

Für Mensch & Umwelt

Webinar

# Umweltrisiken und –auswirkungen in den globalen Lieferketten der deutschen Elektronikindustrie

Carolín Grüning  
Managerin, adelphi research gGmbH

Norbert Jungmichel  
Associate Director, Systain Consulting GmbH

Umwelt  
Bundesamt 

adelphi 

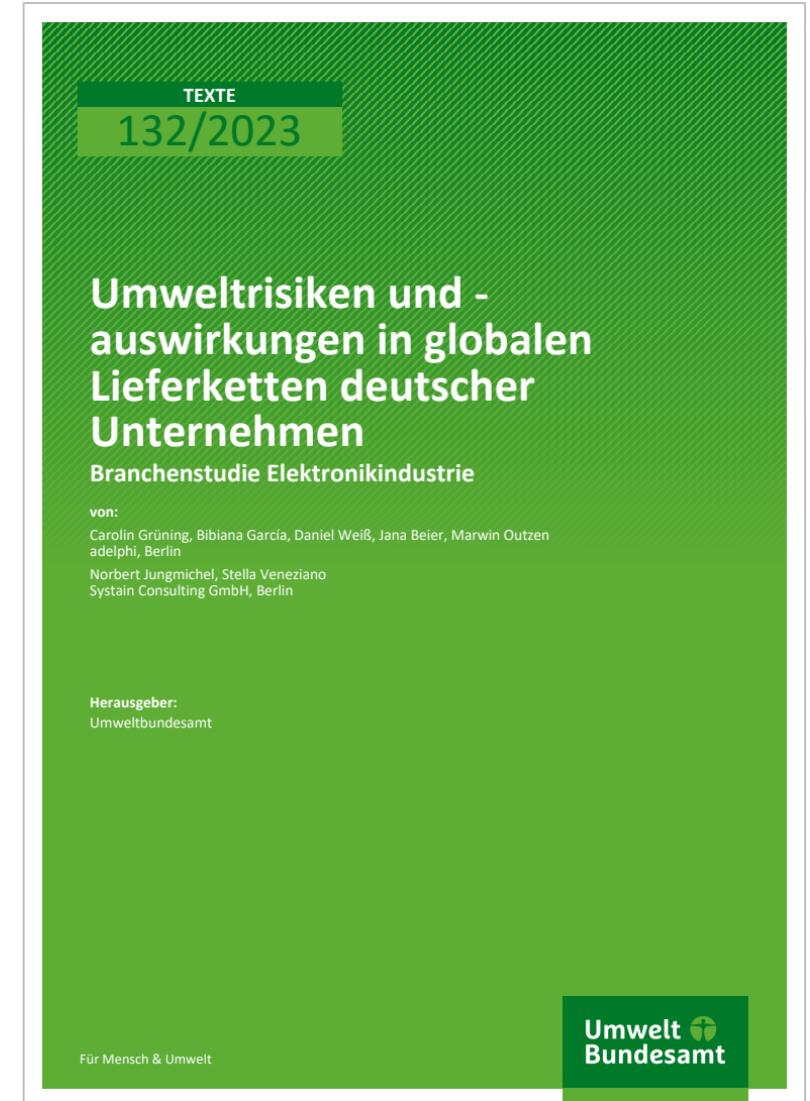
 systain



Jahre  
Umweltbundesamt  
1974–2024

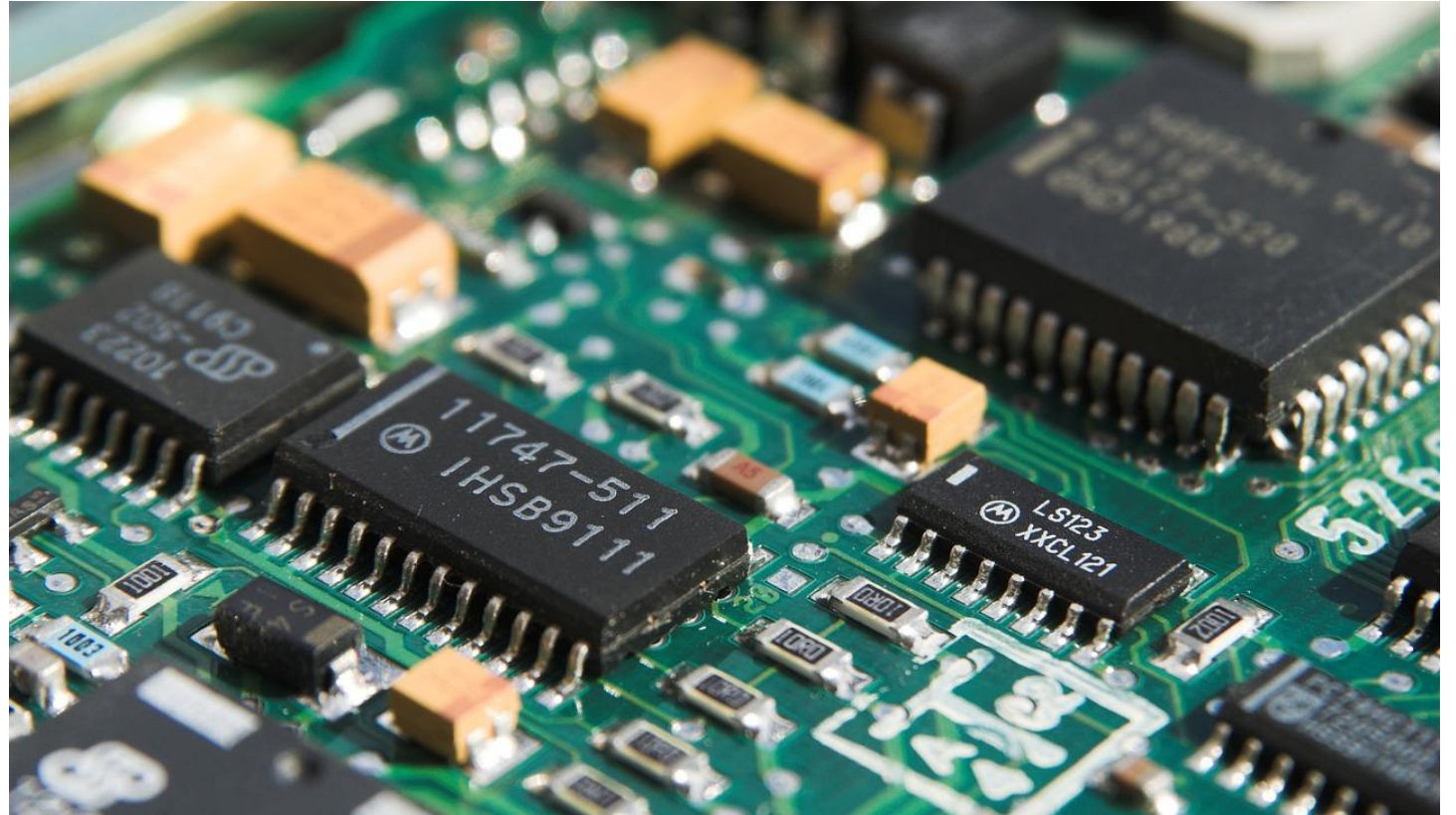
## Branchenstudie Elektronikindustrie

- Forschungsprojekt „Innovative Werkzeuge für das Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement in der Wertschöpfungskette“ (FKZ 3720 14 103 0)
- Weitere Branchenstudien: Automobilindustrie, Maschinenbau, Chemisch-pharmazeutische Industrie, Lebensmittelverarbeitende Industrie, Bausektor, Metallerzeugende und -verarbeitende Industrie
- Download unter:



## Gliederung

- 1 **ZIELE, AUFBAU UND METHODIK**
- 2 **ÜBERSICHT INHALTLICHE ERGEBNISSE**
- 3 **TOOLS UND HANDLUNGSOPTIONEN**



Quelle: axonite – pixabay.com



# 1 ZIELE, AUFBAU UND METHODIK



## Einordnung in den Sorgfaltspflichtenansatz

- Einbettung in Sorgfaltspflichtenansatz (Due-Diligence-Prozess) des OECD Leitfadens für die Erfüllung der Sorgfaltspflicht für verantwortungsvolles unternehmerisches Handeln (2018)
- Auseinandersetzung mit „tatsächlichen negativen Effekten oder potenziellen negativen Effekten („Risiken“)" auf die Umwelt und Menschenrechte, die aus Unternehmensaktivitäten entstehen
- Studie geht über die im Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG) genannten umweltbezogenen Sorgfaltspflichten hinaus



Quelle: Eigene Darstellung, adelphi. In Anlehnung an OECD Due Diligence Guidance for Responsible Business Conduct (2018, S. 22).

## Ziele der Studie

- Überblick über Risiken für (potentielle) negative Umweltauswirkungen auf den einzelnen Stufen der vorgelagerten internationalen Wertschöpfungskette der deutschen Elektronikindustrie und Beschreibung tatsächlicher negativer Auswirkungen.
- Analyse der mit ausgewählten Rohstoffen, Prozessen und Wertschöpfungsstufen verbundenen Risiken für negative Umweltauswirkungen.
- Beschreibung der Verbindung zwischen (potenziellen) negativen Umwelt- und menschenrechtlichen Auswirkungen.
- Informationen zu Datenquellen und Handlungsmöglichkeiten.

### ➤ **INFORMATIONEN AUF BRANCHEN-EBENE ALS AUSGANGSPUNKT FÜR UNTERNEHMENSSPEZIFISCHE RISIKOANALYSE**

Betrachtung der NACE-Sektorcodes C26 „Herstellung von DV- Geräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen“ sowie C27 „Herstellung von elektrischen Ausrüstungen“

Dieser umfasst u.a.:

- Herstellung von Mess-, Kontroll-, Navigations- und ähnlichen Instrumenten
- Herstellung von elektronischen Bauelementen
- Herstellung von Elektrizitätsverteilungs- und –schaltanlagen
- Herstellung von Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren

## Aufbau

Kapitel	Inhalt
Elektronikindustrie im Überblick	<ul style="list-style-type: none"><li>• Umsatz, Beschäftigte, Importanteile, Unternehmensstruktur</li><li>• Lieferkettenstruktur</li><li>• Bezugspunkte zu anderen Branchen</li></ul>
Umweltthemen entlang der Lieferkette	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zusammenfassende Darstellung von Umweltauswirkungen (Themen- &amp; Länderbezogen; bspw. Wasserverbrauch in der Lieferkette)</li><li>• Basierend auf Input-Output-Modellierung</li></ul>
Darstellung von Fokusthemen	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vertiefte Analyse ausgewählter Rohstoffe, Prozessen und Wertschöpfungsstufen (ausgewählte Fokuskomponente: Halbleiterchips (inkl. der Rohstoffe Kupfer, Gold, Zinn))</li><li>• Länder-Governance-Informationen</li><li>• Beispielhafte Beschreibung der Verbindung von Umwelt- und menschenrechtlichen Risiken</li></ul>
Tools/Datenbanken und Handlungsansätze für die Branche	<ul style="list-style-type: none"><li>• Übersicht über geeignete Tools und Datenbanken</li><li>• Ermittlung möglicher Maßnahmen für Umwelt- und Klimaschutz in der Wertschöpfungskette</li></ul>

## Methodik

Methoden	Datengrundlage	Beschreibung
Quantitative multi-regionale Input-Output (MRIO)-Modellierung	Volkswirtschaftliche Daten und ökologische Indikatoren	<ul style="list-style-type: none"><li>• Einzelne Umweltbelastungen werden quantifiziert (u. a. Treibhausgasemissionen, Luftschadstoffe, Wasserverbrauch)</li><li>• Ergänzende übergreifende Analysen (WWF Water Risk Filter, ENCORE Materiality Rating, MVO Nederland CSR Risk Check)</li><li>• Sektorale sowie geografische Schwerpunkte innerhalb der vorgelagerten Wertschöpfungskette werden aufgezeigt</li></ul>
Qualitative Desk Recherche und Interviews	Ökobilanzen, Datenbanken, Studien, Experten und Expertinnen	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ergänzung der Modellierungsergebnisse</li><li>• Strukturierte Interviews dienen zur Schließung von Lücken</li></ul>



## Top-Down-Betrachtung mittels Erweiterter Multiregionale Input-Output Analyse (MRIO)

- Die Top-Down-Betrachtung der Umweltauswirkungen in den globalen Lieferketten der deutschen Elektronikindustrie basiert auf der Methodik der **erweiterten multiregionalen Input/Output-Modellierung (MRIO)**.
- Die MRIO basiert auf **statistischen Daten zu Verflechtungen von Sektoren**, d.h. welche Vorleistungen bezieht ein Sektor – in welchem Umfang, in welchen Vorleistungssektoren, aus welchen Ländern. Auf diese Weise lassen sich globale Wertschöpfungsketten modellieren.
- Diese Daten sind **verknüpft mit ökologischen Daten der Vorleistungssektoren** in den jeweiligen Produktionsländern wie zum Beispiel Treibhausgasemissionen, so dass sich die damit die Emissionen entlang der gesamten Vorkette berechnen lassen.
- **Unternehmen können die Ergebnisse der MRIO** mit den Lieferantenländern und Verzweigungen der eigenen Beschaffung abgleichen, um Hot-Spots bzgl. Ländern und Vorleistungssektoren für die unternehmenseigene Analyse zu identifizieren.

Die Input-Output-Tabelle liefert monetäre Verlinkungen verschiedener Länder mit den Verzweigungen von Wertschöpfungsketten.

Identifizierung von Hot-Spots und Abgleich mit der eigenen Vorkette und deren Verzweigungen.



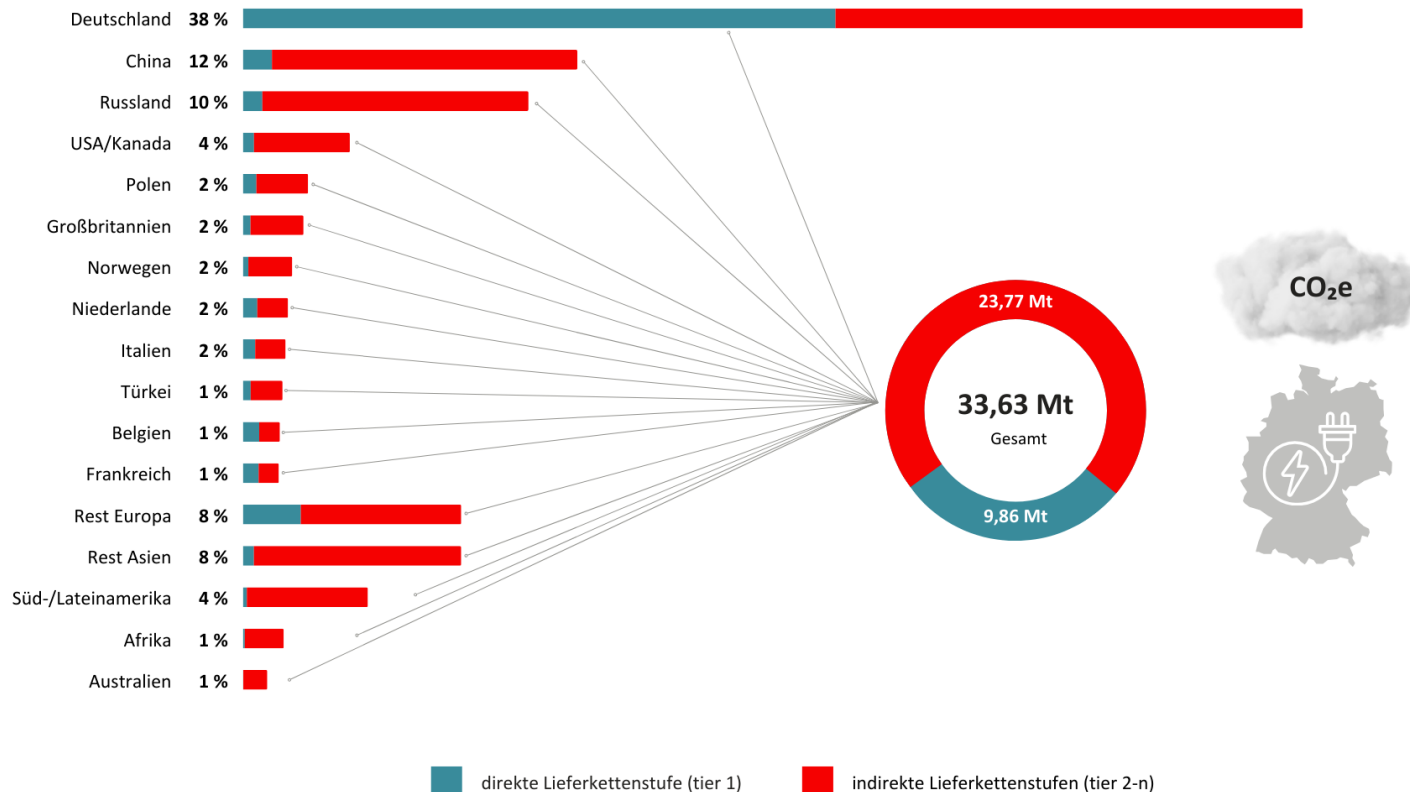
# 2

## ÜBERSICHT DER ERGEBNISSE

## Überblick über untersuchte Umweltthemen

Umweltthema	Messgrößen
Treibhausgase	CO <sub>2</sub> -Äquivalente
Luftschadstoffe	Versauerungspotenzial mit der Angabe in Schwefeldioxid-Äquivalenten sowie die Angabe von gesundheitsschädlichen Feinstaubemissionen durch den Indikator der PM <sub>2,5</sub> -Äquivalente
Fläche	Beanspruchte Fläche für Gebäude, Infrastruktur, den Abbau von Rohstoffen sowie für die Belegung von Agrar- und Forstflächen
Wasser	Verbrauch von sog. blauem Wasser (Gewässer, Grundwasser), Regionalisierte Analyse von Wasserverbrauch in Regionen mit Knappheitsrisiken
Wassergefährdende Stoffe	Einträge von ausgewählten Schwermetallen (DCB-Äquivalente)
Abfälle	Gefährliche und ungefährliche Abfälle, Recycling und Entsorgung

## Treibhausgasemissionen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette nach Ländern



### VERTEILUNG AUF LIEFERKETTENSTUFEN

- Etwa ein Viertel auf Stufe der direkten Lieferanten (tier 1) – hoher Einflussbereich der Unternehmen der Elektronikindustrie
- Großteil auf Stufen der indirekten Lieferanten (tier 2-n)

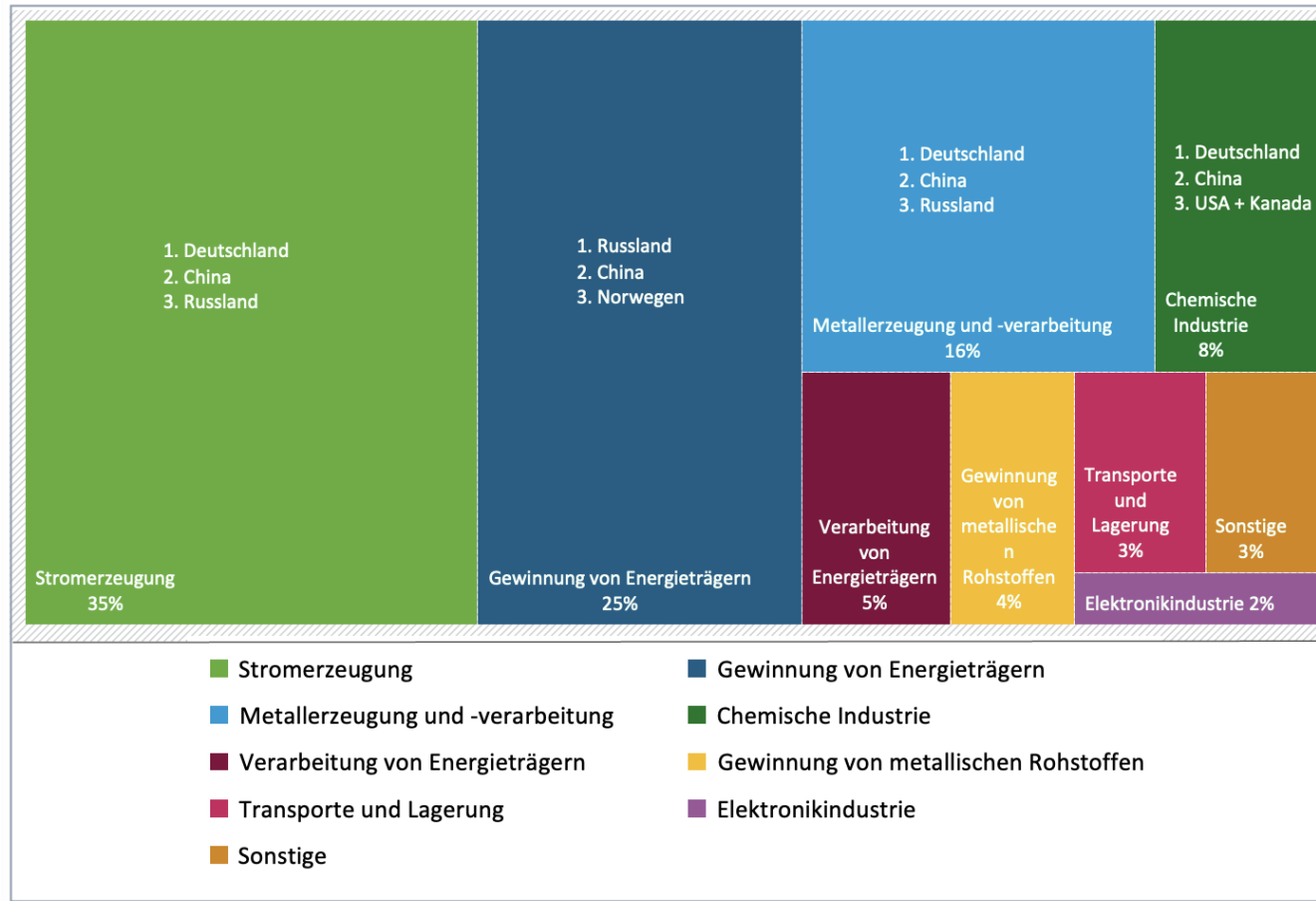
### GEOGRAFISCHE VERTEILUNG

- Großteil der THG-Emissionen bereits innerhalb Deutschlands (38 %) – guter Zugriff in der Lieferkette
- Weitere 35 % der Gesamtemissionen im europäischen Ausland, darunter in Ländern mit hohem Anteil an fossilen Energieträgern wie Polen mit hohen Mengen an Kohlestrom
- 12 % der Emissionen durch Vorleistungen in China

Geographische Verteilung der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette.

Quelle: Eigene Darstellung, Systain auf Basis von MRIO mittels EXIOBASE 3.7. Modellierung für das Jahr 2019.

## Sektorale Verteilung der Treibhausgasemissionen in der vorgelagerten Wertschöpfungskette



Sektorale Verteilung der Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette.

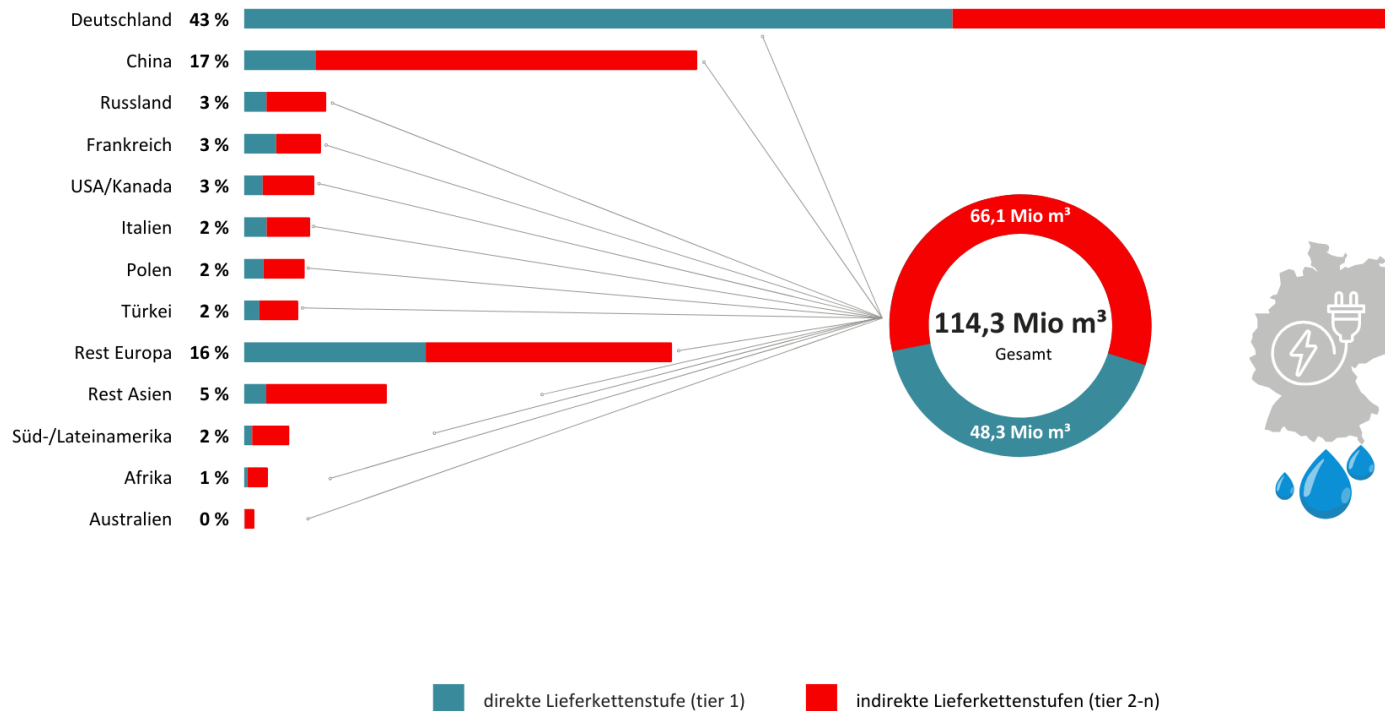
Quelle: Eigene Darstellung, Systain auf Basis von MRIO mittels EXIOBASE 3.7. Modellierung für das Jahr 2019.

### SEKTORALE VERTEILUNG

- Die Stromerzeugung entlang der gesamten Wertschöpfungskette macht ein Drittel der Emissionen aus.
- Ein Viertel durch die Gewinnung von Energieträgern sowohl zur Energieerzeugung als auch zur stofflichen Nutzung wie z. B. Polymere für die Kunststoffherzeugung
- 16 % gehen auf den Vorleistungssektor der Metallerzeugung und -verarbeitung zurück.
- Sowohl Energieeffizienzmaßnahmen als auch der Wechsel auf erneuerbare Energiequellen bei Lieferanten und Vorlieferanten besitzt erhebliches Reduktionspotential von THG-Emissionen in der Lieferkette.



## Wasserverbrauch in der vorgelagerten Wertschöpfungskette nach Ländern I



### VERTEILUNG AUF LIEFERKETTENSTUFEN

- Verteilung des Wasserverbrauchs zu 42 % auf die Stufe der direkten Lieferanten (tier 1) und zu 58 % auf die weiter vorgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette (tier 2 und höher).

### GEOGRAFISCHE AUFTEILUNG

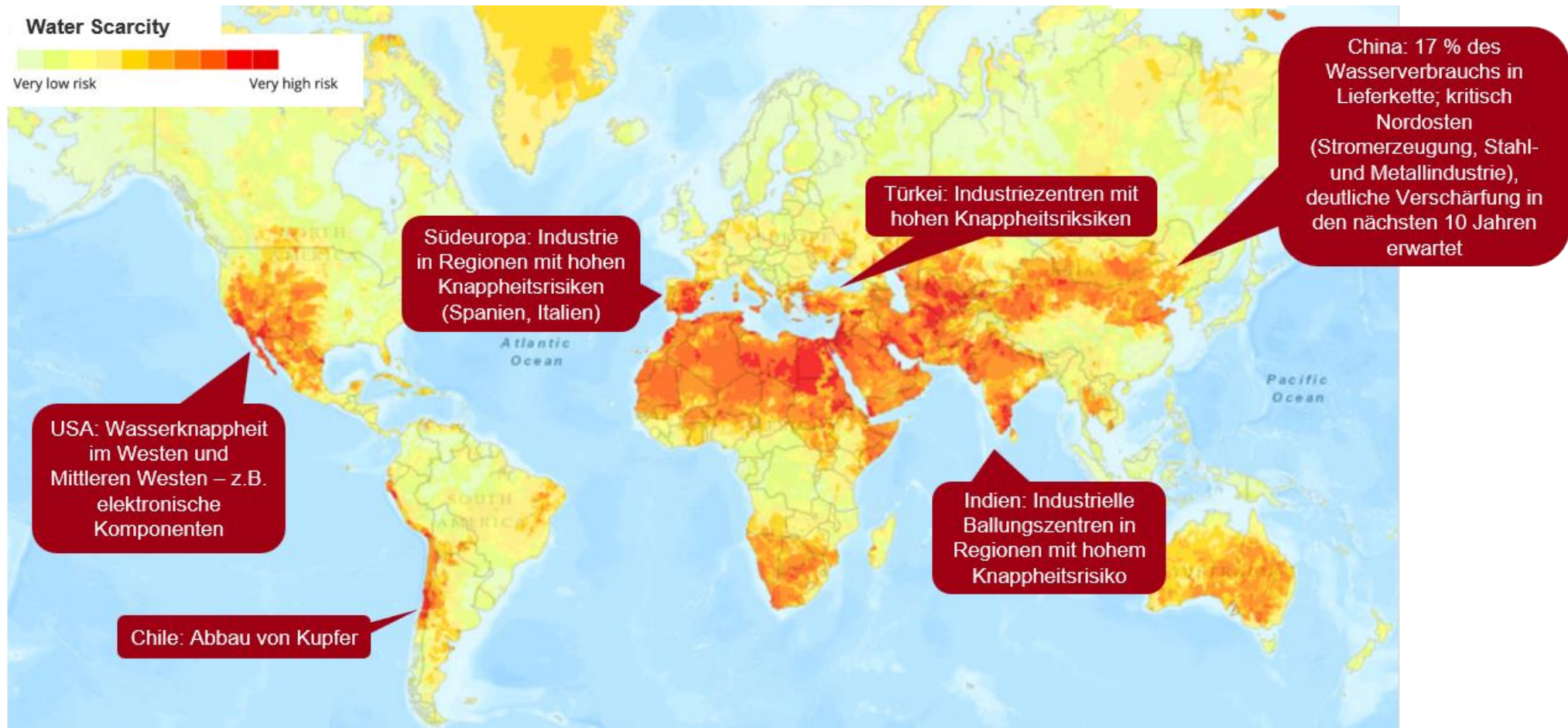
- 43 % des Verbrauchs von ‚blauem Wasser‘ in der vorgelagerten Wertschöpfungskette innerhalb Deutschlands
- Im restlichen Europa 29 % des Wasserverbrauchs, darunter in Ländern mit hohen Knappheitsrisiken wie Italien, Türkei, Spanien
- 17 % des Wasserverbrauchs in China, dort v.a. in den tieferen Lieferkettenstufen
- 5 % im Rest Asiens, v.a. Indien und Japan

Geographische Verteilung des Wasserverbrauchs entlang der Wertschöpfungskette.

Quelle: Eigene Darstellung, Systain auf Basis von MRIO mittels EXIOBASE 3.7. Modellierung für das Jahr 2019.

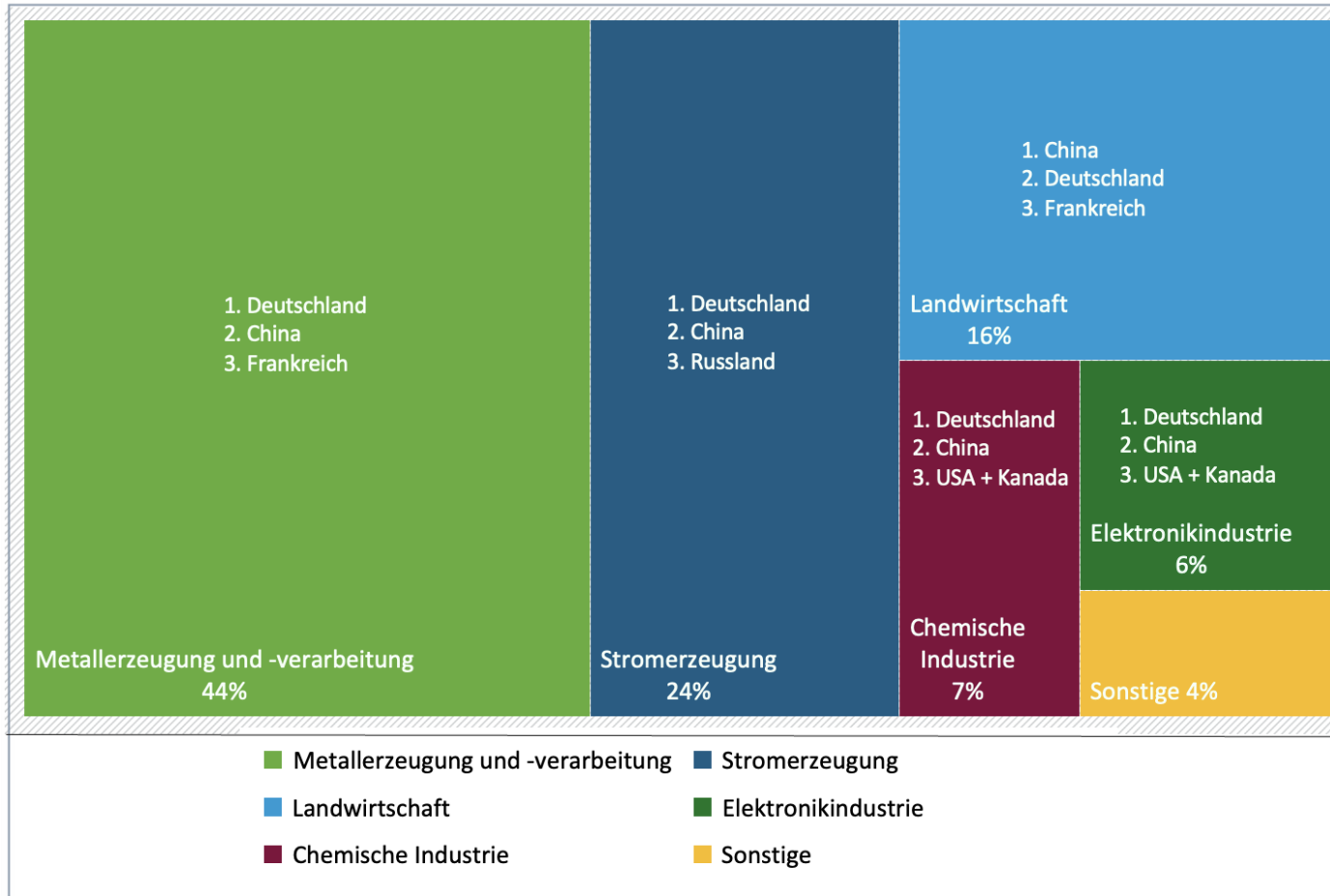
## Wasserverbrauch in der vorgelagerten Wertschöpfungskette nach Ländern II

### WASSERVERBRAUCH IN REGIONEN MIT HOHEN WASSERKNAPPHEITSRISIKEN



Quelle: WWF Water Risk Filter (<https://riskfilter.org/water/explore/map>)

## Sektorale Verteilung des Wasserverbrauchs in der vorgelagerten Wertschöpfungskette



### SEKTORALE VERTEILUNG

- 44 % durch metallerzeugende und -verarbeitende Branche (Kühlung, Staubkontrolle, Löschung in der Kokerei, Abführung von Abfällen) – vor allem innerhalb Deutschlands
- Ein Viertel durch die Stromerzeugung entlang der vorgelagerten Wertschöpfungskette, v.a. Deutschland, China, Russland – Energieeffizienzmaßnahmen und der Wechsel auf Grünstrom reduzieren auch den Wasserverbrauch
- 16 % Landwirtschaftssector zur Gewinnung von chemischen Grundstoffen z.B. für Lösemittel, Lacke, Klebmittel, Harze etc. sowie für biogene Energieträger

Sektorale Verteilung des Wasserverbrauchs entlang der Wertschöpfungskette.

Quelle: Eigene Darstellung, Systain auf Basis von MRIO mittels EXIOBASE 3.7. Modellierung für das Jahr 2019.



- **Kupfer**



- **Gold**



- **Zinn**

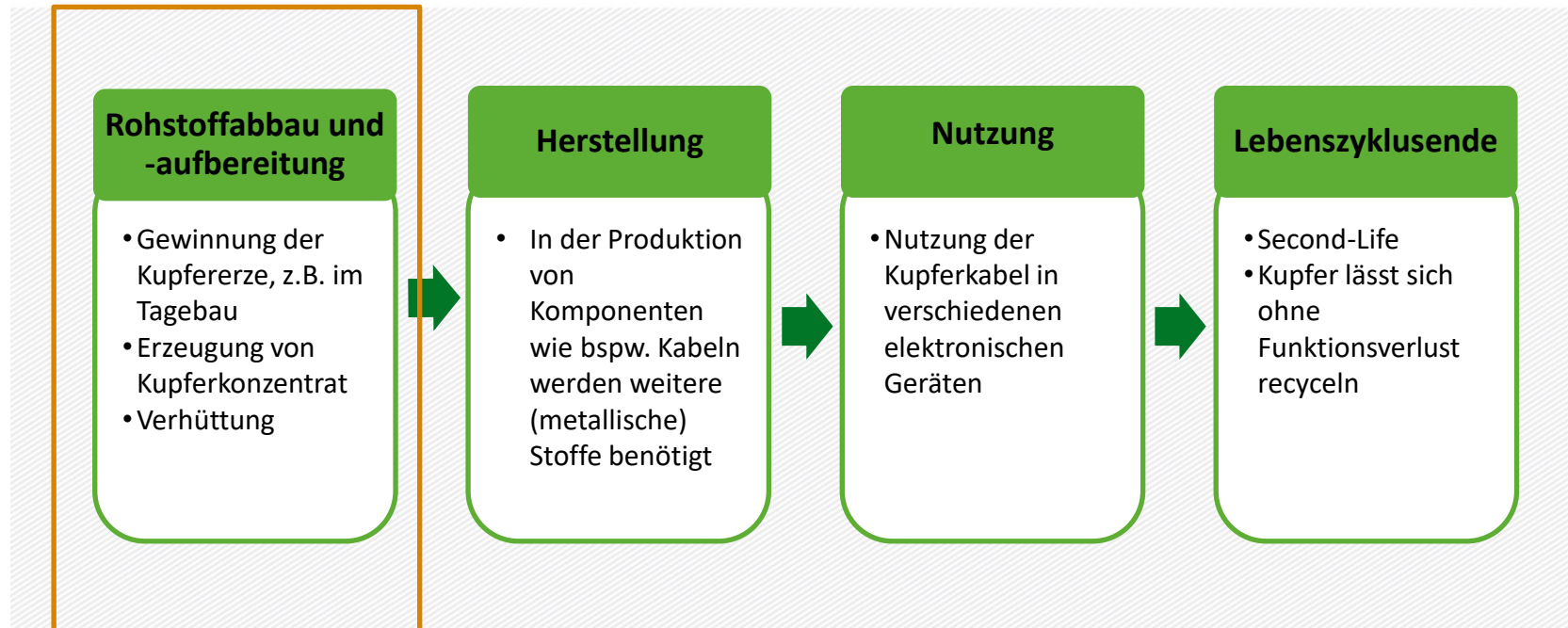


- **Herstellungsprozess  
Halbleiterchips**

# 3 FOKUSTHEMEN

## Rolle von Kupfer in der Elektronikindustrie

### ÜBERBLICK ÜBER DEN LEBENSZYKLUS VON KUPFER IN DER ELEKTRONIKINDUSTRIE – BEISPIEL KUPFERKABEL



Aufgrund seiner guten Leitfähigkeit kommt Kupfer in der Elektronikindustrie in großen Mengen und in zahlreichen Funktionen zum Einsatz. Der Elektroniksektor ist eines der Hauptverwendungsgebiete von Kupfer.

Kupfer wird insbesondere für die Herstellung von Kabel, Leitungen, Draht, Steckverbindungen, Transformatoren, Leiterplatten und Batterien verwendet.

Quelle: Eigene Darstellung.



## Eckdaten zur (Umwelt)Governance - Kupferabbau

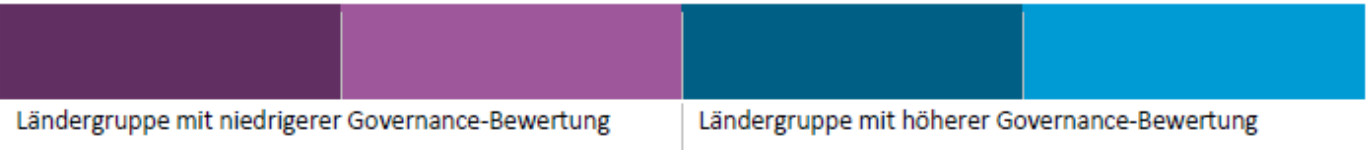
	Hauptproduktionsländer	EPI (Yale University)	Durchschnittswert der WGI (Weltbank)
Kupferabbau	Chile	46,7	0,75
	Peru	39,8	-0,26
	China	28,4	-0,25
	USA	51,1	1,03
	DR Kongo	36,9	-1,54
Kupfer- raffinade	China	28,4	-0,25
	Chile	46,7	0,75
	Japan	57,2	1,34

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5<sup>15</sup>

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

Hauptproduktions-länder Kupferabbau (2014-2018):

- Chile (5,7 Mio. t)
- Peru (2,0 Mio. t)
- China (1,7 Mio. t)
- USA (1,3 Mio. t)
- DR Kongo (1 Mio. t)



## Kupferabbau: Umweltbezogene Risiken

### THG-EMISSIONEN:

- Energieintensive Prozesse
- Je nach Energiequelle hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen

### FLÄCHENINANSPRUCHNAHME:

- Tagebau ist flächenintensiv; geringer Kupfergehalt im Erz führt zu großen Halden
- Global werden ca. 4.000 km<sup>2</sup> direkt durch Kupferabbau beansprucht; Beeinträchtigung Ökosysteme und Biodiversität

### LUFTSCHADSTOFFE:

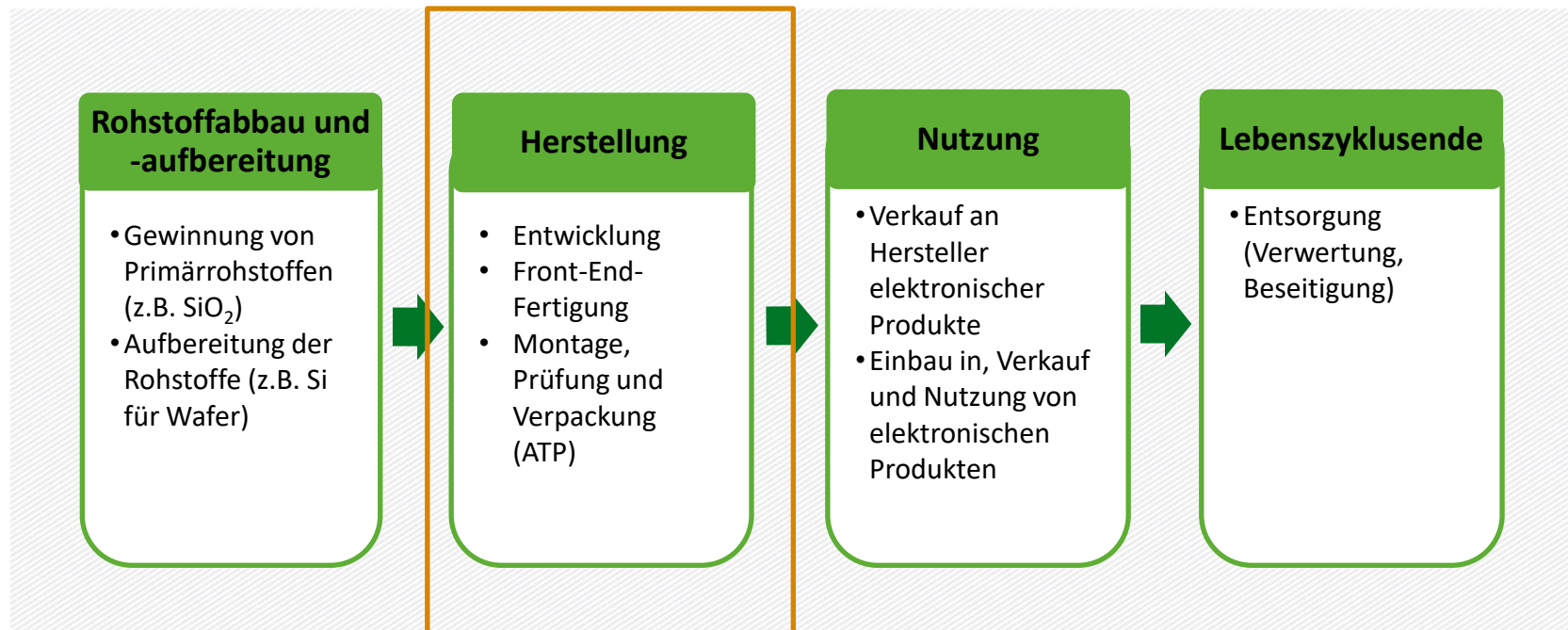
- Entstehung von SO<sub>2</sub> bei Röstung der Kupfererze
- Schädigung Pflanzen; Versauerung Böden und Gewässer; Gesundheitsschädigungen



Quelle: omid roshan – unsplash.com

## Herstellung von Halbleiterchips

### ÜBERBLICK ÜBER DEN LEBENSZYKLUS VON HALBLEITERCHIPS IN DER ELEKTRONIKINDUSTRIE



Halbleiterchips werden in der Elektronikindustrie beispielsweise in Smartphones, Elektrofahrzeugen, Windturbinen oder Solarpanels verwendet.

Durch den Gebrauch von Halbleiterchips in Zukunftstechnologien (AI, VR) und für die Energiewende ist mit einer stetig steigenden Nachfrage zu rechnen.

Quelle: Eigene Darstellung.



## Eckdaten zur (Umwelt)Governance – Herstellung von Halbleiterchips

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

Score Range: EPI: 0 bis 100; WGI: -2,5 bis 2,5<sup>24</sup>

Anzahl von 300mm-Halbleiterfabriken (2020):

- South Korea: 19
- Taiwan: 26
- Japan: 13
- China: 24
- USA: 20
- Europe & Middle East: 8
- South East Asia: 6



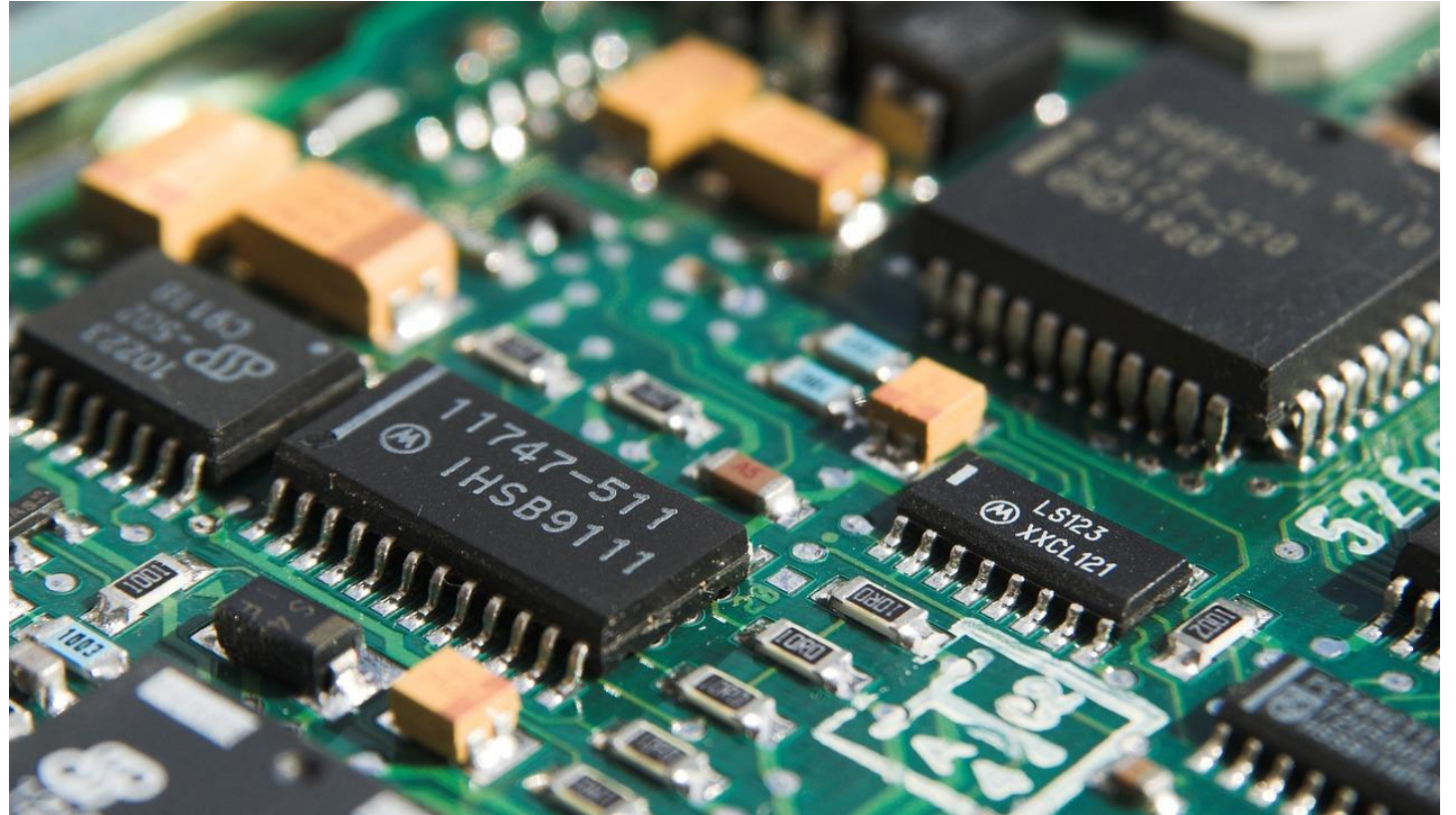
## Herstellung von Halbleiterchips: Umweltbezogene Risiken

### THG-EMISSIONEN:

- Energiebedarf für Klima- und Feuchtigkeitskontrolle, zur Abgas- und Wasserreinigung oder für Aufbereitungsanlagen
  - Je nach Energiequelle hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen
- Einsatz F-Gase beim Ätzen, Reinigen und zur Temperaturkontrolle
  - F-Gase sind je nach Substanz 100- bis 24.000-mal klimawirksamer als CO<sub>2</sub>

### WASSERVERBRAUCH:

- Hoher Verbrauch für Reinstwasser, Reinigung, Kühlung, Abgasminderung, Feuerlöschmittel
  - Wasserentnahme kann in Regionen mit Wasserstress zu Konflikten führen, z.B. mit der Agrarindustrie



Quelle: axonite – pixabay.com



## Menschenrechtliche und ökologische Auswirkungen

### Beispiel: Gold



#### ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN

Eintrag von Quecksilber in Gewässer mit negativen Auswirkungen auf Ökosysteme u. A. durch Ablagerung in Organismen



#### MENSCHENRECHTLICHE AUSWIRKUNGEN

Beeinträchtigung der Gesundheit von Bergarbeiter\*innen, Entzug von Lebensgrundlagen durch Kontaminierung von Wasser und Nahrung



#### BETROFFENE MENSCHENRECHTE

- Recht auf Gesundheit (Art. 25 AEMR; Art. 12 UNO Pakt I)
- Recht auf Wasser (Art. 11 UNO-Pakt I)
- Recht auf Nahrung (Art. 25 AEMR; Art. 11 UNO-Pakt I)



# 3 TOOLS UND HANDLUNGSOPTIONEN

## Beispiele für Tools und Datenbanken

Tool	Beschreibung
ENCORE	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bewertung der ökologischen Relevanz von Sektoren („Materiality-Ranking“)</li><li>• Entwicklung durch Natural Capital Finance Alliance und der Finanz-Initiative des UN-Umweltprogramms</li><li>• <a href="https://encorenature.org/en">https://encorenature.org/en</a></li></ul>
MVO CSR Risk Check	<ul style="list-style-type: none"><li>• Prüfung von Vorleistungssektoren</li><li>• Identifizierung lokaler Risiken anhand der „World Map“, falls Produktions- und/oder Abbaustandorte bekannt sind</li><li>• <a href="https://www.mvorisicochecker.nl/en">https://www.mvorisicochecker.nl/en</a></li></ul>
WWF Water Risk Filter	<ul style="list-style-type: none"><li>• Regionalisierte Analyse von Wasserknappheitsrisiken</li><li>• Standortbezogene Abfragen sind möglich</li><li>• <a href="https://riskfilter.org/water/explore/map">https://riskfilter.org/water/explore/map</a></li></ul>
Environmental Justice Atlas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Identifizierung von Informationen zu konkreten, lokalen negativen Verschmutzungen, Schadensfällen auf die Umwelt, Konflikten in Bezug zur Umwelt</li><li>• Daten generiert durch Institute of Environmental Science and Technology (ICTA) der Universitat Autònoma de Barcelona</li><li>• <a href="https://ejatlas.org/">https://ejatlas.org/</a></li></ul>
ÖkoRess II	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bewertung des aggregierten Umweltgefährdungspotentials von 47 mineralischen Rohstoffen bei der Rohstoffgewinnung</li><li>• Darunter auch Dimension Wasser Stress Index (WSI) und Wüstengebiete</li><li>• <a href="https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekoress-ii">https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekoress-ii</a></li></ul>
ÖkoRess III	<ul style="list-style-type: none"><li>• zur Bewertung der Umweltgefährdungspotenziale von 100 großen Bergbaustandorten für Eisenerz, Kupfer und Bauxit weltweit</li><li>• Link zu interaktiver Karte: <a href="https://ubagdi.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=cf856d775d8744d299d1585baa8934d1">https://ubagdi.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=cf856d775d8744d299d1585baa8934d1</a></li><li>• <a href="https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/pilot-screening-of-the-environmental-hazard">https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/pilot-screening-of-the-environmental-hazard</a></li></ul>
GIZ Studie	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nutzung der Ergebnisse der Studie „Menschenrechtliche und ökologische Risiken im Elektroniksektor“ zur Umsetzung unternehmerischer Sorgfaltspflichten</li><li>• <a href="https://systain.com/wp-content/uploads/2023/04/menschenrechtliche-oekologische-risiken-elektroniksektor-systain.pdf">https://systain.com/wp-content/uploads/2023/04/menschenrechtliche-oekologische-risiken-elektroniksektor-systain.pdf</a></li></ul>

## 10 Steckbriefe zu geeigneten Handlungsansätzen

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:** Punktuelle Umsetzung von Veränderungen in der Lieferkette und anschließende Ausweitung
7. **Einkauf und Lieferantenmanagement:** Zertifizierungen und Standards bei Produzenten und/oder Rohstoffen
8. **Allianzen:** Unternehmens- und branchenübergreifende Ansätze zur Schaffung nachhaltigerer Lieferketten
9. **Stoffkreisläufe:** Einsatz von Sekundärrohstoffen und Recycling von Rohstoffen
10. **Transparenz:** Die eigene Lieferkette für das Management (potenzieller) negativer Auswirkungen nachvollziehen

## Beispiel 7: Einkauf und Lieferantenmanagement

### HANDLUNGSANSATZ

Die Anwendung anerkannter Zertifizierungssysteme und Standards bei Produzenten und/oder Rohstoffen (Chain-of-Custody)

### BEITRAG ZUR VERRINGERUNG NEGATIVER AUSWIRKUNGEN

Je nach Zertifizierungssystem (z. B. für Abbauminen) Wirkung auf verschiedene Umweltaspekte und z. T. auch menschenrechtliche Aspekte wie Arbeitssicherheit

### UMSETZUNG (BEISPIEL)

Unterstützung von Lieferanten bei der Einführung von Standards

- Rückgriff auf bestehende Systeme wie z. B. Initiative for Responsible Mining Assurance (IRMA), Alliance for Responsible Mining (ARM), Copper Mark
- Gezielte Maßnahmen zur Unterstützung von Lieferanten bei der Einführung eines Standards oder Zertifizierungssystems
- Bereitstellung von Wissen, Hilfestellungen bei der Umsetzung, Incentivierungssysteme o. Ä. (anstatt der bloßen Abfrage von Zertifikaten); Vereinbarungen von Abnahmegarantien, um Kostenrisiken für Lieferanten zu reduzieren
- Grundlage: Aufbau einer vertrauensvollen und langfristigen Lieferbeziehung



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

## Fachbegleitung UBA

**Christoph Töpfer**, Fachgebiet I 1.8 – Nachhaltige Unternehmen, Sustainable Finance, Umweltkosten, [christoph.toepfer@uba.de](mailto:christoph.toepfer@uba.de)

**Jan Kosmol**, Fachgebiet III 2.2 – Ressourcenschonung, Stoffkreisläufe, Mineral- und Metallindustrie, [jan.kosmol@uba.de](mailto:jan.kosmol@uba.de)

## Forschungsteam

**Carolyn Grüning**, adelphi research gGmbH, [gruening@adelphi.de](mailto:gruening@adelphi.de)

**Norbert Jungmichel**, Systain Consulting GmbH, [norbert.jungmichel@systain.com](mailto:norbert.jungmichel@systain.com)

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



Jahre  
Umweltbundesamt  
1974–2024