinien befinden (Drobe 2020, S. 4-5). Australien und Chile erhalten als zentrale Förderländer verhältnismäßig hohe (Umwelt-)Governance-Bewertungen, China hingegen wird niedriger bewertet, was eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit für negative Umweltauswirkungen nahelegt (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Lithium

	Hauptproduktionsländer	Environmental Performance Index (EPI)	Worldwide Governance Indicators (WGI)
Lithiumabbau	Australien	74,99	1,5757
	Chile	55,3	0,95
	China	37,3	-0,36

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

Quelle: EPI 2020 und WGI 2020.

Die Risiken für negative Umweltauswirkungen unterscheiden sich je nach Gewinnungsmethode zum Teil beträchtlich. Das betrifft insbesondere die Umweltthemen „Treibhausgase“, „Wasser“ und „Fläche“. Dabei ist zu beachten, dass die Hauptproduktionsländer unterschiedliche Gewinnungsmethoden nutzen.

Bewertung	Umweltthema
⚠	Treibhausgase
⚠	Wasser
⚠	Fläche
	Abiotische und biotische Ressourcen
	Luftschadstoffe

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

Bewertung	Umweltthema
	Wassergefährdende Stoffe
	Abfälle
	Sonstige Umweltthemen

Treibhausgas: Bei der Gewinnung aus Gestein entstehen ca. 15.000 kg CO₂-Emissionen pro Tonne Lithium. Bei der Gewinnung aus Salaren entsteht ein Drittel, also 5.000 kg CO₂ pro Tonne Lithium (Early 2020). Das liegt daran, dass bei der Gewinnung aus Salaren der Weiterverarbeitungsschritt zu Lithiumcarbonat durch ein chemisches Verfahren stattfindet, während bei der Gewinnung aus Gestein für das Lithiumcarbonat ein Röstungsprozess benötigt wird, bei dem die Energie oft aus fossilen Energieträgern stammt (Drobe 2020, S. 5-6).

Wasser: Für die Gewinnung aus Salaren wird eine lithiumhaltige Sole in Verdunstungsbecken geleitet. Daher werden bei der Gewinnung aus Salaren ungefähr 469 m³ Wasser pro Tonne Lithium verbraucht, bei der Gewinnung aus Gestein mit 170 m³ vergleichsweise weniger (Early 2020). Unklar ist bei der Gewinnung aus Salaren, in welchem Ausmaß die Lithiumgewinnung zu einer Absenkung des Salzwasserspiegels beiträgt. Bei zu hoher Absenkung kann Süßwasser nachströmen und regional die Grundwasserstände absinken lassen (Drobe 2020). In den trockenen Salzebenen Chiles, Argentiniens und Boliviens wird dies befürchtet, da die Verfügbarkeit von (sauberem) Wasser ein zentrales Thema für die ansässige Bevölkerung ist. In Chiles Atacama-Wüste führen z. B. neben der Kontaminierung von Wasser auch die Umleitung von Wasser und der Wasserverbrauch durch die Förderungsaktivitäten zu Konflikten mit der lokalen Bevölkerung (Drobe 2020, S. 10).

Fläche: Hinsichtlich der Flächennutzung unterscheiden sich die zwei Arten der Gewinnung stark. In den Salzebenen liegt, bedingt durch die großflächigen Verdunstungsbecken, die genutzte Fläche pro Tonne Lithium um ein Vielfaches höher als bei der Gewinnung aus Gestein (Energies Nouvelles 2021; Drobe 2020, S. 8). Während der Lithiumabbau in ariden und wenig bewohnten Gebieten wie im Norden Australiens oder der ariden Salzebenen Chiles weniger problematisch ist, gibt es die Kapitel 3.3.2 thematisierte Befürchtungen, dass die in Chile außerhalb der Verdunstungsbecken liegenden Süßwasser-Lagunen negativ beeinträchtigt werden. Das Pumpen der Sole könnte die Lagunen austrocknen und damit die lokale Biodiversität negativ beeinträchtigen (Drobe 2020, S. 8-9).

4.3.6 Rohstoff Nickel

Nickel ist mengenmäßig ein Hauptelement in NMC- und NCA-Batteriezellen. Darüber hinaus findet Nickel im Automobilbau in Legierungen für Hochtemperaturbauteile wie z. B. Ventile, Abgassysteme und Turbolader Verwendung. Etwa 5 % des weltweit abgebauten Nickels wurde 2019 für die Batteriezellenfertigung verwendet. Im Jahr 2025 wird der Anteil auf 15 % geschätzt (Al Barazi et al. 2021). Bei neueren Batteriezelltechnologien ist von einem höheren Nickelanteil bei gleichzeitig sinkendem Anteil an Kobalt in der Batterie auszugehen (a. a. O.).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Nickel wird überwiegend aus lateritischen, ansonsten aus sulfidischen Lagerstätten abgebaut (Vasters et al. 2021, S. 4). Die wichtigsten Abbauländer im Jahr 2019 waren Indonesien (30 %), die Philippinen (16 %) und Russland (10 %) (Barrera 2020). Der Abbau in Indonesien und den Philippinen besteht ausschließlich aus lateritischen Lagerstätten, während in Russland ausschließlich aus sulfidischen Lagerstätten abgebaut wird (Vasters et al. 2021, S. 5). Eine

Vielzahl von Nickelprodukten wird in Raffinerien weltweit verteilt hergestellt (im Jahr 2019 in insgesamt 26 Ländern auf sechs Kontinenten). Zahlen zu 2019 zeigen, dass das für die Traktionsbatterie benötigte Nickelsulfat vor allem in China produziert wurde (Szurlies 2021, S. 41).

Die (Umwelt-)Governance in den wichtigsten Ländern für Abbau und Raffinade ist überwiegend niedrig bewertet und legt daher eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit für die mit diesem Teil der Wertschöpfung verbundenen Risiken für negative Umweltauswirkungen nahe (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Nickel

	Hauptproduktionsländer	Environmental Performance Index (EPI)	Worldwide Governance Indicators (WGI)
Nickelabbau	Indonesien	37,8	-0,17
	Philippinen	38,4	-0,31
	Russland	58	-0,58
Nickelraffinade (Nickelsulfat)	China	37,3	-0,36

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5²¹

Quelle: EPI 2020 und WGI 2020.

Hohe mit dem Nickelabbau verbundene Risiken bestehen vor allem hinsichtlich der Flächennutzung, der Emission von Luftschadstoffen und wassergefährdenden Stoffen, welche mit dem Nickelabbau einhergehen können.

Bewertung	Umweltthema
	Treibhausgase
	Wasser
⚠	Fläche
	Abiotische und biotische Ressourcen
⚠	Luftschadstoffe
⚠	Wassergefährdende Stoffe
	Abfälle
	Sonstige Umweltthemen

²¹ 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).

Fläche: Aus oberflächennahen, sogenannten lateritischen Lagerstätten, welche durch den Tagebau mit einem großen Flächenbedarf einhergehen (2,5-mal so flächenintensiv wie aus sulfidischen Lagerstätten), stammten 2019 70 % der weltweiten Produktion von Primärnickel (Vasters et al. 2021, S. 2, S. 10). Da sich lateritische Lagerstätten zum großen Teil in den Tropen und Subtropen befinden, geht dies mit entsprechenden Auswirkungen auf Waldgebiete und Biodiversität einher, (Smith 2018), u. a. in ausgewiesenen Schutzgebieten und an Standorten, die von der „Alliance for Zero Extinction“ (AZE) als ökologisch besonders sensible Gebiete ausgewiesen wurden (AZE-Standorte) (Dehoust et al. 2020a, S. 136). Degradiertere und wenig fruchtbare Böden sowie die Schadstoffbelastung und Erosion stellen besondere Herausforderungen an die Renaturierung (Vasters et al. 2021, S. 2).

Luftschadstoffe: Ein wichtiger Standort für den Nickelabbau und die -raffination ist Norilsk im Mittelsibirischen Bergland im Norden Russlands. Die Region um Norilsk gilt als eine der Regionen mit den weltweit höchsten Umweltbelastungen. In der Nickelabbaugebiet um Norilsk treten hohe Schwermetallbelastungen in der Luft auf. Des Weiteren herrscht eine hohe Belastung mit Schwefeldioxid, was beim Menschen Atemwegsreizungen und Atemwegsprobleme verursachen kann und zur Versauerung von Böden und Gewässern führt. Auswertungen von Satellitendaten ergaben für das Jahr 2018 knapp 2 Mio. t an Schwefeldioxidemissionen in der Region. Damit ist das Gebiet um Norilsk der größte Emittent dieses Luftschadstoffes weltweit und macht etwa 1 % der globalen Schwefeldioxidemissionen aus (Voiland 2017; Nilsen 2019).

Wassergefährdende Stoffe: Beim Abbau von lateritischen Lagerstätten, kann das giftige Element Nickel, welches in höheren Konzentrationen als lokal im Ökosystem auftritt, durch Abwässer in die Umwelt gelangen. Bezüglich des Grubenwassers ist anzumerken, dass im Sulfiderzbergbau im Schnitt 60 % mehr Grubenwasser gehoben wird als im Lateriterzbergbau (Vasters et al. 2021, S. 10-11) In Indonesien wurden starke Beeinträchtigungen der Wasser- und Bodenqualität mit Auswirkungen auf die dortige Biodiversität beobachtet. Freigesetzte saure Grubenwässer führten u. a. zum Fischsterben und damit dem Verlust dieser Nahrungsquelle für die lokale Bevölkerung (Morse 2019). In philippinischen Abbaugebieten wiederum wurden Verunreinigungen des Trinkwassers festgestellt, was zur Schließung mehrerer Minen führte (ebd.). Die in Norilsk beobachteten Schwermetallbelastungen treten auch in den umliegenden Gewässern auf, und die durch das Rösten der Erze verursachten Schwefeldioxidemissionen versauern Gewässer zusätzlich. Zudem traten in Norilsk mehrere Vorfälle mit unkontrollierten Kontaminationen von Gewässern und Böden mit Schwermetallen auf, u. a. 2016 und 2020. Dabei ist besonders zu beachten, dass sich die natürliche Umwelt in der arktischen Region nur sehr langsam erholen kann (u. a. Jamasmie 2021; Vasters et al. 2021, S. 10).

4.3.7 Herstellung der Batteriematerialien, -bauteile und Zellfertigung

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Der Großteil der Zellfertigung von 455 Gigawattstunden (GWh) im Jahr 2020 erfolgte in Ostasien (China, Südkorea, Japan) durch die großen Zellhersteller LG, Samsung (beide NMC-Zellen), Panasonic (NCA-Zellen) und BYD (LMO-Zellen) (Helms et al. 2019, S. 25 f.; Emilsson und Dahllöf 2019, S. 44). Chinas Anteil an den globalen Produktionskapazitäten der Fertigung von Lithium-Ionen-Batteriezellen betrug im Jahr 2020 77 % (Yu und Sumangil 2021). Europas Anteil betrug 6 % mit Fertigungsstätten in Ungarn (20 GWh), Polen (6 GWh) und Großbritannien (2 GWh). Aufgrund des hohen Wertschöpfungsanteils Chinas sollten (Umwelt-)Governance-Bewertungen berücksichtigt werden (siehe Tabelle 10).

Bis 2025 wird ein Wachstum der globalen Produktionskapazitäten auf 1.447 GWh erwartet. In Europa entstehen bis dahin Produktionskapazitäten voraussichtlich vor allem in Polen, Deutschland, Ungarn, Schweden und Frankreich mit einem Gesamtvolumen von 368 GWh (ebd.).

Tabelle 10: Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Batterieherstellung

	Hauptproduktionsländer	Environmental Performance Index (EPI)	Worldwide Governance Indicators (WGI)
Batterieherstellung	China	37,3	-0,36
	Südkorea	66,5	0,94
	Japan	75,1	1,32

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

Quelle: EPI 2020 und WGI 2020.

Beim (voraussichtlichen) Ausbau von Kapazitäten der Batterieproduktion in Ländern Europas mit einem hohen Kohlestromanteil am Strommix, z. B. in Polen mit 74 % (Helmers et al. 2020, S. 18) sind die damit verbundenen Risiken für negative Umweltauswirkungen zu berücksichtigen. Dies betrifft u. a. die hohen Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen bei der Kohleverbrennung sowie die Flächeninanspruchnahme bei der Förderung der Kohle (insbesondere Braunkohle). Darüber hinaus ist auch die Absenkung des Grundwasserspiegels im Tagebau bei der Förderung von tieferliegenden Kohleflözen mit Folgen für die lokale Bevölkerung zu beachten (vgl. u. a. Greenpeace 2020).

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).

Bewertung	Umweltthema
⚠	Treibhausgase
⚠	Wasser
⚠	Fläche
	Abiotische und biotische Ressourcen
⚠	Luftschadstoffe
	Wassergefährdende Stoffe
	Abfälle
	Sonstige Umweltthemen

Treibhausgase: Die Herstellung der Batteriezellen verursacht aufgrund des hohen Energieverbrauchs hohe Mengen an Treibhausgasemissionen. Diese belaufen sich auf 61 bis 106 kg CO₂-eq/kWh Batteriekapazität für die Batterieproduktion bei NMC-Batterietypen (Emilsson und Dahllöf 2019). Verursacht werden die Treibhausgasemissionen durch Hochtemperaturprozesse (Kalzinierung, Graphitisierung) und Trocknungsprozesse der einzelnen Stufen, bei denen fossile Brennstoffe eingesetzt werden, sowie durch einen hohen Anteil von Kohleverstromung am Strommix im Produktionsland (Heimes et al. 2019).

Luftschadstoffe: Die Batteriefertigung in China, die hauptsächlich in den Provinzen Guangdong und Jiangsu angesiedelt ist, bezieht Strom, der in etwa dem chinesischen Durchschnittsmix entspricht, d. h. einen Kohlestromanteil von etwa zwei Dritteln aufweist (Helmets et al. 2020, S. 8; EEA 2018, S. 29, S. 60). Die Kohlestromgewinnung geht mit hohen Risiken für Luftschadstoffemissionen einher. Des Weiteren tritt Quecksilber als Spurenelement in der Kohle auf. Dies wird bei der Verbrennung in die Atmosphäre freigesetzt und sinkt durch Regen und Schwebeteilchen in den Boden (vgl. Liu et al. 2018). Die Quecksilberfreisetzung in chinesischen Kohlekraftwerken variiert und hängt vom Grad der Filterung im Kohlekraftwerk ab (a. a. O.). Der hohe Kohlestromanteil bei der Batteriefertigung in China trägt außerdem zur Versauerung von Böden bei (vgl. Helmets et al. 2020).

Wasser: Die ökologische Relevanz ist abhängig von den lokalen Knappheitsrisiken für Wasser. Diese Risiken treten besonders bei der Produktion in Nordostchina und in Südkorea auf. So besteht bei der Batteriefertigung ein hoher Wasserbedarf für die Kühlung von Hochtemperaturprozessen. Bei Trockenverfahren wird die benötigte Hitze aus Dampf gewonnen (European Commission 2020, S. 194). Des Weiteren hat der für die Herstellung der Batterien genutzte Kohlestrom einen hohen Wasserfußabdruck, u.a. aufgrund der Kohlewaschung, einem Verfahren zur Trennung der Kohle vom übrigen Gestein, und der Kühlungsprozesse in den Kohlekraftwerken (Zeng et al 2020).

Fläche: Die Entnahme fossiler Ressourcen für die Produktion zur Gewinnung von Energieträgern für die Batterieherstellung geht mit einer hohen Flächeninanspruchnahme einher, vor allem beim oberirdischen Abbau der Kohle (ENCORE 2020). In China werden beispielsweise große Landstriche für den Kohletagebau genutzt, was zu einer Reihe von negativen Auswirkungen führt, z. B. zu Biodiversitätsverlusten durch die Vernichtung von Lebensräumen (Wang et al. 2020, S. 2).

4.3.8 Weitere hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Wertschöpfungskette der Batterie

Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Nutzungsphase und am Lebenszyklusende

Während der Nutzungsphase der Batterie sind die Risiken für negative Umweltauswirkungen eng mit der Gewinnung der Elektrizität und den damit verbundenen Energiequellen verknüpft. Am Batterielebenszyklusende entstehen Risiken für negative Umweltauswirkungen vor allem, wenn die Batterien falsch gehandhabt sowie im falschen Abfallstrom entsorgt und nicht dem ordnungsgemäßen Recycling zugeführt werden:

Treibhausgase: Der für die Nutzungsphase der Batterie für den Betrieb von Elektroautos gewonnene Strom stammt u. a. von fossilen Energieträgern, bei deren Gewinnung ein hohes Maß an Treibhausgasen entsteht. Durch die (leichte) Brennbarkeit von Lithium-Ionen-Batterien können die Batterien bei nicht sachgemäßer Handhabung, unabhängig davon in welchem ordnungsgemäßen/nicht-ordnungsgemäßen Abfallstrom sie entsorgt werden, Feuer fangen, was wiederum zu potenziell hohen Treibhausgasemissionen führen kann.

Luftschadstoffe: Vor allem bei schwer beschädigten und brennenden Batterien kann es zum Austritt von toxischen Gasen kommen, die schädlich für Umweltmedien wie Boden, Wasser, Luft sein können und zu negativen Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere und Menschen führen können (Sonderabfallwissen 2020).

Abfälle: Einige Batterie-Materialien und -Inhaltsstoffe sind toxisch, ätzend, reizend, umwelt-, wasser- und gesundheitsgefährdend und leicht entzündlich bzw. brennbar, insbesondere dann, wenn sie in nicht-ordnungsgemäßen Abfallströmen gelagert und entsorgt werden (z. B. Mülldeponien) und durchsickern, verbrennen oder anderweitig in die Umwelt gelangen. Des Weiteren stellt die leichte Brennbarkeit von Lithium-Ionen-Batterien bei unsachgemäßer Handhabung oder bei beschädigten Akkus zusätzliche Herausforderungen für die Prozesskette am Lebensende dar (Al Barazi et al. 2021).

4.4 Fokuskomponente: Karosserie

4.4.1 Beschreibung der Technologie und Wertschöpfungskette

Die Fahrzeugkarosserie macht etwa 40 % des Gesamtgewichts eines durchschnittlichen PKWs aus (Statista Research Department 2011). Im Rahmen der Entwicklung hin zu Leichtbaufahrzeugen geht der Trend im Automobilbau von Stahl - hin zu Aluminium-(Hybrid-) Karosserien. Durch den Einsatz leichterer Werkstoffe entstehen durch die Gewichtsvorteile signifikante Einsparungen bei Treibstoff und damit den CO₂-Emissionen im Fahrzeugbetrieb (Braun et al. 2021, S. 21). Schätzungen zufolge könnten durch den Leichtbau im europäischen Automobilsektor etwa neun Mio. t CO₂ pro Jahr eingespart werden (Material Economics 2018).

Gegenwärtig besteht eine typische PKW-Karosserie aus einem Mix verschiedener Werkstoffe (siehe Abbildung 23). Für den derzeit typischen Materialmix sind die Werkstoffe Stahl (bzw. als Vorprodukt Eisen/Rohstoff: Eisenerz), Aluminium (bzw. Rohstoff: Bauxit), Zink, Wolfram und Magnesium notwendig (Kerkow et al. 2012, S. 12; The Dragonfly Initiative 2018, S. 21). Je nach Fahrzeugmodell und Produktionsvolumen kommen die Materialien in unterschiedlicher Zusammensetzung zum Einsatz (Ickert et al. 2012, S. 15-16). Aluminium und Stahl machen vom Volumen her den größten Rohstoffbezug der Automobilindustrie aus (Groneweg 2020, S. 5). Zudem finden metallische Rohstoffe für die Legierung, vornehmlich Stahllegierungen, und als

Korrosionsschutz in der Karosserie Anwendung (Kerkow et al. 2012, S. 12). Dabei wird vor allem Zink zur Stahlverzinkung eingesetzt (Dorner 2015, S. 7, S. 37).

Abbildung 23: Einsatz ausgewählter Rohstoffe in der Karosserie

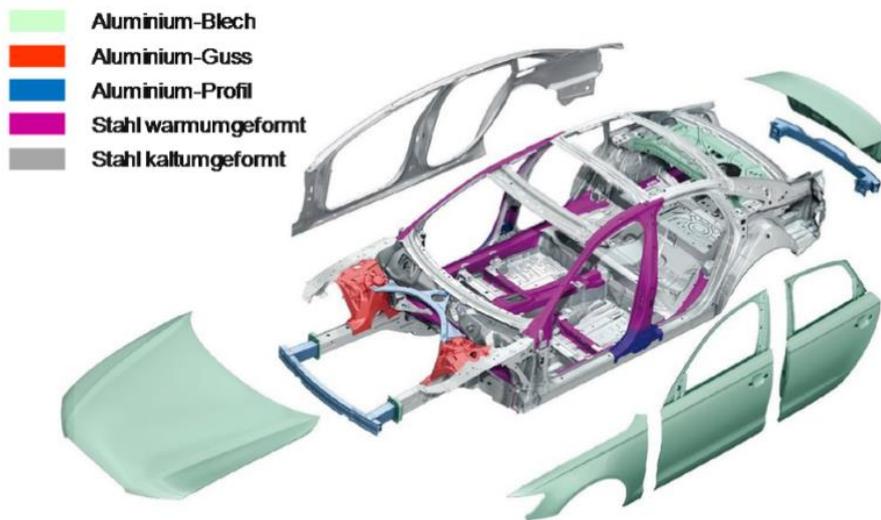


Abb. 2-4: Werkstoffverteilung der Karosserie des Audi A6 [ATZ11]

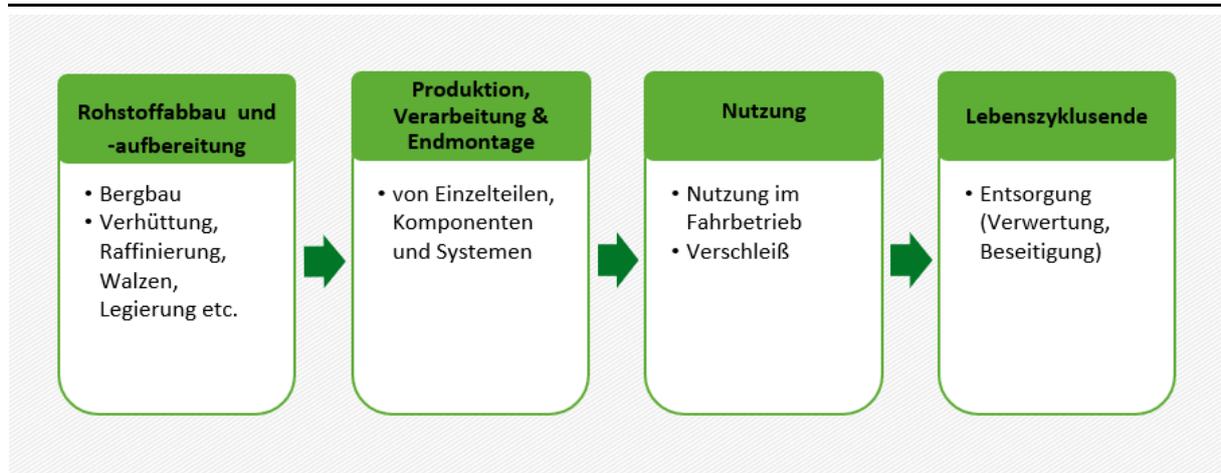
Quelle: Beispielgrafik entnommen aus Ickert et al. 2012, S. 15.

Gebremst wird die technologische Entwicklung hin zum Leichtbau durch die höheren Preise bei der Herstellung leichter Materialien (Aluminium ist in der Herstellung etwa fünfmal so teuer wie Stahl) sowie durch Nachteile bei den Materialeigenschaften: Aluminium ist bei Unfällen deutlich anfälliger für Schäden als Stahl. Außerdem verfügen bishernur wenige Werkstätten über ausreichende Kompetenz, um Schäden an einer Aluminium-Karosserie zu beheben, was zu höheren Reparatur- und Versicherungskosten führt (Dünnes 2015).

Gliederung der Wertschöpfungskette(n)

Die Wertschöpfungskette des Karosseriebaus unterscheidet sich je nach verwendetem Rohstoff erheblich. Geht man jedoch grundsätzlich von dem Lebenszyklus metallischer Komponenten aus, kann die Wertschöpfungskette grob in vier Stufen gegliedert werden (Kerkow et al. 2012, S. 35, siehe Abbildung 24).

Abbildung 24: Überblick über den Lebenszyklus einer Karosserie



Quelle: Eigene Darstellung, angelehnt an Kerkow et al. 2012, S. 35.

4.4.2 Rohstoffabbau und -aufbereitung

Die Gewinnung der Rohstoffe für die Karosserie geht mit verschiedenen Risiken für negative Umweltauswirkungen einher. Diese variieren zudem je nach Rohstoff in Art und Stärke entsprechend der Abbau- und vor allem der Verarbeitungsweise (z. B. Prozesse der Raffination, Verhüttung), der spezifischen Umweltsituation vor Ort (z. B. Trockenheit, Wasserstress, Biodiversitätsdichte), den genutzten Technologien und den unternehmensinternen Umweltschutzstandards. Da in der Karosserie zahlreiche metallische Rohstoffe verwendet werden, sind besonders die hohen Treibhausgasemissionen und der Wasserverbrauch der Metallerzeugung und -verarbeitung zu nennen, wie in Kapitel 3.3.1 und 3.3.2 anhand der Ergebnisse der Input-Output-Modellierung bereits dargelegt wurde. Grundsätzlich werden die Risiken für negative Umweltauswirkungen auch mit diversen Risiken für adverse Menschenrechtsauswirkungen in Verbindung gebracht (siehe Kapitel 3.2).

Im Folgenden werden die Rohstoffe Stahl/Eisen, Aluminium/Bauxit und Zink im Hinblick auf hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen betrachtet.

4.4.3 Rohstoffe Stahl und Eisen

Ein PKW besteht zu etwa 60 % aus Stahl und Eisen (Kerkow et al. 2012, S. 12). Stahl findet neben der Karosserie auch im Fahrwerk, Getriebe, den Rädern, der Aufhängung und den Bremsen Verwendung (The Dragonfly Initiative 2018, S. 21). Auch Produktionsroboter, Förderbänder und Werkzeuge, die im Automobilbau zum Einsatz kommen, werden zumeist aus Stahl hergestellt (Kerkow et al. 2012, S. 12). Mit einem Verbrauch von insgesamt 34,9 Mio. t an Stahlerzeugnissen nahm Deutschland 2020 den siebten Platz der größten Verbraucher nach China, Indien, den USA, Japan, Südkorea sowie Russland ein (Andruleit et al. 2020, S. 37). Die Automobilindustrie beanspruchte 2019 insgesamt 26 % des in Deutschland verarbeiteten Stahls (Andruleit et al. 2020, S. 37).

Stahl wird aus Eisen produziert, für dessen Gewinnung zunächst Eisenerz zumeist im Tagebau abgebaut wird. Durch Reduktion in Schacht- und Hochöfen entsteht anschließend aus Eisenerz Roheisen (Kerkow et al. 2012, S. 12). Roheisen wird anschließend metallurgisch in Stahlwerken durch mehrere Raffinationsverfahren zu Stahl weiterverarbeitet (Kerkow et al. 2012, S. 12).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Wichtigste Produktionsländer von Eisenerz waren 2019 Australien mit knapp 38 % der weltweiten Gesamtförderung, Brasilien (17 %), China (14 %) und Indien (8 %) (USGS 2021, S. 89). Im Jahr 2018 machten Eisen und Stahl sowie daraus produzierte Waren einen Anteil von 46 % am Import metallischer Rohstoffe in die EU aus, der Importanteil von Eisenerz lag bei 6 % (Perger 2020, S. 19). Deutschland importierte 2019 rund 39 Mio. t Eisenerz, wichtigstes Lieferland war Brasilien, gefolgt von Kanada, Südafrika, Schweden und Russland (Andruleit et al. 2020, S. 36, S. 90). Brasilien als zentrales Importland Deutschlands für Eisenerz erhält eine verhältnismäßig niedrige (Umwelt-)Governance-Bewertung, ebenso China und Indien (siehe Tabelle 11).

Ein großer Anteil des global geförderten Eisenerzes wird zu Stahl weiterverarbeitet. Im Jahr 2020 wurden weltweit etwa 1,9 Mrd. t Stahl erzeugt (World Steel Association 2021, S. 3). Mit Abstand größtes Produktionsland war China mit einer Produktion von über 56 % der gesamten Stahlerzeugung, gefolgt von Indien (5 %) und Japan (4 %) (World Steel Association 2021, S. 2-3). Damit findet auch ein Großteil der Stahlerzeugung in Ländern mit verhältnismäßig niedriger

(Umwelt-)Governance-Bewertung statt (siehe Tabelle 11). Dies legt höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten von negativen Umweltauswirkungen nahe.

Tabelle 11: Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Stahl und Eisen

	Hauptproduktionsländer	Environmental Performance Index (Yale University)	Worldwide Governance Indicator (Weltbank)
Eisenerz-Produktion	Australien	74,9	1,48
	Brasilien	51,2	-0,21
	China	37,3	-0,25
	Indien	27,6	-0,12
Stahl-Produktion	China	37,3	-0,25
	Indien	27,6	-0,12
	Japan	75,1	1,33

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5²³

Quelle: EPI 2020 und WGI 2020.

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

Bewertung	Umweltthema
⚠	Treibhausgase
⚠	Wasser
⚠	Fläche
	Abiotische und biotische Ressourcen
⚠	Luftschadstoffe
⚠	Wassergefährdende Stoffe
⚠	Abfälle
	Sonstige Umweltthemen

Treibhausgase: Die Stahlproduktion ist sehr energie- und damit auch emissionsintensiv, vor allem in Hinblick auf CO₂-Emissionen. Bei der Primärherstellung von einer Tonne Stahl werden etwa 1,8 t CO₂-Emissionen verursacht (Holappa 2020, S. 1). Dies ist größtenteils auf den überwiegenden Betrieb von Hochöfen in Verhüttungsanlagen mit Steinkohlekoks und Erdgas zurückzuführen (Kerkow et al. 2012, S. 16; ENCORE 2020). Auch die Eisenerzgewinnung geht mit einem hohen Energiebedarf (Dehoust et al. 2020a) und wesentlichen Emissionen von Treibhausgasen wie CO₂ einher (ENCORE 2020). Die CO₂-Emissionen der chinesischen Stahl-

²³ 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).

und Eisenindustrie machen etwa 15 % der Gesamtemissionen Chinas aus (Gu et al., 2015 zitiert bei The Dragonfly Initiative 2018, S. 47).

Wasser: Durch die Anwendung von Nassverfahren in den Aufbereitungsprozessen geht die Eisenerzgewinnung mit einem signifikanten Wasserverbrauch einher (ENCORE 2020; Drive Sustainability 2021). Auch bei der Stahlproduktion werden in den verschiedenen Herstellungsstufen vor allem zur Kühlung, Staubkontrolle und dem Abschrecken von Steinkohlekoks große Mengen Wasser unterschiedlicher Qualität benötigt (ENCORE 2020; The Dragonfly Initiative 2018, S. 47). Mit der regional hohen Nutzung von Fluss- und Grundwasser in der industriellen Rohstoffförderung geht daher das Risiko von Wasserknappheit für dortige Gemeinden einher (Kerkow et al. 2012, S. 16).

Fläche: Eisenerzminen und die notwendige Infrastruktur, die um Minen herum benötigt wird, nehmen große Flächen in Anspruch. Damit geht das Risiko der Verdrängung von natürlichen Ökosystemen und des Verlustes der lokalen Artenvielfalt einher, auch in ausgewiesenen Schutzgebieten und an AZE-Standorten (Dehoust et al. 2020a, S. 136). So wurde etwa in dem für die deutsche Automobilindustrie wichtigen Lieferland Brasilien für die größte Eisenerzmine der Welt zum Abtransport des Eisenerzes eine fast 1.000 km lange Bahntrasse errichtet, die zahlreiche Dörfer durchschneidet (Groneweg et al. 2021, S. 23). In den Eisenerz-Abbauregionen Indiens geht die Flächenerschließung für Eisenerzminen zudem oftmals mit Landnahme, Zwangsumsiedlung und Vertreibung einher (Kerkow et al. 2012, S. 15).

Bei der Herstellung von Roheisen aus Eisenerz kommt des Weiteren Holzkohle zum Einsatz. Für die Gewinnung von Holzkohle werden u. a. in Brasilien große Flächen ursprünglichen Waldes in Monokultur-Baumplantagen umgewandelt (Giunta und Munnion 2020). Die vom Eisenerz-Abbau induzierte erhöhte Holzkohlenachfrage trägt damit in Brasilien zur Ausdehnung von Baumplantagen für die Produktion von Holzkohle und zur Zerstörung ursprünglicher Wälder bei (Sonter et al. 2017, S. 4). In diesem Zusammenhang gibt es Berichte über illegale Rodungen, teilweise auch in geschützten Gebieten mit indigener Bevölkerung (Kerkow et al. 2012, S. 16).

Luftschadstoffe: Sowohl der Eisenerzabbau als auch die Stahlproduktion gehen mit einem Ausstoß von Luftschadstoffen einher (ENCORE 2020). Zudem wird für den Koksbedarf der Stahlindustrie in Indien und auch in anderen Ländern, z. B. Kolumbien, Indonesien und Südafrika, Kohle abgebaut, wobei regionale Emissionen von Luftschadstoffen entstehen (Kerkow et al. 2012, S. 16). Luftschadstoffe greifen oberhalb bestimmter Konzentrationen Pflanzen, Gewässer, Böden und Materialien an und sind schädlich für Menschen und Tiere. Es liegen Berichte über Gesundheitsschädigungen wie Asthma, Hautprobleme und Durchfall vor, die aus den Umweltbelastungen durch Roheisenfabriken wie Staub und Verschmutzung resultieren sollen (The Dragonfly Initiative 2018, S. 47; Groneweg et al. 2021, S. 24). Im Zentrum der russischen Eisen- und Stahlindustrie wurde zudem in der Luft Benzo(a)pyren nachgewiesen, ein Karzinogen, das mit Lungenkrebs in Verbindung gebracht wird (Luhn 2016 zitiert bei The Dragonfly Initiative 2018, S. 47).

Wassergefährdende Stoffe: Bei der Kohleförderung fallen verschiedene Abfallstoffe und Kohlestaub an, die giftige Schadstoffe enthalten können, welche die Umwelt auch noch nach der Schließung einer Mine belasten können (Kerkow et al. 2012, S. 16; Drive Sustainability 2021). Die Aufbereitungsprozesse der Eisenmetallproduktion gehen mit dem Risiko einher, dass säurehaltige Abwässer nahe gelegene Gewässer verschmutzen und Schwermetalle in Wasserkreisläufe eingetragen werden (ENCORE 2020). Unter anderem in China, Indien und Russland kam es durch Leckage und das unsachgemäße Ableiten von Abwässern aus der Eisen- und Stahlindustrie zum Ausfluss von giftigen Chemikalien und zur Verschmutzung der umliegenden Flüsse mit schweren Partikeln und Nitriten (The Dragonfly Initiative 2018, S. 47).

Abfälle: Bei der Eisenmetallerstellung fallen große Mengen an Abfällen (Tailings) an (Drive Sustainability 2021; ENCORE 2020). In Brasilien brachen jeweils 2015 und 2019 in zwei unterschiedlichen Eisenerzminen die Dämme eines Rückhaltebeckens für solche Rückstände aus der Erzaufbereitung. In beiden Fällen wurden jeweils flächendeckend Böden, Ökosysteme, Flüsse und das Grundwasser durch die riesigen Mengen des ausströmenden schwermetallhaltigen Schlammes physisch zerstört, belastet und kontaminiert, zahlreiche Arbeiterinnen und Arbeiter sowie Anwohnerinnen und Anwohner durch den Unfall getötet und die Lebensgrundlage der umliegenden Gemeinden zerstört (Groneweg et al. 2021, S. 24).²⁴ Bei der Stahlproduktion entstehen ebenfalls erhebliche Mengen unterschiedliche Reststoffe, die bei nicht sachgemäßer Behandlung negative Auswirkungen auf die Umwelt haben können, etwa in Form von Stäuben, Sickerwasser und Flächeninanspruchnahme. Dabei ist zwischen Abfällen und Nebenprodukten, wie z. B. Stahlschlacke, zu unterscheiden. Während Abfälle auf Deponien entsorgt oder verbrannt werden müssen, wird die Stahlschlacke größtenteils an die Bauindustrie verkauft und dort für Straßenbeläge oder Betonmischungen weiterverwendet. Schlacke, die nicht verwendet wird, gilt als Abfall (Drive Sustainability 2021).

4.4.4 Rohstoff Aluminium/Bauxit

Mit einem Verbrauch von 47 % ist der Fahrzeugbau der größte Einsatzbereich von Aluminium in Deutschland (Andruleit et al. 2020, S. 41). Damit geht ein großer Anteil des in Deutschland verarbeiteten Aluminiums an die Automobilindustrie. Aluminium kommt im Bereich der Kraftfahrzeugproduktion neben dem Karosserierahmen und Karosserieblechen typischerweise in Motorblöcken, Felgen, Armaturen, Stoßstangen, dem Getriebegehäuse und Kolben zum Einsatz und ersetzt dort vermehrt schwerere Metalle wie Stahl (Kerkow et al. 2012, S. 26). Auch in Elektronik-Komponenten wird Aluminium verarbeitet (The Dragonfly Initiative 2018, S. 21).

Der Rohstoff für die Herstellung von Aluminium ist Bauxiterz. 90% der heute bekannten weltweiten Bauxitvorkommen befinden sich an tropischen oder subtropischen Standorten. Der Großteil der Bauxitlagerstätten sind oberflächennah und flach gelagert, weswegen Bauxit fast ausschließlich im Tagebau gewonnen wird (Vasters und Franken 2020, S. 3-4). In der anschließenden Weiterverarbeitung wird aus dem Bauxit in Tonerdefabriken unter Einsatz großer Mengen von Natronlauge Aluminiumoxid (auch Alumina oder Tonerde genannt) extrahiert, welches anschließend in der Aluminiumhütte durch metallurgische Elektrolyse aufgeschmolzen und zu Aluminium reduziert wird (Vasters und Franken 2020, S. 11). Aluminium kann anschließend etwa durch Walzen zu Blechmaterial für Produktionsanlagen weiterverarbeitet werden (Kerkow et al. 2012, S. 26-27). Für die Herstellung einer Tonne Aluminium werden etwa fünf bis sieben Tonnen Bauxit benötigt (Vasters und Franken 2020, S. 7).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

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

²⁴ Im Nachgang des Dammbrochs von Brumadinho (Brasilien) wurde das „Global Tailings Portal“ initiiert, eine Daten bank, die detaillierte Informationen zu Abraumhalden weltweit zur Verfügung stellt: <https://tailing.grida.no/>

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

Insgesamt finden Wertschöpfungsschritte des Bauxitabbaus und der Herstellung von Primäraluminium damit zu einem großen Anteil in Ländern mit verhältnismäßig niedrigen (Umwelt-)Governance-Bewertungen statt (vor allem China, Brasilien, Indien und Guinea) (siehe Tabelle 12). Die Bewertungen legen höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten für das Auftreten negativer Umweltauswirkungen nahe.

Tabelle 12: Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Aluminium/Bauxit

	Hauptproduktionsländer	Environmental Performance Index (EPI)	Worldwide Governance Indicators (WGI)
Bauxit-Produktion	Australien	74,9	1,48
	China	37,3	-0,25
	Brasilien	51,2	-0,21
	Indien	27,6	-0,12
	Guinea	26,4	-0,92
Produktion Primäraluminium	China	37,3	-0,25
	Australien	74,9	1,48
	Brasilien	51,2	-0,21
	Indien	27,6	-0,12

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

Quelle: EPI 2020 und WGI 2020.

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

Bei der Produktion von Aluminiumoxid entstehen große Mengen von Laugungsrückstand (sog. Rotschlamm), der sicher in Schlammteichen oder Deponien gelagert werden muss. 2017 entstanden bei der weltweiten Produktion von etwa 127 Mio. t Aluminiumoxid 155 bis 175 Mio. t Rotschlamm (Vasters und Franken 2020, S. 11). Rotschlamm weist einen hohen Gehalt ätzender Natronlauge auf und kann in geringer Menge Natron und Karbonate sowie Spuren von Schwermetallen enthalten. Bei einer unsachgemäßen Lagerung besteht daher zum einen die Gefahr einer chemischen Kontamination von Böden sowie Oberflächen- und Grundwasser mit

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

Schwermetallen und Laugen (Vasters und Franken 2020, S. 12; Kerkow et al. 2012, S. 29-30). Andererseits besteht aufgrund der großen Menge an gelagertem Rotschlamm das Risiko eines physikalischen Kollapses von Deponiestrukturen (Vasters und Franken 2020, S. 12). Besonders in Ländern mit starken tropischen Regenfällen, etwa Brasilien und Indien, besteht das erhöhte Risiko, dass Auffangbecken überlaufen oder Deponien-Dämme brechen. Bei trockenen Bedingungen hingegen besteht die Gefahr, dass durch den Wind toxische Stäube in der Umwelt von Raffinationsanlagen verteilt werden (Kerkow et al. 2012, S. 30).

Die anschließende Aluminiumschmelze (Schmelzflusselektrolyse) in Aluhütten hingegen ist sehr energieintensiv und geht vor allem in dem wichtigen Produktionsland China mit hohen Emissionen einher. Aluhütten stehen oftmals dort, wo Energie günstig und in großen Mengen verfügbar ist.

Bewertung	Umweltthema
⚠	Treibhausgase
⚠	Wasser
⚠	Fläche
	Abiotische und biotische Ressourcen
⚠	Luftschadstoffe
⚠	Wassergefährdende Stoffe
	Abfälle
	Sonstige Umweltthemen

Treibhausgase: Die Aluminiumproduktion gehört zu den energieintensivsten Industrien insgesamt. Für die Erzeugung einer Tonne Primäraluminium aus Aluminiumoxid in der Aluminiumhütte werden etwa 13 bis 15 MWh elektrische Energie benötigt. 2017 verursachte die globale Primäraluminiumproduktion durch den Einsatz von Wärme- und elektrischer Energie sowie Kohlenstoff als Reduktionsmittel Treibhausgasemissionen von etwa 1,08 Mrd. t CO₂-Äquivalenten. Dies entspricht der Emission von rund 18 t CO₂-Äquivalenten je Tonne Aluminium (Vasters und Franken 2020, S. 13). Der Ausstoß ist dabei stark von den eingesetzten Energiequellen abhängig. Insgesamt findet die Verhüttung aufgrund des hohen Energiebedarfs hauptsächlich in Ländern mit niedrigen Energiekosten statt. Während u. a. in Norwegen und Island hauptsächlich Strom aus Wasserkraft für die Versorgung von Aluhütten genutzt wird (ebd.), kommt in dem wichtigen Produktionsland China hauptsächlich Kohle als Energieträger für die energieintensive Elektrolyse in der Primärschmelze zum Einsatz, wodurch hohe Treibhausgasemissionen entstehen (The Dragonfly Initiative 2018, S. 52).

Wasser: Der Bauxitabbau kann durch den Wasserverbrauch für Aufbereitungsanlagen (wenn in der Mine vorhanden) und die Bewässerung von Oberflächen zur Staubunterdrückung regional die Wasserverfügbarkeit beeinträchtigen. Zudem kann durch die Beseitigung und Veränderung von Wasserwegen der Zugang zu Oberflächengewässern und durch den Eintrag von Feststoffen die Wasserqualität verschlechtert werden. Bei schlechtem Wassermanagement in der Mine kann dies zu einem Rückgang der Wasserverfügbarkeit in betroffenen Gemeinden führen (Drive Sustainability 2021; ENCORE 2020). Besonders in Regionen, die bereits unter Wasserknappheit leiden, wie etwa in Guinea, besteht die erhöhte Gefahr, dass Bauxitabbau das Problem regional verschärft (Ugya et al. 2018).

Fläche: Durch die flächennahe Ausprägung und relativ geringe Mächtigkeit vieler Bauxit-Lagerstätten, ist der Bauxit-Tagebau sehr flächenintensiv. Neben dem direkten Abbau des Erzes wird Fläche für Tagebauböschungen, Zwischenlagerung von Abraum, Produkthalden, Transportwege und Aufbereitung beansprucht. Für die Produktion einer Tonne Aluminium wird durch den Bergbau im Schnitt etwas weniger als ein Quadratmeter Land in Anspruch genommen. (Vasters und Franken 2020, S. 8) Zusätzlich bestehen induzierte Flächenverbräuche etwa durch die Ausdehnung von Städten rund um Abbaugebiete, u. a. in Brasilien (Sonter et al. 2017, S. 4). Dies kann zur Beeinträchtigung von Bodenqualität und zur Abholzung oftmals primärer Wälder führen, teilweise auch in ausgewiesenen Schutzgebieten und an AZE-Standorten, und sich damit negativ auf die lokale Biodiversität auswirken (Dehoust et al. 2020a, S. 64, Vasters und Franken, S. 8). Trotz Renaturierungsprojekten kann der ursprüngliche Zustand des primären Regenwaldes in der Regel nicht wiederhergestellt werden (Vasters und Franken, S. 8). Durch fehlende staatliche Regulierung werden Renaturierungsvorhaben zudem oftmals verzögert oder nicht korrekt durchgeführt (Kerkow et al. 2012, S. 28-29). Das in den meisten Bauxit-Abbauregionen vorherrschende tropische und subtropische Klima begünstigt jedoch eine natürliche Sukzession, die in der Regel zu einem schnellen Wiederbewuchs von Abbauf Flächen beitragen (Vasters und Franken 2020, S. 8). In dem für Deutschland zentralen Bauxit-Abbauland Guinea kam es in der Vergangenheit im Zusammenhang mit großen Bergbauprojekten zudem zu Landnutzungs- und Eigentumskonflikten mit Anwohnenden und indigenen Gruppen, denen durch die Flächeninanspruchnahme für Minen Agrarflächen ohne angemessene Entschädigung entzogen wurden (Groneweg et al. 2021, S. 25). Ähnliche Fälle werden aus Abbaugebieten in Indien und Brasilien berichtet (Vasters und Franken 2020, S. 9). Unter anderem in Brasilien, Indien, Ghana und Venezuela wurden für die Aluminiumerzeugung zudem Staudämme zur Energiegewinnung errichtet, was mit starken Eingriffen in die natürliche Umwelt verbunden ist. Über 50 % aller Aluminiumhütten werden mittlerweile mit Strom aus Wasserkraft versorgt (Kerkow et al. 2012, S. 31-32).

Luftschadstoffe: Der (Fein-)Staub, der beim Bauxitabbau entsteht, belastet lokale Ökosysteme, z. B. in Guinea, wo sich zur Trockenzeit rötlich brauner Staub über Bäume und Felder legt und die Pflanzen unproduktiv werden lässt (HRW 2018; Drive Sustainability 2021). Gemeinden in der Nähe von Abbaustätten in Guinea klagen über das vermehrte Auftreten von Atemwegs- und Magenproblemen durch Staub und Luftverschmutzung, die durch den Transport von Bauxit verursacht werden (EJA 2017 zitiert bei The Dragonfly Initiative 2018, S. 52). Aluhütten emittieren zudem über den zentralen Schornstein Fluoride, die aus dem für die Elektrolyse notwendigen Kryolith stammen. Durch die Fluoride können (teils irreversible) gesundheitliche Schäden entstehen, bei modernen Anlagen sind Emissionen jedoch eher gering (Vasters und Franken 2020, S. 13; Drive Sustainability 2021).

Wassergefährdende Stoffe: Der bei der Produktion von Aluminiumoxid entstehende Rotschlamm muss sicher deponiert werden. Bei nicht sachgerechter Lagerung kann austretender Rotschlamm die Umwelt mit Schadstoffen wie Arsen, Quecksilber und Chrom kontaminieren und eine Gesundheitsgefahr für die Anwohnenden der umliegenden Gemeinden darstellen, z. B. wenn Sickerwässer mit giftigen Rückständen in das Grundwasser gelangen (Kind und Engel 2018). Aus China gibt es Berichte über die illegale Entsorgung und unsachgemäße Behandlung von Rotschlamm und damit einhergehende Verunreinigung von lokalen Wasserquellen, die zur Bewässerung von Pflanzen genutzt werden. Diese habe zu geringeren Ernteerträgen in der Nähe von Tonerdefabriken geführt und kann Gesundheitsschäden verursachen (Yao 2015 zitiert bei The Dragonfly Initiative 2018, S. 26).

4.4.5 Rohstoff Zink

Zink wird (neben Nickel) im Automobilbau vor allem für die Beschichtung von metallischen Komponenten verwendet. Dazu gehören neben der Karosserie u. a. auch Motortoteile, Bremsteile, das Fahrwerk und die Klimaanlage (The Dragonfly Initiative 2018, S. 21).

Die Verzinkung von Stahl zum Korrosionsschutz ist in Deutschland mit mindestens 37 % des Gesamtverbrauchs der wichtigste Anwendungsbereich von Zink (Groneweg 2020, S. 11; Andruleit et al. 2020, S. 45). Es gibt verschiedene Arten von Zinkerzen. Am häufigsten werden Sulfiderze abgebaut, bei denen es sich um eine Mischung von Zinksulfid und den Sulfiden anderer Metalle wie Kupfer und Blei (sowie teilweise geringe Mengen von Gold und Silber) handelt. Weltweit stammen knapp 95% des Primärzinks aus Sulfiderzen (Drive Sustainability 2021). Der Abbau erfolgt sowohl im Untertage- als auch im Tagebau; weltweit stammen etwa 80 % des Zinkerzes aus Untertagebergwerken und etwa 20 % aus Tagebaubetrieben.

Während der Aufbereitung wird das Zinkerz gemahlen, geröstet, mit Wasser gemischt und anschließend durch Flotation getrennt, sodass Zinkkonzentrat entsteht (Verhüttung) (Van Genderen et al. 2016, S. 1586; Drive Sustainability 2021). Zur Herstellung von Feinzink aus Zinkkonzentrat kommt weltweit hauptsächlich (zu 95 %) das Verfahren der elektrometallurgischen Zinkschmelze zur Anwendung (Raffination) (Van Genderen et al. 2016, S. 1586).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

2019 wurden rund 344.620 t Zinkerze und -konzentrate aus Australien, Schweden, Burkina Faso und den USA nach Deutschland importiert (Andruleit et al. 2020, S. 44).

China nimmt auf globaler Ebene im Zinkmarkt eine zentrale Rolle ein. Die Volksrepublik ist sowohl wichtigstes Bergbauland als auch wichtigster Raffinadeproduzent (Dorner 2015, S. 5). 2018 fanden rund 38 % der weltweiten Bergwerksförderung von Zinkerz in China statt, gefolgt von Peru (11 %), Australien (7 %), den USA (7 %) und Mexiko (6 %) (The Dragonfly Initiative 2018, S. 53).

Bei der weltweiten Raffinadeproduktion lag China 2012 mit 38 % an den weltweit insgesamt 12,64 Mio. t produziertem raffinierten Zink ebenfalls an erster Stelle, gefolgt mit deutlichem Abstand von Südkorea (6,9 %), Indien (5,6 %) und Kanada (5,1 %) (Dorner 2015, S. 12).

Die verhältnismäßig niedrige (Umwelt-)Governance-Bewertung des zentralen Produktionslandes China (siehe Tabelle 13) legt höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten für das Auftreten negativer Umweltauswirkungen nahe.

Tabelle 13: Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Zink

	Hauptproduktionsländer	Environmental Performance Index (EPI)	Worldwide Governance Indicators (WGI)
Zinkerz-Produktion	China	37,3	-0,25
	Peru	44	-0,05
	Australien	74,9	1,48

	Hauptproduktionsländer	Environmental Performance Index (EPI)	Worldwide Governance Indicators (WGI)
	USA	69,3	1,13
	Mexiko	52,6	-0,41
Zink-Raffinadeproduktion	China	37,3	-0,25
	Südkorea	66,5	0,96
	Indien	27,6	-0,12
	Kanada	71	1,51

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5²⁶

Quelle: EPI 2020 und WGI 2020.

Die Zinkproduktion ist energieintensiv, was vor allem mit Blick auf den hohen Anteil von Kohle am regionalen Strommix im wichtigen Produktionsland China relevant ist und zu hohen Treibhausgasemissionen führt. Zudem wurden durch die Vergesellschaftung von Zinkvorkommen mit Blei, Schwefel und verwandten Elementen (etwa Cadmium) in einigen Abbaugebieten u.a. in China durch die Mineralaufbereitung und -verarbeitung große Mengen der Schadstoffe, insbesondere Schwermetalle, in die Umwelt freigesetzt (Zhang et al. 2011, S. 2263). Dies hat zur erheblichen Verschmutzung der umliegenden Wasservorkommen, Böden und Agrarflächen geführt. Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit umfassen hohe Bleispiegel im Blut von Kindern, Arthritis, Knochenschwund und ein übermäßiger Cadmiumgehalt im Urin (Zhang et al. 2011, S. 2261-2262).

Bewertung	Umweltthema
	Treibhausgase
	Wasser
	Fläche
	Abiotische und biotische Ressourcen
	Luftschadstoffe
	Wassergefährdende Stoffe
	Abfälle
	Sonstige Umweltthemen

Treibhausgase: Die Produktion von Zink ist sehr energieintensiv (DEHSt 2020). Hochwertiges Zink weist einen Primärenergiebedarf von 37.500 MJ/t und eine Klimawirkung von 2600 kg

²⁶ 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).

CO₂-Äquivalente pro t Zink auf. Etwa 65 % der Emissionen sind mit der Verhüttung, 30 % mit dem Abbau und der Herstellung von Konzentrat und 5 % mit dem Transport des Zinkkonzentrats verbunden (Drive Sustainability 2021).

Wasser: Der Abbau von Zinkerz kann die regionale Wasserversorgung beeinträchtigen. Es gibt Berichte aus Mexiko zu starken Rückgängen bei der lokalen Wasserverfügbarkeit (einschließlich des Austrocknens von Trinkwasserbrunnen), nachdem eine Zinkmine in der Nähe ihren Betrieb aufgenommen hat. Berichten zufolge wurden der entsprechenden Mine Wasserkonzessionen für Aktivitäten wie die Exploration erteilt, die den Zugang der Anwohnenden zu Wasser für den persönlichen und landwirtschaftlichen Bedarf stark beeinträchtigten. Auch aus Peru gibt es sowohl von Einwohnern und Einwohnerinnen als auch Befürwortern und Befürworterinnen Berichte darüber, dass mehrere große Zinkminen mehr Wasser verbrauchten, als ihnen jährlich zugewiesen wurde (Drive Sustainability 2021).

Wassergefährdende Stoffe: In der Nähe von Zinkbergwerken besteht ein Risiko der Verschmutzung von Gewässern mit Schwermetallen und toxischen Stoffen infolge der Entstehung und Freisetzung von saurem Gesteinswasser. Dies kann sich negativ auf die Umwelt, die Landwirtschaft und die Verfügbarkeit von Wasser sowie die Gesundheit der örtlichen Bevölkerung auswirken, wenn der erhöhte Zinkgehalt etwa über Fische in den Nahrungskreislauf gerät. Etwa aus Bolivien wurden nach Berichten von Anwohnern und Anwohnerinnen über erkrankte Tiere bei Untersuchungen eines, von einer Zinkmine betroffenen, Flusses Eisen-, Blei-, Zink- und Manganwerte gemessen, die das sechs- bis 50-fache über dem zulässigen Grenzwert betragen (Drive Sustainability 2021). Auch in Proben aus Gewässern nahe chinesischer Zink- und Bleibergwerke wurde eine erhöhte Konzentration von Schwermetallen festgestellt, welche nationale Qualitätsstandards überschritt (Zhang et al. 2011, S. 2264). Bei der Auslaugung, Reinigung und elektrolytischen Gewinnung während der Zinkraffination und -verhüttung entstehen Abwässer, die bei nicht sachgemäßer Entsorgung oder unkontrollierter Einleitung in öffentliche Gewässer zu einer Versauerung von Wasser und Boden beitragen können, was sich negativ auf die betroffenen Ökosysteme auswirkt (Drive Sustainability 2021).

Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK/Carbon)

Kohlenstoffverstärkte Verbundstoffe (CFK/Carbon) gelten als eines der Zukunftsmaterialien für den Leichtbau, um somit den Kraftstoff- bzw. Stromverbrauch des Fahrzeugs in der Nutzungsphase zu reduzieren. Die Carbonfaserverbundstoffe ersetzen Stahl oder Aluminium (Eickenbusch und Krauss 2013, S. 6, S. 23). Karosseriebauteile aus Carbon sind 20 bis 30 % leichter als solche aus Aluminium und um 50 % leichter als Bauteile aus Stahl (BMW 2021). Vor allem im Bereich der Elektromobilität sind carbonfaserverstärkte Kunststoffe ein Schlüsselwerkstoff, da der Leichtbau ausschlaggebend für die Erhöhung der Reichweite eines batteriebetriebenen Fahrzeugs ist (UBA 2020d).

Verschiedene Automobilhersteller arbeiten daran, das Material vielfältig zu nutzen und haben bereits Einzelmodelle mit vollständigen Carbon-Karosserien angeboten (vgl. u. a. BMW 2021, Volkswagen AG 2021). In der Serienproduktion kommt Carbon bisher jedoch kaum zum Einsatz, denn der Werkstoff ist in der Herstellung vergleichsweise teuer (BMW 2021). Zudem gibt es bisher keine wirtschaftlich abbildbaren Reparaturverfahren für Carbonfaserbauteile der Karosserie. Anders als metallische Karosserieteile können CFK-Bauteile nicht zurückverformt werden (Eickenbusch und Krauss 2013, S. 23).

Auch mit Blick auf die Umweltthemen ergeben sich Vor- und Nachteile: Zwar kann der Werkstoff zu signifikanten Einsparungen von Treibhausgasemissionen in der Nutzungsphase eines

Fahrzeuges beitragen. Die Herstellung von CFK-Bauteilen ist jedoch sehr energieintensiv (Eickenbusch und Krauss 2013, S. 6): Vor allem die Herstellung aus Polyacrylnitril erfordert hohe Temperaturen. Je nach Prozess und verwendetem Materialsystem geht die Herstellung eines CFK-Bauteils mit einem deutlich höheren Energieaufwand als bei Stahl oder Aluminium einher (Eickenbusch und Krauss 2013, S. 17, S. 38). Entscheidend hierbei ist der eingesetzte Energiemix und der Anteil von erneuerbaren Energieträgern bei der Herstellung der Carbonfaserverbundstoffe. Die Verfahren für das Recycling von CFK sind hingegen bisher nur in Ansätzen entwickelt. Da Fasern und Matrixmaterial bisher nur unvollständig getrennt werden, kann das Material nur begrenzt werkstofflich wiederverwertet werden (Eickenbusch und Krauss 2013, S. 17, S. 38). Hierzu sind weitere Entwicklungen zur Recyclingfähigkeit von Carbonfaserverbundstoffen und zum Einsatz von recycelten CFK-Werkstoffen erforderlich. Thermische Behandlungsverfahren können oftmals nicht eingesetzt werden, da bestehende Verfahren in Abfallverbrennungsanlagen nicht für die vollständige Verbrennung von Carbonfasern geeignet sind (UBA 2020d). Für einen verstärkten und umweltaffizienten Einsatz von CFK-Fasern besteht daher weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

4.4.6 Karosserieherstellung

Für den Karosseriebau werden zunächst die unterschiedlichen Bleche zu Platinen zugeschnitten. Die Platinen werden anschließend vollautomatisch gereinigt, geölt, gestanzt und in Großtransferpressen in die gewünschte 3-D-Form gepresst. Unter Anwendung des sogenannten Warmumformens, bei dem die Platinen auf 930 °C erhitzt, geformt und anschließend abgekühlt werden, können leichte Bleche hergestellt werden, die genauso stabil wie kalt umgeformte schwere Bleche sind – ein wichtiger Faktor für die Entwicklung in Richtung Leichtbau (VDA 2014, S. 8).

Der Karosseriebau ist vor allem mit den Arbeitsschritten Schweißen, Löten, Pressen, Bördeln, Kleben, Nieten und Schrauben verbunden und ist der am meisten automatisierte Bereich der Automobilindustrie. Bei der Endmontage selbsttragender Karosserien, die im PKW-Bau überwiegen, wird zunächst der Unterboden vollautomatisch zusammengesetzt. Anschließend werden Seitenteile aus dem Presswerk ergänzt, die von Robotern ebenfalls vollautomatisch verschweißt werden. Letzter Schritt ist das Anbringen des Dachs, bevor an das Karosseriegerippe Türen, Kotflügel, Heckklappe und Motorhaube angefügt werden (VDA 2014, S. 9). Zur Vorbereitung für die Lackierung wird die Karosserie leicht alkalisch gereinigt. Dies erfolgt entweder durch das Besprühen oder das Baden in einer Flüssigkeit, typischerweise einer Mischung aus Salzen, Netzmitteln und Emulgatoren. Im Anschluss an die „Bäder“ muss die Karosserie in einem mehrstufigen Verfahren gespült werden. Anschließend folgt die Phosphatierung, die gemeinsam mit der Zinkbeschichtung der Platinen für eine gute Lackhaftung und Korrosionsschutz sorgt (VDA 2014, S. 11).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Der Trend geht insgesamt zur Auslandsproduktion. 2019 wurde die Inlandsproduktion deutscher Automobilhersteller insgesamt um 9 % auf 4,7 Mio. PKW zurückgefahren. Die Fertigung deutscher Hersteller außerhalb Deutschlands stieg 2019 um 1 % auf 11,4 Mio. PKW – gegen den Trend einer um 5 Prozent sinkenden Weltproduktion. Dabei stellt China mit 5,1 Mio. produzierten PKW den wichtigsten Auslandsproduktionsstandort deutscher Hersteller dar. Die Produktion deutscher Hersteller in den Mitgliedsstaaten des Nordamerikanischen Freihandelsabkommen (NAFTA-Staaten) erreichte 2019 einen Höchststand von 1,5 Mio. PKW. Die Auslandsfertigung in Europa stieg um 1 % auf 4,0 Mio. Fahrzeuge. Innerhalb Europas bleibt

Deutschland wichtigster Produktionsstandort (VDA 2020, S. 20). Durch die Verlagerung der Produktion nach China kann das Risiko für negative Umweltauswirkungen steigen, da China niedrigere (Umwelt-)Governance-Werte erhält als etwa Deutschland (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Karosserieherstellung

	Hauptproduktionsländer	Environmental Performance Index (EPI)	Worldwide Governance Indicators (WGI)
Karosserieherstellung	China	37,3	-0,25
	Deutschland	77,2	1,40
	NAFTA-Staaten	n. a.	n. a.
	Rest Europa (ohne D)	n. a.	n. a.

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5²⁷

Quelle: EPI 2020 und WGI 2020.

Der Karosseriebau geht mit einem hohen Energie- und Wasserverbrauch einher, es besteht zudem das Risiko für eine Kontamination von Luft und Wasser durch Stäube und Abfälle, wobei die Eintrittswahrscheinlichkeit stark vom Produktionsstandort abhängt.

Bewertung	Umweltthema
	Treibhausgase
	Wasser
	Fläche
	Abiotische und biotische Ressourcen
	Luftschadstoffe
	Wassergefährdende Stoffe
	Abfälle
	Sonstige Umweltthemen

Treibhausgase: Die Prozesse des Schweißens wie auch des Warmumformens gehen mit einem sehr hohen Energieverbrauch einher. Je nach eingesetzten Energieträgern bzw. Strommix entstehen dadurch hohe Treibhausgasemissionen (VDA 2014, S. 9). Dies ist insbesondere im Hinblick auf die hohe Herstellungsrate in China und den dortigen hohen Anteil an Kohle im regionalen Strommix relevant.

Wasser: Der Spülungsprozess bei der Reinigung und Phosphatierung geht mit einem hohen Wasserbedarfeinher. Trotz sogenannter „Kaskadenspülung“, mit der der Verbrauch von Frischwasser möglichst minimiert werden soll, ist der Wasserbedarf hoch (VDA 2014, S. 11).

²⁷ 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).

Auch dies ist vor dem besonderen regionalen Risiko für Wasserknappheit in einigen Regionen Chinas (vor allem im Nordosten) von besonderer Bedeutung.

Luftschadstoffe: Beim Schweißen entstehen Schweißrauche, Staub und Partikel, die sich u. a. schädlich auf die menschliche Gesundheit auswirken können. Auch beim Kleben und anschließenden Trocknen von Bauteilen entsteht lösemittelhaltige Abluft (BMW Group 2018, S. 18).

Wassergefährdende Stoffe: Beim Spülverfahren fallen Abwässer an, in denen ölige Rückstände und verbrauchte Emulsionen enthalten sind. Diese müssen sachgerecht entfernt oder die Öle vom Wasser getrennt werden, um das Risiko einer Kontaminierung zu verringern (VDA 2014, S. 11).

4.4.7 Weitere hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Wertschöpfungskette der Karosserie

Risiken für negative Umweltauswirkungen am Lebenszyklusende

In Deutschland ist das industrielle Recycling von Altfahrzeugen in offiziellen Demontage- und Verwertungsbetrieben auf einem hohen technischen Stand, der eine umweltgerechte Verwertung weitestgehend ermöglicht. Bei nicht fachgerechter Demontage und Verschrottung, etwa in nicht anerkannten Demontagebetrieben im Inland oder bei der inoffiziellen oder unregulierten Verwertung von Fahrzeugen in vielen Ländern außerhalb der EU, bestehen jedoch lokal Gefahren für die Gesundheit und die Umwelt (Mehlhart et al. 2018, S. 15). Angaben von 2019 zum Anteil an Altfahrzeugen mit unbekanntem Verbleib in Deutschland verdeutlichen das Ausmaß des Problems: Von den jährlich stillgelegten PKW und leichten Nutzfahrzeugen werden etwa 500.000 in anerkannten Demontagebetrieben zerlegt. Etwa zwei Mio. Fahrzeuge werden als Gebrauchtfahrzeuge exportiert. Der Verbleib von jährlich etwa 300.000 Fahrzeugen jedoch bleibt ungeklärt. Es besteht die Gefahr, dass diese als Altfahrzeuge nicht in anerkannten Demontagebetrieben zerlegt bzw. nicht gemäß Abfallverbringungsrecht exportiert werden, was mit einem erhöhten Risiko für negative Umweltauswirkungen einhergeht (UBA 2020a).²⁸ Risiken entstehen nicht erst bei der Verwertung der Restkarossen, sondern können entlang des gesamten Verwertungsprozesses eines Altfahrzeuges auftreten. So können bei der Demontage umweltgefährdende Stoffe wie Öle, Bremsflüssigkeiten, Blei oder bei der Demontage von Klimaanlage (mit sehr hohem Treibhauspotenzial) freigesetzt werden (UBA 2020b).

Bei dem restkarossenspezifischen Schredder-Prozess am Lebenszyklusende der Karosserie ergeben sich vor allem folgende Risiken für negative Umweltauswirkungen:

Luftschadstoffe: Schredderanlagen emittieren Luftemissionen in Form von Staub, einschließlich Partikeln von Schwermetallen, VOC und Wasserdampf. Diese können etwa durch unsachgemäße Öffnungen in Schreddergebäuden, bei unzureichender Absaugung oder Straßenreinigung in die Umwelt gelangen (Mehlhart et al. 2018, S. 38). Unter außergewöhnlichen Umständen (z. B. bei Verpuffungen) können Rauch, Staub oder Dioxine freigesetzt werden, wenn Kraftstoffreste im Altfahrzeug vor dem Schredderprozess nicht vollständig entfernt wurden (Mehlhart 2018, S. 39).

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

²⁸ Weitergehende Informationen und aktuelle Daten zum Thema „Altfahrzeugverwertung und Fahrzeugverbleib“ finden Sie auf der Webseite des Umweltbundesamtes.

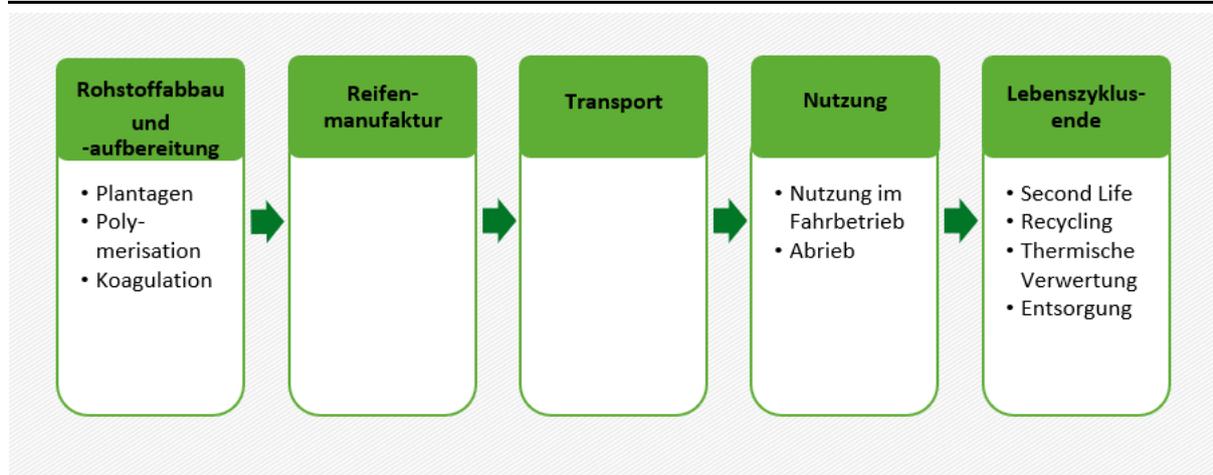
4.5 Fokuskomponente: Reifen

4.5.1 Beschreibung der Technologien und Wertschöpfungskette

Ein PKW-Reifen mit einem durchschnittlichen Gewicht von ca. 8,5 bis 10 kg besteht aus einem Mix aus verschiedenen Materialien. Die wesentlichsten Materialien sind Kautschuk mit ca. 42 % (synthetischer Kautschuk 24 % und Naturkautschuk 18 %), Ruß (19 %), Stahl (11 %) und Weichmacher/Additive (9 %) (Piotrowska et al. 2019, S. 3; Gehrke 2018). Kautschuk wird unterschieden in Naturkautschuk, welches aus Kautschukbäumen gewonnen wird, und synthetischen Kautschuk, welches meist aus Erdölprodukten hergestellt wird. Es gibt mittlerweile auch Bestrebungen, die Reifenproduktion nachhaltiger zu gestalten. Synthetischer Kautschuk wurde 2017 erstmals aus natürlichen Ressourcen wie Gras, Bäumen und Mais statt Erdöl gewonnen (Root 2019). Da konventionell unter Naturkautschuk ausschließlich Kautschuk aus Kautschukbäumen verstanden wird, werden diese alternativen Herstellungsprozesse auf Basis nachwachsender Rohstoffe in dieser Studie unter der Gruppe synthetischer Kautschuk verbucht. Naturkautschuk ist deutlich elastischer und belastbarer als synthetischer Kautschuk, weswegen bei einigen Produktgruppen wie Autoreifen der Anteil an Naturkautschuk nicht komplett durch synthetische Alternativen ersetzt werden kann (WWF 2021).

Im Folgenden werden die Rohstoffe Naturkautschuk und Ruß fokussiert im Hinblick auf hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen betrachtet (siehe Abbildung 25).²⁹

Abbildung 25: Überblick über den Lebenszyklus eines Reifens



Quelle: Eigene Darstellung.

²⁹ Die Risiken für negative Umweltauswirkungen bei der Produktion von synthetischem Kautschuk wird in der vorliegenden Studie nicht explizit analysiert, sondern in der geplanten Branchenstudie zur chemischen Industrie detaillierter betrachtet, die im Rahmen des UBA-Forschungsvorhabens geplant ist.

4.5.2 Rohstoffabbau und -aufbereitung

Die Gewinnung der Rohstoffe für Reifen geht mit unterschiedlichen Risiken für negative Umweltauswirkungen einher. Diese variieren zusätzlich je nach Rohstoffzusammensetzung in Art und Stärke entsprechend der Abbau- und vor allem der Verarbeitungsweise (z. B. Prozesse der Rußherstellung, Reifenherstellung), der spezifischen Umweltsituation vor Ort (z. B. Trockenheit, Wasserstress, Biodiversitätsdichte), den genutzten Technologien und den unternehmensinternen Umweltschutzstandards. Grundsätzlich werden die Risiken für negative Umweltauswirkungen auch mit diversen Risiken für adverse Menschenrechtsauswirkungen in Verbindung gebracht (siehe Kapitel 3.2).

Im Folgenden werden die Rohstoffe Naturkautschuk und Ruß im Hinblick auf hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen betrachtet.

4.5.3 Rohstoff Naturkautschuk

Naturkautschuk wird aus Kautschukbäumen, insbesondere *Hevea basiliensis* (*Hevea*) und *Parthenium argentatum* (*Guayule*) gewonnen. 75 % aller Kautschukbäume weltweit stammen von neun Samen ab, was dazu führt, dass der Genpool stark reduziert ist und die Pflanzen damit anfälliger für Krankheiten sind (Haustermann und Knoke 2019b, S. 3). Kautschukbäume haben sehr spezifische Ansprüche an Temperatur und Niederschlagsmengen, die ihrem ursprünglichen Herkunftsgebiet im Amazonas entsprechen und nur in tropischen Gegenden rund um den Äquator vorzufinden sind (Haustermann und Knoke 2019b, S. 1). In der Vergangenheit wurden große Flächen Regenwald für Kautschukplantagen gerodet. Heutzutage spielt die Abholzung aufgrund des derzeit niedrigen Kautschukpreises und der ausreichenden Rohstoffverfügbarkeit jedoch nur noch eine untergeordnete Rolle (WWF 2021). Kautschukbäume können erst fünf bis sieben Jahre nach der Pflanzung erstmals gezapft werden (Haustermann und Knoke 2019a, S. 4). Hierbei wird Kautschuk-Latex gewonnen. Der Milchsaft wird nach der Gewinnung geronnen (Koagulation), indem diverse Säuren hinzugegeben werden. Durch verschiedene Verfahren (Räuchern, Waschen, Trocknen, Formen) wird der Latex zu Zwischenprodukten (Platten, Blöcke, konzentrierter Latex) weiterverarbeitet, aus denen anschließend u. a. Reifen hergestellt werden können (Tekasakul und Tekasakul 2006, S. 26).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Naturkautschuk als wesentlicher Rohstoff in der Reifenproduktion wird zum Großteil in Südostasien gewonnen. 2019 wurden weltweit 14,6 Mio. t Naturkautschuk gewonnen. Hauptproduktionsländer sind Thailand (33 %), gefolgt von Indonesien (24 %), Vietnam (8 %) und Indien (7 %) (FAO 2021a). Damit findet ein Großteil der Naturkautschukgewinnung in Ländern mit verhältnismäßig niedriger (Umwelt-)Governance-Bewertung statt (siehe Tabelle 15). Dies legt höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten von negativen Umweltauswirkungen nahe. 70 % des insgesamt in Deutschland verwendeten Naturkautschuk wird für die Reifenherstellung eingesetzt (WDK 2018).

Tabelle 15: Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Naturkautschuk

	Hauptanbauländer	Environmental Performance Index (EPI)	Worldwide Governance Indicators (WGI)
Naturkautschuk-Produktion	Thailand	45,4	-0,21
	Indonesien	37,8	-0,11
	Vietnam	33,4	-0,31
	Indien	27,6	-0,12

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5³⁰

Quelle: EPI 2020 und WGI 2020.

Kautschukbäume binden CO₂ und stellen auch auf Plantagen ein Ökosystem dar. Nichtsdestotrotz kann der Anbau von Kautschukbäumen mit negativen Umweltauswirkungen verbunden sein, vor allem wenn für Kautschukplantagen andere bestehende Ökosysteme mit höherer Artenvielfalt (beispielsweise primäre Regenwälder) zerstört werden. Damit verbunden können hohe Mengen an Treibhausgasen freigesetzt, viel Fläche in Anspruch genommen und die lokale Biodiversität eingeschränkt werden. Je nach Anbauart und -ort kann die Auswirkung auf Böden in Form von Erosion und Degradierung hoch sein, was u. a. auch mit gesundheitlichen Folgen für Menschen einhergehen kann. Bei der Verarbeitung von Naturkautschuk entstehen wassergefährdende Stoffe, die Organismen schädigen.

Bewertung	Umweltthema
⚠	Treibhausgase
	Wasser
⚠	Fläche
	Abiotische und biotische Ressourcen
	Luftschadstoffe
⚠	Wassergefährdende Stoffe
	Abfälle
⚠	Sonstige Umweltthemen

Treibhausgase: Falls in Zukunft Regenwälder oder Torfgebiete durch neue Kautschukplantagen ersetzt werden, können große Mengen an Treibhausgasen emittiert werden, die dort gespeichert sind (Haustermann und Knoke 2019b, S. 3). Hierbei ist entscheidend, ob die Kautschukplantagen Regenwälder oder Torfgebiete ersetzen oder stattdessen Flächen in Anspruch nehmen, die bereits anderweitig bewirtschaftet wurden (z. B. Reisfelder) und somit keine zusätzliche Entwaldung stattfindet. Hierbei spielt der Preis des Naturkautschuks eine

³⁰ 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).

entscheidende Rolle, da mit steigendem Preis das Angebot an Naturkautschuk steigt und damit einhergehend die Gefahr der Entwaldung neuer Flächen (Haustermann und Knoke 2019b, S. 19).

Fläche: Naturkautschuk wird oftmals auf Plantagen angebaut und geerntet. Für die Herstellung eines Reifens werden die monatlichen Latexerträge von ca. vier Bäumen benötigt (Mann 2016). Vor allem in Südostasien nehmen Kautschukplantagen große Flächen in Anspruch (Warren-Thomas et al. 2015, S. 2). Im Jahr 2012 betrug die weltweite von Kautschukplantagen beanspruchte Fläche 9,9 Mio ha. Die jährliche Zuwachsrate der Flächeninanspruchnahme ist seit den 1980er Jahren deutlich gestiegen. Es wird prognostiziert, dass bis 2050 4,25 Mio. ha Wald durch Kautschukplantagen ersetzt werden (Warren-Thomas et al. 2015, S. 5). Je nach Anbauregion kann dies zur Beeinträchtigung der Rechte von indigenen Völkern und dem Recht auf Wohnung und Schutz vor Vertreibung führen. Die Entwaldung kann zudem zu Biodiversitätsverlusten führen, insbesondere in den Wäldern Südostasiens, in denen zahlreiche Arten als akut vom Aussterben bedroht klassifiziert sind (Warren-Thomas et al. 2015, S. 5). In Thailand haben die Plantagen zu einer Reduktion der regionalen Biodiversität von mindestens 60 % beigetragen (Panda und Sarkar 2020, S. 658).

Wassergefährdende Stoffe: Abwasser aus der Latexverarbeitung hat in der Regel einen erhöhten Säuregehalt, was auf die Prozesse der Latex-Koagulierung und eine hohe Konzentration von Ammoniak und Stickstoffverbindungen zurückzuführen ist. Bei einer unsachgemäßen Entlassung von Abwässern in die Umwelt kann dies zum Absterben einzelner Arten führen (Vishnu et al. 2011). In Laos berichteten Einheimische von dramatischen Rückgängen bei den Beständen von Fischen, Krebsen, Garnelen, Muscheln, Schildkröten und der Ufervegetation, die auf Abschwemmungen von Kautschukplantagen (Pestizide, Herbizide und Sedimente) zurückgeführt wurden (Warren-Thomas et al. 2015, S. 236).

Sonstige Umweltthemen: Kautschukbäume benötigen Temperaturen zwischen 20 und 28 °C sowie jährliche Niederschlagsmengen zwischen 1.800 und 2.000 mm. Viele der neuen Anbaugelände von Naturkautschuk liegen nördlich von äquatornahen Regionen, wo die Anbaubedingungen nicht immer optimal sind. Diese Anbaugelände haben eine höhere Anfälligkeit für Erosion sowie niedrigere Erträge (Haustermann und Knoke 2019b, S. 1). Des Weiteren wird Naturkautschuk zum überwiegenden Teil in Monokulturen angebaut. Dies führt zu einer mangelnden Bodenbedeckung, was Bodenerosion zur Folge haben kann (WWF 2021). Zudem geht der Anbau in Monokulturen zumeist mit einem erhöhten Pestizid- und synthetischen Düngemittelsatz einher. Der Einsatz von mineralischem Dünger, Pestiziden und Koagulationsmitteln kann zu einer zunehmenden Degradierung des Bodens sowie zu gesundheitlichen Risiken für Menschen und Tiere vor Ort führen (WWF 2021; Haustermann und Knoke 2019b).

4.5.4 Rohstoff Ruß

Ruß ist mit ca. 20 % ein wesentlicher Bestandteil eines Reifens und besteht zu mehr als 95 % aus Kohlenstoff (Schmidt 2003, S. 7). Ruß wird hauptsächlich aus Erdöl (bzw. aromatischen Ölen auf Rohölbasis) gewonnen. Es gibt verschiedene Arten Ruß zu gewinnen, wobei das sogenannte Furnace-Black-Verfahren am häufigsten zur Anwendung kommt. Hierbei werden die Öle unter hoher Temperatur in einem Reaktor gecrackt. Cracken ist ein Verfahren der Erdölverarbeitung, bei dem langkettige Kohlenwasserstoffe (z. B. schweres Heizöl) in kurzkettige Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden (z. B. Benzin, Diesel). Hierbei entstehen Ruß und Abgase, wobei der Ruß nach dem Abkühlen vom Abgas getrennt, verdichtet und zu Pellets verarbeitet wird.

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

Jeder PKW-Reifen beinhaltet im Schnitt ca. 3 kg Ruß (Fraunhofer 2021), der als Füllstoff dient. Laut einer Prognose werden bis 2025 jährlich 15 Mio. t Ruß weltweit nachgefragt (Ceresana Research 2018). Die wichtigsten Produktionsländer von Ruß sind China, Indien, die USA und Russland (OEC o. J. a; Ceresana Research 2018). Die zentralen Produktionsländer erhalten verhältnismäßig niedrige (Umwelt-)Governance-Werte (siehe Tabelle 16), was höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten von negativen Umweltauswirkungen nahe legt.

Tabelle 16: Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Ruß

	Hauptproduktionsländer	Environmental Performance Index (EPI)	Worldwide Governance Indicators (WGI)
Rußherstellung	China	37,3	-0,25
	Indien	27,6	-0,12
	USA	69,3	0,97
	Russland	58	-0,65

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5³¹

Quelle: EPI 2020 und WGI 2020.

Die Rußherstellung ist mit einer Reihe von Risiken für negative Umweltauswirkungen verbunden. Rußpartikel sind ein zentraler Bestandteil von Luftschadstoffen. Durch ihre schwarze Färbung verstärken die Partikel in der Atmosphäre den Anstieg der bodennahen Lufttemperatur im globalen Mittel.

Bewertung	Umweltthema
⚠	Treibhausgase
⚠	Wasser
	Fläche
	Abiotische und biotische Ressourcen
⚠	Luftschadstoffe
	Wassergefährdende Stoffe
	Abfälle
⚠	Sonstige Umweltthemen

³¹ 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).

Treibhausgase: Bei der Verbrennung von Energieträgern (insb. Erdgas, Kohle und Holz) entstehen Treibhausgasemissionen. Für jede Tonne Ruß werden in der Produktion im Schnitt ca. 3 t CO₂ emittiert (Fraunhofer 2021). Die Höhe der Emissionen variiert jedoch je nach Ertrag des Prozesses sowie den Qualitätsanforderungen an den erzeugten Ruß (Chikri und Wetzels 2020).

Wasser: Bei der Rußproduktion wird im Reaktor Wasser eingespeist, um die Temperatur im Reaktor zu senken und damit die chemischen Reaktionen aufzuhalten (Aditya Birla Group 2021a). Dieser Prozess geht mit einem hohen Wasserverbrauch einher (Fraunhofer 2021). Teilweise findet die Rußproduktion in Regionen statt, die laut dem WWF Water Risk Filter mit einem hohen physikalischen Wasserrisiko verbunden sind, wodurch sich das lokale Risiko für Wasserknappheit durch die Rußproduktion verstärken kann (Orion Engineered Carbons 2018; Aditya Birla Group 2021b; WWF 2020).

Luftschadstoffe: Rußpartikel sind ein Bestandteil von Feinstaub, der in jeder Phase des Lebenszyklus von Ruß in die Luft freigesetzt werden kann und gesundheitsgefährdend ist (Deutsche Umwelthilfe 2021). Rußpartikel sind zudem klimawirksam. Die schwarzen Partikel absorbieren Sonnenstrahlen und erwärmen die Umgebungsluft, verursachen die Mehrbildung von Wolken und können aufgrund ihrer dunklen Färbung (vor allem in der Arktis) zu intensiverer Schneeschmelze führen (Deutsche Umwelthilfe 2021).

Sonstige Umweltthemen: Bei der Rußherstellung wird Erdgas, Kohle und/oder Holz unvollständig verbrannt. Hierbei entstehen polyzyklische, aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Viele PAK sind krebserregend, erbgutverändernd und/oder fortpflanzungsgefährdend. Diese Chemikalien können sich in Organismen anreichern und Gesundheitsschädigungen anrichten (UBA 2016). Die Rußherstellung als eine Quelle der PAK-Verursachung ist stark vom Herstellungsverfahren sowie der Filtertechnologie abhängig (Stepkowska und Kowalczyk 2016, S. 8).

4.5.5 Reifenherstellung

Für die Reifenherstellung werden in einem ersten Schritt die Rohstoffe zu Verbundwerkstoffen verarbeitet, wie Stahlcorde und -drahte sowie verschiedene Kautschukmischungen. Im zweiten Schritt werden die Stahlcorde in einen Kalandr eingeführt, mit Kautschukschichten ummantelt, zugeschnitten und ausgerollt. Der Gummiwerkstoff aus den Kautschukmischungen wird mit einem Extruder zu einem Streifen ausgeformt, in einem Tauchbad abgekühlt und zugeschnitten. Textilien wie Rayon, Nylon, Polyester und Aramidfasern werden ebenfalls in den Kalandr eingeführt und in eine dünne Kautschukschicht eingebettet, zugeschnitten und aufgewickelt. Der Stahlkern wird aus mit Kautschuk beschichteten Stahldrähten geformt, worauf dann ein Kautschuk-Profil gesetzt wird. Die Seitenwand wie auch die Innenschicht werden ebenfalls aus dem Extruder geformt. Alle Teile werden im dritten Schritt zu einem Reifenrohling zusammengesetzt und zur Vulkanisation (Verhärtungsprozess) vorbereitet. Bei der Vulkanisation wird der Rohkautschuk mit Druck und Temperatur in ein biegbares und elastisches Gummi umgewandelt und erhält gleichzeitig sein Profil und die Seitenwandmarkierungen (Continental o. J.).

Einschätzung zu Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen

2018 wurden weltweit mehr als 5 Mio. t Reifen hergestellt (ETRMA 2019). Im Jahr 2019 hat China Neureifen im Wert von 14,6 Mrd. USD exportiert, was 18,1 % des globalen Exports ausmachte. Weitere bedeutende Exportnationen von Neureifen sind Thailand (7,2 %), Deutschland (7 %) und Japan (6,7 %) (OECD o. J. b). China als zentrales Reifen-Produktionsland

erhält verhältnismäßig niedrige (Umwelt-)Governance-Werte (siehe Tabelle 18), was höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten von negativen Umweltauswirkungen nahe legt.

Tabelle 17: Eckdaten zur (Umwelt-)Governance - Reifenherstellung

	Hauptexportländer	Environmental Performance Index (EPI)	Worldwide Governance Indicators (WGI)
Reifenherstellung	China	37,3	-0,25
	Thailand	45,4	-0,21
	Deutschland	77,2	1,4
	Japan	75,1	1,33

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5³²

Quelle: EPI 2020 und WGI 2020.

Die Reifenherstellung ist mit einer Reihe von Risiken für negative Umweltauswirkungen verbunden. Die Herstellung von Reifen geht mit hohen Treibhausgasemissionen sowie einem hohen Wasserverbrauch und Abfällen einher.

Bewertung	Umweltthema
⚠	Treibhausgase
⚠	Wasser
	Fläche
	Abiotische und biotische Ressourcen
	Luftschadstoffe
	Wassergefährdende Stoffe
⚠	Abfälle
⚠	Sonstige Umweltthemen

Treibhausgase: Bei der Produktion von Reifen und Gummi werden große Mengen an CO₂ emittiert (ENCORE 2020). Die Herstellung eines Reifens (ca. 10 kg) verursacht ca. 334 kg CO₂-Äquivalente (Piotrowska et al. 2019, S. 21).

Wasser: Die Reifen- und Gummi-Produktion geht mit einem hohen Bedarf an Frischwasser einher (ENCORE 2020). Wasser wird bei der Produktion in diversen Stufen eingesetzt, u. a. bei der Verdünnung des Latex, beim Waschen, Transport und Schmieren der Gummiplatten, beim Waschen der Behälter und des Fabrikbodens (Tekasakul und Tekasakul 2006, S. 27). Pro Reifen werden ca. 240 l Wasser verwendet (Shanbagund Manjare 2020).

³² 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).

Abfälle: Bei der Reifen- und Gummi-Produktion entstehen große Mengen an Abfall (ENCORE 2020), z. B. Reifen, die bei der Qualitätskontrolle durchgefallen sind, Metalle, Textilien oder Kunststoffe.

Sonstige Umweltthemen: Bei der Herstellung von Reifen werden Weichmacheröle dem Gummi beigemischt, um dieses weicher und elastischer zu machen. Diese Öle beinhalten PAK, die wiederum gesundheitsschädlich wirken können. Zwar gibt es seit 2010 einen entsprechenden EU-Grenzwert, dennoch muss auch geprüft werden, inwiefern außerhalb der EU die deutsche Reifenindustrie zur PAK-Emission beiträgt (UBA 2016).

4.5.6 Weitere hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Wertschöpfungskette von Reifen

Risiken für negative Umweltauswirkungen in der Nutzungsphase und am Lebenszyklusende

Nicht nur in der Lieferkette, sondern auch in der Nutzungsphase und am Lebenszyklusende von Reifen gibt es hohe Risiken für negative Umweltauswirkungen, die im Folgenden kurz beschrieben werden:

Kraftstoffverbrauch: Die höchsten negativen Umweltauswirkungen des Reifens können potenziell in der Nutzungsphase entstehen (Dong et al. 2021; Piotrowska et al. 2019). Produkteigenschaften wie Materialzusammensetzung, Aufbau, Dimension und Profil des Reifens beeinflussen maßgeblich den Kraftstoffverbrauch und damit die Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen des Gesamtfahrzeuges, da ein erhöhter Rollwiderstand zu höherem Kraftstoffverbrauch führt.

Reifenabrieb: Ein durchschnittlicher PKW-Reifen wiegt ca. 8,5 kg (LKW-Reifen ca. 65 kg) und verliert aufgrund des Reifenabriebs während der Nutzungsphase ca. 1,5 kg (LKW-Reifen ca. 9 kg) an Gewicht (Hiebel et al. 2017, S. 27). Der Abrieb wird je nach Größe der Partikel über Luft, Boden oder Oberflächen- und Grundwasser verbreitet und gilt als größte Quelle für Mikroplastik in der Umwelt (Hiebel et al. 2017, S. 43; Root 2019).

(Toxische) Abfälle: Weltweit werden die meisten Reifen noch immer auf Mülldeponien entsorgt. Dies geht mit einer großen Flächeninanspruchnahme einher, etwa in der Wüste der kuwaitischen Region al-Dschahra, in der eine Reifendeponie aufgrund ihrer Ausmaße bereits auf Satellitenbildern aus dem Weltall klar erkennbar ist (SPIEGEL 2013). Zudem können auf Deponien Schadstoffe emittiert werden und unkontrollierte Müllbrände entstehen (van Beukering und Janssen 2001, S. 241; Ferrão et al. 2007, S. 606; SWI 2020). Verbrennen Altreifen, entstehen Schadstoffe wie Partikel, Kohlenmonoxid, Schwefeloxide, Stickstoffoxide und flüchtige organische Verbindungen (VOC), die gesundheits- und umweltschädlich sein können. Die Reifen auf Mülldeponien können außerdem Regenwasser abfangen und damit günstige Lebensbedingungen für Insekten wie Mosquitos schaffen, was das Risiko für die Verbreitung von Krankheiten wie Malaria erhöhen kann.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK): Reifen enthalten PAK-haltigen Ruß und Weichmacheröle. Viele PAK gelten als krebserregend, erbgutverändernd und/oder fortpflanzungsgefährdend und sind sehr giftig für Wasserorganismen (UBA 2016). Seit 2010 gibt es strenge Grenzwerte für PAK-haltige Weichmacheröle in Reifen, nicht jedoch für den Rußanteil. Reifenrezyklate können somit erhöhte Konzentrationen an PAK aufweisen. Der Ruß von Dieselmotorabgasen enthält ebenfalls PAK (UBA 2016, S. 9).

Lärm: Eine weitere negative Umweltauswirkung von Reifen ist das in der Nutzungsphase verursachte Reifen-Fahrbahn-Geräusch und der dadurch entstehende Lärm (Dong et al. 2021).

Lärm kann gesundheitliche Auswirkungen haben und wird u. a. mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Gehörschäden in Verbindung gebracht. Seit 2001 gibt es in der EU-Grenzwerte für das Rollgeräusch von Reifen.

5 Ansatzpunkte zur Ermittlung und Handhabung von Umweltauswirkungen und -risiken in der Lieferkette

5.1 Maßnahmen, um Risiken für negative Umweltauswirkungen 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:

In Bezug zu Schritt 2 des OECD Due-Diligence Prozesses:

- **Breit angelegte Risikoanalyse**, um Transparenz zu schaffen und prioritäre Themen zu bestimmen.
- **Vertiefte Risikoanalyse** für prioritäre Themen durchführen.

In Bezug zu Schritt 3 des OECD Due Diligence Prozesses

- **Bestimmen**, wie das eigene Unternehmen mit den identifizierten (hohen) Risiken für negative Auswirkungen verbunden ist.
- Handlungsfelder **für Präventions- oder Minderungsmaßnahmen** priorisieren.

Es ist sinnvoll, die Implementierung und (Zwischen-)Ergebnisse intern zu dokumentieren und eine regelmäßige Aktualisierung der Ergebnisse zu ermöglichen.

5.1.1 Risikoanalyse durchführen

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 unternehmensbezogene Umwelthotspots und Risikofaktoren betrachtet werden, wie etwa in den Kapiteln 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. Eine Validierung der Ergebnisse mithilfe relevanter interner und externer Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette, insb. auch direkt Betroffenen, hilft sicherzustellen, dass alle hohen Risiken für negative Auswirkungen sowie bedeutende tatsächliche negative Auswirkungen erfasst 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 die im Rahmen der vorliegenden Studie verwendeten Tools auch für eine tiefergehende unternehmensspezifische Analyse 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 Impact-Kategorien 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 Sektorauswahl für die betreffenden Vorleistungssektoren erfolgen. Gleichzeitig können anhand der „World Map“ lokale Risiken identifiziert werden, insofern Produktions- und/oder Abbaustandorte bekannt sind.
- ▶ Analyse von Knappheitsrisiken von Wasser mithilfe des **WWF Water Risk Filters**, indem die bekannten Produktionsstandorte von Lieferanten und deren potenzielle Vorkette geprüft werden. Dies erfolgt auf der Webseite <https://waterriskfilter.panda.org> im Menü „Explore“ mit der Auswahl „Maps“ und anschließend im „Water Risk Layer, 1 Scarcity Risk“. Dieser Indikator gibt die akkumulierte Relevanz verschiedener Knappheitsrisiken der einzelnen Regionen an. Die Karte kann anschließend mit den bekannten Produktions- und/oder Abbaustandorten abgeglichen werden. Zusätzlich sind Detailauswertungen für einzelne Knappheitsindikatoren möglich, z. B. anhand des Indikators „1.2. Baseline Water Stress“. Falls die geografische Lage der Standorte bekannt ist, kann eine Liste im Portal hochgeladen werden. Der WWF Water Risk Filter zeigt anschließend das Wasserrisiko für jeden Standort an und empfiehlt Maßnahmen für alle Standorte.
- ▶ Identifizierung von Informationen zu konkreten, lokalen negativen Verschmutzungen, Schadensfällen auf die Umwelt, Konflikten in Bezug zur Umwelt anhand des **Environmental Justice Atlas** (<https://ejatlas.org>). Die Datenbank ermöglicht die Filterung nach einzelnen Ländern und Rohstoffen sowie ausgewählten Unternehmen („Featured Maps“). Die Rohstoffe der eigenen Wertschöpfungskette und bekannte/mögliche Produktions- oder Herkunftsstandorten der Vorleistungen für das eigene Unternehmen können somit abgeglichen werden. Informationen zu den einzelnen Fällen sind in der Datenbank hinterlegt bzw. verlinkt.
- ▶ Analyse der Wertschöpfungsketten sowie zentraler menschenrechtlicher und umweltbezogener Risiken wichtiger Rohstoffe der Automobilindustrie über die **Raw Material Outlook Platform** (<https://www.rawmaterialoutlook.org/>). Das Instrument der

Brancheninitiative Drive Sustainability bietet einen umfassenden Überblick von der Rohstoffgewinnung bis zur Herstellung von Automobilkomponenten für Aluminium, Graphit, Eisenerz, Magnesium, Molybdän, Nickel, Seltene Erden, Tantal und Zink.

- ▶ Identifikation von ESG (Environmental, Social und Governance)-Risiken sowie Informationen zur Versorgungssicherheit und Bedeutung verschiedener mineralischer Rohstoffe in industriellen Lieferketten auf der Plattform **Material Insights** (<https://www.material-insights.org/>). Die kollaborative Branchenplattform von TDi Sustainability und der Responsible Minerals Initiative (RMI) wird laufend um weitere Informationen zu Materialien, Metallen und Komponenten erweitert. Die Plattform bietet ausführliche Materialprofile sowie eine Übersicht zu ESG-Risiken verschiedener Rohstoffe, die sich unter anderem nach Industrie, Produkten und den Kategorien „Environmental“, „Social“ und „Governance“ sortieren lässt.
- ▶ Als weiterer Indikator für konkrete 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 des aggregierten Umweltgefährdungspotentials von einzelnen mineralischen Rohstoffen bei der 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).

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

- ▶ Die **Aluminium Stewardship Initiative** (ASI - <https://aluminium-stewardship.org>) ist eine globale Non-Profit-Organisation zur Festlegung und Zertifizierung von Standards, die sich für eine verantwortungsvolle Produktion, Beschaffung und Verwaltung von Aluminium einsetzt, wobei ein Ansatz für die gesamte Wertschöpfungskette verfolgt wird.
- ▶ Der **International Council on Mining and Metals** (ICMM - <https://www.icmm.com>) ist eine internationale Organisation, die sich für eine sichere, faire und nachhaltige Bergbau- und Metallindustrie einsetzt. Der Zusammenschluss von 25 Bergbau- und Metallunternehmen sowie über 30 Regional- und Rohstoffverbänden setzt sich für Stärkung der ökologischen und sozialen Leistung der Industrie ein.
- ▶ Das **ITRI Tin Supply Chain-Program** (<https://www.internationaltin.org>) ist eine Initiative des industriegeführten International Tin Research Institute (ITRI) zur Rückverfolgbarkeit

und Sorgfaltspflicht, die mit Fokus auf die Demokratische Republik Kongo und Konfliktmineralien mit potenzieller globaler Anwendung entwickelt wurde.

- ▶ Die **Initiative for Responsible Mining Assurance** (IRMA - <https://responsiblemining.net>) ist ein 2018 gestartetes Bergbaustandard- und Zertifizierungsprogramm, das umfassende Leistungsmessungen und Anreize für Best Practices in sozialer und ökologischer Verantwortung an Minenstandorten weltweit bietet.
- ▶ Die **Responsible Sourcing-Initiative der London Bullion Market Association** (LBMA - <https://www.lbma.org.uk/responsible-sourcing>) trägt dazu bei, die Herkunft einer Reihe von Edelmetallen sicherzustellen und die Integrität globaler Lieferketten zu schützen.
- ▶ Die **Responsible Mica Initiative** (RMI - <https://responsible-mica-initiative.com/mica-initiative.com>) ist eine internationale Organisation, in der sich mehrere Branchen und Organisationen (NGOs, Verbände) gemeinsam verpflichten, verantwortungsvolle Beschaffungspraktiken und lokales Engagement zu nutzen, um Kinderarbeit zu beseitigen und die Lebensgrundlage von Gemeinden innerhalb einer konformen und legalen Glimmerlieferkette in Indien zu verbessern.
- ▶ Als gemeinnützige Organisation ist **ResponsibleSteel** (<https://www.responsiblesteel.org>) die erste globale Multi-Stakeholder-Standard- und Zertifizierungsinitiative für die Stahlbranche, die die Beschaffung von Rohstoffen für die Stahlproduktion sowie die Stahlherstellung selbst abdeckt.
- ▶ Die **Responsible Minerals Initiative** (RMI - <https://www.responsiblemineralsinitiative.org>) setzt sich für Sorgfaltsprozesse in der Beschaffung von Mineralien ein und entwickelt z.B. entsprechende Standards für Raffinerien und Hüttenwerke
- ▶ Das **International Aluminium Institute** (IAI - <https://international-aluminium.org>) ist der weltweite Verband der Aluminiumhersteller, der über 60 Prozent der Primäraluminiumproduktion repräsentiert.
- ▶ Das **Cobalt Institute** (<https://www.cobaltinstitute.org/cobaltinstitute.org>) fördert den nachhaltigen und verantwortungsvollen Umgang mit Kobalt in allen Formen.
- ▶ Die **International Copper Association** (ICA - <https://copperalliance.org>) repräsentieren einen Großteil der weltweiten Kupferproduktion und verpflichten sich, einen positiven Beitrag zu den Zielen der nachhaltigen Entwicklung der Gesellschaft zu leisten.
- ▶ Die **International Zinc Association** (IZA - <https://www.zinc.org/>) vertritt die Zinkindustrie weltweit und ist Anlaufstelle für alle Fragen rund um das Naturelement Zink, Zinkanwendungen und Quellen für die Zinkproduktion: Erze sowie Recyclingmaterialien.
- ▶ Die **Global Platform for sustainable natural rubber** (GPSNR - <https://sustainablenaturalrubber.org>) ist eine internationale Multistakeholder-gesteuerte Plattform, die gegründet wurde, um Nachhaltigkeit für die Naturkautschuk-Wertschöpfungskette zu definieren.

- **Das Netzwerk Naturkauschuk** (<https://www.globalnature.org/de/netzwerk-naturkauschuk>) ist eine Initiative der EU Business & Biodiversity Kampagne und zielt darauf ab, Akteure aus Industrie, Standardorganisationen, NRO, Wissenschaft und Politik stärker miteinander zu vernetzen.

Darüber hinaus führt das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Rahmen der Umsetzung des NAP einen Branchendialog mit der deutschen Automobilindustrie durch. Der Dialog soll Unternehmen Orientierung bieten und sie bei der Umsetzung von NAP-Anforderungen zur unternehmerischen Sorgfaltspflicht unterstützen.

Auch Brancheninitiativen wie etwa Drive Sustainability (<https://www.drivesustainability.org>) und die Automotive Industry Action Group (AIAG - <https://www.aiag.org>) beschäftigen sich mit den Umwelt- und menschenrechtlichen Auswirkungen in der automobilen Lieferkette, insbesondere auf den Wertschöpfungsstufen Rohstoffabbau und -verarbeitung.

5.1.2 Verbundenheit 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 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 für die Lieferkette
3. Kommunikation: Interner Wissensaufbau und Austausch zu Umweltthemen und Maßnahmen in der Lieferkette
4. Kommunikation: Transfer von Wissen zu Umweltthemen und Maßnahmen an (Vor-) Lieferanten
5. Dialog: Austausch mit (potenziell) Betroffenen als Input zur Risikoanalyse und zur effektiven Lösungsfindung
6. Pilotprojekte: Umsetzung von Veränderungen in der Lieferkette und anschließende Ausweitung

7. Einkauf und Lieferantenmanagement: Zertifizierungen und Standards bei Produzenten und/oder Rohstoffen
8. Allianzen: unternehmens- und branchenübergreifende Ansätze zur Schaffung nachhaltigerer Lieferketten
9. Stoffkreisläufe: Einsatz von Sekundärrohstoffen und Recycling von Rohstoffen
10. Produktgestaltung: Schaffen der Voraussetzungen für eine langfristige Nutzungsphase

Jeder Steckbrief beinhaltet Hinweise dazu, inwieweit der Handlungsansatz zu Verbesserungen beiträgt und wie diese mit dem eigenen Unternehmen verbunden sind. Hinweise zur Umsetzung sowie Beispiele, die sich auf die Erkenntnisse von Kapitel 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. Sie können ergänzend zu den im o. g. Branchendialog „Automobilindustrie“ im Rahmen des NAP erarbeiteten Hilfestellungen für die menschenrechtliche Sorgfalt verwendet werden.

Steckbrief (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

	<p>Lieferkettenmanagement in Richtlinien, Prozesse und Strukturen des Unternehmens integriert werden.</p> <ul style="list-style-type: none">▶ 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 zusätzliche Aufgabe einfach nur zusätzlich ohne Ressourcenausstattung wahrzunehmen. In der Praxis ist oft zu beobachten, dass Bereiche wie das Umweltmanagement zusätzliche Verantwortlichkeiten ohne entsprechende zusätzliche Ressourcen zugewiesen bekommen. Dies führt schließlich dazu, dass das Thema nur unzureichend Beachtung findet.▶ Eine regelmäßige Berichterstattung an die Geschäftsführung zu Fortschritten, Maßnahmen etc. sollte etabliert werden.
<p>Beispiele für mögliche Maßnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none">▶ <u>Verankerung in der zentralen Steuerung:</u> Die Erkenntnisse zu sozialen und umweltbezogenen Risiken, die mithilfe der Risikoanalyse gewonnen werden, sollten als Ausgangspunkt für ein kritisches Hinterfragen des Nachhaltigkeitsmanagements und strategischer unternehmerischer Weichenstellungen dienen: Wo bestehen gegebenenfalls Lücken (etwa bei der Abdeckung bestimmter Umweltauswirkungen, spezifischer regionaler Risiken oder Produktionsprozesse) und wo besteht Bedarf, Geschäftspraktiken anzupassen, um (potenzielle) negative Auswirkungen möglichst umfassend zu beseitigen, zu vermeiden oder zu mindern?▶ <u>Systematische Integration in das Risikomanagement:</u> Die Ergebnisse der Risikoanalyse und der identifizierten negativen Umweltauswirkungen sollten fest in das unternehmerische Risikomanagement verankert werden. Neben den (potenziellen) negativen Umweltauswirkungen und den menschenrechtlichen Implikationen können auch

	<p>die monetären Risiken für das eigene Unternehmen erfasst werden, z. B. beim Thema Wasserverbrauch und -knappheit damit verbundene Lieferausfallrisiken aufgrund eingeschränkter Verfügbarkeit von Wasser, regulatorische Risiken z. B. bei der Wasserversorgung und Kostenrisiken in der Lieferkette durch steigende Preise für die Wassernutzung. Anknüpfungspunkte bestehen, wenn das Unternehmen bereits bei CDP „Water“ über Risiken und Chancen berichtet. Bisherige Analysen und Daten, die für den CDP „Water“-Fragebogen erhoben wurden, können für die Identifizierung (potenzieller) negativer Umweltauswirkungen herangezogen werden und vice versa. Nächster Schritt sollte die Identifizierung konkreter Minderungsmaßnahmen bei (Vor-)Lieferanten und/oder bezogenen Rohstoffen sein. Hierzu sind weitere Bereiche wie Lieferantenmanagement und Produktentwicklung einzubinden.</p>
--	---

Steckbrief 2 – Definition von klaren Zielen in der Lieferkette

Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Festlegung von konkreten Zielen zur Verringerung negativer Umweltauswirkungen
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dieser Schritt schafft konkrete Priorisierungen und Zielsetzungen. Er ist Voraussetzung für die Ableitung von Maßnahmen und Initiativen. Hierbei sollten sowohl ökologische als auch menschenrechtliche Aspekte miteinander verbunden werden.
Verbundenheit zum eigenen Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Basis ist die Risikoanalyse über potenzielle negative Auswirkungen auf die Umwelt der eigenen Unternehmensaktivitäten. Dies sollte sowohl die direkten Lieferanten (tier 1) als auch Stufen der vorgelagerten Lieferkettenstufen wie z. B. die Rohstoffgewinnung betreffen.

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 z. B. zur Reduktion von Treibhausgasemissionen oder Anteilen von erneuerbaren Energien.
 - **Measurable (messbar)**, d. h. auf Basis von geeigneten Key-Performance-Indikatoren (KPIs) wie z. B. der Menge der Treibhausgasemissionen in der Lieferkette, verbrauchtem Wasser in Regionen mit Wasserstress, dem Anteil von Lieferanten mit Zertifizierung des Abwassermanagements, der Anzahl geschulter Lieferanten zu verbessertem Abwassermanagement etc.
 - **Achievable (erreichbar)**, d. h. die Ziele sollten realistisch, akzeptiert und zuordbar sein. Steht ein Unternehmen am Anfang, Umweltaspekte bei Lieferanten zu adressieren, ist es durchaus sinnvoll, sich zunächst auf „Quick-Wins“ zu fokussieren. Beispielsweise können am Anfang Ziele die direkten Lieferanten 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 z. B. 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

Beispiele für mögliche Maßnahmen

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.

- ▶ 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 mit zu berücksichtigen. Die Nutzung von Wasserkraft kann beispielsweise negative ökologische und menschenrechtliche Auswirkungen durch die Flutung von Staudammgebieten beinhalten. Bei der Gewinnung von Energie aus der Nutzung von biogenen Quellen können negative Auswirkungen bzgl. des Wasserverbrauchs und der Flächeninanspruchnahme auftreten. Zudem kann die Nutzung von Energie aus Biomasse den Flächendruck erhöhen. Mehrere Hersteller haben begonnen, Anforderungen an (Vor-)Lieferanten zum Einsatz von erneuerbaren Energien zu stellen, z. B. bei der Vergabe für neue Projekte (nur) Produzenten mit zertifiziertem Strom aus erneuerbaren Quellen zu berücksichtigen oder dies als Kriterium bei der Lieferantenbewertung zu nutzen. Ähnliches gilt auch für die Zielsetzungen von Herstellern zu Treibhausgasreduktionen in der Lieferkette (Scope 3) im Rahmen ihrer wissenschaftsbasierten Klimaschutzziele und -strategien.
- ▶ Zielvorgaben im Rahmen der Lieferantenentwicklung und -bewertung: Eine Möglichkeit, um die Qualität der

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

Steckbrief3: Kommunikation – Interner Wissensaufbau und Austausch zu Umweltthemen und Maßnahmen in der Lieferkette

<p>Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dialog zu (potenziellen) negativen Auswirkungen auf die Umwelt mit betreffenden Abteilungen im Unternehmen
<p>Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dieser Handlungsansatz ist übergreifend wirksam und zählt je nach Maßnahme auf die einzelnen Umweltthemen ein.
<p>Verbundenheit zum eigenen Unternehmen</p>	<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.
<p>Umsetzung</p>	<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, wie z. B. Einkauf/Lieferantenmanagement, Logistik, Produktionsplanung, Produktentwicklung, Business Development, Risikomanagement, Umwelt-, Qualitäts- und Arbeitssicherheitsmanagement. ▶ Es sollten Verantwortliche in den jeweiligen Bereichen festgelegt werden, die die Themen wiederum in ihrem Bereich kommunizieren. Zur Befähigung ihrer Rolle ist den betreffenden Abteilungen/Verantwortlichen ausreichend Wissen bereitzustellen, z. B. in Form von Briefings, One-Pagern, Trainings. ▶ Interne Austauschformate helfen, die einzelnen Fachabteilungen oder Unternehmensbereiche zu dem Thema miteinander zu vernetzen. Dies kann in Form von Workshops, virtuellen Themenkanälen/-räumen, regelmäßigen Routinen o. Ä. erfolgen. Es sollte sichergestellt sein, dass die einzelnen internen Wissensträgerinnen und Wissensträger im Unternehmen

Beispiele für mögliche Maßnahmen

bei der Suche nach geeigneten Lösungsansätzen sinnvoll zusammengeführt werden.

- ▶ Austauschformate: 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.
- ▶ Wissensaufbau in der Einkaufsabteilung: 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 Wissensträgern und zum anderen als Multiplikatoren.

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

Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes

- ▶ Bereitstellung von Wissen innerhalb der Lieferkette sowohl über (potenzielle) negative Auswirkungen auf die Umwelt und Menschen als auch über Best Practices.

<p>Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dieser Handlungsansatz ist übergreifend wirksam und zählt auf die einzelnen Umweltthemen ein.
<p>Verbundenheit zum eigenen Unternehmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Der Handlungsansatz ist sowohl für direkte Lieferanten als auch für die vorgelagerten Stufen der Lieferkette geeignet.
<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 o. Ä. Qualifizierungsmaßnahmen zum Wissensaufbau bei den Lieferanten geeignet. Auch können gemeinsam mit Lieferanten und Vorlieferanten Projekte zur Verringerung von Umweltauswirkungen initiiert und umgesetzt werden (siehe Handlungsansatz 6 unten). ▶ Die Qualifizierung von Lieferanten hinsichtlich der Vermeidung und Reduzierung von Umweltauswirkungen sollte fester Bestandteil des Lieferantenmanagements sein. Es sollte ein regelmäßiges Follow-Up erfolgen, welche Maßnahmen eingeleitet und welche Ergebnisse erreicht worden sind.
<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 oder

	<p>elektrischen Antrieben 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.</p>
--	---

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

Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dialog mit tatsächlich oder potenziell von Umweltauswirkungen Betroffenen und ggf. weiteren relevanten Stakeholdern (vgl. im Folgenden auch OECD 2018, S. 50 ff.).
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Der wechselseitige Austausch mit Stakeholdern, vor allem mit Betroffenen – vom Informationsaustausch zu bestimmten Themen bis hin zu anlassbezogenen, lokalen Konsultationen und Kooperationen – ist zentral für Schritte zur konkreten Verbesserung lokaler Bedingungen. ▶ Auch zur Risikoanalyse bietet der Dialog mit Betroffenen einen wertvollen Informationsgewinn. ▶ Je konkreter und spezifischer die Auswirkung, desto wichtiger gestaltet sich der Dialog mit lokal ansässigen,

<p>Verbundenheit zum eigenen Unternehmen</p>	<p>direkt von den Tätigkeiten eines Unternehmens oder dessen (Vor-)Lieferanten betroffenen Gruppen.</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 Betroffenen Gruppen 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, zum Beispiel wenn Rohstoffe von mehreren Sektoren bezogen werden, wie z. B. beim Rohstoff Koltan, der auch im Maschinenbau und in der Elektronikindustrie Einsatz findet.
<p>Beispiele für mögliche Maßnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ <u>Etablierung von Beschwerdemechanismen</u>: Wirksame Beschwerdemechanismen für Betroffene sind ein

essenzieller Baustein der Sorgfaltspflicht. Sie helfen, auftretende oder sich anbahnende negative Umweltauswirkungen und Schäden zu identifizieren. Ein Beschwerdemechanismus kann somit einerseits als Frühwarnsystem dienen und Informationen über tatsächliche lokale Bedingungen 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 Kobalt erfordert eine besondere Herangehensweise. Hier ist die Rückverfolgbarkeit des Rohstoffs auf eine einzelne Abbaustätte oft nicht möglich. 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, 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 Organisation unterstützt. Institutionen wie die Alliance for Water Stewardship (AWS), WWF, Natural Resources Stewardship Programm (NatuReS) und CEO Water Mandate bieten Möglichkeiten zur Einbringung in eine Water Stewardship-Initiative an. Beteiligungsmöglichkeiten sind u. a. die Mitwirkung an Erfahrungsaustauschen und Dialogformaten, Trainings oder die finanzielle und aktive inhaltliche Unterstützung in Projekten (Kern und Schmiester 2021).

Steckbrief 6: Pilotprojekte – Punktuelle Umsetzung von Veränderungen in der Lieferkette und anschließende Ausweitung

<p>Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes</p>	<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.
<p>Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen</p>	<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.
<p>Verbundenheit zum eigenen Unternehmen</p>	<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.
<p>Umsetzung</p>	<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 pro-aktive und agile Herangehensweise verstanden werden. Ziel ist die aktive Lösungsfindung trotz zunächst vorliegender Wissenslücken über konkrete Bedingungen. ▶ Es bedarf der Definition klarer Bewertungskriterien. Es sollte sichergestellt werden, dass alle Beteiligten genügend Ressourcen sowohl für die Durchführung des Pilotprojektes als auch für die anschließende Bewertung einbringen und bereit sind für eine potenzielle Fortführung und Skalierung. Lernerfahrungen aus dem Piloten sollten anschließend aufbereitet werden, um Barrieren zu reduzieren und die Anwendung in größerem Maßstab voranzubringen. Für die breite Umsetzung der pilotierten Maßnahme sollte anschließend ein Umsetzungsplan erarbeitet werden.

Beispiele für mögliche Maßnahmen

- ▶ Technologiebezogenes Pilotprojekt: Für die Erprobung neuer umweltfreundlicherer Verfahren kann ein gezieltes Pilotprojekt mit einem (Vor-) Lieferanten angestoßen werden, beispielsweise zur Herstellung von Carbonfaserstoffen unter dem Einsatz von Recyclingmaterialien oder CO₂-arme Technologien bei der Stahlerzeugung durch die Nutzung von grünem Wasserstoff³³ anstelle von Kohlenstoff zur Reduktion in der Primärstahlerzeugung (vgl. Agora Energiewende und Wuppertal Institut 2019). Die technologische Umsetzbarkeit und die Einsetzbarkeit in der betreffenden Komponente können gemeinsam untersucht werden. Klar definierte Kriterien wie ökologische Effekte, Prozesssicherheit, Kosten, Materialqualität und Skalierbarkeit dienen zur Beurteilung und Identifizierung von konkreten Schritten zur weiteren Anwendung der neuen Technologie. Ebenso können gemeinsame Beteiligungsmodelle, z. B. von Pilotanlagen, erwogen werden, ebenso die Einbindung von Forschungsinstituten oder die Mobilisierung von Fördergeldern.
- ▶ Lokale Pilotprojekte: 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 und um einer artisanalen Abbaufäche 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.

³³ Dabei ist die Betonung auf „grünem“ Wasserstoff zentral, denn für die Erzeugung von Wasserstoff wird viel Energie benötigt, sodass der Einsatz von Wasserstoff in der Stahlproduktion nur dann zu einer Reduktion von Treibhausgasen entlang der Lieferkette führen kann, wenn der Wasserstoff selbst mit erneuerbaren Energien produziert wurde.

Steckbrief 7: Einkauf und Lieferantenmanagement – Zertifizierungen und Standards bei Produzenten und/oder Rohstoffen

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

- Darüber hinaus können Rohstoffe aus zertifizierten Lieferketten mit Nachhaltigkeitsstandards verwendet werden, u. a.:
 - Aluminium Stewardship Initiative (ASI)
 - ResponsibleSteel™
 - Copper Mark
 - Forest Stewardship Council® (FSC®) u. a. für Holzrohstoffe, Naturkautschuk
 - Sustainable Natural Rubber Initiative
 - Fair Rubber e. V.
 - Global Organic Latex Standard (GOLS)

▶ 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.

▶ 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?*

▶ 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 Automobilindustrie relevanten negativen

	<p>Auswirkungen umfassend und effektiv zu adressieren. Der Handlungsansatz sollte in Kombination mit weiteren Ansätzen, etwa Dialogen mit (Vor-) Lieferanten und Betroffenen (siehe Handlungsansatz 5 oben) und Pilotprojekten (siehe Handlungsansatz 6 oben) implementiert werden.</p>
<p>Beispiele für mögliche Maßnahmen</p>	<p>► <u>Unterstützung von Lieferanten bei der Einführung von Standards:</u> Vor allem kleinere (Vor-)Lieferanten stehen oftmals vor der Herausforderung, dass sie die Einführung eines Standards oder Zertifizierungssystems aufgrund fehlender Kapazitäten (finanziell, personell, mangelndes Wissen, wenig Erfahrungen etc.) nicht leisten können. Um diese Barriere zu überwinden, können gezielte Maßnahmen zur Unterstützung des Lieferanten getroffen werden, zum Beispiel die Bereitstellung von Wissen, Hilfestellungen bei der Umsetzung, Inzentivierungssysteme o. Ä. Da die Einführung von Zertifizierungssystemen meist mit Investitionen und/oder Zusatzkosten verbunden ist, sind Vereinbarungen von Abnahmegarantien sinnvoll, um die Kostenrisiken für den Lieferanten zu reduzieren und somit dessen Bereitschaft für die Maßnahme zu erhöhen. Grundlage sollte stets der Aufbau einer vertrauensvollen, langfristigen Lieferbeziehung sein.</p>

Steckbrief 8: Allianzen – unternehmens- und branchenübergreifende Ansätze zur Schaffung nachhaltiger Lieferketten

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

<p>Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Im Rahmen von Allianzen können gezielte Maßnahmen und systematische Ansätze zur Verminderung von (potenziellen) negativen Auswirkungen vorangebracht und etabliert werden, beispielsweise mit Hilfe von Branchenstandards. Allianzen können auch zusammen mit Unternehmen aus anderen Branchen geschlossen werden, welche dieselben Interessen vertreten, weil sie z. B. den betreffenden Rohstoff ebenfalls einsetzen. Ebenso können Unternehmen auch vertikal mit Vorleistungsbranchen wie dem Rohstoffsektor, der chemischen Industrie o. Ä. in den Dialog treten, um nachhaltige Lösungen in der vorgelagerten Kette zu schaffen. Branchenlösungen stellen einen wertvollen Baustein im Maßnahmenbündel dar, entbinden jedoch nicht von der Eigenverantwortlichkeit.
<p>Verbundenheit zum eigenen Unternehmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Konkrete Schritte können sich je nach Rohstoff oder Prozess und angestrebten Branchenlösungen sowohl auf die eigene Verursachung der Umweltauswirkungen beziehen als auch auf Umweltauswirkungen in der vorgelagerten Lieferkette oder in der nachgelagerten Wertschöpfungskette.
<p>Umsetzung</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Brancheninitiativen, die in der Automobilindustrie bereits existieren, sind z. B. <u>Drive Sustainability</u> und die <u>Automotive Industry Action Group (AIAG)</u> sowie der <u>Branchendialog Automobil des BMAS</u>. Auch mit Bezug auf einzelne Komponenten gibt es eine Vielzahl bestehender branchenübergreifender Initiativen, etwa die <u>Global Battery Alliance</u>, das <u>Tire Industry Project (TIP)</u>, die <u>Global Platform for Sustainable Natural Rubber</u> sowie der <u>Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e. V. (wdk)</u>. ▶ 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

Beispiele für mögliche Maßnahmen

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.

- ▶ Etablierung eines branchenweiten Beschwerdemechanismus: Wie Erfahrungen anderer Branchen, z. B. aus dem Textilsektor, zeigen, sind Branchenlösungen sinnvoll, um wirksame Beschwerdemechanismen zu schaffen. Im Rahmen des laufenden Branchendialoges wird zum Beispiel ein unternehmensübergreifender Beschwerdemechanismus in Mexiko entwickelt (Deutscher Bundestag 2021, S. 3). 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.
- ▶ Nachfragebündelung zur Verbesserung von Standards in Rohstoffketten: Zusammenschlüsse von Nachfragesektoren eines Rohstoffs können dazu dienen, den Einfluss und die Kontrolle in spezifischen Rohstoffketten zu erhöhen, z. B. Unternehmen aus der Automobilindustrie, dem Maschinenbau, der metallverarbeitenden Industrie zur Verbesserung der Bedingungen bei der Gewinnung und Raffinierung von Nickel oder Unternehmen der Automobilindustrie, des Maschinenbaus, der kunststoff- und gummiverarbeitenden Industrie und des Chemiesektors zur nachhaltigen Gewinnung von Naturkautschuk. Ebenso können gemeinsam mit anderen Nachfragesektoren Pilotprojekte initiiert (siehe Maßnahme 6 oben) oder Standards zur Nachverfolgung der Herkunft von Rohstoffen (siehe Maßnahme 7 oben) geschaffen werden. Foren für solche Allianzen können z. B.

Industrieverbände sein, unter deren Schirm sich Unternehmen zusammenschließen und Lösungsansätze voranbringen.

Steckbrief 9: Stoffkreisläufe – Einsatz von Sekundärrohstoffen und Recycling von Rohstoffen

<p>Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes</p>	<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 Materialienverbänden, welche das Recycling

	<p>erschweren, eine demontagegerechte Konstruktion, die Austauschbarkeit von Bauteilen etc.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 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 Abnehmern 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. Dies können u. a. Maßnahmen und Projekte sein, um die Rohstoffe von Alt- und Gebrauchtfahrzeugen, welche ins Ausland exportiert worden sind, in den Stoffkreislauf zurückzuführen. Etwa können Pilotprojekte mit lokalen Sammlungs- und Entsorgungsunternehmen, z. B. in Osteuropa, und Unternehmen der Metallerzeugung in der eigenen Lieferkette initiiert werden. Anschließend kann geprüft werden, ob eine Ausweitung auf weitere Regionen/Rohstoffe möglich ist. ▶ <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 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.

Steckbrief 10: Produktgestaltung – Schaffen der Voraussetzung für eine langjährige Nutzungsphase

Kurzbeschreibung des Handlungsansatzes

- ▶ Dieser Handlungsansatz zielt darauf ab, die Voraussetzungen für eine langfristige Nutzung des Fahrzeugs inkl. der Nachnutzung (Second-Life) von Komponenten bereits in der Produktentwicklung zu schaffen. Dies umfasst insbesondere die Gestaltung von langlebigen Bauteilen, eine reparatur- und demontagefreundliche Konstruktion für die Nutzungsphase des Fahrzeugs sowie die langfristige Bereitstellung von ausreichenden Ersatzteilen. Dazu zählt auch die Ermöglichung der Nachnutzung von einzelnen Bauteilen im Anschluss an die Nutzung des einzelnen Fahrzeugs, z. B. der Traktions-Batterie zur Stromspeicherung oder der Runderneuerung von Altreifen. Diese Maßnahme ist eng verknüpft mit der Maßnahme zur Schaffung von Stoffkreisläufen.

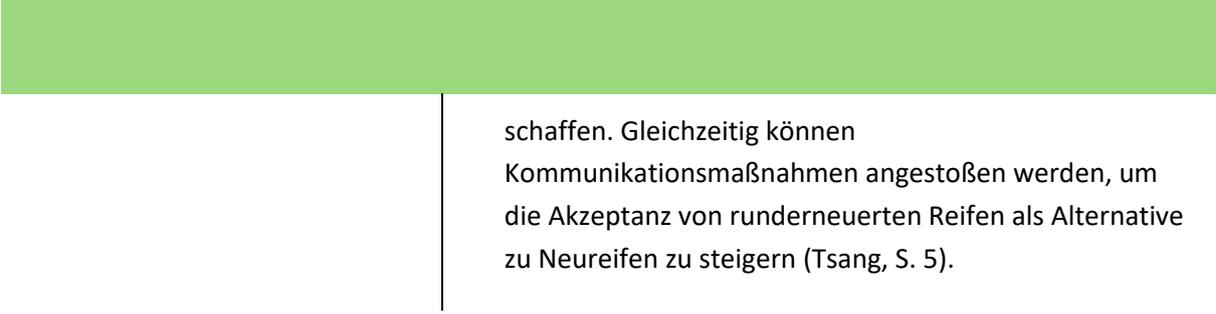
Beitrag zur Verringerung von negativen Auswirkungen

- ▶ Eine verlängerte Lebensdauer des Fahrzeugs sowie von einzelnen Komponenten für eine Zweitnutzung reduziert den Ressourcenbedarf für Neufahrzeuge sowie für die Komponenten, die eine Zweitnutzung erfahren, z. B. Reifen. Die Schaffung von langlebigeren Komponenten kann zu einem erhöhten Energie- und Rohstoffbedarf in der Produktion führen. Es sollten jedoch die verminderten negativen Umweltbelastungen durch eine längere Nutzung des Fahrzeugs bzw. einzelner Komponenten gegenübergestellt werden.

<p>Verbundenheit zum eigenen Unternehmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Der Ansatz setzt bereits im eigenen Unternehmen bei der Produktentwicklung und in der Fahrzeugkonstruktion an.
<p>Umsetzung</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Wie auch beim vorherigen Handlungsansatz 9 zur Schaffung von Stoffkreisläufen ist der Bereich der Produktentwicklung zentral. Die in der Automobilindustrie ausgeprägten hohen Qualitätsstandards können unter den ökologischen Gesichtspunkten der Langlebigkeit und Reparaturfreundlichkeit weiter ausgebaut werden. ▶ Für eine geeignete Abwägung von Zusatzaufwänden (und Kosten) in der Herstellung für die Langlebigkeit im Vergleich zu eingesparten Ressourcen und verminderten negativen Umweltauswirkungen durch die verlängerte Nutzung sind insbesondere Ökobilanzen (Life-Cycle-Assessments – LCA) geeignet. Das Instrument der LCA sollte diesen Aspekt der Verlängerung der Nutzungsphase gezielt berücksichtigen. ▶ Die langlebige Nutzung von Fahrzeugen stellt das klassische Geschäftsmodell, den Absatz von möglichst vielen Neufahrzeugen, grundsätzlich in Frage. Neben technischen Maßnahmen sind die strategische Ausrichtung nach neuen Geschäftsmodellen sowie das Marketing kritisch zu hinterfragen. Beispielsweise ist die Runderneuerung von Reifen für die Hersteller bislang weniger attraktiv als der Vertrieb von Neureifen oder das Marketing ist darauf ausgerichtet, zum Neukauf eines Fahrzeugmodells zu animieren.
<p>Beispiele für mögliche Maßnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ <u>Maßnahmen zur Sekundärnutzung von Traktions-Batterien:</u> Nach der Primärnutzung der Traktions-Batterie im Fahrzeug kann die Lebensdauer durch eine Sekundärnutzung verlängert werden, z. B. als stationärer Strom(zwischen)speicher (Buchert und Sutter 2020; Emilsson und Dahllöf 2019). Mit Blick auf die künftig wachsende Menge an Traktions-Batterien in ausgedienten Fahrzeugen sind solche Anwendungen der

Sekundärnutzung großflächig umzusetzen. Als Maßnahme hierfür ist der Aufbau von Netzwerken mit möglichen Nutzerinnen und Nutzern für die großflächige Second-Life-Nutzung von Fahrzeugbatterien sinnvoll. Auch die Voraussetzungen für eine hierfür geeignete Infrastruktur sind in solch einem Netzwerk zu prüfen, um die fachgerechte Zuführung der ausgedienten Fahrzeugbatterien an die Zweitnutzerinnen und Zweitnutzer zu gewährleisten. Mit den Second-Life-Anwenderinnen und -Anwendern sind auch deren Anforderungen an die Nutzung zu erarbeiten; etwa, ob ggfs. bereits in der Konstruktion der Fahrzeugbatterie Aspekte für die spätere Zweitnutzung zu berücksichtigen sind, z. B. bei der Beschaffenheit des Gehäuses, bei der Kennzeichnung u. Ä.

- ▶ Maßnahmen zur Förderung der Runderneuerung von Altreifen: Altreifen sind aufgrund ihrer Toxizität und der schlechten Abbaubarkeit ein ökologisches Problem. Das Recycling von Altreifen zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen für Neureifen ist zwar prinzipiell mit den Verfahren der Pyrolyse und der Devulkanisation möglich. Aber die veränderten Polymerketten schränken die Materialqualität ein. Eine bessere Alternative ist daher die Runderneuerung eines Reifens: Das alte Gummiprofil wird entfernt und ein neues Profil für eine erneute Nutzung befestigt. Bei der Runderneuerung bleibt der Großteil des Altreifens erhalten. Die Lebensdauer des Altreifens wird somit verlängert, was zu geringeren Abfallmengen führt und ebenso die Produktion eines Neureifens mit den damit verbundenen negativen Umweltwirkungen erspart (van Beukering und Janssen 2001, S. 238; Ferrao et al. 2008, S. 606). Die Runderneuerung macht bislang ca. 12 % an der Gesamtverwertung von Altreifen aus (Hiebel et al. 2017, S. 36). Die Voraussetzung für die erfolgreiche Runderneuerung von Altreifen liegt bereits in der Reifenherstellung. Gezielte Maßnahmen zur Steigerung der Materialqualität können die Voraussetzungen für eine spätere Runderneuerung und damit die verlängerte Nutzung ohne Einschränkungen der Reifeneigenschaften



schaffen. Gleichzeitig können Kommunikationsmaßnahmen angestoßen werden, um die Akzeptanz von runderneuerten Reifen als Alternative zu Neureifen zu steigern (Tsang, S. 5).

6 Quellenverzeichnis

- Aditya Birla Group (2021a): Carbon Black 101. <https://www.birlacarbon.com/whats-trending/carbon-black/> (27.10.2021)
- Aditya Birla Group (2021b): Locations. <https://www.birlacarbon.com/locations/> (27.10.2021)
- Al Barazi, S.; Bastian, D.; Bookhagen, B.; Damm, S.; Osbahr, I.; Schmidt, M.; Szurlies, M. (2021): Batterierohstoffe für die Elektromobilität. Themenheft. Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Berlin. Download unter: <https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DERA%20Themenheft-01-21.pdf?blob=publicationFile>
- Allgemeine Erklärung der Menschenrechte (AEMR), UN-Doc GA/RES 217 A (III) (10.12.1948)
- Andrulleit, H.; Elsner, H.; Henning, S.; Homberg-Heumann, D.; Kreuz, A.; Kuhn, K.; Moldenhauer, K.; Pein, M.; Schauer, M.; Schmidt, S.; Schmitz, M.; Sievers, H.; Szurlies, M.; Wilken, H. (2020): Deutschland – Rohstoffsituation 2019. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover. Download unter: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2019.pdf?blob=publicationFile&v=5
- Atibu, E. K., Lacroix, P., Sivalingam, P. et al. (2018): High contamination in the areas surrounding abandoned mines and mining activities: An impact assessment of the Dilala, Lui lu and Mpingiri Rivers, Democratic Republic of the Congo. Download unter: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.052>.
- Barrera, P. (2020): Top-10 Nickel-producing countries. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/base-metals-investing/nickel-investing/top-nickel-producing-countries/> (21.07.2021)
- BMW (2021): Carbon: Hightech-Werkstoff im Automobilbau. <https://www.bmw.com/de/performance/carbon-bei-autos.html> (06.07.2021)
- BMW Group (2018): Umwelterklärung BMW Group 2018. Umweltschutz in der Produktion. BMW Group. München. Download unter: <https://www.bmwgroup.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup.com/responsibility/downloads/de/2018/2018-BMW-Group-Umwelterklaerung.pdf>
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020): Automobilindustrie. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-automobilindustrie.html> (08.07.2021)
- Braun, N.; Hopfensack, L.; Fecke, M.; Witts, H. (2021): Chancen und Risiken im Automobilssektor für die Umsetzung einer klimaneutralen und ressourceneffizienten zirkulären Wirtschaft – Vorstudie im Rahmen des Verbundvorhabens Circular Economy als Innovationsfaktor für eine klimaneutrale und ressourceneffiziente Wirtschaft (CEWI). Stiftung 2°, WWF Deutschland, Wuppertal Institut. Berlin, Wuppertal. Download unter: https://www.cewi-projekt.de/wp-content/uploads/2021/05/CEWI_Kurzstudie-Automobil_2021.pdf
- Buchert, M. und Sutter, J. (2020): Stand und Perspektiven des Recyclings von Lithium-Ionen-Batterien aus der Elektromobilität – Synthesepapier erstellt im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit geförderten Verbundvorhabens MERCATOR „Material Effizientes Recycling für die Circular Economy von Automobilspeichern durch Technologie ohne Reststoffe“. Öko-Institut e.V. Darmstadt. Download unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Strategiepapier-Mercator-Recycling-Batterien.pdf>
- Buderath, M.; Weiß, D.; van Ackern, P.; Garcia, B. (2021): Rohstoffe im Fokus. Menschenrechts- und Umweltrisiken integrativ betrachten. adelphi. Berlin. Download unter: https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/adelphi_LIEFERINT_Rohstoffe_im_Fokus_FI_NAL.pdf

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

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

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

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

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

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

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

Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) [Hrsg.] (2020): Treibhausgasemissionen 2019 - Emissionshandelspflichtige stationäre Anlagen und Luftverkehr in Deutschland (VET-Bericht 2019). Berlin. Umweltbundesamt (UBA). Download unter: https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/VET-Bericht-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=2

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

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

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

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

Dorner, U. (2015): Rohstoffrisikobewertung – Zink. DERA Rohstoffinformationen. Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Berlin. Download unter:

https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/studie_zink_2015.pdf?blob=publicationFile&v=3

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

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

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

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

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

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

Emilsson, E. und Dahllöf, L. (2019): Lithium-Ion Vehicle Battery Production – Status 2019 on Energy Use, CO₂ Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling. IVL Swedish Environmental Research Institute. Stockholm. Download unter: <https://www.ivl.se/download/18.34244ba71728fcb3f3faf9/1591706083170/C444.pdf> (12.07.2021)

ENCORE (2020): Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure – Tool. <https://encore.naturalcapital.finance/en> (12.07.2021)

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

Environmental Performance Indicator (2020): 2020 EPI Results. <https://epi.yale.edu/epi-results/2020/component/epi> (26.10.2021)

Energies Nouvelles (2021): Lithium in the energy transition: More than a resource issue? <https://www.ifpenergiesnouvelles.com/article/lithium-energy-transition-more-resource-issue> (12.07.2021)

ETRMA – European Tyre & Rubber Manufacturers' Association (2019): European Tyre & Rubber Industry Statistics – Edition 2019, Nr. 10. European Tyre & Rubber Manufacturers' Association. Brüssel. Download unter: <https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2019/10/20191114-Statistics-booklet-2019-Final-for-web.pdf>

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

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

Europäische Kommission (2020c): *Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken.* Brüssel. Download unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>

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

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021a): Food and agriculture data. <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (12.07.2021)

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021b): FAO in India – India at a glance. <http://www.fao.org/india/fao-in-india/india-at-a-glance/en/> (12.07.2021)

Faulstich, M. und Kienzler, H.-P. (2018): Studie zur Verwertung von Altfahrzeugen – Management Summary. Prognos AG. Düsseldorf. Download unter: https://www.tsr.eu/fileadmin/user_upload/tsr_2018/bilder/forschung_entwicklung/Management_summary_out_Prognos_4.pdf

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

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

Gehrke, I. (2018): TyreWearMapping – Einfluss von Reifenabrieb auf die Umwelt. Fraunhofer UMSICHT. Bad Langensalza. Download unter: <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/referenzen/tyrewearmapping/pr%C3%A4sentation-einfluss-von-reifenabrieb.pdf>

Giltsbach, L. (2020): Kupfer – Informationen zur Nachhaltigkeit. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover. Download unter: https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/kupfer.pdf;jsessionid=896CC32FAAAF5292F36DEFFCA563A619.2_cid292?blob=publicationFile&v=3

Global Mining (2020): Cobalt demand from battery industry expected to grow in the next five years – report. <https://www.mining.com/cobalt-demand-from-battery-industry-expected-to-grow-in-the-next-five-years-report/> (08.11.2021)

Giunta, F. und Munnion, O. (2020): An investigation into the Global Environment facility-funded project “Production of sustainable, renewable biomass-based charcoal for the iron and steel industry in Brazil”. <https://globalforestcoalition.org/brazil-charcoal-case-study/> (08.11.2021)

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

Groneweg, M.; Bittner, C.; Hoffmann, T.; Neussl, V.; Paasch, A.; Reckordt, M.; Schilder, K.; Tempelmann, M. (2021): Weniger Autos, mehr globale Gerechtigkeit. Warum wir die Mobilitäts- und Rohstoffwende zusammendenken müssen. Brot für die Welt Evangelisches Werk für Diakonie und Entwicklung e. V.,

- Bischöfliches Hilfswerk MISEREOR e. V., PowerShift – Verein für eine ökologisch-solidarische Energie- und Weltwirtschaft e. V. Berlin, Aachen. Download unter: <https://www.misereor.de/fileadmin/publikationen/weniger-autos-mehr-globale-gerechtigkeit-2021.pdf>
- Groneweg, M. (2020): Performance-Check Automobilindustrie: Verantwortungsvoller Rohstoffbezug? - Eine Analyse von Industrieinitiativen und Nachhaltigkeitsberichten. INKOTA-netzwerk e. V., PowerShift e. V. Berlin. Download unter: <https://www.ressourcenwende.net/wp-content/uploads/2020/12/Performance-Check-Automobilindustrie-Verantwortungsvoller-Rohstoffbezug-PowerShift-Inkota.pdf>
- Haustermann, M. und Knoke, I. (2019a): Nachhaltigkeit beim Anbau von Naturkautschuk – Wie Unternehmen Nachhaltigkeitsprobleme erkennen und lösen können. SÜDWIND e. V., Global Nature Fund (GNF). Bonn, Radolfzell. Download unter: <https://www.business-biodiversity.eu/de/publikationen/naturkautschuk-studie>
- Haustermann, M. und Knoke, I. (2019b): Naturkautschuk in der Lieferkette – Ein Überblick. SÜDWIND e. V., Global Nature Fund (GNF). Bonn, Radolfzell. Download unter: <https://www.business-biodiversity.eu/de/publikationen/naturkautschuk-studie>
- Hayward, D. (2020): China – Context and Land Governance. <https://landportal.org/book/narratives/2020/china> (12.07.2021)
- Heimes, H.H.; Kampker, A.; vom Hemdt, A.; Kreis köther, K.D.; Michaelis, S.; Rahimzei, E. (2019): Komponentenherstellung einer Lithium-Ionen-Batterie zelle. RWTH Aachen, VDMA. Aachen, Frankfurt am Main. Download unter: https://www.pem.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaffplpx
- Helmers, E.; Dietz, J.; Weiss, M. (2020): Sensitivity Analysis in the Life-Cycle Assessment of Electric vs. Combustion Engine Cars under Approximate Real-World Conditions. In: Sustainability, 2020, 12, S. 1241-1271
- Helm s, H.; Kämper, C.; Biemann, K.; Lambrecht, U.; Jöhrens, J.; Meyer, K. (2019): Klimabilanz von Elektroautos – Einflussfaktoren und Verbesserungspotential. Agora Verkehrswende. Berlin. Download unter: <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/klimabilanz-von-elektroautos/>
- Hiebel et al. (2017): Studie zur Circular Economy im Hinblick auf die chemische Industrie. Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.). Studie im Auftrag des Verbands der Chemischen Industrie e. V. Landesverband NRW. Oberhausen. Download unter: https://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-4769003.pdf
- Holappa, L. (2020): A General Vision for Reduction of Energy Consumption and CO2 Emissions from the Steel Industry. In: Metals, 2020, 10:9, S. 1117-1137
- Human Rights Watch (HRW) (2018): “What Do We Get Out of It?” - The Human Rights Impact of Bauxite Mining in Guinea. <https://www.hrw.org/report/2018/10/04/what-do-we-get-out-it/human-rights-impact-bauxite-mining-guinea> (07.08.2021)
- IEA – International Energy Agency (2021a): Electricity generation by Source, Poland 1990 – 2019. <https://www.iea.org/countries/poland> (12.07.2021)
- IEA – International Energy Agency (2021b): Electricity generation by Source, Czech Republic 1990 – 2019. <https://www.iea.org/countries/czech-republic> (12.07.2021)
- IEA – International Energy Agency (2021c): Electricity generation by Source, People’s Republic of China 1990 – 2019. <https://www.iea.org/countries/china> (12.07.2021)
- IEA – International Energy Agency (2021d): Electricity generation by Source, Peru 1990 – 2019. <https://www.iea.org/countries/china> (03.11.2021)
- Ickert, L.; Thomas, D.; Eckstein, L.; Tröster, T. (2012): Beitrag zum Fortschritt im Automobileichtbau durch belastungsgerechte Gestaltung und innovative Lösungen für lokale Verstärkungen von Fahrzeugstrukturen in

Mischbauweise. FAT-Schriftenreihe 244. Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT), Verband der Automobilindustrie (VDA). Berlin. Download unter: <https://www.vda.de/de/services/Publikationen/fat-schriftenreihe-244.html>

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

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

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

ILO – International Labour Organization (1983): C155 - Occupational Safety and Health Convention, 1981 (No. 155)

(11.8.1983). https://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C155 (02.11.2021)

ILO – International Labour Organization (2009). C187 - Promotional Framework for Occupational Safety and Health Convention, 2006 (No. 187) (20.2.2009).

https://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C155 (02.11.2021)

IPBES (Hg.) (2019): Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem

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

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

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

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

Kayika P., Siachoono S. M., Kalinda C. and Kwenye J. M. (2017): An Investigation of Concentrations of Copper, Cobalt and Cadmium Minerals in Soils and Mango Fruits Growing on Konkola Copper Mine Tailings Dam in Chingola, Zambia. Download unter: <https://www.omicsonline.org/open-access/an-investigation-of->

[concentrations-of-copper-cobalt-and-cadmium-minerals-in-soils-and-mango-fruits-growing-on-konkola-copper-mine-t.php?aid=86537](#)

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

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

Kind, T. und Engel, K. (2018): Rohstoffboom zwischen Gewinnen und Verlusten. Deutschlands ökologischer Fußabdruck durch Stahl und Aluminium. World Wide Fund for Nature (WWF). Berlin. Download unter: https://www.kindundengel2018.de/fileadmin/user_upload/KIND_UND_ENGEL_2018-Analyse-Stahl-und-Aluminium-Rohstoffboom-zwischen-Gewinnen-und-Verlusten.pdf

Kosiorek, M.; Wyszowski, M. (2019): Effect of cobalt on environment and living organisms - a review. In Applied Ecology and Environmental Research 17(5): 11419-11449

Liu, S.; Chen, J.; Cao, Y.; Yang, H.; Chen, C.; Jia, W. (2018): Distribution of mercury in the combustion products from coal-fired power plant in Guizhou, southwest China. In: Journal of the Air & Waste Management Association, 2018, 69:2, S. 234-245

Mann, C. (2016): Kautschuk – Die Gier nach Gummi. National Geographic. Heft 01 / 2016. S. 76-95. <https://www.nationalgeographic.de/umwelt/kautschuk-die-gier-nach-gummi> (02.11.2021).

Material Economics (2018): The Circular Economy – A Powerful Force for Climate Mitigation. Material Economics. Stockholm. Download unter: <https://materialeconomics.com/publications/the-circular-economy>

Mehlhart, G.; Möck, A.; Goldmann, D. (2018): Effects on ELV waste management as a consequence of the decisions from the Stockholm Convention on decaBDE. Öko-Institut e. V. Darmstadt. Download unter: <https://www.oeko.de/publikationen/p-details/effects-on-elv-waste-management-as-a-consequence-of-the-decisions-from-the-stockholm-convention-on-d>

Morse, I. (2019): Mining turned Indonesian seas red. The drive for greener cars could herald a new toxic tide. https://www.washingtonpost.com/world/asia-pacific/mining-turned-indonesian-seas-red-the-drive-for-greener-cars-could-herald-a-new-toxic-tide/2019/11/19/39c76a84-01ff-11ea-8341-cc3dce52e7de_story.html (13.07.2021)

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

MVO Nederland (2020): CSR Risk Check. <https://www.mvorisicochecker.nl/en> (12.07.2021)

Nill, M.; Jungmichel, N.; Schampel, C.; Weiss, D. (2017): Umwelatlas Lieferketten – Umweltwirkungen und Hot Spots in der Lieferkette. adelphi consult GmbH, Systain Consulting GmbH. Berlin, Hamburg. Download unter: <https://www.adelphi.de/de/publikation/umwelatlas-lieferketten>

Nilsen, T. (2019): Norilsk tops world's list of worst SO2 polluters. <https://thebarentsobserver.com/en/2019/08/norilsk-tops-worlds-list-worst-so2-polluters> (13.07.2021)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Purr, K.; Günther, J.; Lehmann, H.; Nuss, P. (2021): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE-Studie. Climate Change 36/2019. 2. Auflage. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau. Download unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet_auflage2_juni-2021.pdf

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

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

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

Scherf, C.-S.; Gailhofer, P.; Hilbert, I.; Kampffmeyer, N.; Schleicher, T. (2019): Umweltbezogene und menschenrechtliche Sorgfaltspflichten als Ansatz zur Stärkung einer nachhaltigen Unternehmensführung – Zwischenbericht Arbeitspaket 1 – Analyse der Genese und des Status quo. Umweltbundesamt (UBA).

Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltbezogene-menschenrechtliche>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Transport & Environment (2021): From dirty oil to clean batteries. Transport & Environment. Brüssel. Download unter:

https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2021_02_Battery_raw_materials_report_final.pdf

Tappeser, V. und Chichowitz, L. (2017): Umgang mit Altfahrzeugen: Transformationsfeldanalyse im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy. adelphi research GmbH, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit GmbH, IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung GmbH. Berlin. Download unter:

https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2017-01-e2g-umgang_mit_alfahrzeugen-adelphi_0.pdf

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

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

UBA – Umweltbundesamt (2016): Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe – Umweltschädlich! Giftig! Unvermeidbar? Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Download unter:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/polyzyklische-aromatische-kohlenwasserstoffe>

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

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

UBA – Umweltbundesamt (2019a): Aluminium – Factsheet. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Download

unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/dokumente/factsheet-aluminium_fi_barrierefrei.pdf

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

UBA – Umweltbundesamt (2021a): Feinstaub.

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

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

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

UBA – Umweltbundesamt (2021c): Schwefeldioxid.

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

Ugya, A.; Ajibade, F. O.; Ajibade, T. F. (2018): Water Pollution Resulting from Mining Activity: An Overview. Proceedings of the 2018 Annual Conference of the School of Engineering & Engineering Technology (SEET), The Federal University of Technology, 17-19.07.2018, Akure, Nigeria.

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

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

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

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

Van Beukering, P. und Janssen, M. (2001): Trade and recycling of used tyres in Western and Eastern Europe. Resources, Conservation and Recycling. Volume 33. S. 235-265.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344901000829>

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

Vasters, J. und Franken, G. (2020): Aluminium - Informationen zur Nachhaltigkeit. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover. Download unter:

https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/aluminium.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Vasters, J.; Franken, G.; Szurli, M. (2021): Nickel – Informationen zur Nachhaltigkeit. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover. Download unter:

https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/nickel.pdf?__blob=publicationFile

VDA – Verband der Automobilindustrie e. V. (2014): Unsere Werke – Nachhaltige Automobilproduktion in Deutschland. Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA). Berlin. Download unter:

<https://www.vda.de/de/services/Publikationen/unsere-werke-nachhaltige-automobilproduktion-in-deutschland.html>

VDA – Verband der Automobilindustrie e. V. (2020): Jahresbericht 2020 - Die Automobilindustrie in Daten und Fakten. Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA). Berlin. Download unter:

<https://www.vda.de/de/services/Publikationen/vda-jahresbericht-2020.html>

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

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

Voiland, A. (2017): A Manmade Volcano over Norilsk. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/92246/a-manmade-volcano-over-norilsk> (12.07.2017)

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

Volkswagen AG (2021): Der Stoff, aus dem die Zukunft ist. <https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2018/05/the-fabric-of-the-future.html> (06.07.2021)

Wang, S.; Huang, J.; YU, H.; Ji, C. (2020): Recognition of Landscape Key Areas in a Coal Mine Area of a Semi-Arid Steppe in China: A Case Study of Yimin Open-Pit Coal Mine. In: Sustainability, 2020, 12:6. <https://doi.org/10.3390/su12062239>

Warren-Thomas, E.; Dolman, P.; Edwards, D. P. (2015): Increasing Demand for Natural Rubber Necessitates a Robust Sustainability Initiative to Mitigate Impacts on Tropical Biodiversity. In: Conservation Letters, 2015, 8:4, S. 230-241

WDK – Wirtschaftsverband der Deutschen Kautschukindustrie e. V. (2018): Die Kautschukindustrie 2018/2019. Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e. V. Frankfurt am Main. Download unter: <https://www.wdk.de/kautschukindustrie-unterseite-von-konjunktur/>

Weiss, D.; García, B.; van Ackern, P.; Rüttinger, L.; Albrecht, P.; Dech, M.; Knopf, J. (2020): Die Achtung von Menschenrechten entlang globaler Wertschöpfungsketten – Risiken und Chancen für Branchen der deutschen Wirtschaft. Forschungsbericht 543. adelphi consult GmbH, Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde. Berlin, Stuttgart, Eberswalde. Download unter: <https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/fb-543-achtung-von-menschenrechten-entlang-globaler-wertschoepfungsketten.pdf>

Weiss, D.; Hajduk, T.; Knopf, J. (2017): Schritt für Schritt zum nachhaltigen Lieferkettenmanagement. Praxisleitfaden für Unternehmen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit; Umweltbundesamt. Link: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/leitfaden_nachhaltige_lieferkette_bf.pdf (14.12.2021)

World Governance Indicators (2020): Interactive Data Access. <https://info.worldbank.org/governance/wgi/Home/Reports> (26.10.2021)

World Resources Institute (2021): Global Forest Watch. <https://www.globalforestwatch.org/> (12.07.2021)

World Steel Association (2021): World Steel in Figures 2021 now available. <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2021/world-steel-in-figures-2021.html> (06.07.2021)

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

WWF – World Wide Fund for Nature (2020): WWF Water Risk Filter: From Risk Assessment to Response. <https://waterriskfilter.panda.org/> (12.07.2021)

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

Zeng, H.; Zhang, C.; Fu, X. (2020): From Coal to Renewables in China: Solving the Water Stress-Power Plant Mismatch. <https://www.wri.org/insights/coal-renewables-china-solving-water-stress-power-plant-mismatch> (08.11.2021) Zhang, X.; Yang, L.; Li, Y.; Li, H.; Wang, W.; Ye, B. (2011): Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China. In: Environmental Monitoring and Assessment, 2011, 184:4, S. 2261–2273.