

TEXTE

28/2017

# Vereinfachte Umweltbewertung des Umweltbundesamtes (VERUM 2.0)



TEXTE 28/2017

Projektnummer 48059

## **Vereinfachte Umweltbewertung des Umweltbundesamtes (VERUM 2.0)**

Überarbeitete Fassung

**Bearbeitung:**

Dr. Markus Berger, Prof. Dr. Matthias Finkbeiner  
Fachgebiet Sustainable Engineering, Institut für Technischen Umweltschutz,  
Technische Universität Berlin

Im Auftrag und unter aktiver Mitarbeit des Umweltbundesamtes

**Kernteam:**

Christiane Markard (Projektleitung), Bernd Kirschbaum, Michael Angrick,  
Lilian Busse, Marcel Langner, Klaus Müschen, Bettina Rechenberg,  
Jörg Rechenberg

**Arbeitsgruppe:**


Corinna Baumgarten, Christian Fabris, Roland Fendler, Ulrich Gromke,  
Joachim Heidemeier, Almut Jering, Jan Kosmol, Anja Lüdecke,  
Volker Mohaupt, Heinz-Jörn Moriske, Felix Müller, Thomas Myck,  
Gertrude Penn-Bressel, Almut Reichart, Gudrun Schütze, Michael Strogies,  
Regine Szewzyk, Jens Utermann

Thomas Jung (Bundesamt für Strahlenschutz)

# Impressum

**Herausgeber:**

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

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

**Durchführung der Studie:**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau

**Abschlussdatum:**

Dezember 2016

**Redaktion:**

Fachgebiet II 2.1 Übergreifende Angelegenheiten Wasser und Boden

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, März 2017

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

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	4
Abbildungsverzeichnis .....	6
Tabellenverzeichnis .....	7
Glossar .....	9
1 Einleitung .....	11
1.1 Ökologische Bewertungen im Umweltbundesamt .....	11
1.2 Möglichkeiten und Grenzen einer vereinfachten Umweltbewertung .....	11
2 Ablauf der Vereinfachten Umweltbewertung .....	13
3 Zieldefinition und Vorprüfung .....	15
3.1 Ziel .....	15
3.2 Prüfung der Notwendigkeit .....	15
3.3 Beschreibung des Produktlebensweges .....	15
3.4 Ermittlung des Belastungsprofils .....	16
4 Spezifizierung des Untersuchungsrahmens .....	20
4.1 Funktionelle Einheit und Referenzflüsse .....	20
4.2 Systemgrenzen und Abschneidekriterien .....	20
4.3 Anforderungen an die Daten .....	21
4.4 Zusätzliche Annahmen und Einschränkungen .....	21
5 Belastungsermittlung .....	22
5.1 Qualitative Belastungsermittlung .....	22
5.2 Quantitative Belastungsermittlung .....	23
5.2.1 Vorgehen .....	23
5.2.2 Datenquellen .....	25
5.2.3 Allokation bei Kuppelprodukten .....	25
5.2.4 Allokation bei Recycling/Einsatz von Sekundärmaterialien .....	27
6 Belastungsbewertung .....	28
6.1 Chemische Belastungen .....	30
6.1.1 Treibhausgase .....	30
6.1.2 Luftschadstoffe .....	31
6.1.3 Stoffbelastungen im Innenraum .....	34
6.1.4 Abwasser .....	37
6.1.5 Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge in Wasser und Boden .....	41
6.2 Physikalische Belastungen .....	43
6.2.1 Lärm .....	43

6.2.2	Strahlung .....	45
6.2.3	Mechanische Tötung von Tieren .....	48
6.3	Biologische Belastungen.....	50
6.3.1	Mikrobielle Belastung .....	50
6.3.2	Invasoren .....	52
6.4	Ressourceninanspruchnahme .....	53
6.4.1	Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger .....	53
6.4.2	Verbrauch biotischer Rohstoffe .....	57
6.4.3	Wasserverbrauch .....	58
6.4.4	Naturraumbeanspruchung.....	60
6.5	Sonstige Belastungen .....	64
6.5.1	Störfälle/Unfälle .....	64
6.5.2	Auswirkungen auf Sachgüter .....	66
6.5.3	Gerüche .....	69
6.5.4	Auswirkungen auf die Landschaftsästhetik .....	70
6.6	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	71
6.6.1	Darstellung in Formblatt .....	71
6.6.2	Priorisierung der Belastungskategorien.....	72
7	Auswertung .....	73
7.1	Selbstkritische Prüfung.....	73
7.2	Analyse signifikanter Parameter .....	73
7.3	Untersuchung systemübergreifender Effekte .....	74
7.4	Prüfung der Aussagesicherheit .....	75
7.5	Schlussfolgerungen & weitere Schritte.....	76
8	Literatur .....	77
Anhang	.....	85
Anhang 1	Bewertung des Versorgungsrisikos abiotischer Rohstoffe.....	86
Anhang 2	Auf Länderebene aggregierte AWaRe Faktoren (Boulay et al. 2016) für die Anwendung bei allgemeinen, landwirtschaftlichen und nicht landwirtschaftlichen Fallstudien .....	89
Anhang 3	Ist-Zustand und Handlungsziele für terrestrische Naturraumbeanspruchung.....	93
Anhang 4	Zusammenfassende Bewertung (Vorlage) .....	94
Anhang 5	Bearbeitungsbogen für VERUM-Studien.....	95
Anhang 6	Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung aller Belastungskategorien.....	96
Anhang 7	Abschätzung der nationalen Emissionsmengen für Luftschadstoffe .....	100

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Schematischer Verfahrensablauf der vereinfachten Umweltbewertung .....	13
Abbildung 2	Beispielhafte Skizze des Lebensweges eines Kupferkabels .....	15
Abbildung 3	Beispielhaftes Ergebnis der qualitativen Belastungsermittlung der Herstellung eines Kupferkabels.....	22
Abbildung 4	Ergebnis der quantitativen Belastungsermittlung für die Herstellung eines Kupferkabels (theoretische Werte).....	24
Abbildung 5	Kuppelprodukte der Erdölraffination.....	26
Abbildung 6	Qualitative Risikoabschätzung für VOC-Immissionen in Innenräumen über Gefährlichkeit des Stoffes und Exposition (grün = geringes Risiko, gelb = mittleres Risiko, rot = hohes Risiko) .....	34
Abbildung 7	Risikobewertung für Schadstoffe im Abwasser über Gefährlichkeit und Exposition (grün = geringes Risiko, gelb = mittleres Risiko, rot = hohes Risiko) .....	39
Abbildung 8	Risikobewertung über Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß (grün = geringes Risiko, gelb = mittleres Risiko, rot = hohes Risiko).....	50
Abbildung 9	Google Earth (Google Inc. 2010) Layer zur Darstellung globaler Wasserknappheitsverhältnisse mittels AWaRe .....	58
Abbildung 10	Risikobewertung über Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß (grün = geringes Risiko, gelb = mäßig, rot = hoch) .....	64
Abbildung 11	Treibhausgasemissionen der Fernbusverkehrs und vermiedene Treibhausgasemissionen durch eingesparte PKW Fahrten .....	75
Abbildung 12	Auf Gesamtbelastung und Aussagesicherheit basierendes Schema zur Festlegung, ob weiterführende Analysen notwendig sind oder nicht .....	76

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Chemische Belastungen: Welche Belastungskategorien sind in VERUM zu analysieren? .....	16
Tabelle 2	Physikalische Belastungen: Welche Belastungskategorien sind in VERUM zu analysieren? .....	17
Tabelle 3	Biologische Belastungen: Welche Belastungskategorien sind in VERUM zu analysieren? .....	17
Tabelle 4	Ressourceninanspruchnahme: Welche Belastungskategorien sind in VERUM zu analysieren? .....	18
Tabelle 5	Sonstige Belastungen: Welche Belastungskategorien sind in VERUM zu analysieren? .....	18
Tabelle 6	Überblick über quantitative und qualitative Bewertungsmodelle.....	23
Tabelle 7	Datenquellen für die quantitative Belastungsermittlung.....	25
Tabelle 8	Erheblichkeitsschwelle für Umweltbelastungen (nach Bechmann (1998) verändert).....	29
Tabelle 9	Bewertungsmodell für die Belastung durch Treibhausgase.....	30
Tabelle 10	Zielwerte für nationale Emissionen und daraus abgeleitete Faktoren zur Gewichtung der Emissionen von Luftschadstoffen (kt = Kilotonne).....	32
Tabelle 11	Bewertungsmodell für die Belastung durch Luftschadstoffe .....	33
Tabelle 12	Bewertungsmodell für die Belastung durch Stoffe im Innenraum/Bauprodukte.....	35
Tabelle 13	Bewertungsmodell für die Belastung durch Stoffe im Innenraum/VOC .....	36
Tabelle 14	Bewertungsmodell für die Belastung durch Stoffe im Innenraum/Feinstaub .....	36
Tabelle 15	Diffuse und punktförmige Stoffeinträge in die Oberflächengewässer Deutschlands (Fuchs et al. 2016 unveröffentlicht) .....	37
Tabelle 16	Beispielhafter quantitativer Vergleich der Emissionsfaktoren für Nährstoffe zweier Verfahren .....	38
Tabelle 17	Abschätzung nationaler Emissionsmengen relevanter Schadstoffe (UBA 2013b)..	39
Tabelle 18	Bewertungsmodell für die Belastung durch Nährstoffe oder Schadstoffe aus Punktquellen in Gewässer.....	40
Tabelle 19	Bewertungsmodell für die Belastung durch diffuse Nährstoff- und Schadstoffeinträge in Wasser und Böden.....	42
Tabelle 20	Bewertungsmodell für die Belastung durch Umgebungslärm .....	44
Tabelle 21	Bewertungsmodell für die Belastung durch Lärm in Innenräumen .....	44
Tabelle 22	Bewertungsmodell für die Belastung durch ionisierende Strahlung .....	46
Tabelle 23	Bewertungsmodell für die Belastung durch elektrische-, magnetische und elektromagnetische Felder.....	47
Tabelle 24	Bewertungsmodell für die Belastung durch mechanische Tötung von Tieren.....	49
Tabelle 25	Bewertungsmodell für die mikrobielle Belastung.....	51



Tabelle 26	Bewertungsmodell für die Belastung durch Invasoren.....	52
Tabelle 27	Kategorien, Kriterien und Indikatoren der Kritikalitätsdimension Versorgungsrisiko des Verbrauchs mineralischer Rohstoffe .....	53
Tabelle 28	Bewertungsmodell für die Belastung durch den Verbrauch abiotischer Rohstoffe ohne fossile Energieträger .....	55
Tabelle 29	Bewertungsmodell für die Belastung durch den Verbrauch abiotischer Rohstoffe für fossile Energieträger .....	56
Tabelle 30	Bewertungsmodell für die Belastung durch den Verbrauch biologischer Ressourcen.....	57
Tabelle 31	Bewertungsmodell für die Belastung durch Wasserverbrauch.....	59
Tabelle 32	Bewertungsmodell für die Belastung durch Flächeninanspruchnahme .....	62
Tabelle 33	Bewertungsmodell für die Belastung durch Naturraumbeanspruchung .....	62
Tabelle 34	Bewertungsmodell für die Belastung durch Störfälle/Unfälle.....	65
Tabelle 35	Bewertungsmodell für die Belastung durch Auswirkungen auf Sachgüter .....	68
Tabelle 36	Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Kategorie Gerüche im Außenbereich .....	69
Tabelle 37	Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorie Gerüche im Innenraum.....	69
Tabelle 38	Bewertungsmodell für Auswirkungen auf die Landschaftsästhetik.....	70
Tabelle 39	Beispielhafte Darstellung des Vergleichs eines Kupfer-, Silber- und Aluminiumkabels (keine realen Ergebnisse .....	71
Tabelle 40	Kriterien für die Bewertung der Aussagesicherheit.....	75

## Glossar

Die Erläuterung der folgenden Begriffe wurde im Wesentlichen dem ISO Standard zu Ökobilanzen (ISO 14040 2006) entnommen. Zur Veranschaulichung wurden teilweise Beispiele aus den VERUM Fallstudien ergänzt.

### Lebensweg

Die Ökobilanzmethode, auf der die VERUM-Methode basiert, berücksichtigt die aufeinander folgenden und miteinander verbundenen Stufen eines Produktsystems (Lebenswegbetrachtung). Diese reichen in der Regel vom Rohstoffeinsatz (z.B. Metalle, Treibstoffe, landwirtschaftliche Produkte), über die Herstellungsphase und die Nutzungsphase (z.B. Stromnutzung für Elektrogeräte, Kraftstoff für Fahrzeuge, Wassernutzung für Hygieneprodukte) bis hin zur endgültigen Beseitigung.

### Funktionelle Einheit

Um verschiedene Optionen vergleichen zu können wird der Nutzen der Produktsysteme quantifiziert und als Vergleichseinheit verwendet.

Beispiel: Es werden verschiedene Händetrocknungssysteme verglichen: a. Papierhandtücher (Primärfasern), b. Baumwollstoffrolle und c. Warmluft-Gebläsetrockner. Der Nutzen ist das Trocknen von Händen. Dieser wird quantifiziert, die funktionelle Einheit ist das Trocknen von 1000 Paar Hände. Es kann eine beliebige Zahl gewählt werden.

### Referenzfluss

Der Referenzfluss ist das Maß für die Outputs (siehe Definition Output) eines vorhandenen Produktsystems, die zur Erfüllung der Funktion (ausgedrückt durch die funktionelle Einheit) erforderlich sind.

Beispiel: Es werden verschiedene Händetrocknungssysteme verglichen: a. Papierhandtücher (Primärfasern), b. Baumwollstoffrolle und c. Warmluft-Gebläsetrockner. Die funktionelle Einheit ist die Trocknung von 1000 Paar Hände. Die Referenzflüsse sind: a. 2000 Stück Papier, äquivalent zu 4,6 kg; b. 187 g Baumwollstoff, 100mal nutzbar; c. 1200-3750 m<sup>3</sup> Warmluft, äquivalent zu 13,3-20 kWh

### Systemgrenzen

Satz von Kriterien zur Festlegung, welche Prozessmodule Teil eines Produktsystems sind.

Beispiel: Es werden verschiedene Händetrocknungssysteme verglichen: a. Papierhandtücher (Primärfasern), b. Baumwollstoffrolle und c. Warmluft-Gebläsetrockner. Die funktionelle Einheit ist die Trocknung von 1000 Paar Hände.

Die Systemgrenzen legen fest, welche Stufen der Lebenswege der zu vergleichenden Produkte berücksichtigt werden und welche nicht.

- a. Es werden Holzverbrauch, Zellstoffherstellung, Papierherstellung und Handtuchspender berücksichtigt. Die Verpackung der Papierhandtücher, deren Entsorgung und der Transport werden aus der Betrachtung ausgeschlossen
- b. Baumwollverbrauch, Faserherstellung, Stoffherstellung, Reinigung und Handtuchspender werden berücksichtigt. Verpackung und Entsorgung werden aus der Betrachtung ausgeschlossen.
- c. Die Herstellung des Trockners und die Energienutzung inklusive Stand-by Verluste werden berücksichtigt. Die Entsorgung des Geräts ist ausgeschlossen.

In diesem Beispiel werden die Systemgrenzen konsistent gewählt, indem z.B. die Entsorgung, Verpackung und Transportwege für alle Alternative ausgeschlossen werden. Es sollte jedoch darauf geachtet werden, dass Stufen des Produktsystems mit einer hohen Umweltbelastung nicht unberücksichtigt bleiben.

## **Input**

Ein Input ist ein Produkt-, Stoff- oder Energiefluss (Energieeinsatz), der einem Prozessmodul (z.B. einem Produktionsschritt) zugefügt wird. Beispiele für Inputs sind voneinander unabhängig produzierte Teile, die zu einem Produkt zusammengestellt werden, Rohstoffe, die im Prozessmodul verarbeitet werden, oder Energie, die für die Produktion oder die Nutzung eines Produktes (z.B. im Fall von Elektrogeräten oder Fahrzeuge) benötigt wird.

## **Output**

Ein Output ist ein Produkt-, Stoff oder Energiefluss, der von einem Prozessmodul abgegeben wird. Beispiele für Outputs eines Produktionsprozesses sind Abwasser, Emissionen in Luft und Boden, feste Abfälle sowie nutzbare Produkte.

## **Produktebene**

In der VERUM-Methode findet die Bewertung zunächst auf der Produktebene statt. Dies bedeutet, dass verschiedene Produkte oder Dienstleistungen, die demselben Zweck dienen, basierend auf der funktionalen Einheit miteinander verglichen werden. Anhand des Abschneidens jeder Produktalternative in den verschiedenen Belastungskategorien und der Priorisierung letzterer wird eine Rangfolge gebildet.

## **Gesamtbelastung auf der makroökonomischen Ebene**

Die Makroebene oder Produktgesamtheit ist die zweite Stufe der Bewertung in VERUM. Dabei werden die Umweltauswirkungen der Gesamtheit der betrachteten Produkte in Deutschland berücksichtigt. Die Bewertungskriterien orientieren sich dabei auf politische Ziele, gesetzlich festgelegte Grenzwerte und Leitlinien von Expertengremien. Es werden z.B. der Beitrag der Papierhandtücher zum Holzabbau Holzverbrauch und der Einfluss des Stromverbrauchs durch Warmluft-Gebläsetrockner auf die Klimaschutzziele eingeschätzt.

## 1 Einleitung

### 1.1 Ökologische Bewertungen im Umweltbundesamt

Das Umweltbundesamt (UBA) ist eine Institution, von der Politik, Verbände und Bevölkerung Rat und Beratung erwarten. Häufig stellt sich dabei die Frage, welchen Produkten, Verfahren oder Dienstleistungen (im Folgenden „Produkt“) unter Umweltgesichtspunkten der Vorzug zu geben ist.

Ökologische Bewertungen des UBA zielen nicht auf Qualitätstests von Produkten ab. Es geht vielmehr darum, die Umweltfolgen eines Produktes, eines Verfahrens oder einer Dienstleistung (z.B. Transport von Waren, Beleuchtung, Energieerzeugung) zu bewerten oder zu vergleichen. Häufig geht es primär darum zu prüfen, ob eine bestimmte ökologische Verbesserung (z.B. Energieersparnis), nicht durch Verschlechterungen in einer oder mehreren anderen Umweltkategorien erkauft wird (z.B. höhere Schadstoffeinträge), die den vermeintlichen Vorteil wieder zunichtemachen.

Das Umweltbundesamt hat dabei den Anspruch, die fachlichen Grundlagen, auf denen es Umweltbewertungen vornimmt, vergleichbar, objektiv und transparent zu machen. Ein fachlich bereits über längere Zeiträume erprobter Ansatz ist die Ökobilanzmethode, für die auch ISO-Normen existieren (ISO 14040 2006; ISO 14044 2006). Die Ökobilanz ist ein Verfahren zur systematischen Analyse der Umweltwirkungen von Produkten entlang des Lebensweges, also von der Rohstoffgewinnung, über Herstellung und Nutzung bis hin zur Entsorgung. Für komplexe Fragestellungen und solche von großer Tragweite wird sie auch weiterhin die Methode der Wahl sein.

Das UBA ist jedoch im alltäglichen Geschäft zunehmend gefordert, umweltbezogene Bewertungen oder Vergleiche auch für weitere Nutzungsabwägungen und bislang nicht berücksichtigte Risiken wie zum Beispiel Hygieneanforderungen zu machen. Zudem muss das UBA in kurzer Zeit mit einer oftmals beschränkten Datengrundlage auskommen. In politischen Entscheidungsprozessen über ökologische Vorteile alternativer Technologien und Produkte besteht oft die Notwendigkeit, kurzfristig eine Erstbewertung oder Empfehlung abzugeben, ob eine Neuentwicklung einen entscheidenden Umweltvorteil bietet, der gegebenenfalls eine weitere Unterstützung (Forschung und Entwicklung, Umweltinvestitionsprogramme) oder Förderung (Subventionierung, Blauer Engel etc.) rechtfertigt. Daher ist der Bedarf für eine vereinfachte, transparente, systematische und einheitliche umweltbezogene Bewertungsmethodik im UBA gegeben.

### 1.2 Möglichkeiten und Grenzen einer vereinfachten Umweltbewertung

Ziel der **vereinfachten Umweltbewertung (VERUM)** ist es, auch ohne vollständige, quantitative Untersuchungen, wie sie bei einer Ökobilanz oder Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt werden, zu einer ersten plausiblen Umweltbewertung zu kommen. Entsprechend der im nächsten Kapitel beschriebenen Methode werden relevante Umweltbelastungen systematisch geprüft und bewertet. Auf diese Weise wird eine transparente und belastbare Ersteinschätzung über die Art und den Grad der Umweltbelastung eines Produktes ermöglicht.

VERUM beruht auf den zwei Grundsätzen „so gut wie möglich“, aber auch „Anwendbarkeit vor Genauigkeit“. Die zu untersuchenden Alternativen sollen also möglichst umfangreich und auf der bestmöglichen Datenbasis bewertet werden. Dennoch sind Vereinfachungen und Abschätzungen zulässig, um die Anwendbarkeit auch bei schwieriger Datenlage zu gewährleisten.

Die Unzulänglichkeiten einer vereinfachten Systematik hinsichtlich Genauigkeit und Vollständigkeit sind dann akzeptabel, wenn sie offengelegt werden. Zumindest kann ein Risikoscreening deutlich machen, welche Vor- und Nachteile der Alternativen bei einem – gegebenenfalls detaillierteren – Vergleich gegeneinander abgewogen werden müssen und wie groß deren Bedeutung ist. Ein detaillierterer Vergleich mit einer international anerkannten Methode ist insbesondere dann

erforderlich, wenn es sich um eine politisch relevante Fragestellung handelt (Beispiel Getränkeverpackung).

Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass VERUM bei entsprechend guter Datenlage ein sehr aussagekräftiges Ergebnis erzielen kann, das aufgrund der vielseitigen zu analysierenden Belastungskategorien (Lärm, mikrobielle Belastungen, Gerüche, etc.) über den Umfang etablierter Methoden (z.B. Ökobilanz) hinausgehen kann.

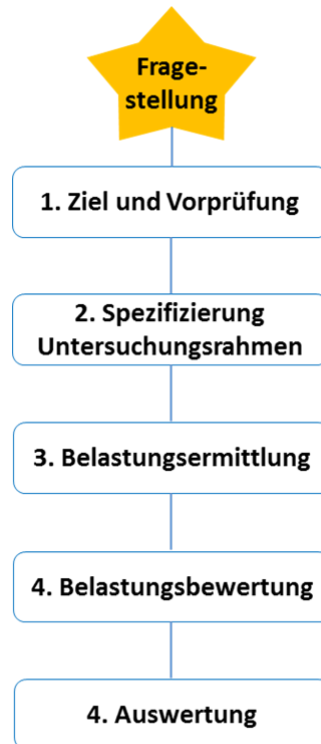
Vereinfachte Umweltbewertungen sollen – gemäß dem Aufgabenbereich des UBA – aus der Sicht des Umweltschutzes (inklusive der menschlichen Gesundheit) ohne Abwägung ökonomischer und sozialer Auswirkungen erstellt werden. Zu beachten ist, dass sie nur einen wenn auch wichtigen Aspekt im Rahmen komplexer Entscheidungsprozesse liefern, die gegebenenfalls durch ökonomische, soziale und technische Randfaktoren relativiert werden können.

Eine regelmäßige Aktualisierung ist vorgesehen. Die vorliegende Fassung ist eine Aktualisierung der Fassung von 2014. Die darin vorgenommenen Überarbeitungen betreffen zunächst die Aktualisierung von Daten und Methoden. Zudem wurden die zu betrachtenden Umweltkategorien erweitert. Schließlich zeigten die Erfahrungen aus den verschiedenen Fallstudien, dass bei einigen Umweltkategorien eine Neujustierung der Bewertung erforderlich war, um auch positive Entwicklungen angemessen abzubilden.

## 2 Ablauf der Vereinfachten Umweltbewertung

Um eine transparente und reproduzierbare Analyse zu gewährleisten, läuft VERUM nach dem in Abbildung 1 dargestellten Verfahren ab.

**Abbildung 1** Schematischer Verfahrensablauf der vereinfachten Umweltbewertung



Die zu untersuchende Fragestellung ergibt sich aus internen Diskussionsprozessen oder wird durch Externe an das UBA herangetragen.

Im ersten Schritt erfolgen die **Zieldefinition** und die **Vorprüfung**. Darin werden die Gründe für die Durchführung spezifiziert und geprüft, ob eine Umweltprüfung überhaupt notwendig ist. Weiterhin werden der Lebensweg des zu untersuchenden Produktes grob beschrieben und in Abstimmung mit den jeweiligen Fachabteilungen analysiert, welche relevanten Belastungen entlang des Produktlebensweges auftreten.

Anschließend wird die VERUM entsprechend der im Folgenden geschilderten Methodik fortgesetzt. Es ist zu beachten, dass die dargestellten Phasen nicht immer starr nacheinander abgearbeitet werden können und in vielen Fällen ein iteratives Vorgehen sinnvoll und notwendig ist.

Die Zieldefinition und die Vorprüfung der VERUM sind in jedem Fall durchzuführen. In Einzelfällen kann es jedoch sinnvoll sein, nach der Vorprüfung direkt mit einer international anerkannten oder standardisierten Bewertungsmethode fortzufahren.

Bei der **Spezifizierung des Untersuchungsrahmens** werden die Bezugsgröße und die genauen Systemgrenzen festgelegt sowie Annahmen und Einschränkungen erläutert.

In der **Belastungsermittlung** wird zunächst analysiert, welche innerhalb der Systemgrenzen liegenden Prozesse relevante Umweltbelastungen, wie Emissionen, Rohstoffverbrauch oder Flächenbelegungen, verursachen. Für diejenigen Belastungskategorien, denen ein quantitatives Bewertungsmodell zugrunde liegt, werden anschließend möglichst quantitative Belastungsdaten erhoben. Für andere

Belastungskategorien genügt in der Regel zunächst die Identifizierung der Prozesse, in denen eine Belastung auftritt.

In der sich anschließenden **Belastungsbewertung** wird in jeder Belastungskategorie eine Rangfolge der zu untersuchenden Alternativen gebildet, um zu ermitteln, welche Alternative in welcher Kategorie vorteilhafter ist. Dies geschieht entweder mithilfe quantitativer Bewertungsmodelle oder durch eine Experteneinschätzung auf Grundlage der im Leitfaden festgelegten Kriterien. Sollte aufgrund der Datenlage eine quantitative Bewertung nicht möglich sein, darf auch in Belastungskategorien mit quantitativen Bewertungsmodellen eine qualitative Priorisierung der zu untersuchenden Alternativen erfolgen. Da die Rangfolge der Alternativen i.d.R. noch keine Aussage darüber zulässt, ob das Produkt insgesamt eine hohe Umweltbelastung darstellt und evtl. umweltpolitische Ziele gefährdet, werden anschließend die Belastungen für die Produktgesamtheit bewertet.

In der **Auswertung** werden die Ergebnisse der Belastungsermittlung zunächst zusammengefasst und es werden Hinweise gegeben, wie mit Zielkonflikten zwischen Belastungskategorien (zum Beispiel besser bei Treibhausgasemissionen aber schlechter im Wasserverbrauch) umgegangen werden kann. Anschließend erfolgt eine kritische Prüfung der vorherigen Phasen und es werden ergebnisrelevante Prozesse, Emissionen aber auch Annahmen identifiziert. Diese so genannten signifikanten Parameter werden einer Sensitivitätsprüfung unterzogen, um den Einfluss von Schwankungen auf das Ergebnis zu untersuchen. Danach wird die Aussagesicherheit der Ergebnisse geprüft. Basierend auf diesen Erkenntnissen werden Schlussfolgerungen abgeleitet. Weiterhin wird entschieden, ob gegebenenfalls weiterführende Untersuchungen (mittels Umweltverträglichkeitsprüfung, Ökobilanz, Stoff-/Produktbewertung nach bestehenden gesetzlichen Vorgaben, etc.) notwendig sind.

## 3 Zieldefinition und Vorprüfung

### 3.1 Ziel

Hier werden zunächst das Ziel der Untersuchung und die Gründe für die Durchführung klar beschrieben. Im Falle eines Vergleichs ist darauf zu achten, dass die zu untersuchenden Optionen auch tatsächlich die gleichen Funktionen erfüllen oder ob es bei einem Produkt gegebenenfalls eine eingeschränkte Qualität oder einen Zusatznutzen gibt.

### 3.2 Prüfung der Notwendigkeit

Vor Durchführung der vereinfachten Umweltbewertung ist zu prüfen, ob diese überhaupt nötig ist. Auf eine Untersuchung kann verzichtet werden, wenn:

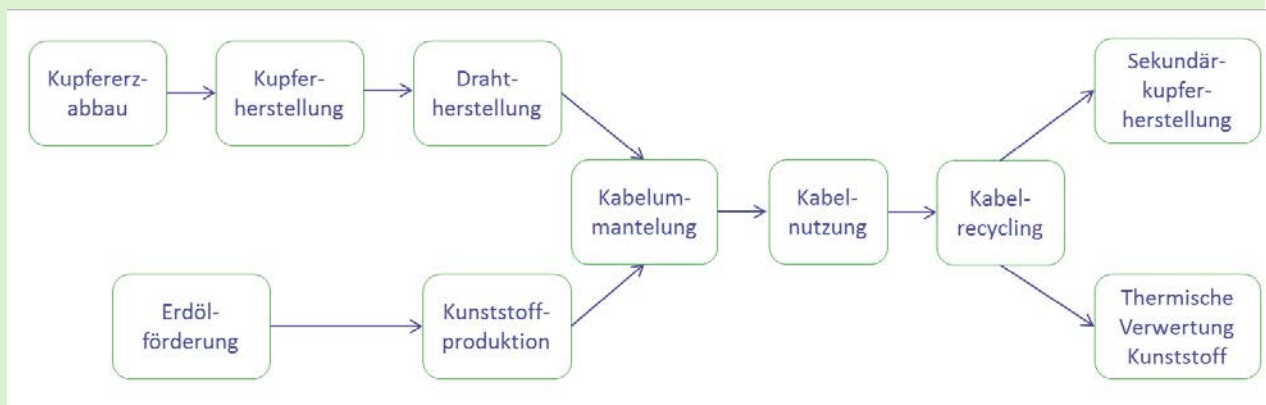
- ▶ die selbe oder eine vergleichbare Untersuchung bereits durchgeführt wurde, die die Fragestellung ausreichend beantwortet,
- ▶ eine Beurteilung auch ohne Untersuchung möglich ist, da zum Beispiel eindeutige Verbesserungen/Verschlechterungen in einem Prozess auftreten und andere Lebenszyklusabschnitte davon nicht betroffen sind,
- ▶ im Lebensweg des zu untersuchenden Produktes gegen gesetzliche Anforderungen verstoßen wird, weshalb es ohnehin nicht empfohlen werden kann.

### 3.3 Beschreibung des Produktlebensweges

VERUM soll möglichst den kompletten Produktlebensweg (Rohstoffbedarf, Materialherstellung, Nutzung, Entsorgung) inklusive der Material- und Energievorketten betrachten. Nur so kann sichergestellt werden, dass Problemverlagerungen erkannt werden. So werden beispielsweise beim Leichtbau in der Automobilindustrie Umweltlasten von der Nutzung (weniger Kraftstoffverbrauch) in die Produktion (höherer Energieaufwand für die Herstellung von Leichtbaumaterialien) verschoben. Daten für Umweltlasten aus den Vorketten können speziellen Datenbanken entnommen werden (Kapitel 5.2.2) und müssen in der Regel nicht manuell erhoben werden.

Beispiel:

**Abbildung 2** Beispielhafte Skizze des Lebensweges eines Kupferkabels



Um einen Eindruck über den Produktlebensweg zu gewinnen und sicherzustellen, dass keine relevanten Belastungen vergessen werden, soll an dieser Stelle der Produktlebensweg grob beschrieben werden. Dies kann, wie in Abbildung 2 dargestellt, anhand einer einfachen Skizze erfolgen.

Wird von der Lebenszyklusperspektive abgewichen, weil die Umweltbelastungen aus den Vorketten im Vergleich zur Nutzungsphase vernachlässigbar gering sind (z.B. bei Fernbussen versus Bahn, Janitzek et al. 2016), soll dies explizit deutlich gemacht und begründet werden.



### 3.4 Ermittlung des Belastungsprofils

Um ein umfassendes Bild über verschiedene mögliche Belastungen entlang des Produktlebensweges zu erhalten, werden fünf generelle Belastungsarten mit 18 spezifischen Belastungskategorien analysiert. Da jedoch nicht in jeder Untersuchung alle Belastungskategorien betroffen oder relevant sind, erfolgt eine Ermittlung des spezifischen Belastungsprofils für jede zu untersuchende Alternative.

Die Einbeziehung von Kategorien hat allerdings dort Grenzen, wo sie von untergeordneter Bedeutung sind, wie beispielsweise die Kategorie „mechanische Tötung von Tieren“, wenn ein Produkt elektrische Energie benötigt, die zu geringen Teilen aus Wasserkraftwerken gewonnen wird. Eine solche Belastung wäre z.B. bei Kraftwerksvergleichen relevant, nicht aber beim Vergleich von stromverbrauchenden Produkten.

Die folgenden Tabellen zeigen Beispiele, die auf eine Betroffenheit der jeweiligen Belastungskategorie schließen lassen. Zunächst wird qualitativ bewertet, ob die Belastungskategorie relevant ist und in welcher Lebenszyklusphase sie auftritt. Diese Ersteinschätzung soll im zweiten Schritt von Fachexperten bestätigt oder gegebenenfalls korrigiert werden. In den folgenden Schritten der VERUM sollen nur noch die als relevant klassifizierten Belastungskategorien weiter betrachtet werden. Für die Dokumentation des Belastungsprofils steht ein Formblatt (Anhang 4) zur Verfügung.

**Tabelle 1 Chemische Belastungen: Welche Belastungskategorien sind in VERUM zu analysieren?**

Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen
Treibhausgase	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Einsatz fossiler Energien</li> <li>▶ Landnutzungsänderungen</li> <li>▶ Einsatz von Kältemitteln und klimawirksamen Schutzgasen (z. B. SF6)</li> </ul>
Luftschadstoffe	<p>Bei Freisetzung von Gasen oder Partikeln in die Außenluft, insbesondere durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Großfeuerungsanlagen, sonstige Feuerungsanlagen</li> <li>▶ Industrieanlagen</li> <li>▶ sonstige Verbrennungsmotoranlagen</li> <li>▶ Verkehr</li> <li>▶ Landwirtschaft</li> <li>▶ Lösemittelanwendungen</li> </ul>
Schadstoffe in Innenräumen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Belastungen durch gas- und staubförmige Schadstoffe</li> <li>▶ Belastungen mit Lösemitteln, Weichmachern oder Klebstoffen durch: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Teppiche, Fußbodenbeläge</li> <li>- Farben, Lacke</li> <li>- Spanplattenmöbel, Holzeinbauten</li> <li>- Inventar</li> <li>- Sonstige technische Geräte (Lampen, PCs, Drucker etc.)</li> </ul> </li> <li>▶ Einträge mit Schwermetallen aus technischen Prozessen</li> </ul>
Abwasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Stoffeinträge aus dem Abwasser relevanter Branchen (Bergbau, Textilindustrie etc.)</li> <li>▶ Belastungen aus kommunalen Einleitungen</li> <li>▶ Emissionen eutrophierender Stoffe bei fehlender 3. Reinigungsstufe</li> </ul>
Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge in Wasser und Boden	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Belastungen durch diffuse Nährstoffe, Pestizide und andere Schadstoffeinträge aus der landwirtschaftlichen Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln, pflanzlichen Rohstoffen oder Energiepflanzen</li> <li>▶ Einbringen von Baustoffen und Recyclingmaterialien, großflächigen Bauprodukten (Metalldächer oder mit Bioziden behandelte Flachdächer oder andere Hölzer im Freien)</li> <li>▶ Einbringen von Stoffen in den Untergrund</li> </ul>

**Tabelle 2                    Physikalische Belastungen: Welche Belastungskategorien sind in VERUM zu analysieren?**

Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen
Lärm	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Lärm, Schall, Geräusch und/oder Akustik werden konkret in der Produkt- beziehungsweise Dienstleistungsbeschreibung genannt</li> <li>▶ ein Motor, ein Generator oder eine sonstige schnell bewegliche Baugruppe ist in dem Produktsystem vorhanden</li> <li>▶ Dienstleistungen, bei denen eine Anlage und/oder ein Produkt mit Motor, Generator, schnell beweglichen Baugruppen benutzt werden</li> <li>▶ Belastungen durch Verkehrsmittel oder Verkehrswege</li> </ul>
Strahlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Mobilfunk, Mobiltelefone, Radar</li> <li>▶ Elektrische Geräte</li> <li>▶ Hochspannungsleitungen</li> <li>▶ Bauprodukte (Radon)</li> <li>▶ Kernkraft</li> </ul>
Mechanische Tötung von Tieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Wasserentnahmen aus natürlichen Systemen: Verluste aquatischer Organismen an Wasserentnahmebauwerken. Betroffen sind technische und chemische Prozesse, Prozesse zur Energieerzeugung etc., die größere Mengen an Brauch- oder Kühlwasser benötigen.</li> <li>▶ Wasserkraft (Verluste aquatischer Organismen an Turbinen und Rechen von Wasserkraftanlagen)</li> <li>▶ Windenergie (Vogelschlag an Rotoren von Windenergieanlagen)</li> <li>▶ Verkehrssysteme, Tötung durch Überfahren (Straße, Bahn)</li> <li>▶ Anlagen- und Siedlungsbau: Vogelschlag</li> <li>▶ Viehzucht, Jagd, Fischerei</li> <li>▶ Stromschlag</li> </ul>

**Tabelle 3                    Biologische Belastungen: Welche Belastungskategorien sind in VERUM zu analysieren?**

Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen
Mikrobielle Belastung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Temperaturverminderung bei hohen Temperaturen</li> <li>▶ Temperaturerhöhung bei niedrigen Temperaturen</li> <li>▶ Erhöhung von Feuchtigkeit</li> <li>▶ Vorhandensein/bessere Verfügbarkeit von organischen Stoffen</li> <li>▶ Vorhandensein von biologisch leicht abbaubaren Stoffen</li> <li>▶ Reduktion/Vermeidung von Desinfektionsmitteln oder Konservierungsmitteln</li> <li>▶ Einsatz von bisher unbekanntem Desinfektionsmitteln oder -verfahren</li> <li>▶ Aerosolbildung, strömende Luft-Wasser Kontaktflächen</li> <li>▶ Stagnationszonen oder -perioden in sonst fließenden wässrigen Systemen;</li> <li>▶ Recycling von Stoffströmen mit organischen Komponenten (insbesondere Klärschlamm)</li> </ul>
Invasoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ kommerzielle Nutzung gebietsfremder oder gentechnisch veränderter Arten in offenen Systemen</li> <li>▶ Bau von Kanälen</li> <li>▶ Ballastwasser</li> </ul>

**Tabelle 4 Ressourceninanspruchnahme: Welche Belastungskategorien sind in VERUM zu analysieren?**

Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen
Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger	Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger, von denen Verfügbarkeitsrisiken ausgehen, welche die intra- und intergenerationale Verteilungs- und Versorgungsgerechtigkeit gefährden
Verbrauch biotischer Rohstoffe	Nutzung biotischer Rohstoffe, bei denen Nutzungskonkurrenzen beziehungsweise Knappheiten zu befürchten sind, zum Beispiel langsam nachwachsende Hölzer
Wasserverbrauch	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Erzeugung von Agrar- und Forstprodukten (Nahrungs- und Futtermittel, nachwachsende Rohstoffe, Energiepflanzen)</li> <li>▶ Wasserintensive Industrieproduktion</li> </ul>
Naturraumbeanspruchung	<p>Relevante Technologien für terrestrische Naturraumbeanspruchung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Erzeugung agrar- und forstwirtschaftlicher Produkte sowie Biomasse</li> <li>▶ Gewinnung, Verteilung, Speicherung erneuerbarer Energien</li> <li>▶ Verkehrsträger, Transporte, Bedürfnisfeld Mobilität</li> <li>▶ Industrie, Handel, Dienstleistungen, sonstige Infrastrukturen (zum Beispiel Krankenhäuser, Abfalldeponien), Bedürfnisfeld Konsum</li> <li>▶ Freizeit, Erholung, Sport, Friedhöfe</li> <li>▶ Wohnungsbau, Bedürfnisfeld Wohnen</li> <li>▶ Rohstoffgewinnung, Bergbau, Sonstiges, zum Beispiel Landesverteidigung, Naturschutz</li> </ul> <p>Relevante Technologien für aquatische Naturraumbeanspruchung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Energieträger (Wasserkraft, off-shore Windkraft),</li> <li>▶ Verkehrsträger (Schifffahrt)</li> <li>▶ Siedlungsbau</li> <li>▶ Agrarprodukte einschließlich Biomasse</li> </ul>

**Tabelle 5 Sonstige Belastungen: Welche Belastungskategorien sind in VERUM zu analysieren?**

Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen
Störfälle/Unfälle	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Einsatz risikorelevanter Technologien</li> <li>▶ Risiken durch nicht ordnungsgemäßen Betrieb von Anlagen/ unsachgemäßer Einsatz von Produkten</li> <li>▶ Verkehr</li> </ul>
Landschaftsästhetik	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Großbauwerke</li> <li>▶ Verkehrs- und Energiesektor</li> </ul>
Geruch	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Abfall- und Kläranlagen</li> <li>▶ Biogasanlagen</li> <li>▶ Nahrungs- und Genussmittelindustrie</li> <li>▶ Bei Produkten Lacke, Farben, Klebstoffe, Kunststoffe</li> </ul>
Sachgüter	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Salzeinwirkungen</li> <li>▶ Erschütterungen</li> </ul>

Der Anfall von Abfällen wird in VERUM in der Regel nicht berücksichtigt, da die Abfallbehandlung innerhalb der Systemgrenzen liegt und alle relevanten Belastungen bereits erfasst werden:

- ▶ Flächenverbrauch von Deponien wird bei „Ressourceninanspruchnahme“ berücksichtigt
- ▶ Emissionen aus Deponien und Müllverbrennungsanlagen werden in „chemischen Belastungen“ betrachtet
- ▶ erhöhter Rohstoffaufwand bei Nicht-Recycling wird in „Ressourceninanspruchnahme“ berücksichtigt
- ▶ eventuell auftretende Strahlung wird bei den „physikalischen Belastungen“ erfasst.

Um die relevanten Belastungskategorien bewerten zu können, ist der/die Verantwortliche einer Fallstudie auf die breite Expertise des Umweltbundesamtes angewiesen. Zur Beteiligung und Koordinierung kann der Bearbeitungsbogen für VERUM-Studien (Anhang 5) genutzt werden.

## 4 Spezifizierung des Untersuchungsrahmens

Nachdem im vorherigen Kapitel das Ziel der Untersuchung, der Produktlebensweg sowie das Belastungsprofil ermittelt wurden, wird nun der Untersuchungsrahmen anhand folgender Punkte spezifiziert:

- ▶ Funktionelle Einheit und Referenzflüsse
- ▶ Systemgrenzen und Abschneidekriterien
- ▶ Datenanforderungen
- ▶ Annahmen und Einschränkungen.

### 4.1 Funktionelle Einheit und Referenzflüsse

Um verschiedene Produktalternativen miteinander vergleichen zu können, legt man eine „funktionelle Einheit“ zugrunde. Sie gibt den quantifizierten Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit an und muss eindeutig definiert und messbar sein. Die entsprechenden Referenzflüsse sind das Maß für die Outputs (z.B. Emissionen) von Prozessen eines Produktsystems, über seinen Lebensweg, die zur Erfüllung der Funktion – ausgedrückt durch die funktionelle Einheit – erforderlich sind.

#### Beispiel:

Besteht die funktionelle Einheit in der Übertragung elektrischer Energie in der Elektronik eines Autos über eine Entfernung von 1 m, so könnten folgende beispielhafte Referenzflüsse zur Erfüllung der Funktion angenommen werden:

- 50 g Kupferkabel
- 85 g Silberkabel
- 40 g Aluminiumkabel.

### 4.2 Systemgrenzen und Abschneidekriterien

Die Systemgrenzen spezifizieren, welche Prozesse innerhalb des Produktlebensweges (Kapitel 3.3) in VERUM berücksichtigt werden (z.B. Rohstoffbedarf, Transporte, Verarbeitungsprozesse, Herstellung von Betriebsstoffen, Verpackungen).

Abschneidekriterien ermöglichen es auch innerhalb der Systemgrenzen, Komponenten zu vernachlässigen, um den Aufwand bei VERUM zu verringern. Komponenten können abgeschnitten werden, wenn sie nicht mehr als 3 Prozent der Produktmasse betragen. In Summe dürfen die Abschneidekriterien nicht dazu führen, dass mehr als 10 Prozent der Produktmasse abgeschnitten werden. Stoffe oder Komponenten, die voraussichtlich einen signifikanten Beitrag zu einer Belastungskategorie leisten, sind von den Abschneidekriterien ausgenommen. Bei Vergleichen muss darauf geachtet werden, dass die Abschneidekriterien konsistent und symmetrisch angewendet werden. Die Auswirkungen der zugrunde gelegten Abschneidekriterien auf das Ergebnis der vereinfachten Umweltbewertung (VERUM) sollen in der Auswertung diskutiert werden.

#### Vereinfachungsmöglichkeit:

Durch eine effiziente Wahl der Systemgrenzen lässt sich eine erhebliche Aufwandsreduzierung erreichen. So können beispielsweise bei Vergleichen identische Lebenswegabschnitte, wie Transporte, Verpackungen oder ähnliche Bauteile, von der Betrachtung ausgeschlossen werden. Weiterhin kann für industrielle Produkte gesagt werden, dass Transporte normalerweise nur einen geringen Beitrag zu stofflichen Belastungen und Ressourcenverbrauch liefern und daher gegebenenfalls nicht berücksichtigt werden müssen. Neben den Vereinfachungsmöglichkeiten durch die Wahl der Systemgrenzen lassen sich durch die Anwendung der Abschneidekriterien zahlreiche nicht relevante Prozesse ausschließen.

### **4.3 Anforderungen an die Daten**

Neben der Festlegung der Systemgrenzen und Abschneidekriterien sollen – sofern möglich - auch Anforderungen an die zu nutzenden Daten definiert werden. Hierzu zählen beispielsweise:

- ▶ der zeitliche Bezug (z.B. nicht älter als 2010)
- ▶ der räumliche Bezug (z.B. nur Daten aus Deutschland)
- ▶ die Datenqualität (Repräsentativität und Glaubwürdigkeit)

In der Regel sollen sie so aktuell, repräsentativ und belastbar sein, wie möglich (s. Kap. 7.4).

### **4.4 Zusätzliche Annahmen und Einschränkungen**

Alle zusätzlich getroffenen Annahmen hinsichtlich der Vergleichbarkeit, der Systemgrenzen, der zugrunde gelegten Daten, etc. sowie die sich daraus ergebenden Einschränkungen sind zu dokumentieren.

## 5 Belastungsermittlung

In der Belastungsermittlung werden alle die Systemgrenze überschreitenden Inputs (Rohstoffe, Energieträger, etc.) und Outputs (Emissionen in Luft, Wasser, Boden) sowie nicht-stoffliche Belastungen (Lärm, Invasoren, etc.) aufgelistet. Sie bildet die Grundlage für die Belastungsbewertung und beinhaltet eine qualitative sowie teilweise eine quantitative Bilanzierung.

### 5.1 Qualitative Belastungsermittlung

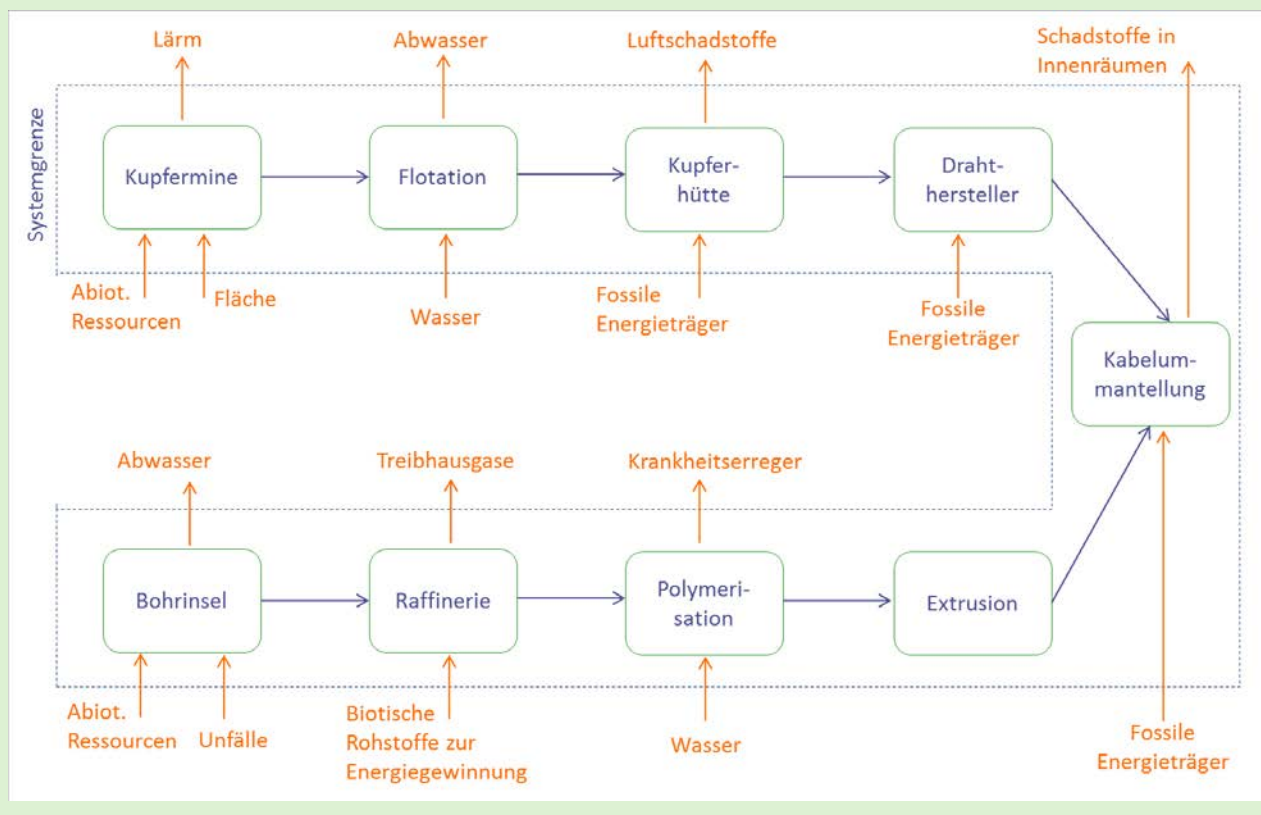
In diesem Schritt werden Belastungen, die durch innerhalb der Systemgrenzen liegende Prozesse hervorgerufen werden, qualitativ erfasst. Hierbei sind nur diejenigen Belastungen zu berücksichtigen, die zu den in der Vorprüfung als relevant identifizierten Belastungskategorien beitragen. Ist beispielsweise die Belastungskategorie „Luftschadstoffe“ für das zu untersuchende Produktsystem nicht relevant, müssen auch keine Emissionen von Luftschadstoffen berücksichtigt werden.

Weiterhin sind nicht zwangsläufig alle in der Vorprüfung als relevant identifizierten Belastungskategorien in jedem Prozess betroffen. Treten beispielsweise Treibhausgasemissionen in einem Prozess in nur geringem Ausmaß auf, müssen diese nicht berücksichtigt werden. Es ist also nur zu ermitteln, welche Belastungen in den beteiligten Prozessen in relevantem Ausmaß auftreten.

Beispiel:

Abbildung 3 zeigt die qualitative Ermittlung relevanter Belastungen am Beispiel der Herstellung eines Kupferkabels.

**Abbildung 3** Beispielhaftes Ergebnis der qualitativen Belastungsermittlung der Herstellung eines Kupferkabels



## 5.2 Quantitative Belastungsermittlung

### 5.2.1 Vorgehen

Im zweiten Schritt der Belastungsermittlung sind die zuvor qualitativ ermittelten Belastungen zu quantifizieren. Alle Belastungswerte sollen sich dabei auf die funktionelle Einheit beziehen. Es brauchen nur die Belastungskategorien quantifiziert werden, die in der Belastungsbewertung mithilfe eines quantitativen Modells beurteilt werden. Für alle anderen Belastungskategorien genügt die qualitative Information, in welchem Prozessschritt eine derartige Belastung vermutet wird. Die sich anschließende Belastungsbewertung (Kapitel 6) erfolgt in diesen Fällen mittels Experteneinschätzung. Tabelle 6 gibt einen Überblick, welche Belastungen zu quantifizieren oder zu erläutern sind beziehungsweise für welche die qualitative Belastungsermittlung ausreichend ist.

**Tabelle 6** Überblick über quantitative und qualitative Bewertungsmodelle

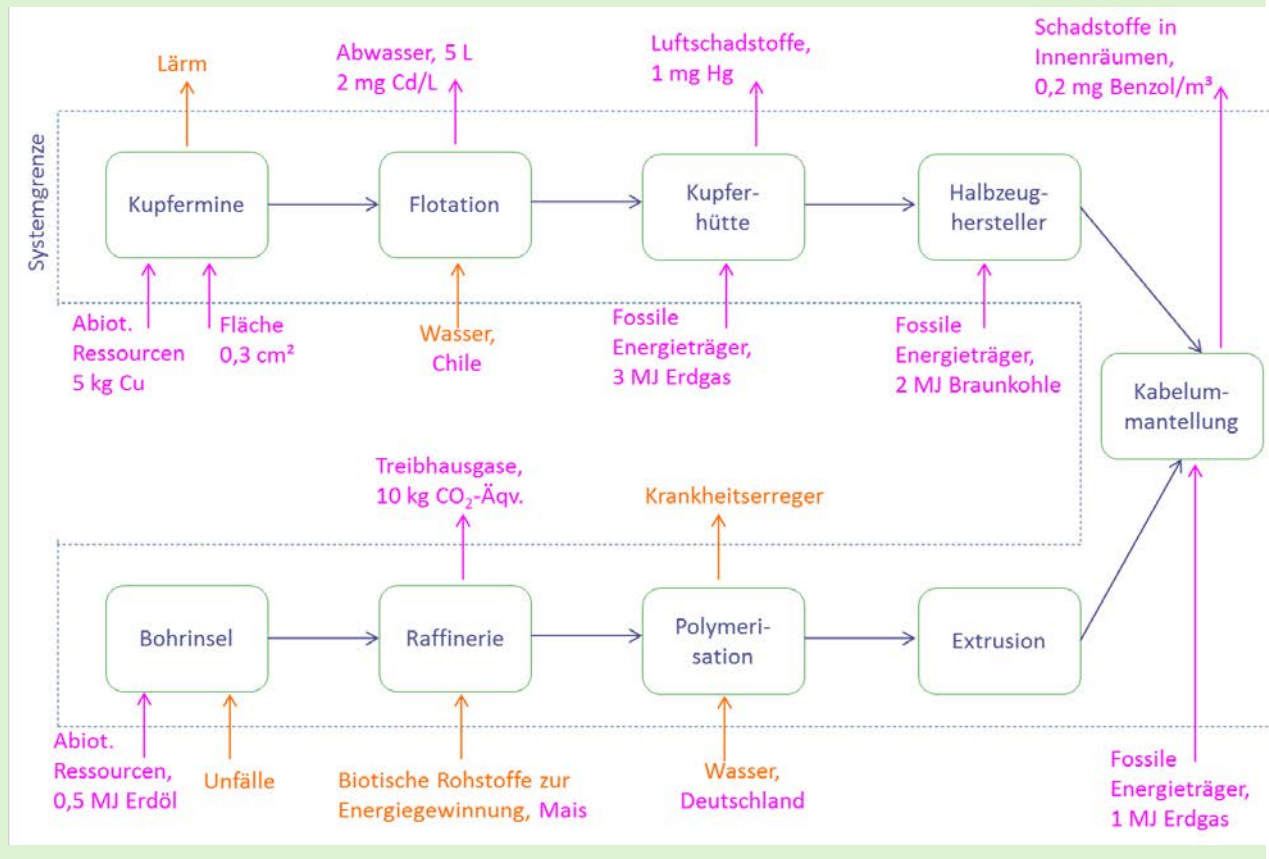
Belastungsart	Belastungskategorie	In Belastungsermittlung zu quantifizieren?
Chemische Belastungen	Treibhausgase	Ja
	Luftschadstoffe	Ja
	Schadstoffe im Innenraum	Wenn möglich, ansonsten Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt und angeben, um welche Schadstoffe es sich handelt.
	Abwasser	Ja
	Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge	Wenn möglich, ansonsten Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt.
Physikalische Belastungen	Lärm	Wenn möglich, ansonsten Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt.
	Strahlung	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt.
	Mechanische Tötung von Tieren	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt.
Biologische Belastungen	Mikrobielle Belastungen	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt.
	Invasoren	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt.
Ressourceninanspruchnahme	Verbrauch mineralischer Rohstoffe inkl. fossiler Energieträger	Wenn möglich, ansonsten Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt und angeben, um welche mineralischen Rohstoffe es sich handelt.
	Verbrauch biotischer Rohstoffe	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt und angeben, um welche biotischen Rohstoffe es sich handelt.
	Wasserverbrauch	Wenn möglich, ansonsten angeben, an welchen Orten Wasserverbrauch stattfindet.
	Naturraumbeanspruchung	Wenn möglich, ansonsten Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt.
Sonstige Belastungen	Störfälle/Unfälle	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt.
	Auswirkungen auf Sachgüter	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt.
	Gerüche	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt.
	Auswirkungen auf die Landschaftsästhetik	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt.



**Beispiel:**

Anhand der Herstellung des Kupferkabels wird deutlich, dass Daten nur für einige zu quantifizierende Belastungskategorien erhoben werden müssen. Für nicht zu quantifizierende Belastungskategorien wie Unfälle oder Krankheitserreger müssen keine Daten erhoben werden. Es genügt die qualitative Angabe, in welchem Prozessschritt eine solche Belastung vermutet wird, da die Belastungsbewertung ohnehin qualitativ mittels Experteneinschätzung erfolgt. Für Belastungen durch den Verbrauch biotischer Rohstoffe ist lediglich anzugeben, in welchen Prozessen sie stattfinden und um welchen biotischen Rohstoff es sich handelt.

**Abbildung 4** Ergebnis der quantitativen Belastungsermittlung für die Herstellung eines Kupferkabels (theoretische Werte)

**Vereinfachungsmöglichkeit:**

Wenn detaillierte Prozessketten nicht bekannt sind beziehungsweise deren Untersuchung zu aufwendig wäre, können verschiedene Einzelprozesse zu einer „Black Box“ zusammengefasst werden. So liegen beispielsweise Treibhausgasemissionen bei der PKW-Herstellung wahrscheinlich nicht für einzelne Fertigungsschritte vor. Die Gesamtemission lässt sich hingegen relativ einfach aus entsprechenden Umweltberichten der Automobilhersteller ermitteln.

**Vereinfachungsmöglichkeit:**

Liegen in Untersuchungen keine Belastungsdaten für Fertigungsprozesse vor, können Produkte vereinfacht mithilfe von Materialbilanzen bewertet werden. Belastungsprofile der Materialien sind beispielsweise aus Ökobilanzdatenbanken ablesbar. Stoffliche Belastungen und Ressourcenverbrauch sind auf diese Weise in der Regel hinreichend genau bilanzierbar, da meist mehr als 80 Prozent der Belastungen durch die Materialherstellung verursacht werden.

**5.2.2 Datenquellen**

Zur Quantifizierung der Belastungen stehen unter anderem die in Tabelle 7 aufgeführten Datenquellen zur Verfügung. Die Auswahl der Datenquellen soll unter Berücksichtigung der in Kapitel 4.3 definierten Anforderungen an die Daten (räumlicher und zeitlicher Bezug, Datenqualität, etc.) erfolgen. Zusätzlich sollten die Konsistenz innerhalb der Studie sowie die Datenverfügbarkeit berücksichtigt werden.

**Tabelle 7 Datenquellen für die quantitative Belastungsermittlung**

Datentyp	Beispiele
Primärdaten	Eigene Messungen; Angaben zum Umweltstatistikgesetz; Einstufung von Stoffen und Zubereitungen gemäß Gefahrstoffverordnung; Umwelterklärungen und -berichte
Sekundärdaten	Ökobilanzinventardatenbanken wie GaBi, Ecoinvent oder ProBas (UBA 2016c); Literatur; verfügbare Studien; Emissionsdatenbanken; Umweltstatistiken; interne UBA Datenquellen
Berechnungen	physikalische Berechnungen, zum Beispiel Energiebedarf zum Erwärmen eines Werkstoffes; chemische Berechnungen, zum Beispiel Ermittlung der Emissionen aus stöchiometrischen Verhältnissen
Quantitative Schätzungen	Abschätzung eines Energieverbrauchs anhand Daten eines ähnlichen Prozesses

**Vereinfachungsmöglichkeit:**

Sind keine geeigneten Daten vorhanden oder mit vertretbarem Aufwand ermittelbar, sollen die Datenlücken transparent dokumentiert werden. Die sich anschließende Belastungsbewertung wird dann auf der Basis von Expertenwissen qualitativ durchgeführt.

Sich aus der Datenqualität ergebende Einschränkungen werden in der „Prüfung der Aussagesicherheit“ im Rahmen der Auswertung deutlich gemacht (Kapitel 7.4).

**5.2.3 Allokation bei Kuppelprodukten**

Treten in einem Prozess neben dem zu untersuchenden Produkt noch weitere Haupt- beziehungsweise Nebenprodukte auf (Kuppelproduktion), so sind die In- und Outputs des Prozesses zwischen dem Produkt und den Kuppelprodukten rechnerisch zu verteilen (Allokation). Hierbei wird folgendes priorisiertes Vorgehen vorgeschlagen:

- 1) Wenn möglich ist die Allokation zu vermeiden, durch:
  - a) Detailierung: Ein Gesamtprozess wird in Teilprozesse aufgegliedert, um eine eindeutige Zuordnung der Umweltlasten auf Haupt- und Nebenprodukte zu ermöglichen.

**Beispiel:**

Ein Unternehmen stellt Kupferbleche, -rohre und -draht her und verursacht dabei Umweltlasten, die auf die drei Halbzeuge aufgeteilt werden müssen. Die Allokation kann vermieden werden, indem die Umweltlasten der Fertigungsrouten für Bleche, Rohre und Draht einzeln analysiert werden.

- b) **Systemraumerweiterung:** Hierbei wird nach einer alternativen Produktionsroute für die Kuppelprodukte gesucht und die dabei auftretenden Stoffströme vom hier untersuchten System abgezogen. Bei dieser Vorgehensweise ist darauf zu achten, dass dem Gesamtsystem keine zu hochwertigen Alternativprodukte gutgeschrieben werden.

#### Beispiel:

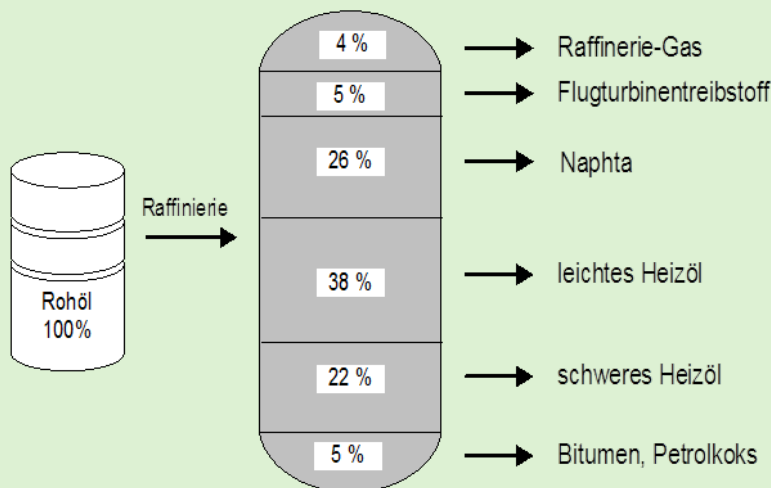
Bei der Herstellung von Kupfer in einer Kupferhütte aus sulfidischen Erzen entsteht neben Kupfer auch Schwefelsäure als Nebenprodukt. Die Allokation kann vermieden werden, indem von der Gesamtumweltlast der Kupferhütte die Umweltlast der herkömmlichen petrochemischen Schwefelsäureproduktion abgezogen wird.

- 2) Kann die Allokation nicht vermieden werden, so soll die Zuordnung auf Basis physikalischer Eigenschaften wie Masse oder Energiegehalt erfolgen.

#### Beispiel:

Für die Ummantelung der untersuchten Kupfer-, Silber-, und Aluminiumkabel wird Polyethylen eingesetzt, welches aus der Polymerisation von Ethylen gewonnen wird. Ethylen wiederum wird aus Erdgas bzw. Naphta hergestellt, das aus in einer Erdölraffinerie produziertem Naphta gewonnen wird. Neben Naphta werden allerdings auch andere Raffinerieprodukte gewonnen (Abbildung 5)

**Abbildung 5 Kuppelprodukte der Erdölraffination**



Die Allokation kann nicht vermieden werden, da der Prozess nicht in Teilprozesse zerlegt werden kann und auch keine alternativen Herstellungswege für Raffinerieprodukte vorhanden sind, die durch Systemraumerweiterung vom Gesamtsystem abgezogen werden könnten. Zur Bestimmung der Umweltlast der Raffinerieprodukte muss also die Gesamtumweltlast der Raffinerie auf die Kuppelprodukte aufgeteilt werden. Als Verteilungsschlüssel können hierbei zum Beispiel die Massen- oder Energieanteile der Raffinerieprodukte herangezogen werden.

- 3) Erscheint eine physikalische Allokation nicht sinnvoll, können der Zuordnung auch andere, beispielsweise ökonomische Kriterien zugrunde gelegt werden.

#### Beispiel:

Bei der Kupferherstellung aus Mischerzen fallen neben Kupfer auch Zink, Silber und Gold an. Die in Mine und Hütte anfallenden Umweltlasten sollen auf die Kuppelprodukte verteilt werden. Eine Allokation kann nicht vermieden werden, da die Gewinnung der Metalle in einem nicht weiter aufteilbaren Prozess stattfindet. Eine Allokation nach physikalischen Gesichtspunkten wie zum Beispiel Masse erscheint nicht sinnvoll, da 1 Kilogramm (kg) Kupfer die gleiche Umweltlast wie 1 kg Gold zugeordnet werden würde. Aus diesem Grund werden die Massenanteile mit den Metallpreisen gewichtet, um den Wert der Metalle zu berücksichtigen.

Bei einer Allokation nach ökonomischen Kriterien ist jedoch zu beachten, dass sich die Umweltprofile der Kuppelprodukte ändern können, wenn sich die Marktpreise der Materialien verändern.

Die Wahl des zugrunde gelegten Allokationsverfahrens kann für das Ergebnis der VERUM von entscheidender Bedeutung sein. So lässt sich beispielsweise die Umweltlast einer Raffinerie auf die in ihr produzierten Kuppelprodukte (Naphta, Heizöl, etc.) auf unterschiedliche Weise verteilen. Wird eine Allokation über Massenanteile durchgeführt, sind andere Umweltprofile der Raffinerieprodukte zu erwarten als würde die Verteilung der Gesamtumweltlast über den Heizwert der Produkte oder über Ihren Marktpreis durchgeführt werden. Aus diesem Grund ist das Allokationsverfahren – sofern die Allokation nicht vermieden werden kann – sorgfältig zu wählen und zu begründen. Hat die Wahl des Allokationsverfahrens einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis der VERUM, so ist dieser im Rahmen der Auswertung deutlich zu machen. Die Variation der mit anderen Allokationsverfahren erzielten Ergebnisse soll in diesem Fall mithilfe von Sensitivitätsanalysen untersucht werden (Kapitel 7.2).

#### 5.2.4 Allokation bei Recycling/Einsatz von Sekundärmaterialien

Allokationen sind nicht nur bei Prozessen nötig, in denen eine Gesamtumweltlast auf Haupt- und Nebenprodukte verteilt werden muss. Sie werden auch bei der Bilanzierung von Recyclinggutschriften eingesetzt, bei der es um die Verteilung der Umweltlast der Primärmaterialherstellung auf verschiedene Lebenszyklen geht. Im Rahmen einer VERUM wird folgendes Vorgehen empfohlen:

##### **Closed loop Recycling**

Beim closed loop Recycling wird das Sekundärmaterial demselben Produktsystem zugeführt, aus dem es gewonnen wurde (real closed loop). Wird das Sekundärmaterial einem anderen Produktsystem zugeführt, kann ebenfalls von einem closed loop Recycling ausgegangen werden, wenn die Materialeigenschaften unverändert bleiben (quasi closed loop, zum Beispiel bei Glas oder Stahl). Da das Material theoretisch endlos im Kreislauf geführt werden kann, darf die Umweltbelastung der primären Materialherstellung vernachlässigt werden, so dass jeder Lebenszyklus nur die Umweltlast des Recyclingaufwands zu tragen hat. Treten beim Recyclingprozess Verluste auf, die durch Primärmaterial ersetzt werden, so ist die Umweltlast der primären Materialherstellung zu berücksichtigen.

##### **Open loop Recycling**

Beim open loop Recycling kommt es zu einer Veränderung der Materialeigenschaften und das Sekundärmaterial wird nicht demselben Produktsystem zugeführt, aus dem es gewonnen wurde. Um eine vereinfachte Verteilung der aus der primären Materialherstellung resultierenden Umweltbelastung zu erreichen, werden 50 Prozent der Primärmaterialherstellung sowie der Recyclingaufwand dem ersten Produktsystem und 50 Prozent der Primärherstellung dem zweiten Produktsystem angelastet. Sollten weitere Produktzyklen folgen, so werden diesen lediglich die Umweltlasten des Recyclings angelastet.

## 6 Belastungsbewertung

Basierend auf der Belastungsermittlung werden nun die identifizierten und teilweise quantifizierten Belastungen bewertet. Die Belastungsbewertung erfolgt zunächst auf der Ebene der funktionellen Einheit, also auf der Produktebene. Anschließend wird eine Bewertung der durch die Produktgesamtheit hervorgerufenen Belastungen vorgenommen.

### Bewertung der Belastungen auf Produktebene

In der Bewertung auf Produktebene werden die Belastungen eines Produktes (beziehungsweise die zur Erfüllung der funktionellen Einheit benötigte Anzahl von Produkten) mit denen einer Alternative verglichen. Ziel ist es, eine Priorisierung der zu untersuchenden Alternativen innerhalb einer Belastungskategorie zu ermöglichen. Die Rangbildung erfolgt auf Basis der in den folgenden Kapiteln beschriebenen Bewertungsmodelle. Aufgrund von Datenunsicherheiten sowie möglicher Asymmetrien, die aus der Anwendung von Abschneidekriterien resultieren, sind Ergebnisse, die sich um weniger als 10 Prozent unterscheiden, als gleich anzusehen.

#### Vereinfachungsmöglichkeit:

Ist aufgrund der Datenlage eine quantitative Belastungsermittlung in eigentlich zu quantifizierenden Belastungskategorien nicht möglich oder zu aufwendig, darf die Rangfolge der Alternativen in Ausnahmefällen qualitativ bestimmt werden.

### Bewertung der Gesamtbelastung

Die Bewertung auf der Produktebene ermöglicht einen direkten Vergleich und eine Rangbildung der zu untersuchenden Alternativen. Sie erlaubt allerdings noch keine Aussage darüber, ob das Produkt insgesamt zu einer hohen Umweltbelastung führt, die evtl. umweltpolitische Ziele gefährdet oder nicht. Diese Fragestellung hat zwar keine Auswirkungen auf den Vergleich von Alternativen, da dieser über die funktionelle Einheit gegeben ist, wohl aber auf die Belastungsbewertung des Produktes. Aus diesem Grund wird zusätzlich eine Bewertung der durch die Produktgesamtheit hervorgerufenen Belastung durchgeführt.

Jeder Eingriff in Natur und Umwelt kann Auswirkungen auf den Menschen und andere Lebewesen haben. Die relevanten Noxen sind jedoch hinsichtlich ihrer Auswirkungen sehr unterschiedlich zu bewerten, je nach ihren inhärenten Eigenschaften, dem Grad und der Dauer der Belastung. Für eine Reihe von Umweltbelastungen sind die ökologischen Belastungsgrenzen (planetary boundaries, Rockström et al., 2009) bereits erreicht. Dies gilt insbesondere für den Ausstoß von Treibhausgasen, Stickstoff oder den Flächenverbrauch. Jedes „Mehr“ an Belastung führt zu einer größeren Überschreitung dieser Belastungsgrenzen. Für diese Noxen sind in der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie (Die Bundesregierung, 2002, 2012) entsprechende absolute Reduktionsziele mit Zeitvorgaben zur Orientierung festgelegt. Bei anderen Umweltbelastungen, wie beispielsweise bei gefährlichen Stoffen oder Lärm ist der Organismus in der Regel in der Lage, geringe oder kurzfristige Einwirkungen zu tolerieren oder zu kompensieren, ohne dass es zu Funktionsstörungen kommt. Manche Umwelteinwirkungen wirken sogar positiv, während sowohl ihr Mangel als auch ihr Überschuss negative Umwelteffekte hervorrufen können (z.B. Eutrophierung, Wassermenge). Das Umwelt- und Naturschutzrecht greift daher erst bei einer bestimmten „Erheblichkeitsschwelle“ ein, während leichte und geringe Effekte ohne nachhaltige schädliche Wirkungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft hinzunehmen sind.

Will man verschiedene Noxen in ihrer Gefährlichkeit miteinander vergleichen, muss man definieren, wo diese Schwelle verläuft, d.h. was noch als „unerheblich“ oder gering anzusehen ist und was als „erheblich“. Für VERUM wurde daher ein 5-stufiges Bewertungsschemata in Anlehnung an verschiedene Vorlagen, z.B. Bechmann (1998) oder Wasserrahmenrichtlinie (2000) gewählt.

**Tabelle 8 Erheblichkeitsschwelle für Umweltbelastungen (nach Bechmann (1998) verändert)**

Klasse	Belastungsklasse	Erheblichkeit
1	keine	Vorsorge
2	gering	geringe Beeinträchtigung
<b>Erheblichkeitsschwelle</b>		
3	mäßig	Beeinträchtigung
4	hoch	starke Beeinträchtigung
5	sehr hoch	Schadensbericht

Wenn möglich, bewerten die Modelle zur Bestimmung der Belastungsklassen, ob die Produktgesamtheit zu einer Einhaltung beziehungsweise Gefährdung von politischen (Reduktions-)Zielen beiträgt oder nicht. Hierfür ist oft der Vergleich eines prognostizierten Szenarios mit einer Referenzsituation (Status Quo) nötig, die möglichst einheitlich zu definieren ist. Weitere Kriterien für die Belastungsklassifizierung sind die Einhaltung von Qualitätszielen und Grenzwerten oder der spezifische Beitrag der Produktgesamtheit zur nationalen Gesamtbelastung. Für Noxen, die nicht derart charakterisiert werden können, wie z.B. mikrobielle Belastungen, Störung des Landschaftsbilds oder Gerüche, werden Konventionen durch Kriterien geschaffen, die ein Expertenurteil ermöglichen. Ziel ist es, die Belastungen in ihrer Bewertung vergleichbar zu machen, d.h. eine „geringe Belastung“ durch Lärm soll in etwa einer „geringen Belastung“ durch Schadstoffe entsprechen.

In Anhang 6 wird eine Zusammenfassung der Bewertungsmodelle aller Belastungskategorien gegeben.

### **Ergebnisdarstellung**

Nachdem die zu untersuchenden Alternativen mithilfe der im Folgenden dargestellten Bewertungsmodelle in den für sie relevanten Belastungskategorien bewertet wurden, sollen die Ergebnisse wie in Kapitel 6.6 dargestellt tabellarisch zusammengefasst werden. Je nachdem, welche Produkte verglichen werden, kann und muss eine Priorisierung der Belastungskategorien erfolgen, wenn eine Bewertung nach VERUM zu nicht-eindeutigen Belastungsprofilen führt und Zielkonflikte entschieden werden müssen (siehe Kapitel 6.6.2). Die Zusammenfassung der Bewertung auf Produktebene und auf Ebene der Produktgesamtheit bildet den Ausgangspunkt für die sich anschließende Auswertung.

## 6.1 Chemische Belastungen

### 6.1.1 Treibhausgase

Diese Belastungskategorie beinhaltet die Bewertung der Treibhausgasemissionen, die bei der Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Produkten entstehen.

#### 6.1.1.1 Bewertungsmodell Produktebene

Die über den Produktlebensweg auftretenden Treibhausgasemissionen werden zunächst entsprechend ihrer Klimawirksamkeit in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgewandelt (IPCC 2007) und aufsummiert. Anschließend wird die Rangfolge der zu untersuchenden Alternativen entsprechend ihres Treibhauspotentials angegeben.

##### Vereinfachungsmöglichkeit:

Im Normalfall genügt es, die Emissionen von Kohlenstoffdioxid (1 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kg), Methan (25 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kg) und Lachgas (298 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kg) zu berücksichtigen. Für Prozesse, in denen halogenierte Gase relevant sind (zum Beispiel Solarzellenherstellung), können Charakterisierungsfaktoren aus dem IPCC Tabellenwerk abgelesen werden.

#### 6.1.1.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit

Um die THG Emissionen eines einzelnen Produktes auch auf der Ebene der Produktgesamtheit bewerten zu können, werden zunächst die pro funktioneller Einheit ermittelten Treibhauspotentiale mithilfe der zu erwartenden Stückzahl hochskaliert. Das Treibhauspotential der Produktgesamtheit wird nun mit einem jeweils spezifisch festzulegenden Referenzszenario verglichen. Je nach Erhöhung oder Verringerung der THG-Emissionen gegenüber dem Referenzszenario erfolgt die Belastungsklassifizierung entsprechend Tabelle 9. Als zweites Bewertungskriterium soll abgeschätzt werden, inwieweit die Produktgesamtheit das übergeordnete Ziel der Bundesregierung gefährdet, die THG-Emissionen bis 2020 um 40 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren (BMWi und BMU 2010; Bundesregierung 2007). Dazu wird das ermittelte Treibhausgaspotential der Produktgesamtheit mit der jährlichen THG-Gesamtemission verglichen. Die aus diesem Vergleich abgeleiteten Veränderungen sollen ein Indiz für die Erreichung oder Gefährdung des 40 Prozent-Zieles sein.

**Tabelle 9** Bewertungsmodell für die Belastung durch Treibhausgase

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Vergleich mit Referenzszenario	Relevante Verringerung des Treibhauspotentials gegenüber Referenz (>10%)	Geringe Verringerung des Treibhauspotentials gegenüber Referenz (0-10%)	Geringe Erhöhung des Treibhauspotentials gegenüber Referenz (0-10%)	Relevante Erhöhung des Treibhauspotentials gegenüber Referenz (10-30%)	Deutliche Erhöhung des Treibhauspotentials gegenüber Referenz (>30%)
Gefährdung des 40% Ziels der Bundesregierung	Relevanter Beitrag zur nationalen THG-Minderung	Geringer Beitrag zur nationalen THG-Minderung	Kein Beitrag zur nationalen THG-Minderung	Leichte Erhöhung der nationalen THG-Emissionen	Deutliche Erhöhung der nationalen THG-Emissionen um mehr als 1 %

\*Bezugsgröße ist Status quo oder 40%-Ziel der Bundesregierung

## 6.1.2 Luftschadstoffe

In dieser Belastungskategorie wird die Gefährdung von Menschen und Ökosystemen durch die Emission von Luftschadstoffen in die Außenluft bewertet.

### 6.1.2.1 Bewertungsmodell Produktebene

Die Wirkung von Luftschadstoffen hängt vom atmosphärischen Transport zu den Schutzgütern (Menschen und Ökosysteme) sowie deren Vorbelastung und Empfindlichkeit ab. Eine detaillierte Bewertung muss diese Faktoren im Rahmen von Modellen miteinander kombinieren (zum Beispiel Impact-Pathway-Approach (EEA 2011)), was aber für eine vereinfachte Bewertung zu aufwendig ist. Die Bewertung der Emissionen erfolgt daher durch eine Experteneinschätzung. Typischerweise werden folgende Luftschadstoffe beziehungsweise Summenparameter betrachtet: NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, Feinstaub (PM<sub>2.5</sub>) und NMVOC (flüchtige organische Verbindungen ohne Methan). Weitere Stoffe (zum Beispiel Schwermetalle und organische Schadstoffe) werden nur dann einbezogen, wenn sie für den Vergleich von besonderer Relevanz sind. Für die Bewertung müssen dann adäquate Methoden, wie zum Beispiel ein Vergleich der Emissionsmengen oder die Bewertung anhand toxikologischer Parameter, verwendet werden. Die nationalen Emissionsmengen dieser Stoffe sind dann durch das in Anhang A 6 beschriebene Verfahren zu ermitteln.

Die über den Produktlebensweg auftretenden Emissionen ( $E$ ) der Schadstoffe werden (für jeden Stoff separat) aufsummiert. Kommt es zu relevanten Emissionen mehrerer Luftschadstoffe, so können diese mit einem Gewichtungsfaktor ( $GF$ ) multipliziert und anschließend für eine Gesamtbewertung aggregiert werden:

$$\text{Wert} = E_{\text{SO}_2} \cdot GF_{\text{SO}_2} + E_{\text{NO}_x} \cdot GF_{\text{NO}_x} + E_{\text{NH}_3} \cdot GF_{\text{NH}_3} + E_{\text{NMVOC}} \cdot GF_{\text{NMVOC}} + E_{\text{PM}_{2.5}} \cdot GF_{\text{PM}_{2.5}}$$

Die Rangfolge der zu untersuchenden Alternativen wird auf Basis der so gewichteten Emissionsmengen erstellt. Liegen allerdings Erkenntnisse dazu vor, dass sich die Emissionen der zu untersuchenden Alternativen in raum-zeitlicher Hinsicht sehr stark voneinander unterscheiden und dies zu einer deutlich unterschiedlichen Immissionsbelastung führt, muss dies bei der Bildung der Rangfolge in geeigneter Weise berücksichtigt werden.

Die notwendigen Gewichtungsfaktoren zur Aggregation der Emissionen der einzelnen Schadstoffe sollen eine „distance-to-target“ Gewichtung widerspiegeln und werden – als erste pragmatische Herangehensweise – wie folgt definiert:

Zunächst wird, in Anlehnung an die Bewertungsmethode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al. 2006), das Verhältnis aus aktuellen Schadstoffemissionen (2013) und einem Zielwert gebildet. Durch das anschließende Quadrieren wird eine überproportionale Gewichtung starker Zielwertüberschreitungen erreicht. Als Zielwert werden nationale Emissionsmengen gewählt, die sich aus der Reduktionsverpflichtung der neuen Richtlinie über die Verringerung der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe ergeben. Anschließend ergibt sich der Gewichtungsfaktor aus der Division durch die aktuelle Emissionsmenge. Tabelle 10 enthält die berechneten normierten Gewichtungsfaktoren (diese sollten periodisch neu berechnet werden).

$$GF_{\text{Schadstoff}} = \frac{1}{\text{Emission (2013)}_{\text{Schadstoff}}} \cdot \left( \frac{\text{Emission (2013)}_{\text{Schadstoff}}}{\text{Zielwert}_{\text{Schadstoff}}} \right)^2$$



**Tabelle 10 Zielwerte für nationale Emissionen und daraus abgeleitete Faktoren zur Gewichtung der Emissionen von Luftschadstoffen (kt = Kilotonne)**

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	NM VOC	Feinstaub (PM <sub>2,5</sub> ) <sup>1</sup>
Zielwert für jährliche nationale Emissionen	198 kt SO <sub>2</sub>	551 kt NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	474 kt NH <sub>3</sub>	964 kt NM VOC	76 kt Feinstaub (PM <sub>2,5</sub> )
Emissionen im Jahr 2013	416 kt SO <sub>2</sub>	1.267 kt NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	671 kt NH <sub>3</sub>	1.138 kt NM VOC	113 kt Feinstaub (PM <sub>2,5</sub> )
Gewichtungsfaktor (GF)	0,0106 1/kt SO <sub>2</sub>	0,0042 1/kt NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	0,0030 1/kt NH <sub>3</sub>	0,0012 1/kt NM VOC	0,0195 1/kt Feinstaub (PM <sub>2,5</sub> )

### 6.1.2.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit

Für die Beurteilung der Gesamtrelevanz wird das vorhandene Wissen über die räumlich, zeitliche Immissionsbelastung durch die zu beurteilende Produktgesamtheit an den Schutzgütern vor dem Hintergrund der aktuellen Belastung herangezogen (soweit vorhanden kann dabei zum Beispiel auf Ergebnisse mesoskaliger Modelle und die (Emissions-)Parametrisierung nationaler Immissionsprognosen zurückgegriffen werden) und in Bezug zu einem Referenzfall gesetzt. Bei sekundären Luftverunreinigungen (sekundäre Feinstäube und Ozon) wird der Einfluss der Emissionen auf deren Bildung entsprechend abgeschätzt. Ob diese Immissionsbetrachtung notwendig ist, kann grob über das Verhältnis der verursachten Gesamtemissionen zu den nationalen Emissionsmengen abgeschätzt werden (Tabelle 10). Ist dieses kleiner als 1 Prozent, ist in der Regel nicht mit einem wesentlichen Beitrag zur Immissionsbelastung zu rechnen. Es sollte dann aber geprüft werden, ob es zu räumlich und/oder zeitlich begrenzten Belastungsspitzen kommen kann, die zur Überschreitung von Immissionswerten führen.

Typischerweise werden zur Beurteilung folgende Immissionswerte herangezogen:

- ▶ Die in den aktuell gültigen WHO-Leitlinien (WHO 2013) zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegten Beurteilungswerte für Feinstaub (Jahresmittelwert: PM<sub>10</sub>: 20 µg/m<sup>3</sup>; PM<sub>2,5</sub>: 10 µg/m<sup>3</sup>; 24-Stunden-Mittelwert: PM<sub>10</sub>: 50 µg/m<sup>3</sup>; PM<sub>2,5</sub>: 25 µg/m<sup>3</sup>), NO<sub>2</sub> (Jahresmittelwert: 40 µg/m<sup>3</sup>; 1-Stunden-Mittelwert: 200 µg/m<sup>3</sup>), Ozon (8-Stunden-Mittel: 100 µg/m<sup>3</sup>) und SO<sub>2</sub> (24-Stunden-Mittelwert: 20 µg/m<sup>3</sup>; 10-Minuten-Mittelwert: 500 µg/m<sup>3</sup>).
- ▶ Critical Loads für Eutrophierung und Versauerung
- ▶ Für Schwermetalle, organische Schadstoffe und weitere Luftschadstoffe (zum Beispiel Ozon in Bezug auf Ökosysteme) werden anlassbezogen Beurteilungswerte verwendet (zum Beispiel weitere Werte der 39. BImSchV, Critical Loads und Levels, unit risk Konzept; bei besorgniserregenden Stoffen [zum Beispiel Klasse I der TA Luft] kann gegebenenfalls auch nur eine vergleichende Emissionsbetrachtung möglich sein)<sup>2</sup>

Die Bewertung erfolgt durch Experteneinschätzung anhand folgender Kriterien:

<sup>1</sup> Liegen nur Werte für PM<sub>10</sub> vor, so können diese (wenn keine weiteren Informationen vorliegen) in erster Näherung mit dem Faktor 0,7 in PM<sub>2,5</sub> umgerechnet werden.

<sup>2</sup> Eine Überschreitung der Emissionsstandards der TA Luft wird ausgeschlossen (gesetzliche Vorgabe).

Tabelle 11 Bewertungsmo­del für die Belastung durch Luftschadstoffe

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Beurteilungswert und Vergleich mit Referenz <b>Fall a)</b> Immissionswerte werden derzeit <b>eingehalten</b>	Immissionen <b>verringern sich</b> im Vergleich zum Referenzfall	<b>Keine Veränderung</b> der Immissionen im Vergleich zum Referenzfall	Immissionen <b>erhöhen sich leicht</b> im Vergleich zum Referenzfall, <b>ohne</b> dass mit einer <b>Überschreitung der Immissionswerte</b> zu rechnen ist	Immissionen <b>erhöhen sich</b> im Vergleich zum Referenzfall, so dass eine <b>Überschreitung der Immissionswerte wahrscheinlich</b> ist	Immissionen <b>erhöhen sich stark</b> im Vergleich zum Referenzfall, so dass <b>Immissionswerte stark überschritten</b> werden
Beurteilungswert und Vergleich mit Referenz <b>Fall b)</b> Immissionswerte werden derzeit <b>überschritten</b>	Immissionen <b>verringern sich so stark</b> im Vergleich zum Referenzfall, dass die <b>Immissionswerte sicher eingehalten</b> werden	Immissionen <b>verringern sich so stark</b> im Vergleich zum Referenzfall, dass die <b>Immissionswerte unter Umständen eingehalten</b> werden können	Immissionen <b>verringern sich</b> im Vergleich zum Referenzfall, <b>ohne</b> dass von einer <b>Unterschreitung der Immissionswerte</b> ausgegangen werden kann	<b>Keine Veränderung</b> der Immissionen im Vergleich zum Referenzfall	Immissionen <b>erhöhen sich</b> im Vergleich zum Referenzfall

Unterscheidet sich die Bewertung für die emittierten Stoffe, so ist für die Gesamtbewertung für die Außenluft in der Regel die schlechtere Bewertung maßgebend (Abweichungen von dieser Regel sollten begründet werden).

### 6.1.3 Stoffbelastungen im Innenraum

In dieser Belastungskategorie werden die gesundheitsgefährdenden Wirkungen von Schadstoffemissionen und -immissionen in Innenräumen bewertet.

#### 6.1.3.1 Bewertungsmodell Produktebene

Die Rangfolge der zu untersuchenden Alternativen hinsichtlich Stoffbelastungen im Innenraum wird durch eine Experteneinschätzung auf Grundlage folgender Kriterien ermittelt:

##### a) Gegenstände und Möbel im Innenraum/Bauprodukte

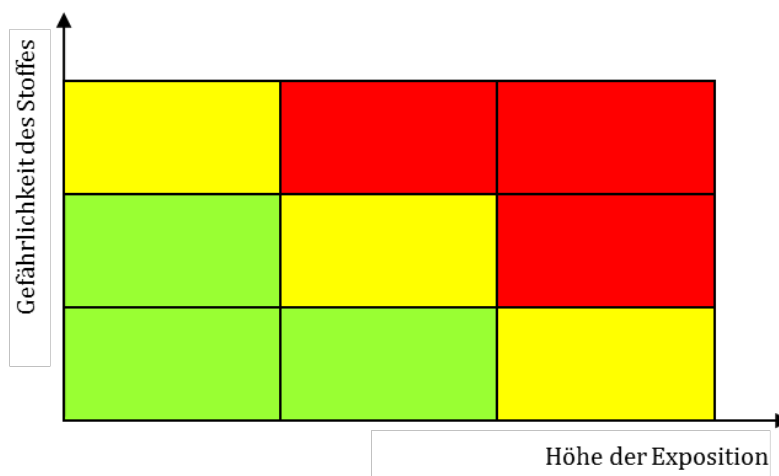
Für Einsatzprodukte im Innenraum/Bauprodukte erfolgt der Vergleich entsprechend der Erfüllung von Kriterien des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB 2015a) oder von Vergabekriterien des Blauen Engel. Neben diesen auf der Einhaltung von Grenzwerten basierenden Kriterien wird die Höhe möglicher Immissionen im Realraum unter ungünstigen Bedingungen (Luftwechsel extrem gering, hohe Depoteffekte für emittierte Stoffe etc.) verglichen.

##### b) Flüchtige organische Verbindungen

Bei Einträgen flüchtiger organischer Verbindungen (englisch volatile organic compounds = VOC) in die Raumluft gilt, dass entweder über eine Extrapolation aus Emissionsdaten oder über direkte Messung die Immissionssituation geschätzt oder messtechnisch bestimmt wird.

Für die Rangbildung ist neben der Immissionskonzentration auch die Gefährlichkeit der VOCs zu berücksichtigen (Abbildung 6).

**Abbildung 6** Qualitative Risikoabschätzung für VOC-Immissionen in Innenräumen über Gefährlichkeit des Stoffes und Exposition (grün = geringes Risiko, gelb = mittleres Risiko, rot = hohes Risiko)



Die Gefährlichkeit des Stoffes kann mit Hilfe der UBA-Richtwerte I & II (Innenraumlufthygiene-Kommission (UBA 2012) bestimmt werden.

Für einzelne flüchtige organische Verbindungen (very volatile organic compounds (VVOC), volatile organic compounds (VOC) und semi-volatile compounds (SVOC)), für die derzeit keine Richtwerte existieren, können hilfsweise die Orientierungswerte der AGÖF (Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute) herangezogen werden. Die AGÖF Orientierungswerte sind Auffälligkeitsswerte, die aus zahlreichen Messungen (darunter viele Anlassmessungen) statistisch abgeleitet wurden (AGÖF 2016).

**c) Feinstaub und Staubinhaltsstoffe**

Für Staubeinträge existiert derzeit kein Bewertungsinstrumentarium für die Innenraumbelastung. Die Innenraumkommission kommt für die Feinstaubbewertung zu folgender Aussage:

„Wegen der sehr vielfältigen Quellen, aus denen Feinstaub im Innenraum stammen kann, ist eine gesundheitliche Bewertung der Feinstaubkonzentrationen sehr schwierig. Je nach Quelle des Feinstaubes im Innenraum können sich sowohl die Partikelgröße als auch die chemische Zusammensetzung des Staubes stark unterscheiden. Die Innenraumlufthygiene-Kommission geht davon aus, dass ein Teil der Wirkungen als Folge der Partikelgröße und -oberfläche, ein anderer als Folge der biologischen und chemischen Zusammensetzung des Feinstaubes auftritt. Feine und ultrafeine Partikel können bis tief in den menschlichen Atemwegstrakt eindringen. Partikel kleiner als 1-2 Mikrometer Durchmesser gelangen bis in die Lungenbläschen (Alveolen). Sehr kleine Partikel (ultrafeine Partikel < 100 Nanometer [nm]) können von dort in den Blutkreislauf übertreten und gesundheitliche Probleme verursachen. Haften schädliche chemische Substanzen an den Partikeln, können diese ebenfalls aufgenommen werden. Von Sonderfällen mit hoher Staubbelastung abgesehen, weiß man derzeit noch recht wenig über konkrete Gesundheitsgefahren bei Feinstaubbelastungen in Innenräumen. Quantitative Aussagen zum Gesundheitsrisiko der Feinstaubbelastungen in Innenräumen lassen sich derzeit daher nicht treffen. Die Innenraumlufthygiene-Kommission stellt fest, dass erhöhte Feinstaubkonzentrationen in Innenräumen hygienisch unerwünscht sind, ohne dass damit bereits eine konkrete Aussage zum Gesundheitsrisiko verbunden ist. Eine Verringerung der Staubkonzentrationen der Luft dient damit der Vorsorge vor vermeidbaren Belastungen.“ (UBA 2012).

Eine Rangbildung der zu untersuchenden Alternativen hinsichtlich Feinstaubbelastungen in Innenräumen kann daher lediglich durch eine qualitative Experteneinschätzung unter Berücksichtigung der Immissionskonzentrationen und der Gefährlichkeit erfolgen.

**6.1.3.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit**

**a) Gegenstände und Möbel im Innenraum/Bauprodukte**

Die Klassifizierung der Belastungen erfolgt mittels Experteneinschätzung anhand der AgBB-Kriterien (2015a) und der Vorgaben des Blauen Engel (2016). Da es sich um eine Bewertung für die Produktgesamtheit handelt, sollte zusätzlich die Anzahl der Betroffenen berücksichtigt werden. So sind bei einer Untersuchung von Innenraumemissionen durch Staubsauger beispielsweise mehr Haushalte und Menschen betroffen als bei einer Studie zu Innenraumemissionen von Kaminöfen.

**Tabelle 12 Bewertungsmodell für die Belastung durch Stoffe im Innenraum/Bauprodukte**

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Belastung durch Bauprodukte: Emissionen für VVOC, VOC und SVOC gem. AgBB- und Blauer Engel-Vorgabe	Keine Emissionen; kaum messbare Schadstoffkonzentrationen im Innenraum	<- Experteneinschätzung ->			AgBB- und Blauer Engel-Vorgabe nicht erfüllt; sehr hohe Schadstoffkonzentrationen im Innenraum

**b) Flüchtige organische Verbindungen**

Bei Einträgen flüchtiger organischer Verbindungen in die Raumluft gilt, dass über eine direkte Messung die Immissionsituation bestimmt wird. Die Immissionen werden, ebenfalls unter Berücksichtigung der Anzahl der Betroffenen, gemäß den Vorgaben der Innenraumlufthygiene-Kommission (UBA 2012) folgendermaßen bewertet:

**Tabelle 13** Bewertungsmodell für die Belastung durch Stoffe im Innenraum/VOC

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Belastung für VOC/TVOC Richtwertüberschreitung der Innenraumlufthygienekommission	Keine Emissionen zu erwarten; Kaum messbare Schadstoffkonzentrationen im Innenraum	VOC-Emissionen, die als Gesamtkonzentration unter dem Richtwert I des UBA oder unter Stufe 2 für TVOC bleiben	VOC-Emissionen, die als Gesamtkonzentration zwischen RW I und RW II liegen, oder unter Stufe 3 für TVOC bleiben	VOC-Emissionen, die als Gesamtkonzentration RW II erreichen oder überschreiten, oder unter Stufe 4 für TVOC bleiben	VOC-Emissionen, die als Gesamtkonzentration RW II deutlich überschreiten, oder Stufe 3 für TVOC überschreiten

Für einzelne flüchtige organischen Verbindungen, für die derzeit keine Richtwerte existieren, kann eine Klassifizierung der Belastung mit Hilfe von AGÖF-Orientierungswerten (AGÖF 2016) und der qualitativen Risikobewertung erfolgen (Kapitel 6.1.3.1).

### c) Feinstaub und Staubinhaltsstoffe

Für Staubbelastungen im Innenraum gibt es derzeit keine geeigneten Bewertungsgrundlagen. Die gesundheitlichen Auswirkungen hängen neben den stark variierenden Partikelkorngrößen, der unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung auch von den Raumgegebenheiten (Staubabsetzung und -aufwirbelung, Senkeneffekte, Luftströmung etc.) ab. Man orientiert sich bei der Belastungsklassifizierung von Feinstaub in Innenräumen näherungsweise an den aktuell gültigen Beurteilungswerten für Feinstaub in der Außenluft der WHO-Leitlinien (WHO 2013) zum Schutz der menschlichen Gesundheit, sofern der Staubeintrag von außen deutlich überwiegt:

- Der PM<sub>2,5</sub>- 24-Stunden-Mittelwert darf 25 µg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten.

Daraus abgeleitet ergibt sich folgendes Bewertungsmodell für die Belastung von Feinstaub in Innenräumen:

**Tabelle 14** Bewertungsmodell für die Belastung durch Stoffe im Innenraum/Feinstaub

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Belastung Staub Grenzwertüberschreitung	Keine Staubemissionen zu erwarten	Das PM <sub>2,5</sub> Tagesmittel wird unterschritten	Das PM <sub>2,5</sub> Tagesmittel wird zeitweise überschritten.	Das PM <sub>2,5</sub> Tagesmittel wird häufiger überschritten.	Das PM <sub>2,5</sub> Tagesmittel wird dauerhaft überschritten.

In der Praxis sind diese Werte jedoch nur begrenzt heranziehbar. Sofern sich die Quelle für die Staubbelastung im Innenraum selbst befindet, ist die Belastung – je nach Emissionsquelle – ggf. nur kurzzeitig erhöht, so dass ein Vergleich mit Tagesmittelwerten und erst recht mit Jahresmittelwerten nicht zielführend ist. Da jede Erhöhung der Staubbelastung im Innenraum grundsätzlich gesundheitlich nicht vorteilhaft und hygienisch unerwünscht ist, muss man sich daher mit einer Expertenabschätzung behelfen und abschätzen, ob eine Technik oder ein Produkt zu einer relevanten Erhöhung der Staubbelastung im Innenraum führt oder nicht. Das ist oft nur in Form einer Reihung der verschiedenen Produktalternativen (besser – schlechter) möglich. Die Anzahl der Betroffenen ist auch hier zu berücksichtigen. Verschiedene Forschungsprojekte des Umweltbundesamtes lassen erwarten, dass in absehbarer Zeit Daten zur „Grundbelastung“ von Fein- und Ultrafeinstaub in Innenräumen verfügbar sein werden, die die Bewertung von Messdaten vereinfachen.

### 6.1.4 Abwasser

In dieser Belastungskategorie wird die Gefährdung von Mensch und Natur durch in Abwasser enthaltene Schadstoffe und Nährstoffe bewertet. Hierbei werden die punktförmigen Einträge erfasst, unabhängig davon, ob der Eintrag über spezielle industrielle Abwasserbehandlungsanlagen oder über öffentliche Abwasserbehandlungsanlagen erfolgt. Im Unterschied zu Luftemissionen wirken Gewässereinträge stärker lokal/regional; dies ist bei den Vergleichen mit Wirkschwellen zu beachten.

#### 6.1.4.1 Bewertungsmodell Produktebene

Ähnlich wie bei den Luftschadstoffen (Kapitel 6.1.2.1) soll die Bewertung auf der Produktebene möglichst mithilfe des Distance-to-Target Ansatzes erfolgen (Bewertungsmodell a). Da dies aufgrund der Datenlage nicht immer möglich ist, werden alternative Bewertungsmodelle für Nährstoffe (b) und Schadstoffe (c) angeboten.

##### a) Distance-to-Target Bewertung

Ahbe et. al (2014) haben in einem Projekt der Volkswagen-AG die in der Schweiz entwickelte Methode der ökologischen Knappheit für Deutschland angepasst. Ziel dieser Studie war insbesondere ein systematischer Vergleich der Umweltwirkungen von verschiedenen Standorten. Die Bewertung erfolgt anhand von Ökofaktoren. Dies sind die schadstoffspezifischen Quotienten von aktueller Fracht (aktueller Fluss) und akzeptabler Fracht (kritischer Fluss). Sie sind daher als ein Maß für den Handlungsbedarf anzusehen, da sie für die einzelnen Stoffströme den Abstand der gemessenen Emissionen (Ist-Zustand) zu den politisch angestrebten Emissionen (Soll-Zustand) angeben (distance to target). Im Unterschied zur Luftreinhaltung bestehen beim Gewässerschutz nur in wenigen Fällen vereinbarte „akzeptable Frachten“. In den anderen Fällen müssen Hilfskonstruktionen verwendet werden. Dabei wird das halbe Qualitätsziel mit dem jährlichen Durchfluss multipliziert.

Als Datengrundlagen für die Gesamtflüsse werden insbesondere die Modellergebnisse von regionalisierten Pfadanalysen, insbesondere mit dem Modellsystem MoRE / Moneris (Fuchs et al. 2010) verwendet. Dabei werden für Gewässereinzugsgebiete von ca. 100-150 km<sup>2</sup> die Gewässereinträge über verschiedene punktförmige und diffuse Eintragspfade berechnet. Als Datengrundlage für die punktförmigen Einträge werden ebenfalls die Pollutant Release and Transfer Register (PRTR)-Daten, ergänzt ggf. durch zusätzliche Information, verwendet. Sie ist daher identisch mit den Datengrundlagen für die Bewertung nach Kap. 6.1.4.2 Variante a.

**Tabelle 15 Diffuse und punktförmige Stoffeinträge in die Oberflächengewässer Deutschlands (Fuchs et al. 2016 unveröffentlicht)**

	Eintrag über diffuse Pfade in Gewässer in Deutschland im Mittel der Jahre 2012-2014 (Werte gerundet)	Eintrag über Punktquellen in Gewässer in Deutschland im Mittel der Jahre 2012-2014 (Werte gerundet)
<b>Nährstoffe in t/a</b>		
Stickstoff	396.000	91.000
Phosphor	15.000	7.600
<b>Schadstoffe in t/a</b>		
Blei	252	12,7
Cadmium	4,5	2,3
Chrom	224	19,6
Kupfer	292	78,6
Nickel	215	69,4

	Eintrag über diffuse Pfade in Gewässer in Deutschland im Mittel der Jahre 2012-2014 (Werte gerundet)	Eintrag über Punktquellen in Gewässer in Deutschland im Mittel der Jahre 2012-2014 (Werte gerundet)
Quecksilber	0,84	0,07
Zink	1.762	781
EPA-PAK <sub>16</sub>	15,3	1

Für Auswertungen werden diese dann zu größeren räumlichen Einheiten aggregiert. Allerdings ist aufgrund der relativ hohen Datenanforderungen das Stoffspektrum eingeschränkt, Tabelle 15 gibt für Deutschland aggregiert die vorhandenen Daten für punktförmige und diffuse Einträge vor, für die eine regionalisierte Pfadanalyse vorliegt.

Bei einer vertieften, eher regional orientierten Untersuchung stellt die Methode der ökologischen Knappheiten ein Verfahren dar, dessen Anwendung zu erwägen ist.

### b) Nährstoffe

Es erfolgt ein quantitativer Vergleich der Emissionen für die verschiedenen Produktionsverfahren bezogen auf die funktionelle Einheit. Dieser Vergleich gibt einen ersten Eindruck über die Umweltrelevanz eines Verfahrens. Treten wie im Beispiel (Tabelle 16) widersprüchliche Ergebnisse hinsichtlich CSB, N oder P auf, wird die Priorisierung der Alternativen mittels Experteneinschätzung festgelegt.

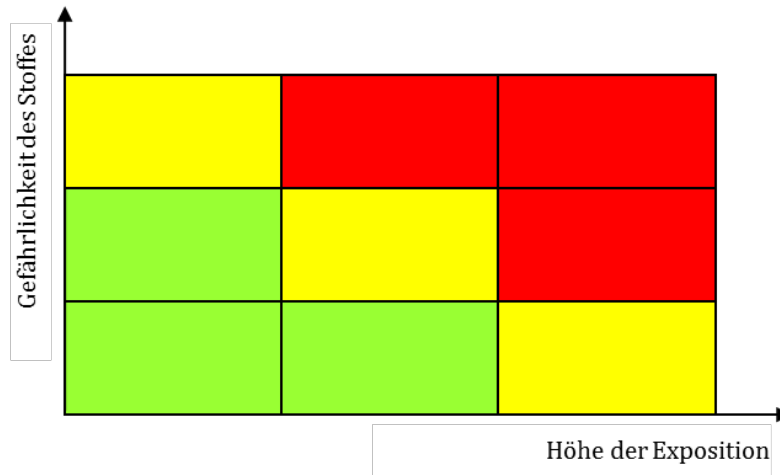
**Tabelle 16 Beispielhafter quantitativer Vergleich der Emissionsfaktoren für Nährstoffe zweier Verfahren**

	Verfahren 1	Verfahren 2
CSB in kg/Menge des für eine normierte funktionelle Einheit erforderlichen Produktes	5	2
N in kg/Menge des für eine normierte funktionelle Einheit erforderlichen Produktes	6	4
P in kg/Menge des für eine normierte funktionelle Einheit erforderlichen Produktes	1	10

### c) Schadstoffe

Bei organischen Belastungen soll die Bewertung mit Summenparametern wie CSB oder TOC (spezifische Fracht in kg/Menge des für eine normierte funktionelle Einheit erforderlichen Produktes) erfolgen. Hohe CSB-Werte sind oft auch ein Indikator für andere Belastungen. Für halogenierte Chemikalien erfolgt die Bewertung mithilfe des AOX (spezifische Fracht in kg/kg Produkt). Zusätzlich sollten auf Grund ihrer Toxizität die Schwermetalle berücksichtigt werden, unter anderem Hg, Cr, Cd (spezifische Fracht in kg/kg Produkt). Für alle anderen Fälle wird eine qualitative Einstufung vorgeschlagen, die sich an der allgemeinen Risikoabschätzung orientiert.

**Abbildung 7 Risikobewertung für Schadstoffe im Abwasser über Gefährlichkeit und Exposition (grün = geringes Risiko, gelb = mittleres Risiko, rot = hohes Risiko)**



Es kann sein, dass sich die aus den Emissionsmengen ergebende Rangfolge der Alternativen je nach Schadstoff ändert (geringerer CSB aber mehr Cd). Die abschließende Priorisierung soll daher durch Experteneinschätzung festgelegt werden. Dies gilt auch, wenn in einer Studie Nähr- und Schadstoffemissionen relevant sind.

**6.1.4.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit**

Die Bewertung auf der Ebene der Produktgesamtheit erfolgt einerseits über den spezifischen Beitrag der Produktgesamtheit zu nationalen Gesamtemissionen (Variante a) und andererseits über die Einhaltung von Qualitätszielen (Variante b)

a) Spezifischer Beitrag

Die spezifischen Emissionen eines Produktes werden mit der Stückzahl oder der produzierten Gesamtmenge multipliziert, um so die Gesamtbelastung auf der Makroebene zu bestimmen. Die Kategorisierung erfolgt anschließend über das Verhältnis produktspezifischer Emissionen zur Nationalen Gesamtemission.

Die nationalen Emissionsmengen für die wichtigsten Schadstoffe wurden in der folgenden Tabelle über Thru.de abgeschätzt (UBA 2013b). Thru.de löst das bisherige Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister (Pollutant Release and Transfer Register – PRTR) ab. In Thru.de werden Informationen zu Schadstofffreisetzungen und der Entsorgung von Abfällen sowie zu Emissionen aus diffusen Quellen zusammengeführt. Bisher werden jedoch noch nicht alle Quellen vollständig erfasst. Deshalb werden die Emissionen aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen in dieser Abschätzung verdoppelt, da Thru.de nur ca. 50 Prozent der anfallenden Abwassermenge enthält. Auch bei den industriellen Anlagen sind die tatsächlichen Emissionen wahrscheinlich höher. Hier kann aber für die einzelnen Branchen aufgrund der Datenlage keine Quantifizierung vorgenommen werden. Die Werte sollen nur eine Orientierung für die Abschätzung der Gesamtrelevanz darstellen. Stoffe, für die keine nationalen Gesamtemissionen erhoben wurden, gelten als nicht relevant im Sinne dieses Kriteriums.

**Tabelle 17 Abschätzung nationaler Emissionsmengen relevanter Schadstoffe (UBA 2013b)**

Schadstoff	Nationale Emissionsmenge aus Punktquellen in t/a
CSB (TOC*3)	368.000
Gesamtphosphor	3.520
Gesamtstickstoff	781.700



Schadstoff	Nationale Emissionsmenge aus Punktquellen in t/a
Kupfer	60
Zink	480
Nickel	55
Quecksilber	16
Chrom	22
AOX	300

Da über den Produktlebensweg wahrscheinlich verschiedene Emissionen auftreten, ist auch bei der Relevanzprüfung der höchste spezifische Beitrag ausschlaggebend.

**Tabelle 18** Bewertungsmodel für die Belastung durch Nährstoffe oder Schadstoffe aus Punktquellen in Gewässer

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Durch Punktquellen, Anteil an den nationalen Gesamtemissionen	Keine relevanten Emissionen zu erwarten	1/10.000 – 1/1.000	1/1.000 – 1/100	> 1/100	> 1/10

### b) Einhaltung von Qualitätszielen

Sofern der Vergleich beziehungsweise die Betrachtung der Gesamtemissionsmengen allein nicht zur Bewertung ausreicht, wird geprüft, ob die Erreichung oder Überschreitung einer Qualitätsnorm wahrscheinlich ist. Die Einhaltung der Grenzwerte der Abwasser-Verordnung (Abwasserverordnung) lässt – vorausgesetzt es herrschen keine Sonderbedingungen – erwarten, dass die Umweltqualitätsnormen (UQN) (OGewV 2011) eingehalten werden. Um die Belastung qualitativ genauer zu bewerten ist gegebenenfalls eine Einzelstoffbewertung nach Tabelle 19 (Bewertungsmodell der Bewertungskategorie diffuse Nährstoff- und Schadstoffeinträge in Wasser und Boden) erforderlich.

### 6.1.5 Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge in Wasser und Boden

In dieser Belastungskategorie wird die Gefährdung von Menschen und Ökosystemen durch diffuse Nährstoff- und Schadstoffeinträge in Böden, Grund- und Oberflächengewässer bewertet. Diffuse Quellen sind zum Beispiel mit Düngern auf den Boden eingetragene Nähr- und Schadstoffe oder der Einsatz von Bodenverbesserungsmitteln. Je nach Stoffeigenschaften können sie im Boden akkumulieren oder durch Auswaschung in das Grundwasser eingetragen werden. Mögliche Eintragspfade in Oberflächengewässer sind Wind- und/oder Wassererosion. Als Nährstoffe sind v.a. gewässerrelevant:

- ▶ Phosphorverbindungen wie o-Phosphat oder Polyphosphate
- ▶ Stickstoffverbindungen wie Nitrat und Ammonium

Schadstoffe können je nach Sorptionseigenschaften und Löslichkeit für Gewässer oder Böden relevant sein:

- ▶ Schwermetalle
- ▶ Persistente organische Mikroverunreinigungen (zum Beispiel aus Pestiziden oder Industrieprodukten).

Die über den Produktlebensweg auftretenden Stoffeinträge werden (für jeden Stoff separat) aufsummiert.

#### 6.1.5.1 Bewertungsmodell Produktebene

Bei der Beurteilung der Auswirkungen der in Gewässer oder Böden eingetragenen Nähr- und Schadstoffe soll das Risiko einer Erhöhung der Schadstoffbelastung der Medien abgeschätzt werden, die langfristig zu einer Beeinträchtigung der Nutzung durch den Menschen oder von ökologischen Lebensgemeinschaften führt. Dabei sind die Vorbelastung und die Empfindlichkeit der zu betrachtenden Schutzgüter (Nahrungskette/menschliche Gesundheit und Ökosysteme) zu berücksichtigen. Für eine vereinfachte Bewertung von Produkten wird zunächst eine quantitative Bewertung durchgeführt (Schritt (a)). Wenn diese nicht möglich ist, erfolgt eine qualitative Bewertung über eine Experteneinschätzung (Schritt (b)).

##### a) Quantitative Bewertung

Die Rangbildung der zu untersuchenden Alternativen erfolgt auf Basis der zu erwartenden diffusen Nähr- und Schadstoffeinträge bzw. -austräge. Es erfolgt eine Abschätzung, inwieweit der Einsatz des zu betrachtenden Produkts oder der neuen Technologie die Hintergrundbelastung dauerhaft erhöht.

Bei Nährstoffausträgen lässt sich jedoch in der Regel die Größenordnung der zu erwartenden Austräge nicht klar beziffern, deshalb wird eine qualitative/semiquantitative Bewertung vorgeschlagen.

##### b) Qualitative Bewertung

Über eine Experteneinschätzung wird das Risiko einer Gewässer- oder Bodenbelastung bewertet. Hierbei wird zwischen der Bewertung einer Gefährdung von Oberflächengewässern und Grundwasser unterschieden, da die Eintragspfade unterschiedlich sind.

Relevante Kriterien für die Rangbildung der zu untersuchenden Alternativen sind:

- ▶ Vulnerabilität des Standortes, das heißt das Auswaschungsrisiko in das Grundwasser, Gefahr des Eintrags in die Oberflächengewässer insbesondere durch Erosion,
- ▶ Kulturartspezifisches Eintragsrisiko, das heißt Pflanzenart, Bewirtschaftungsverfahren (zum Beispiel Fruchtfolge/Monokultur, Ökolandbau), Düngeintensität (Menge/Fläche/Zeit, Nährstoffüberschuss),
- ▶ Relevante stoffinhärente Eigenschaften (Persistenz, Bioakkumulation, Toxizität).

### 6.1.5.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit

Neben der Bewertung auf der Mikroebene (Vergleich auf Basis der funktionellen Einheit) ist auch die Gesamtrelevanz zu überprüfen, also die Frage, ob das zu beurteilende Produkt maßgeblich zur Einhaltung oder Überschreitung (immissionsseitiger) Umweltqualitätsnormen beiträgt. Für die Beurteilung muss das vorhandene Wissen über die voraussichtliche Immissionsbelastung durch das zu beurteilende Produkt an den Schutzgütern vor dem Hintergrund der Vorbelastung herangezogen werden (soweit vorhanden kann dabei zum Beispiel auf nationale Emissionsinventare zurückgegriffen werden).

Die Relevanzprüfung auf der Makroebene erfolgt wie das Bewertungsmodell über Experteneinschätzung. Bei der Bewertung ist stoffspezifisch zu entscheiden, welches Medium bzw. Schutzgut - Oberflächengewässer (Flüsse, Seen und Meere), Grundwasser oder Böden – im Vordergrund steht. Die Bewertung erfolgt durch Experteneinschätzung anhand folgender Kriterien:

- ▶ Ausmaß der betroffenen Fläche oder Wasserkörper.
- ▶ Empfindlichkeit: Hydrogeologische Randbedingungen, die das Risikopotential für einen Ausstrag in Gewässer (z.B. Niederschlagsmenge/-verteilung, Art und Mächtigkeit der Deckschichten, Hangneigung, Drainagen) oder eine Akkumulation in Böden wesentlich beeinflussen.
- ▶ Dauer der Belastung, zum Beispiel durch Dauerkulturen, Monokulturen und Anwendungsart, Anwendungshäufigkeit und Anwendungsmenge von Pflanzenschutzmitteln oder anderer schadstoffhaltiger Produkten.
- ▶ Stoffeigenschaften: Emissionsfrachten > 5 Prozent des sektorspezifischen Beitrages

Die Gesamtbewertung erfolgt anhand der nachfolgenden Tabelle. Die zu erwartenden Nähr- und Schadstoffkonzentrationen werden in Relation zu den Normen im Gewässerschutz (Umweltqualitätsnormen (UQN) der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2011), Schwellenwerte der Grundwasserverordnung (GrwV 2010)) oder Vorsorgewerte der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV 1999) und Lebensmittelgrenzwerten (LFGB 2005) gesetzt und über ein abgestuftes Verfahren bewertet.

**Tabelle 19** Bewertungsmodell für die Belastung durch diffuse Nährstoff- und Schadstoffeinträge in Wasser und Böden

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Überschreitung von Qualitätszielen und Normen <b>Fall a)</b> Immissionswerte werden derzeit <b>eingehalten</b>	Immissionen <b>verringern</b> sich gegenüber der Referenz	<b>Keine Veränderung</b> der Immissionen gegenüber der Referenz	<b>Erhöhung</b> der Immissionen gegenüber der Referenz, die <b>Qualitätsziele/ Normen</b> werden jedoch <b>unterschritten</b> ; (nur sehr lokale Überschreitungen)	<b>Erhöhung</b> der Immissionen gegenüber der Referenz, Gefährdung von Pflanzen und Tieren, <b>hohes Risiko Normen zu überschreiten</b> ; (regional größere Zahl von Überschreitungen zu erwarten)	<b>Starke Erhöhung</b> der Immissionen gegenüber der Referenz führt zu <b>Überschreitung von Normen, Gesundheitsgefährdung</b> ; (überregionale Überschreitungen sind zu erwarten)
Überschreitung von Qualitätszielen und Normen <b>Fall b)</b> Immissionswerte werden derzeit <b>überschritten</b>	Immissionen <b>verringern sich so stark</b> gegenüber der Referenz, dass die <b>Qualitätsziele/ Normen sicher eingehalten</b> werden.	Immissionen <b>verringern sich</b> gegenüber der Referenz, so dass die <b>Qualitätsziele/ Normen u.U. eingehalten</b> werden können	Immissionen <b>verringern sich</b> gegenüber der Referenz, die <b>Qualitätsziele/ Normen können dennoch nicht eingehalten</b> werden	<b>Keine Veränderung</b> der Immissionskonzentrationen gegenüber der Referenz	Immissionen <b>erhöhen sich</b> gegenüber der Referenz

Je nach Datenlage kann auch mit Modellberechnungen gearbeitet werden, wie sie zum Beispiel bei den Ergebnissen aus der Stoffeintragsmodellierung oder bei der Pflanzenschutzmittel-Zulassung angewendet werden.

## 6.2 Physikalische Belastungen

### 6.2.1 Lärm

In dieser Belastungskategorie wird die Beeinträchtigung von Menschen durch Lärm untersucht. Hierbei wird nicht nur die Intensität der Belastung sondern auch die Anzahl der Betroffenen einbezogen. Sollten zukünftig Bewertungskriterien, beispielsweise Grenzwerte für die Auswirkungen auf Tiere, zur Verfügung stehen, sind diese in der Bewertung zu berücksichtigen. Aufgrund nicht vorhandener Daten wird in der Regel ausschließlich die Nutzungsphase des Produktes untersucht.

#### 6.2.1.1 Bewertungsmodell Produktebene

Die Bewertung dieser Belastungskategorie erfolgt mittels einer qualitativen/semi-quantitativen Experteneinschätzung. Relevant für die Einschätzung sind jeweils drei Kenngrößen, aus der auf die Belastung durch Lärm geschlossen werden kann.

- ▶ Geräuschintensität: Höhe und Charakteristik des Geräuschpegels des Produkts. Dieser wird in der Regel aus Herstellerinformationen, Forschungsberichten, Datensammlungen und eigenen Messungen und Berechnungen ermittelt (Müller und Möser 2004; Möser 2015; J. Giegrich et al. 2012; UBA 2013b).
- ▶ Einwirkdauer und -zeit: Übliche Einwirkdauer des Produkts auf potentiell Betroffene. Dabei wird insbesondere zwischen Tag- und Nachtbetrieb unterschieden. Sie ergibt sich in der Regel aus der Produktbeschreibung.
- ▶ Betroffenenzahl: Anzahl vom Lärm betroffener Personen. Diese werden in der Regel aus Lärm-messungen oder -berechnungen ermittelt (VBEB 2007; Müller und Möser 2004; J. Giegrich et al. 2012; UBA 2013b; Wichmann und Fromme 2015).

#### 6.2.1.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit

Die Belastungsbeurteilung erfolgt durch eine Experteneinschätzung auf der Basis der vom jeweiligen Produkt verursachten Lärmimmissionen. In die Ermittlung der Geräuschbelastung gehen die Geräuschemissionen des Produkts bzw. der betrachteten Fahrzeuge sowie die Schallausbreitungsbedingungen ein. Die anschließende Beurteilung der Lärmimmissionen wird anhand von wissenschaftlich belegten Schwellen-, Auslöse-, Richt- oder Grenzwerten vorgenommen. Dabei wird sowohl zwischen Lärmimmissionswerten im Freien und innerhalb von Gebäuden unterschieden, als auch zwischen Tag und Nacht differenziert. Hierfür werden gesetzliche Regelungen, wie das Bundes-Immissionsschutzgesetz oder das Fluglärmschutzgesetz mit ihren jeweiligen Ausführungsbestimmungen verwendet, sowie Normen (DIN ISO 266, DIN 4109, VDI 4100 u. a.) oder Empfehlungen bedeutender Institutionen (z. B. WHO Night Noise Guidelines) zu Rate gezogen. Als zusätzliches Bewertungskriterium wird in allen Fällen die Anzahl der betroffenen Personen berücksichtigt.

In den folgenden Tabellen sind Kriterien und Lärmimmissionswerte für die Klassifizierung der Gesamtbelastung aufgeführt. Die Liste der Kriterien und Werte spiegelt grundsätzlich die übergeordneten Ziele des UBA wider, ist jedoch nicht abschließend. Da die Wirkung von Lärm nicht immer über einen Einzahlwert beschrieben werden kann, sind in diesen Fällen zusätzliche Kenngrößen (z. B. Maximalschalldruckpegel) bei der Beurteilung zu verwenden.

**Tabelle 20 Bewertungsmodell für die Belastung durch Umgebungslärm**

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Richtwertüberschreitung	Keine Lärmimmissionen zu erwarten	Geringfügige Belästigung beziehungsweise Beeinträchtigung durch Lärm	Mittlere Belästigung beziehungsweise Beeinträchtigung durch Lärm	Wesentliche Belästigung beziehungsweise Beeinträchtigung durch Lärm	Beeinträchtigung der Gesundheit durch Lärm
$L_{Aeq, Tag}$		40...50 dB(A)	50...55 dB(A)	55...65 dB(A)	> 65 dB(A)
$L_{Aeq, Nacht}$		30...40 dB(A)	40...45 dB(A)	45...55 dB(A)	> 55 dB(A)

**Tabelle 21 Bewertungsmodell für die Belastung durch Lärm in Innenräumen**

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Schwellenwerte aus bekannten Regelwerken	Keine Lärmimmissionen zu erwarten	Experteneinschätzung von Belästigung beziehungsweise Beeinträchtigung durch Lärm. Unterscheidung zwischen Räumen unterschiedlicher Nutzung. An Schlafräume werden beispielsweise höhere Schallschutzanforderungen als an Büroarbeitsräume gestellt.  Beispiele: $L_{Aeq, Nacht} = 25 \text{ dB(A)}$ wird von der VDI 4100 empfohlen für Schlafräume. $L_{EX,8h} = 55 \text{ dB(A)}$ gilt als empfohlene Belastungsdosis für die Ausführung überwiegend geistiger Tätigkeiten.			Beeinträchtigung der Gesundheit durch Lärm  zum Beispiel am Arbeitsplatz: $L_{EX,8h} \geq 85 \text{ dB(A)}$ $L_{pC,peak} \geq 137 \text{ dB(C)}$

## 6.2.2 Strahlung

Diese Belastungskategorie beschreibt die gesundheitliche Beeinträchtigung von Menschen durch Strahlung. Zuständig für diese Bewertung ist das Bundesamt für Strahlenschutz, das im Einzelfall in die Beurteilung mit einbezogen werden muss.

Es müssen unterschiedliche Arten von Strahlung berücksichtigt werden: ionisierende Strahlung (Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) 2009; StrSchV; Röntgenverordnung - RöV, Europäischer Rat), optische Strahlung und elektromagnetische Felder (NiSG; 26. BImSchV; UVSV). Im Zusammenhang mit einer vereinfachten ökologischen Bewertung sind Beispiele Radon aus Baumaterialien (Lehm, Steine), UV-Licht bei Energiesparlampen, Feldbelastungen durch Überlandleitungen, Strahlungsabgabe bei Mobilfunkgeräten etc.

### a) Ionisierende Strahlung

- ▶ Photonen-Strahlen - wie Röntgen- und Gammastrahlung
- ▶ Teilchenstrahlung - wie Alpha-, Beta- und Neutronenstrahlung

### b) Optische Strahlung

- ▶ Ultraviolette Strahlung (UV)
- ▶ Sichtbares Licht (VIS)
- ▶ Infrarotstrahlung (IR)

### c) Elektromagnetische Felder

- ▶ Elektrische Felder
- ▶ Magnetische Felder
- ▶ Elektromagnetische Felder

#### 6.2.2.1 Bewertungsmodell Produktebene

Die Priorisierung der Alternativen erfolgt mittels Experteneinschätzung unter Berücksichtigung von Grenzwerten, Nutzungsintensitäten, Abstand von Strahlungsquellen, etc.

#### 6.2.2.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit

Eine Belastungsklassifizierung der Produktgesamtheit durch Strahlung kann nur schwer auf Basis des Einhaltens/der Gefährdung von Qualitätszielen erfolgen. Daher werden im Folgenden Bewertungskriterien für die drei Strahlungsarten angegeben, die auch für eine Bewertung einzelner Produkte geeignet wären.

### a) Ionisierende Strahlung

Für die Anwendung ionisierender Strahlung gelten die Grundprinzipien des Strahlenschutzes: Dosisbegrenzung, Rechtfertigung und Optimierung (das heißt Strahlenbelastung so gering wie sinnvollerweise erreichbar).

Dosisbegrenzung: Die relevanten Grenzwerte sind in den entsprechenden Regelwerken festgelegt. Dabei sind die Grenzwerte so definiert, dass akute Wirkungen nicht auftreten und die Risiken für Langzeitwirkungen, wie Krebserkrankungen als gesellschaftlich tolerierbar angesehen werden. Bei der Bewertung ist die natürliche Hintergrundbelastung zu beachten. Insofern gibt es zunächst nur drei Kategorien: „keine zusätzliche Belastung“, „Belastung unterhalb des Grenzwertes“ (der für die Allgemeinbevölkerung innerhalb des Schwankungsbereichs der natürlichen Strahlenbelastung liegt) und „sehr hohe Belastungen“ (bei Erreichen oder Überschreiten des Grenzwertes). Da aber gleichzeitig das Optimierungsgebot gilt, wäre auch das annähernde Ausschöpfen des Grenzwertes unter Umständen bereits als sehr hohe Belastung zu bewerten. Es ist aber unmöglich, dies etwa in Prozentsätze des

Grenzwertes fassen zu wollen, da die Optimierung immer Nutzen-Risiko-Abwägung des Einzelfalls beinhaltet. Als weiteres Bewertungskriterium geht die Anzahl der betroffenen Personen in die Klassifizierung der Belastung ein.

**Tabelle 22** Bewertungsmodell für die Belastung durch ionisierende Strahlung

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Grenzwertüberschreitung	Keine Strahlenemissionen zu erwarten	Belastung unterhalb des Grenzwertes und unter Beachtung des Optimierungsgebots			Belastungen, die zur Überschreitung von Grenzwerten führen

### b) Optische Strahlung

Eine einheitliche Bewertung optischer Strahlung (UV, sichtbares Licht, Infrarot) ist aufgrund der unterschiedlichen Wirkmechanismen und Vielzahl der zu berücksichtigenden Parameter nicht möglich.

Bezüglich der Anwendung von UV-emittierenden Produkten im Wellness- und Kosmetikbereich (Solarien etc.) lehnt das BfS grundsätzlich die Nutzung ab (Ausnahme: fachkundige Anwendung im Rahmen medizinischer Therapien). UV-Exposition aus Energiesparlampen sollten nach Empfehlungen des BfS aus Vorsorgegründen ebenso wie die durch elektromagnetische Strahlung so gering wie möglich gehalten werden.

Zur Anwendung von Lasern und anderen Quellen optischer Strahlung mit ähnlichen Wirkungen, wie z.B. intensiv gepulste Lichtquellen (IPL, Blitzlampen) oder LED-Lampen, im Wellness- und Kosmetikbereich fehlen derzeit noch die wissenschaftlichen Grundlagen zur Beurteilung. Entsprechende Forschungsvorhaben wurden vom BfS initiiert. Da diese Geräte aber zum Teil mit hohen Intensitäten arbeiten, sind insbesondere bei Lasern die Klassifizierungen zu beachten und generell bei Anwendungen optischer Strahlung an Menschen die Fachkunde zu fordern.

Das Erstellen einer Bewertungstabelle ist für diesen Bereich nicht möglich.

### c) Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder

Bei Expositionen mit elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern geht man von Schwellenwirkungen aus. Die europäischen Binnenmarktrichtlinien (siehe EU-RL 2014/35/EU, EU-RL 2014/53/EU, EU-RL 2001/95/EG) fordern, dass bei der Bereitstellung auf dem Markt und bei der Inbetriebnahme von Produkten der Schutz der Gesundheit und Sicherheit von Menschen und Haus- und Nutztieren gewährleistet ist. Die Konformität mit den grundlegenden Anforderungen kann mittels europäisch harmonisierter Normen geprüft werden, die somit (quasi-)gesetzliche Vorgaben an die von einzelnen Geräten ausgehenden maximalen Expositionsbeiträge definieren. Für bestimmte Quellen (Anlagen im Sinne der 26. BImSchV: unter anderem Mobilfunkbasisstationen, Stromtrassen der Transport- und Verteilnetze, Stromversorgung der Bahn) bestehen Immissionsgrenzwerte gemäß 26. BImSchV (BImSchV).

Wenn die oben beschriebenen Immissionsgrenzwerte oder z.B. die Werte der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG (Europäischer Rat 1999) eingehalten sind, ist bei Anerkennung des aktuellen, allgemein akzeptierten wissenschaftlichen Kenntnisstands davon auszugehen, dass keine gesundheitlichen Konsequenzen zu erwarten sind. Es ist zu vermuten, dass die große Mehrzahl der möglicherweise zu prüfenden Produkte bezogen auf elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder in die Klasse eingruppiert wird, die zur Vernachlässigung der Kategorie führt. Produkte, die die Höchstwerte überschreiten, sind entweder auszuschließen, fallen in den medizinischen Bereich (der nicht zum Umweltschutz zählt) oder sollten in den medizinischen Bereich fallen (bestimmte kosmetische beziehungsweise Wellness-Anwendungen).

Eine Unterteilung in geringe, mäßige und hohe Belastung ist nicht sinnvoll und erforderlich, da man sich im Unterschied zu anderen Belastungskategorien bei elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern unterhalb der empfohlenen Höchstwerte im Bereich der Vorsorge befindet.

**Tabelle 23** Bewertungsmo­del für die Belastung durch elektrische-, magnetische und elektromagnetische Felder

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Gesamtbelastung	Keine Emissionen zu erwarten	Belastung unterhalb des jeweiligen Grenzwertes und im Bereich der Vorsorge: neue Technologien sollen bestehende Belastungen nicht wesentlich erhöhen			Belastungen, die zur Überschreitung von Grenzwerten führen

Als Datenquelle eignen sich bei elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern allein direkt gemessene Daten und Abschätzungen von Fachleuten. Zusätzliche Belastungen durch neue Technologien und neue Anlagen sollten aus Gründen der Hygiene bestehende Belastungen nicht wesentlich erhöhen.



### 6.2.3 Mechanische Tötung von Tieren

Diese Belastungsunterkategorie beinhaltet alle Formen der letalen, mechanischen Verletzung von Tieren (zum Beispiel Straßenverkehr, Vogelschlag), die eine Population gefährden können.

Eine Population ist eine Gruppe von Individuen der gleichen Art, die aufgrund ihrer Entstehungsprozesse miteinander verbunden sind, eine Fortpflanzungsgemeinschaft bilden und zur gleichen Zeit in einem einheitlichen Areal zu finden sind.

Es gibt drei Gruppen von Mortalitätsfaktoren (Bernotat und Dierschke 2012; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 2004; Holzner 1999; Meyerhoff und Petschow 1997; Bunge et al. 2001):

Die Verluste an unbeweglichen Anlagen werden als „anlagebedingten Mortalität“ bezeichnet. Dazu zählen Kollisionen von Vögeln oder Fledermäusen an Windenergieanlagen, Freileitungen, Leuchttürmen, Masten, Schrägseilbrücken oder an Gebäuden (Fenster). Bei bodengebundenen Arten stellen Konstruktionen mit Fallenwirkung wie zum Beispiel Kanäle, Gruben, Schächte etc. ein Tötungsrisiko dar. Zur anlagebedingten Mortalität in Gewässern zählen zum Beispiel die Tötung von Jungfischstadien, Larven und Eiern bei der Kühlwasserentnahme sowie die Tötung wandernder Fischarten in den Turbinen von Flusskraftwerken (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 2004; Holzner 1999; Anderer et al. 2012; Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen 2005, 2005).

Unter „betriebsbedingter Mortalität“ werden Kollisionen mit Fahrzeugen (zum Beispiel hohe Todesraten von Amphibien, vielen Vogelarten, Reptilien, Säugetieren an Straßen, zum Teil auch an Schienenwegen) und Verluste zusammengefasst, die beispielsweise im Rahmen der Bewirtschaftung (zum Beispiel Landwirtschaft bei Mahd, Forstwirtschaft beim forstlichen Einschlag, Beifang bei Fischerei) entstehen.

Die „baubedingte Mortalität“ tritt bei der Herstellung von Infrastruktur vor allem bei den standortgebundenen Arten auf (zum Beispiel durch Entwässerung, Baufeldräumung, Baumfällung, Überbauung).

Aus dem nationalen und europäischen Naturschutzrecht ergibt sich, dass bei geschützten Arten grundsätzlich das artenschutzrechtliche, auf Individuen bezogene Zugriffsverbot des § 44 Abs. 1 BNatSchG besteht, das ordnungswidrigkeits- bzw. strafbewehrt ist. Dass sich der Verfahrensvorschlag der Bewertung der Produktgesamtheit auf Populationsebene orientiert, soll nicht zu Friktionen mit dem Artenschutzrecht führen, denn in der Rechtsanwendung bedeutet dies, dass jede signifikante Erhöhung des Tötungsrisikos ausgeschlossen sein muss – entsprechende Bewertungsmethoden für die Praxis stehen zur Verfügung. Für die vereinfachte Bewertung und einen relativen Vergleich von Risiken ist die Anwendung dieser Schemata aber in der Regel nicht praktikabel (WHG; OGewV 2011).

#### 6.2.3.1 Bewertungsmodell Produktebene

Auf Ebene der funktionellen Einheit ist zunächst nur ein Vergleich auf Individuenebene vorzunehmen, welche Alternative im Hinblick auf die Gefährdung von Tieren besser oder schlechter ist als eine andere. Dabei kann auch die Schutzwürdigkeit von Arten eine Rolle spielen. Wenn auf Ebene der funktionellen Einheit eine populationsgefährdende Wirkung bestehen sollte, wäre die entsprechende Option als sehr hohe Belastung einzustufen (WHG; OGewV 2011).

#### 6.2.3.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit

Bei der hier vorgeschlagenen Bewertung ist entscheidend, ob eine Gefährdung der Population begründet wird. Die Belastungsklassifizierung hinsichtlich der mechanischen Tötung von Tieren durch die Produktgesamtheit erfolgt auf Basis der in Tabelle 19 angegebenen Bewertungskriterien (Bernotat und Dierschke 2012; WHG; OGewV 2011).

**Tabelle 24** Bewertungsmo­del für die Belastung durch mechanische Tötung von Tieren

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Häufigkeit und Gefährdungsgrad der Art	Es sind keine tödlichen Verletzungen von Tieren zu erwarten	Der Verlust an Individuen einer Art wird als vernachlässigbar eingeschätzt	Der Verlust an Individuen einer Art führt zur temporären Beeinträchtigung der Teilpopulation/Population.	Der Verlust an Individuen einer Art wird als Gefährdung für eine Teilpopulation eingeschätzt.	Für den Erhalt der Population nicht ausgleichender Verlust an Individuen einer Art

## 6.3 Biologische Belastungen

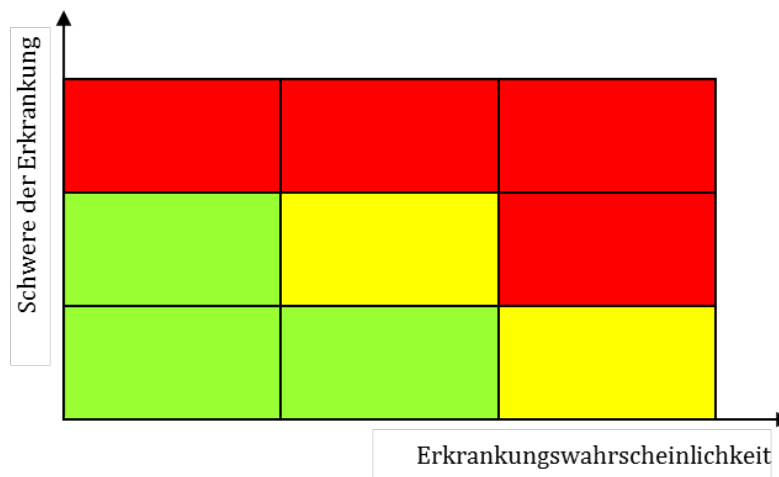
### 6.3.1 Mikrobielle Belastung

Belastungen durch Krankheitserreger für den Menschen spielen eine Rolle, wenn eine Vermehrung und/oder ein besseres Überleben und/oder eine Ausbreitung von Krankheitserregern möglich sind. Bekannte Beispiele sind mikrobielle Belastungen in Folge reduzierter Lüftung bei (unprofessioneller) Wärmedämmung von Häusern oder Temperaturreduzierungen in Warmwassersystemen. Neben dem Infektionsrisiko, spielen die Schwere der Erkrankung und die Anzahl möglicher Exponierter eine wichtige Rolle (Schmoll et al. 2012; WHO 2011).

#### 6.3.1.1 Bewertungsmodell Produktebene

Die Bewertung erfolgt durch eine qualitative/semiquantitative Experteneinschätzung. Auf Basis der allgemeinen Risikoabschätzung (Abbildung 8) wird das durch Krankheitserreger hervorgerufene Gesundheitsrisiko bewertet und die Rangfolge der Alternativen gebildet.

**Abbildung 8** Risikobewertung über Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß  
(grün = geringes Risiko, gelb = mittleres Risiko, rot = hohes Risiko)



Erkrankungswahrscheinlichkeit: Konzentration der Krankheitserreger, Infektionsdosis, Übertragungsweg, Vektoren, Prozentsatz Erkrankter bei Exposition, Anzahl Exponierter.

Schwere der möglichen Erkrankung/en: Hierzu gibt es für die disability adjusted life years (DALY)-Abschätzung bereits Zahlen von 0-1 (Tod).

Zusätzlich zu der generellen Risikoabschätzung können gegebenenfalls betroffene, sensible Gruppen wie zum Beispiel immunsupprimierte Patienten berücksichtigt werden. Auch Belastungen durch Mikroorganismen mit sensibilisierendem oder toxischem Potential (z.B. Schimmelpilze) sollten in der Einschätzung berücksichtigt werden.

#### 6.3.1.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit

Belastungen mit Krankheitserregern lassen sich nicht einfach mit einer Stückzahl multiplizieren, um so eine Gesamtbelastung zu ermitteln. Mittels Experteneinschätzung wird vielmehr angegeben, ob durch den Gebrauch der zu untersuchenden Alternativen generell von einem erhöhten Infektionsrisiko in der Bevölkerung auszugehen ist. Tritt auf der Mikroebene eine mittlere oder hohe Belastung auf, ist dies im Allgemeinen der Fall. Aber auch eine geringe Belastung auf Mikroebene, die sehr viele Personen betrifft, kann in der Gesamtbelastung Bedeutung haben. Außerdem wird bei diesem Schritt geprüft, ob es spezielle Bevölkerungsgruppen gibt, die durch die Verwendung der zu untersuchenden Alternativen besonders gefährdet sind und ob sich die Alternativen in dieser Hinsicht – auch bei eventuell gleicher genereller Risikoeinschätzung – unterscheiden.

**Tabelle 25**      **Bewertungsmodell für die mikrobielle Belastung**

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Erkrankungswahrscheinlichkeit und Schwere der Erkrankung	Es treten keine Krankheitserreger oder andere mikrobielle Belastungen auf	<- Experteneinschätzung ->			Tödliche Erkrankungen mit nicht zu vernachlässigender Eintrittswahrscheinlichkeit

### 6.3.2 Invasoren

In dieser Belastungskategorie wird die Gefährdung von Menschen und Ökosystemen durch gebietsfremde Arten, d.h. Invasoren bewertet. Invasoren können im Meer, in Flüssen, in Seen sowie auf dem Lande und im Boden auftreten. Zu vergleichende Produkte oder Dienstleistungen sind in der Regel nicht mit einer direkten Verbreitung von (Fremd-)Organismen verbunden. Einen Sonderfall stellt die (gezielte) Freisetzung von Neozoen oder Neophyten sowie gegebenenfalls von gentechnisch veränderten Organismen (GMO) dar. Invasoren können aber auch unabsichtlich verschleppt werden. Das ist für Produkte oder Dienstleistungen relevant, die mit erhöhtem Transportaufkommen verbunden sind. Ausgehend von naturraumtypischen Lebensgemeinschaften geht es darum, solche Invasoren in den Fokus zu nehmen, die schädliche ökologische Auswirkungen haben, zum Beispiel die amerikanische Auster, den amerikanischen Flusskrebs oder die Herkulesstaude. Für Belastungen der Umwelt durch Invasoren (zum Beispiel Infektionserreger/-vektoren oder allergen wirkende Pflanzen wie Ambrosia), wie sie als Folge von Klimaveränderungen zu erwarten sind, ist an dieser Stelle keine zusätzliche Bewertung erforderlich.

#### 6.3.2.1 Bewertungsmodell Produktebene

Die Wirkung der in aquatische und/oder terrestrische Ökosysteme gelangenden Invasoren hängt vom Grad der Invasivität der Art, der Vorbelastung und der Empfindlichkeit der zu betrachtenden Schutzgüter (Menschen und Ökosysteme) ab. Für eine vereinfachte Bewertung von Dienstleistungen oder Produkten wird eine qualitative Bewertung durchgeführt. Eine quantitative Bewertung ist derzeit nicht möglich.

Bei der qualitativen Bewertung ist abzuschätzen, ob der betrachtete Invasor andere naturraumtypische Arten verdrängt, wie beispielsweise der amerikanische Flusskrebs den europäischen Flusskrebs, oder andere schädliche, zum Beispiel toxische oder allergische Wirkungen ausübt, wie die Herkulesstaude oder Ambrosia. In beiden Fällen ist der betrachtete Invasor „relevant“. „Nicht relevant“ sind eingewanderte Arten, die Funktionen im naturraumtypischen Nahrungsnetz übernehmen oder übernommen haben, ohne die menschliche Gesundheit oder die naturraumtypischen Ökosysteme zu schädigen.

- ▶ Nicht relevante Invasoren erhalten die Bewertungszahl „eins“.
- ▶ Relevante Invasoren werden mit einer Bewertungszahl zwischen 2 (geringes Schädigungspotenzial) und fünf (inakzeptables Schädigungspotenzial) bewertet.
- ▶ Für die Priorisierung der zu untersuchenden Alternativen wird die Summe der Bewertungszahlen verglichen.

#### 6.3.2.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit

Sobald auf der Mikroebene eine relevante Belastung festgestellt wurde, wird auf der Makroebene von einer mindestens mäßigen Belastung ausgegangen (siehe Tabelle ).

**Tabelle 26** Bewertungsmodell für die Belastung durch Invasoren

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Relevanz der Invasoren, Dauer der Etablierung, Maßnahmen	Es sind keine Invasoren zu erwarten	Ökoregionen übergreifender Transport, jedoch keine relevante Verschleppung fremder Arten zu erwarten, auch aufgrund wirksamer Maßnahmen (zum Beispiel Desinfektion)	Ökoregionen übergreifender Transport, relevante Verschleppung von Arten möglich, jedoch ohne Nachweis der dauerhaften Etablierung, Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen begrenzt (z.B. Aquakultur im Küstenbereich)	Ökoregionen übergreifender Transport, relevante Verschleppung von Arten wahrscheinlich, ohne Nachweis der dauerhaften Etablierung, keine wirksamen Maßnahmen (z.B. Desinfektion)	Ökoregionen übergreifender Transport, relevante Verschleppung von Arten wahrscheinlich, Nachweis der dauerhaften Etablierung vorhanden, keine wirksamen Maßnahmen (z.B. Desinfektion)

## 6.4 Ressourceninanspruchnahme

### 6.4.1 Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger

In dieser Belastungskategorie wird die Nutzung abiotischer Rohstoffe anhand ihrer Verfügbarkeit verglichen. Hierbei werden rohstoffökonomische, geopolitische und technisch-strukturelle Faktoren berücksichtigt, welche die Versorgungssituation beeinflussen. Der Einsatz von versorgungskritischen Rohstoffen ist mit einem Belastungspotenzial für die intra- und intergenerationale Versorgungs- und Verteilungsgerechtigkeit verbunden, das es zu minimieren gilt.

Die Verfügbarkeitsrisiken sind anhand der Richtlinie VDI 4800 Blatt 2 (2016) (Ressourceneffizienz - Bewertung des Rohstoffaufwands)<sup>3</sup> zu ermitteln. Adressiert werden all jene exogenen angebots- und nachfrageseitigen Aspekte, die weder unmittelbar noch mittelbar in erheblichem Maße von dem rohstoffnutzenden System beeinflusst werden können. Diese beschreiben die Umfeldsituation in Hinsicht auf die Rohstoffversorgung und -sicherheit und werden in der VDI-Richtlinie durch die Kritikalitätsdimension „Versorgungsrisiko“ abgebildet.

Die Bewertung erfolgt in drei Kategorien:

- ▶ Geologische, technische und strukturelle Kriterien
- ▶ Geopolitische und regulatorische Kriterien
- ▶ Ökonomische Kriterien

Auf diese verteilen sich 13 Kriterien mit ihren jeweiligen Indikatoren (Tabelle 27).

Umweltwirkungen der Rohstoffgewinnung und Rohmaterialherstellung werden bei der Bewertung der Versorgungsrisiken der abiotischen Rohstoffe nicht betrachtet, weil sie durch die anderen Wirkungskategorien abgedeckt werden und die Versorgungssituation nur beeinflussen, wenn sie durch Internalisierung (zum Beispiel Umweltstandards) real verknappend auf das Rohstoffangebot wirken.<sup>4</sup>

**Tabelle 27** Kategorien, Kriterien und Indikatoren der Kritikalitätsdimension Versorgungsrisiko des Verbrauchs mineralischer Rohstoffe

Kategorien	Kriterien	Indikator
Geologische, technische und strukturelle Kriterien	Statische Reichweite	Verhältnis von Reserven zu globaler Jahresproduktion
	Koppelproduktion/Nebenproduktion	Grad der Koppelproduktion / Nebenproduktion
	Recycling	Verbreitungsgrad funktionaler End-of-Life-Recyclingtechnologien
	Logistische Beschränkungen	Wirtschaftlichkeit von Lagerung und Transport
	Beschränkungen durch Naturereignisse	Verbreitungsgrad natürlicher Vorkommen/Anbauggebiete
Geopolitische und regulatorische Kriterien	Länderkonzentration der Reserven	Herfindahl-Hirschman-Index der Reserven
	Länderkonzentration der Produktion	Herfindahl-Hirschman-Index der Länderproduktion
	Geopolitische Risiken der Weltproduktion	Politisches Länderrisiko
	Regulatorische Situation für Rohstoffprojekte	Regulatorisches Länderrisiko

<sup>3</sup> Im Rahmen der VDI-Richtlinienarbeit (VDI 4800 Blatt 2) wurde unter Beteiligung des UBA eine Kritikalitätsbewertungsmethode entwickelt und dokumentiert.

<sup>4</sup> Eine methodisch stringente Lösung zur Berücksichtigung von ökologischen Risiken bei der Bewertung der Rohstoffverfügbarkeit steht zurzeit noch nicht zur Verfügung, ist aber Gegenstand aktueller Forschungsvorhaben (UFOPLAN ÖkoRess II - Weiterentwicklung von Handlungsoptionen einer ökologischen Rohstoffpolitik FKZ 3715323100).

Kategorien	Kriterien	Indikator
Ökonomische Kriterien	Unternehmenskonzentration der globalen Produktion	Herfindahl-Hirschman-Index der Unternehmen
	Globaler Nachfrageimpuls	Grad der Nachfragersteigerung
	Substituierbarkeit	Technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Substitutionen in Hauptanwendungen
	Rohstoffpreisschwankungen	Annualisierte Preisvolatilität

Abweichend davon erfolgt die Bewertung des Verbrauchs fossiler Energieträger aufgrund der großen Variabilität bei der Wahl des Strommixes, aber auch dem hohen Maß der Substituierbarkeit von Energieträgern auf Basis des Kumulierten Energieaufwands.

#### 6.4.1.1 Bewertungsmodell Produktebene

Im Bewertungsmodell wird die Rangfolge der zu untersuchenden Alternativen für den Verbrauch mineralischer Rohstoffe und fossiler Energieträger zunächst separat gebildet. Ziel der vereinfachten Bewertung ist es vorrangig, besonders relevante Materialien für weitergehende Betrachtungen zur Gesamtrelevanz zu ermitteln.

Auf Basis einer Experteneinschätzung kann anschließend – sofern erforderlich – eine Gesamtbewertung auf Ebene des Produktsystems erfolgen. Bei nichtenergetischen Produktsystemen wird die Relevanzbeurteilung für mineralische Rohstoffe als maßgeblich angesehen.

##### a) Mineralische Rohstoffe

Es wird eine qualitative Bewertung vorgenommen, da bei neuen Technologien nur selten belastbare Rohstoffinventare für eine vereinfachte Bewertung verfügbar sind und darüber hinaus ein nicht hinreichender Detaillierungsgrad für versorgungskritische Materialien vorhanden ist.<sup>5</sup>

- 1) In einem ersten Schritt werden anhand von Literaturstudien, Fachartikeln, Brancheninformationen und Expertenbewertungen die funktionalen Materialien verschiedener Alternativen des Produktsystems qualitativ ermittelt.
- 2) Die Indikatoren des Versorgungsrisikos (Tabelle 27) werden für all jene Materialien des Produktsystems und deren Alternativen bestimmt und in die Klassen des Wertebereiches 0; 0,3; 0,7; bzw. 1 eingeteilt. In Anhang 1 sind für ausgewählte abiotische Rohstoffe und Rohmaterialien Bewertungsergebnisse aufgeführt<sup>6</sup>. Diese können in der Bewertung als Default-Werte herangezogen werden, sind aber ggf. zu aktualisieren und für weitere Rohstoffe und Rohmaterialien des Produktsystems zu erheben.
- 3) Auf Ebene der Einzelrohstoffe soll eine Aggregation der 13 Einzelergebnisse mithilfe degressiver Addition zur Basis 3 erfolgen. Diese Methode addiert die in absteigender Rangfolge sortierten Summanden mit abnehmender Gewichtung. Durch diese Berechnungsvorschrift wird sichergestellt, dass hohe Ergebniswerte der Indikatoren hinreichend berücksichtigt werden aber nicht alleine ergebnisbestimmend sind.
- 4) Es erfolgt eine Rangbildung aller Materialien innerhalb der Produktalternativen. Durch Experteneinschätzungen hinsichtlich der Größenordnungen der eingesetzten Materialien sowie deren funktionaler Relevanz für das Produktsystem sind diese zu bewerten. Auf dieser Grundlage kann eine abschließende Rangfolge der Alternativen festgelegt werden.

<sup>5</sup> Dies ist häufig durch Abschneidekriterien in Lebenszyklusinventaren der Fall.

<sup>6</sup> Diese wurden im Zuge der Richtlinienarbeit erhoben und sind dem Anhang der Richtlinie (VDI 4800 Blatt 2) entnommen.

## b) Fossile Energieträger

Fossile Energieträger sind insbesondere in Systemen mit hoher Energieintensität vertieft zu betrachten. Die Priorisierung der Alternativen hinsichtlich des Verbrauchs fossiler Energieträger erfolgt aufgrund der großen Variabilität bei der Wahl des Strommixes, aber auch der Substituierbarkeit von sonstigen Energieträgern basierend auf dem Kumulierten Energieaufwand (KEA) (VDI 4600 2012). Dieser lässt sich untergliedern nach KEA *nuklear*, KEA *fossil*, KEA *erneuerbar* und KEA *sonstige* (zum Beispiel Ersatzbrennstoffe). Für die Bewertung ist die Summe des nicht erneuerbaren KEA (KEA<sub>NE</sub>) maßgeblich. Eine Rangbildung erfolgt unter Berücksichtigung eines 10 %- Unsicherheitsintervalls, ausgehend von der Alternative mit dem geringsten KEA<sub>NE</sub>.

### 6.4.1.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit

#### a) Mineralische Rohstoffe

Zur Bewertung der Gesamtrelevanz des mineralischen Rohstoffeinsatzes wird die potenzielle Bedeutung des Produktsystems auf nationaler Ebene anhand der Mengenrelevanz betrachtet. Mithilfe von prognostizierten Marktentwicklungen und potenziellen Sättigungsgraden bei der Marktdiffusion der betrachteten Produktgruppe erfolgt eine Abschätzung des zusätzlichen Rohstoffnachfrageimpulses nach derzeit versorgungskritischen Rohstoffen. Hierbei werden im Sinne eines Screenings nur solche Rohstoffe berücksichtigt, die gemäß Kapitel 6.4.1.1 mit einem sehr hohen Versorgungsrisiko (Aggregierter Wert  $\geq 0,7$ ) verbunden sind.

Die durch die betrachtete Produktgruppe bestehende oder zu erwartende jährliche Rohstoffnachfrage wird in Bezug zu volkswirtschaftlichen Rohstoffkennzahlen gesetzt. Vorzugsweise ist hierbei die Weltjahresproduktion eines aktuellen Basisjahres zu wählen. Diese ist im Sinne der Verteilungsgerechtigkeit mit dem Anteil der Bevölkerungszahl Deutschlands an der Weltbevölkerung zu normieren. Auf diese Weise soll abgeschätzt werden, ob dieser Rohstoffbedarf global übertragbar wäre.

Die Bedeutung des jährlichen zusätzlichen Nachfrageimpulses lässt sich durch weitere Prüfkriterien qualifizieren. Einerseits ist zu bewerten, ob technische und logistische Maßnahmen implementiert oder absehbar sind, um die Stoffkreisläufe durch funktionales Recycling am Ende der Produktlebenszyklen wieder zu schließen. Dies ist im Falle eines dissipativen Einsatzes nahezu ausgeschlossen. Andererseits ist die Substituierbarkeit in Betracht zu ziehen, die u.a. davon abhängt wie groß die Bedeutung des Einsatzes versorgungskritischer Rohstoffe zur Erzielung des Produktnutzens ist. Dies umfasst neben dem Vorhandensein von Substituten auch die Einschätzung, welche Qualitätsverluste mit diesen gegenüber einem Referenzsystem einhergehen.

**Tabelle 28** Bewertungsmodell für die Belastung durch den Verbrauch abiotischer Rohstoffe ohne fossile Energieträger

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Zusätzlicher Nachfrageimpuls nach versorgungskritischen Rohstoffen	Keine versorgungskritischen Rohstoffe <b>ODER</b> Nachfrageimpuls nach versorgungskritischen Rohstoffen < 10 % pro Jahr	<b>Signifikanter Nachfrageimpuls <math>\geq 10</math> % und &lt; 30 % pro Jahr</b> nach mindestens einem versorgungskritischen Rohstoff	<b>Signifikanter Nachfrageimpuls <math>\geq 10</math> % und &lt; 30 % pro Jahr</b> nach mindestens einem versorgungskritischen Rohstoff <b>MIT</b> geringer funktionaler Recyclingfähigkeit <b>UND</b> geringem Substitutionspotenzial	<b>Disruptiver Nachfrageimpuls <math>\geq 30</math> % pro Jahr</b> nach mindestens einem versorgungskritischen Rohstoff	<b>Disruptiver Nachfrageimpuls <math>\geq 30</math> % pro Jahr</b> nach mindestens einem versorgungskritischen Rohstoff <b>MIT</b> dissipativem Einsatz <b>UND OHNE</b> Substitutionspotenzial



### b) Fossile Energieträger

Für Produktsysteme mit gesamtwirtschaftlich relevantem Energiebedarf <sup>7</sup> erfolgt für die Produktgesamtheit keine Bewertung des Nachfrageimpulses für versorgungskritische Rohstoffe, sondern des Reduktionspotenzials an nicht-erneuerbaren Primärenergieträgern. Hierfür wird der nicht-erneuerbare kumulierte Energieaufwand ( $KEA_{NE}$ ) als Sachbilanz-Indikator herangezogen.

Die verschiedenen Produktalternativen werden gegenüber einem Ausgangsjahr des Referenzszenarios verglichen. Als Bewertungsbasis des Belastungsniveaus wird die Gefährdung der Erreichung des Primärenergieverbrauchsziels aus der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesrepublik herangezogen. Im Themenfeld Generationengerechtigkeit wird darin als Indikator 1b der „Primärenergieverbrauch“ mit zwei Zielsetzungen berichtet: 1. Reduktion bis 2020 gegenüber 2008 um 20%, 2. Reduktion bis 2050 gegenüber 2008 um 50% (Destatis 2014). Von „keiner Gefährdung“ wird ausgegangen, wenn dieses Reduktionsziel auch durch eine Alternative des betrachteten Produktsystems erzielbar ist. Am anderen Ende der Skala wird ein nicht tolerierbares Belastungsniveau attestiert, sofern sich der  $KEA_{NE}$  gegenüber dem Ausgangswert des Referenzsystems erhöht.

**Tabelle 29** Bewertungsmodel für die Belastung durch den Verbrauch abiotischer Rohstoffe für fossile Energieträger

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Reduktion des $KEA_{NE}$ gegenüber Ausgangswert des Referenzszenarios	Senkung des $KEA_{NE}$ $\geq$ 25 % gegenüber dem Ausgangswert des Referenzszenarios	Senkung des $KEA_{NE}$ < 25 % gegenüber dem Ausgangswert des Referenzszenarios	Keine Veränderung des $KEA_{NE}$ gegenüber dem Ausgangswert des Referenzszenarios	Steigerung des $KEA_{NE}$ < 25 % gegenüber dem Ausgangswert des Referenzszenarios	Steigerung des $KEA_{NE}$ $\geq$ 25 % gegenüber dem Ausgangswert des Referenzszenarios

Sofern sowohl eine Bewertung für den mineralischen Rohstoffeinsatz als auch für den fossilen Rohstoffverbrauch erfolgt, so ist zur Bewertung der Gesamtrelevanz der Belastungskategorie die jeweils höchste Bewertung aus Tabelle 28 und Tabelle 29 maßgeblich.

<sup>7</sup> Eine Relevanzprüfung durch Normierung auf den spezifischen Beitrag der Produktsystemalternativen auf den Gesamtaufwand der Volkswirtschaft ist gesondert vorzunehmen.

## 6.4.2 Verbrauch biotischer Rohstoffe

Der Verbrauch biotischer Rohstoffe ist i. d. R. mit Umweltwirkungen wie Naturraumbeanspruchung, Wasserverbrauch, Treibhausgasemissionen, diffusen Nährstoffeinträgen, etc. verbunden, die in den entsprechenden Belastungskategorien untersucht werden. Theoretisch sind biotische erneuerbare Rohstoffe unbegrenzt vorhanden und werden lediglich durch die endliche (oder begrenzte) Verfügbarkeit anderer Ressourcen (insbesondere Fläche und Wasser) begrenzt. Der Verbrauch dieser Ressourcen wird jedoch nicht über ihre Fähigkeit biotische Rohstoffe zu produzieren bewertet. Die Verfügbarkeit biotischer Ressourcen kann aus verschiedenen Gründen eingeschränkt sein: Veränderung der Produktionsbasis durch z.B. Übernutzung und Folgen des Klimawandels, durch Nutzungskonkurrenzen (z. B. Holz). Die Verfügbarkeit ist auch eingeschränkt in bestimmten Regionen oder für bestimmte Bevölkerungsgruppen durch mangelnden Zugang zu diesen Ressourcen, sei es durch mangelnde Kaufkraft oder auch infolge künstliche Verknappung dieser Güter (Spekulation). Aus diesen Gründen wird der Verbrauch biotischer Rohstoffe als eigenständige Belastungskategorie untersucht.

### 6.4.2.1 Bewertungsmodell Produktebene

Die Priorisierung der zu untersuchenden Alternativen erfolgt unabhängig von der Menge der verbrauchten biotischen Rohstoffe mittels Experteneinschätzung über die physische Knappheit der jeweiligen Rohstoffe. Diese wird durch das Verhältnis von Produktions- zu Erneuerungsraten bestimmt. Es wird also bewertet, in wie weit die jährliche Produktionsrate der eingesetzten Rohstoffe die Erneuerungsrate über- oder unterschreitet.

Zusätzlich zur physischen Knappheit wird die Verfügbarkeit biotischer Rohstoffe, genau wie die Verfügbarkeit abiotischer Rohstoffe, über sozio-ökonomische Versorgungsfaktoren bestimmt. Obwohl in diesem Bereich keine Daten verfügbar sind, sollte dieser Aspekt, wenn für eine Fallstudie relevant, zunächst qualitativ behandelt werden.

### 6.4.2.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit

Zur Bewertung der Relevanz auf der Makroebene sind Marktdaten beziehungsweise Daten zur prognostizierten Marktentwicklung des betrachteten Produkts beziehungsweise der betrachteten Produktgruppe erforderlich. Diese ermöglichen eine Abschätzung des Rohstoffnachfrageimpulses durch die betrachtete Produktgruppe. Die durch die betrachtete Produktgruppe bestehende oder erwartete Rohstoffnachfrage wird dann in Bezug zu einer geeigneten volkswirtschaftlichen Rohstoffkennzahl, wie zum Beispiel der total verwendeten Menge des entsprechenden Rohstoffs in Deutschland, gesetzt, um die Relevanz auf der Makroebene bewerten zu können. Ist der Anteil höher als 1%, so muss eine vertiefte Prüfung möglicher Auswirkungen erfolgen; dies muss in den Schlussfolgerungen deutlich gemacht werden.

Wie auf der Produktebene erfolgt die Klassifizierung der zu untersuchenden Alternativen über die physische Knappheit der jeweiligen Rohstoffe. Diese wird durch das Verhältnis von Produktions- zu Erneuerungsraten bestimmt. Es wird also bewertet, in wie weit die jährliche Produktionsrate der für die Produktgesamtheit eingesetzten Rohstoffe die Erneuerungsrate über- oder unterschreitet.

**Tabelle 30** Bewertungsmodell für die Belastung durch den Verbrauch biologischer Ressourcen

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Entnahme und Erneuerungsrate	Keine Entnahme	Entnahme geringer als Erneuerung	Entnahme entspricht Erneuerung	Entnahme übersteigt Erneuerung	Entnahme übersteigt Erneuerung dauerhaft

### 6.4.3 Wasserverbrauch

Der Wasserbedarf für die Herstellung von Produkten steht am Ort der Wasserentnahme auch immer in Konkurrenz zu den Ansprüchen anderer Wassernutzer, wie zum Beispiel der Trinkwasserversorgung, der Landwirtschaft, der Energiegewinnung oder anderer Industriebranchen. Aus diesen Gründen werden die Wassernutzung oder, wenn es die Datenlage zulässt, der Wasserverbrauch<sup>8</sup> wie im Folgenden dargestellt bewertet. Veränderungen der Wasserqualität werden bei den stofflichen Belastungen berücksichtigt.

#### 6.4.3.1 Bewertungsmodell Produktebene

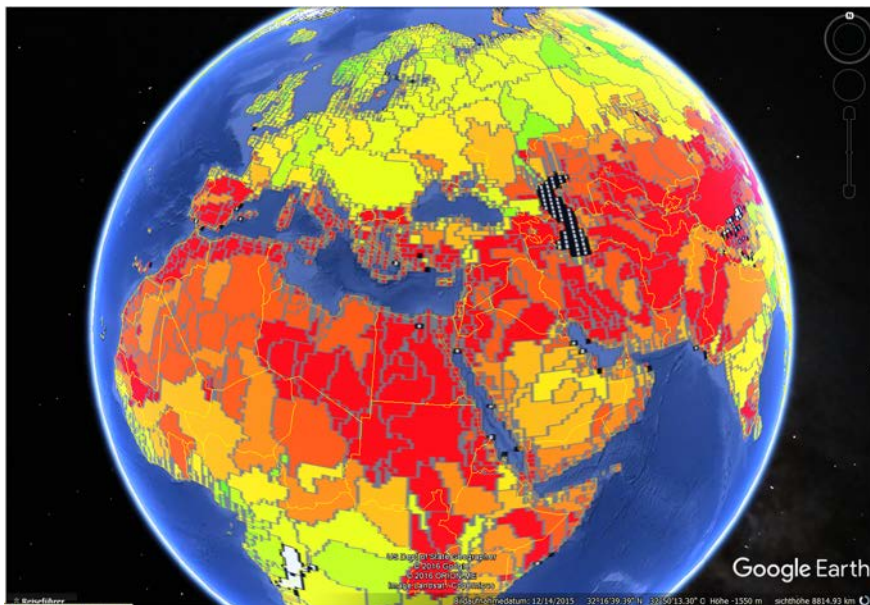
Für die Bewertung der Auswirkungen des Wasserverbrauchs entlang des Produktlebensweges sind Informationen zum Ort (beziehungsweise zu den Orten) des Wasserverbrauchs und der dort herrschenden Wasserknappheit erforderlich. Da regionale Daten zum produktspezifischen Wasserverbrauch nicht immer quantitativ zur Verfügung stehen, werden je nach Datenlage zwei verschiedene Bewertungsmodelle angewendet.

##### a) Standardmodell: Qualitative Bewertung über lokale Wasserknappheiten

Im Rahmen der VERUM erfolgt die Bewertung des Wasserverbrauchs unabhängig vom verbrauchten Volumen und ausschließlich über die Wasserknappheit am Ort des Verbrauchs. Die lokale Wasserknappheit wird mithilfe des von einer Arbeitsgruppe der UNEP entwickelten Konsensindikators AWaRe (Available Water Remaining) gemessen (Boulay et al. 2016). Fällt entlang des Produktlebensweges Wasserverbrauch in relevantem Ausmaß an verschiedenen Orten an, so ist der höchste AWaRe Faktor für die Bewertung ausschlaggebend. Die Rangbildung der zu untersuchenden Alternativen erfolgt also über den Vergleich der maximalen AWaRe Faktoren.

Um die Anwendbarkeit der AWaRe Methodik zu erleichtern, ist ein Google Earth (Google Inc. 2010) Layer verfügbar, mit dessen Hilfe Faktoren für mehr als 10.000 Niederschlagsgebiete ermittelt werden können. Wie in der folgenden Abbildung dargestellt, lassen sich somit standortgenaue AWaRe Faktoren ablesen.

**Abbildung 9** Google Earth (Google Inc. 2010) Layer zur Darstellung globaler Wasserknappheitsverhältnisse mittels AWaRe



<sup>8</sup> Der Teil der Wassernutzung, welcher durch Evapo(transpi)ration, Produktintegration beziehungsweise Einleitung in Meere und andere Einzugsgebiete lokal verloren geht

Die Knappheitsbewertung auf der Ebene der hydrologischen Einzugsgebiete ist jedoch nicht immer möglich, da Angaben zu Produktionsorten oft nur auf Länderebene vorliegen. In diesem Fall können die auf die Länderebene aggregierten Faktoren angewendet werden. Falls selbst das nicht möglich ist, liegen auch aggregierte Faktoren für bestimmte Weltregionen und Kontinente vor (siehe Anhang A2, Seite 89).

**b) Erweitertes Modell: Quantitative Bewertung über knappheitsgewichtete Wasserverbräuche**

Liegen regionale quantitative Daten zum produktspezifischen Wasserverbrauch entlang des Produktlebensweges vor, werden die lokalen Verbräuche mithilfe des lokalen Wasserstressindex gewichtet.

Bei einer Datenlage, die die quantitative Berücksichtigung der lokalen über den Produktlebensweg auftretenden Wasserverbräuche erlaubt, werden die regionalen Wasserverbräuche zunächst mit dem lokalen Wasserstressindex (Pfister et al. 2009) multipliziert und anschließend aufsummiert. Über Abschneidekriterien wird im Einzelfall entschieden. Gegebenenfalls dürfen kleine Wasserverbräuche, die zusammen nicht mehr als 10% des Gesamtwasserverbrauchs ausmachen oder unbedeutende Produktionsmengen, hierbei vernachlässigt werden.

Die Rangbildung der zu untersuchenden Alternativen wird über ein Ranking entsprechend des knappheitsgewichteten Wasserverbrauchs durchgeführt.

**6.4.3.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit**

Für die Bewertung der Gesamtbelastung durch Wasserverbrauch sind zwei Kriterien maßgebend:

- ▶ die vorhandene Wasserknappheit an den Orten des Wasserverbrauchs entlang des Produktlebensweges (höchster Wert maßgebend),
- ▶ die mögliche regionale Verschärfung der Wasserknappheit infolge des Wasserverbrauchs der Produktgesamtheit.

Während Kriterium 1 schon Grundlage für die Bewertung auf der Produktebene war, ist eine Beurteilung entsprechend Kriterium 2 nur möglich, wenn quantitative regionale Daten vorliegen oder eine Experteneinschätzung möglich ist. Entsprechend Tabelle 31 sollen möglichst beide, mindestens jedoch Kriterium 1 in die Bewertung der Gesamtbelastung durch Wasserverbrauch berücksichtigt werden. Führen die Kriterien 1 und 2 zu unterschiedlichen Bewertungen, ist die höhere Belastungsklasse ausschlaggebend.

**Tabelle 31 Bewertungsmodell für die Belastung durch Wasserverbrauch**

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Wasserknappheit am Ort des Verbrauchs	Wasserverbrauch ausschließlich in Gebieten mit AWaRe: 0,1 - 1	Wasserverbrauch ausschließlich in Gebieten mit AWaRe: 1 - 10	Wasserverbrauch überwiegend in Gebieten mit AWaRe: 10-40	Wasserverbrauch überwiegend in Gebieten mit AWaRe: 40-70	Wasserverbrauch überwiegend in Gebieten AWaRe ≥ 70
Erhöhung der Wasserknappheit am Ort des Verbrauchs	Kein relevanter Wasserverbrauch	Wasserverbrauch der Produktgesamtheit führt zu keiner Verschärfung der Wasserknappheit	Wasserverbrauch der Produktgesamtheit führt zu einer Verschärfung der Wasserknappheit in Gebieten mit AWaRe: 0,1 - 40	Wasserverbrauch der Produktgesamtheit führt zu einer Verschärfung der Wasserknappheit in Gebieten mit AWaRe: 40 - 70	Wasserverbrauch der Produkt-gesamtheit führt zu einer Verschärfung der Wasserknapp-heit in Gebieten mit AWaRE ≥ 70

#### 6.4.4 Naturraumbeanspruchung

Die Naturraumbeanspruchung ist durch den Entzug von Lebensraum eine der wesentlichen Ursachen für den Verlust der biologischen Vielfalt und der genetischen Ressourcen. Der Verlust landwirtschaftlicher Flächen und fruchtbarer Böden sowie ökologisch intakter Gewässer schmälert die Optionen kommender Generationen, Nahrungsmittel, nachwachsende Rohstoffe oder Energiepflanzen anzubauen (Blondzik et al. 2004; Borchardt et al. 2006; Richter und Völker, 2010, 2013).

Zur Belastungskategorie zählen in Bezug auf aquatische und terrestrische Flächen: die momentane oder die kontinuierliche Belegung, die direkte und die indirekte Nutzungsänderung, die Zerschneidung sowie die Degradation (z.B. Eutrophierung, Verdichtung oder Humusverluste) und -erosion (Tiefenerosion von Gewässern, Erosion von Böden). Von der Belastungskategorie ausgenommen sind alle stofflichen Belastungen und deren Folgewirkungen, die im Zusammenhang mit der Inanspruchnahme von Naturräumen stehen (siehe Belastungskategorie stoffliche Belastungen).

Um den Beitrag von Produkten, Bedürfnisfeldern oder Branchen zur Naturraumbeanspruchung im Rahmen einer VERUM zu untersuchen, werden im Folgenden zunächst lediglich die Flächenbelegung und die Flächennutzungsänderung berücksichtigt.

##### 6.4.4.1 Bewertungsmodell Produktebene

Die Priorisierung der zu untersuchenden Alternativen in Bezug auf Flächeninanspruchnahme erfolgt mittels Experteneinschätzung auf Basis zweier alternativer Bewertungsmodelle.

Sofern es die Datenlage zulässt, werden in Bezug auf aquatische und terrestrische Flächen die Flächenbelegung und die Flächennutzungsänderung quantitativ und unter Berücksichtigung der Knappheit der genutzten Fläche oder der Schwere der Flächennutzungsänderung verglichen. Je nach Bewertungssituation kann dabei auf verschiedene Daten- und Informationsquellen zurückgegriffen werden. Näheres im Literaturverzeichnis (Bundesregierung 2002; Statistisches Bundesamt (Destatis); Statistisches Bundesamt (Destatis); Statistisches Bundesamt (Destatis); Statistisches Bundesamt (Destatis); Bundesamt für Statistik 1982; Buchert et al. 2004; Bundesministerium für Verkehr; Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR); Bundesministerium für Verkehr; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) 2006, 2008, 2012; Bundesminister für Verkehr; Bundesanstalt für Wasserbau 2011; Holzhey 2010; Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2011; Apel 1973; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft; Gesamtverband deutscher Holzhandel; Cotonea; factfish).

Falls quantitative Daten nicht verfügbar sind, erfolgt die Bewertung der aquatischen sowie terrestrischen Flächennutzungsänderung allein über die Schwere der Flächennutzungsänderung oder die Kategorie der belegten Flächen, um provisorisch die Relevanz des Themas zu dokumentieren und als Hinweis, dass weitere Datenrecherchen empfehlenswert sind.

Für terrestrische Flächen wird folgende Abstufung der häufigsten innerhalb oder außerhalb von Deutschland relevanten terrestrischen Nutzungstypen vorgenommen:

- A) Naturnah, zum Beispiel Schutzgebiete, Heide, Moor, Sumpf, Urwald, Savanne, Steppe
- B) Wald/Forst
- C) Grünland, Weideland, sonstige Landwirtschaftsfläche
- D) Ackerland
- E) Flächen anderer Nutzung, zum Beispiel Truppenübungsplätze, „Unland“, Windenergie und Stromtrassen im Wald sowie Freiflächenphotovoltaik
- F) Siedlungs- und Verkehrsfläche

- G) Abbauand, Deponien, künstliche Gewässer (zum Beispiel Tagebauseen), Wüste, Fels und sonstige weitgehend erodierte oder anderweitig (zum Beispiel durch Altlasten) stark degradierte Flächen.

Für aquatische Flächennutzungen (Gewässerausbau) wird folgende Abstufung der häufigsten innerhalb oder außerhalb von Deutschland relevanten aquatischen Nutzungstypen vorgenommen (OGewV 2011; UBA 2013a; Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2001):

- A) Unverändert: Die Gewässerstruktur entspricht dem potenziell natürlichen Zustand.
- B) Gering verändert: Die Gewässerstruktur ist durch einzelne, kleinräumige Eingriffe nur gering beeinflusst.
- C) Mäßig verändert: Die Gewässerstruktur ist durch mehrere kleinräumige Eingriffe nur mäßig beeinflusst.
- D) Deutlich verändert: Die Gewässerstruktur ist durch verschiedene Eingriffe zum Beispiel in Sohle, Ufer, durch Rückstau und/oder Nutzungen in der Aue deutlich beeinflusst.
- E) Stark verändert: Die Gewässerstruktur ist durch Kombination von Eingriffen zum Beispiel in die Linienführung, durch Uferverbau, Querbauwerke, Stauregulierung, Anlagen zum Hochwasserschutz und/oder durch die Nutzungen in der Aue beeinträchtigt.
- F) Sehr stark verändert: Die Gewässerstruktur ist durch Kombination von Eingriffen zum Beispiel in die Linienführung, durch Uferverbau, Querbauwerke, Stauregulierung, Anlagen zum Hochwasserschutz und/oder durch die Nutzungen in der Aue stark beeinträchtigt.
- G) Vollständig verändert: Die Gewässerstruktur ist durch Eingriffe in die Linienführung, durch Uferverbau, Querbauwerke, Stauregulierung, Anlagen zum Hochwasserschutz und/oder durch die Nutzungen in der Aue vollständig verändert.

Maßgeblich für den Vergleich ist neben der Naturnähe der aquatischen und terrestrischen Fläche insbesondere auch ihre Eignung sowohl als Lebensraum für Pflanzen und Tiere als auch als Lebensgrundlage für den Menschen im Hinblick auf landwirtschaftliche Produktion. Änderungen der Flächennutzung zwischen diesen Kategorien sind in der Regel irreversibel oder zumindest schwer reversibel, das heißt sie sind nicht vollständig umkehrbar oder die Rücktransformation (zum Beispiel Wiedervernässung von Mooren, Wiederaufforstung von Weideland, Umwandlung von Ackerland in artenreiches Dauergrünland) der veränderten Fläche und vollständige Renaturierung dauern Jahrzehnte. Eine Unterscheidung nach reversiblen und irreversiblen Nutzungsänderungen ist daher nicht erforderlich und sinnvoll.

Ein weiteres Bewertungskriterium ist die temporäre Belegung der Ressource Fläche. Diese sollte nach Nutzungskategorien differenziert werden, wobei auch die Knappheit der Flächen (angesichts von Nutzungskonkurrenzen) zu berücksichtigen ist. Als Grundsatz sind Flächen – in jeder Kategorie – sparsam und effizient zu nutzen. Denn exzessive Flächennutzung erhöht den Druck in Richtung Nutzungsintensivierung und/oder negative Flächennutzungsänderungen.

#### **6.4.4.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit**

Die Belastungsbewertung der Produktgesamtheit hinsichtlich Naturraumbeanspruchung erfolgt mithilfe eines quantitativen und eines qualitativen Bewertungsmodells, deren Ergebnisse bei der Belastungsklassifizierung berücksichtigt werden sollen. Wenn keine quantitativen Daten vorhanden sind, kann die Bewertung auch nur mithilfe des qualitativen Modells erfolgen.

### a) Quantitatives Bewertungsmodell

Um die Naturraumbeanspruchung eines einzelnen Produktes auch auf der Ebene der Produktgesamtheit bewerten zu können, werden zunächst die pro funktionelle Einheit ermittelten Belastungen mithilfe der zu erwartenden Stückzahl hochskaliert.

Die Bewertung erfolgt auf Basis eines Vergleichs von der dem untersuchten Produktsystem zuzuschreibenden Flächenbelegung und -nutzungsänderung mit der aktuellen sektorspezifischen Gesamtflächenbelegung und Flächennutzungsänderung in Deutschland oder global (Anhang 3). Entsprechend des spezifischen Beitrages der Produktgesamtheit zur Gesamtflächenbelegung und Flächennutzungsänderung des Sektors erfolgt die Klassifizierung der Belastung entsprechend Tabelle 32. Umfasst ein Produkt mehrere Sektoren, so ist der höchste spezifische Beitrag (und damit die höchste Belastungsklasse) ausschlaggebend (UBA 2013a).

**Tabelle 32** Bewertungsmodell für die Belastung durch Flächeninanspruchnahme

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Anteil an sektorspezifischer Flächenbelegung oder Flächennutzungsänderung	Keine Flächeninanspruchnahme	1/1000 – 1/100	1/100 – 1/10	> 1/10	Entfällt

Da diese quantitative Belastungsbewertung noch keine Aussagen über eine eventuelle Gefährdung von Qualitätszielen beinhaltet, soll auch die qualitative Bewertung durchgeführt werden. Über die Gesamtklassifizierung einer zu untersuchenden Alternative wird mittels Experteneinschätzung entschieden.

### b) Qualitatives Bewertungsmodell

In der qualitativen Bewertung erfolgt die Klassifizierung der Naturraumbeanspruchung nicht über die Flächenbelegung sondern ausschließlich über die Flächennutzungsänderung. Wie in Tabelle 33 dargestellt erfolgt die Bewertung anhand verschiedener Kriterien:

- ▶ Die Schwere der aquatischen sowie terrestrischen Flächennutzungsänderung (Hemerobiestufen, siehe Kapitel 6.4.4.1)
- ▶ Die Gefährdung des politischen Ziels der Bundesregierung, die Flächenneuanspruchnahme für Siedlungen und Verkehr bis zum Jahr 2020 auf 30 ha (Bundesregierung 2002) am Tag zu begrenzen. Um die Einschätzung zu erleichtern wird in Anhang 3 das 30-Hektar-Ziel für Siedlungs- und Verkehrsflächen auf Wirtschaftszweige/Aktivitäten heruntergebrochen
- ▶ Die Gefährdung der Ziele der EG-Wasserrahmenrichtlinie bis zum Jahr 2015 respektive 2027 einen guten Zustand des Grund- und Oberflächenwassers zu erreichen.
- ▶ Gefährdung globaler politischer Ziele, zum Beispiel Erhalt von Urwäldern oder Gefährdung der Zielerreichung für weitere einschlägige EU-Richtlinien im Wasser- und Bodenbereich (z.B. FFH-RL, Vogelschutzrichtlinie, RL zur Wiederauffüllung des Bestands des europäischen Aals).

**Tabelle 33** Bewertungsmodell für die Belastung durch Naturraumbeanspruchung

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Hemerobie	Keine Flächenumwandlung	Flächenumwandlung von 1 Stufe	Flächenumwandlung von 2 Stufen	Flächenumwandlung von 3 Stufen	Mehr als 3 Stufen oder völlige Zerstörung der Fläche (d.h. Überführung in Nutzungstyp G)

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Gefährdung des 30 ha-Ziels der Bundesregierung	Keine Flächenrelevanz	Hoher Beitrag zur Flächenentlastung*	Kein Beitrag zur Flächenentlastung*	Leichte Erhöhung der Flächenbeanspruchung*	Deutliche Erhöhung der Flächenbeanspruchung*
Gefährdung der Ziele der EG-Wasserrahmenrichtlinie	Ziele der EG-WRRL werden nicht tangiert	Grundwasserspiegel und hydromorphologische Qualität der Grund- und Oberflächenwasserkörper sind nicht gefährdet	Grundwasserspiegel und hydromorphologische Qualität der Grund- und Oberflächenwasserkörper sind gefährdet	Grundwasserspiegel und hydromorphologische Qualität der Grund- und Oberflächenwasserkörper sind erheblich gefährdet	Grundwasserspiegel und hydromorphologische Qualität der Grund- und Oberflächenwasserkörper werden zerstört
Gefährdung globaler politischer Ziele  (Erhalt der Urwälder, Feuchtgebiete (global) oder FFH-Gebiete (Europa))	Globale politische Ziele nicht tangiert	Urwälder / Feuchtgebiete / FFH etc. sind nicht gefährdet und kein Beitrag zur Bodenerosion / Wüstenbildung	Urwälder / Feuchtgebiete / FFH etc. sind gefährdet oder Beitrag zur Bodenerosion / Wüstenbildung	Urwälder / Feuchtgebiete / FFH etc. sind erheblich gefährdet oder erheblicher Beitrag zur Bodenerosion / Wüstenbildung	Urwälder / Feuchtgebiete / FFH werden zerstört oder führt zur vollständigen Bodenerosion / Verwüstung

\*Bezugsgröße 30 ha-Ziel (Bundesregierung 2002)



## 6.5 Sonstige Belastungen

Neben den 14 genannten relevanten Formen der Umweltbelastung gibt es zahlreiche weitere, von denen einige im Folgenden noch thematisiert werden, obwohl sie nur in Einzelfällen relevant werden. Dass es sich dabei nicht um eine abschließende Aufzählung handelt zeigt das Thema „Wärmebelastung von Gewässern“. Hier sieht das Umweltbundesamt derzeit keine neuen Fallkonstellationen, für die diese Umweltbelastung eine relevante Bewertungskategorie sein könnte. Vielmehr sind momentan eher Entlastungstendenzen festzustellen. So vermeldet das Statistische Bundesamt bei der Einleitung von Kühlwasser aus der Energiegewinnung einen deutlichen Rückgang. Positiv auf das Thema Abwärme in den Gewässern wirken sich Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung im Produktionsprozess aus, die vor allem aus Kostengründen ergriffen werden. Negative Auswirkungen - also ein Anstieg der Gewässertemperatur - könnten zukünftig infolge des Klimawandels auftreten und würden eine Neubewertung des Sachverhaltes erfordern.

### 6.5.1 Störfälle/Unfälle

Beim Vergleich von Technologien, Produktionsverfahren, Dienstleistungen oder Produkten geht man im Prinzip von der ordnungsgemäßen Herstellung, Verwendung und Entsorgung aus. Jedoch haben unabhängig davon bestimmte Produkte, Stoffe oder Abfälle aufgrund ihrer Eigenschaften und bestimmte Techniken, Produktions- und Entsorgungsprozesse aufgrund ihrer Bedingungen eher als andere das Potential des Eintretens von Störfällen/Unfällen. Dies ist von besonderer Bedeutung, wenn die Folgen nicht oder nur schwer beherrschbar, insbesondere irreversibel sind.

Risiken können beim Umgang mit gefährlichen Stoffen und Abfällen sowie bei technischen Verfahren (z.B. CCS, Fracking) zu Gefahren für Mensch und seine belebte und unbelebte Umwelt führen. Dies gilt auch für Produkte, insbesondere falls deren Verwendung nicht ordnungsgemäß erfolgt (z.B. Pflanzenschutzmittel). Weitere Gefahren können bei Produkten auftreten, die zum Beispiel beim Zerbrechen oder bei Brand gefährliche Stoffe freisetzen (wie bestimmte PKW-Klimaanlagen, Energiesparlampen oder Dämmmaterial). Relevante Risiken müssen daher in die Bewertung einbezogen werden.

In Deutschland erfolgt die Entsorgung von Abfällen in der Regel umweltverträglich. Deshalb ist unter dieser Kategorie nur anzugeben, inwieweit eine umweltverträgliche Entsorgung grundsätzlich nicht gewährleistet ist (z.B. hochradioaktive Abfälle), oder ein umweltverträgliches Entsorgungssystem erfahrungsgemäß nicht greift, z.B. bei der diffusen Verbreitung nicht rückholbaren Plastikmülls.

#### 6.5.1.1 Bewertungsmodell Produktebene

Die Rangbildung der zu untersuchenden Alternativen erfolgt mittels qualitativer Experteneinschätzung über die klassische Risikodefinition aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß.

**Abbildung 10** Risikobewertung über Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß (grün = geringes Risiko, gelb = mäßig, rot = hoch)



Das Schadensausmaß bestimmt sich nach der Schwere der gesundheitlichen oder ökologischen bzw. ökonomischen Beeinträchtigung sowie der Möglichkeit der Schadensbehebung (Reversibilität). Die Eintrittswahrscheinlichkeit bemisst sich nach der statistischen Wahrscheinlichkeit des Ereignisses.

### 6.5.1.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit

Die Bewertung der Produktgesamtheit in der Kategorie Störfälle/Unfälle berücksichtigt die Zahl der möglichen betroffenen Personen und/oder die Größe des betroffenen Gebiets. Da diese Kriterien auch bei einer Alternative zu unterschiedlichen Belastungsklassifizierungen führen können, muss die Gesamtklassifizierung durch Experteneinschätzung erfolgen. Zur Bewertung dient die folgende Übersicht:

**Tabelle 34 Bewertungsmodell für die Belastung durch Störfälle/Unfälle**

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
<u>Kriterium 1:</u> Schwere der gesundheitlichen/ökologischen/ökonomischen Beeinträchtigung	Bewertungsvoraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	leichte und vorübergehende Gefährdung möglich	gesundheitliche Störung/ Erkrankung möglich für Nutzer oder Anwohner, längerfristige ökologische/ökonomische Belastung	tödliches Risiko für Nutzer oder Anwohner	katastrophale Auswirkungen
<u>Kriterium 2:</u> Anzahl der betroffenen Personen/Größe der betroffenen Region, Machbarkeit der Sanierung	Bewertungsvoraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	Nur sehr wenige Menschen/begrenzte Region sind im Eintrittsfall betroffen/ Sanierung technisch einfach	Zahlreiche Menschen/größere Region sind im Eintrittsfall betroffen/ Sanierung schwierig	Ein hoher Anteil der Bevölkerung ist im Eintrittsfall betroffen/ Sanierung sehr aufwändig	Die gesamte Bevölkerung einer Region ist im Eintrittsfall betroffen/ Sanierung nicht möglich
<u>Kriterium 3:</u> Eintrittswahrscheinlichkeit	Bewertungsvoraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	Eintritt des Ereignisses kann fast ausgeschlossen werden	Eintritt des Ereignisses ist unwahrscheinlich	Mit einem Eintritt des Ereignisses muss gerechnet werden	Eintritt des Ereignisses ist sehr wahrscheinlich

Zur Ermittlung der Risiken von Unfällen/Störfällen stehen für eine Reihe von Techniken und Produkten aussagekräftige Statistiken zur Verfügung, z.B. Auswertungen der Zentralen Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen" (UBA 2011), der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA 2015) zu Unfalltoten und -verletzten, des Statistischen Bundesamtes zur Unfallstatistik von Verkehrsmitteln oder zu Unfällen mit wassergefährdenden Stoffen sowie die von der chemischen Industrie genutzten Process Safety Indicators.

### 6.5.2 Auswirkungen auf Sachgüter

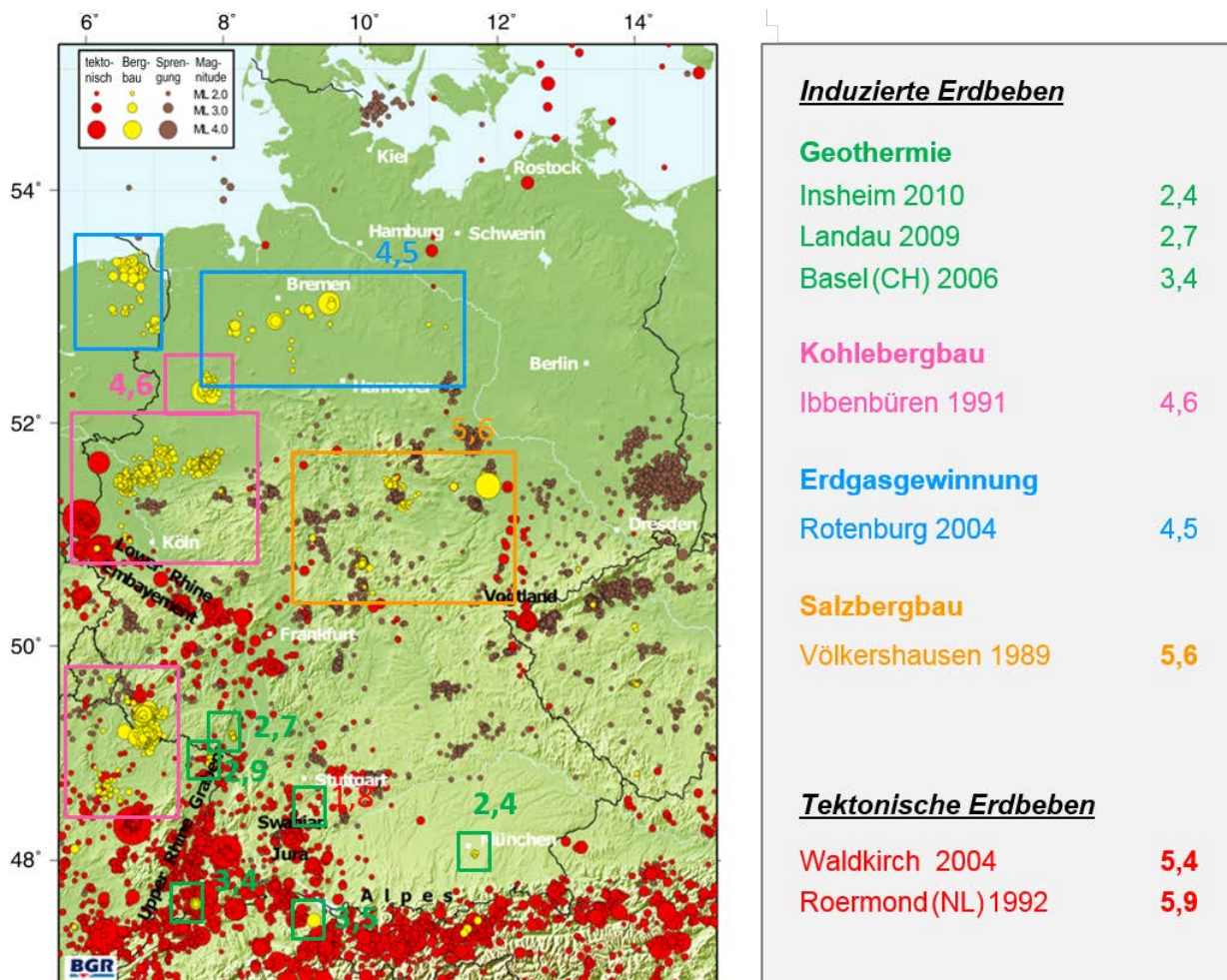
Auswirkungen auf Sachgüter können durch unterschiedliche Ursachen hervorgerufen werden. Für schädliche Auswirkungen auf Sachgüter waren in den 1960er und 70er Jahren Luftbelastungen durch Ruß, SO<sub>2</sub>, Chlor oder Ozon verantwortlich, die zu Zerstörungen von Naturstein oder wertvollen Kirchenfenstern und Bronzen führten (Kucera und Fitz, 1995, Anshelm et al., 1998). Aufgrund der Erfolge des Umweltschutzes sind diese Probleme in Deutschland kaum noch relevant. Die Thematik wird daher heute nur noch in Einzelfällen als Belastungskategorie auftreten und zu bewerten sein.

Ein nach wie vor aktuelles Beispiel für Umweltauswirkungen auf Materialien ist die Korrosion von Stahlbeton durch Streusalz, die insbesondere an Brücken und Parkdecks zu einer Beeinträchtigung der Standsicherheit führen kann.

Auch Erschütterungen sind generell geeignet, Schäden an Gebäuden und Anlagen hervorzurufen. Das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) zählt in § 3 Erschütterungen zu den schädlichen Umwelteinwirkungen. Die DIN 4150-1 definiert Erschütterungen als mechanische Schwingungen fester Körper mit potentiell schädigender oder belästigender Wirkung. Hervorgerufen werden Erschütterungen zum Beispiel durch Verkehr, Bautätigkeit, industrielle Produktion, Bergbau sowie Sprengungen. Neben der Stärke der Erschütterung ist für das Auftreten und das Ausmaß der Schäden die Vulnerabilität der Bauten selbst von entscheidender Bedeutung. Bei der Bewertung des Risikos ist zudem die Entfernung vom Quellort bzw. die Häufigkeit und Dauer der Anregung zu berücksichtigen.

Werden Erschütterungen bei einem Vergleich als Belastungskategorie identifiziert, müssten die entsprechenden Risiken zunächst einer Quelle zugeordnet und die Bewertbarkeit geprüft werden. Eine Bewertung wird erschwert, wenn mehrere Schadensursachen infrage kommen oder externe Expertise erforderlich ist. Dies könnte bei Erschütterungen infolge künstlich ausgelöster seismischer Ereignisse (Erdbeben) der Fall sein. Durch menschlichen Eingriff verursachte Erdbebenaktivität bezeichnet man als induzierte Seismizität. Induzierte Erdbeben bei Eingriffen in den Untergrund entstehen durch die Entnahme von festen Rohstoffen (z.B. Kohle, Salz, Erze), durch extreme Auflast beim Aufstauen von Stauseen sowie beim Bohrlochbergbau (Erdöl-, Erdgasförderung, Geothermie) (Dannwolf et al., 2014, Plenefisch et al., 2015). Diese sind vor dem Hintergrund der natürlichen Seismizität zu bewerten (s. Abb. 11). Im internationalen Vergleich zählt Deutschland zu den Ländern mit einer sehr geringen bis moderaten Gefährdung durch natürliche Seismizität. Bei der Bewertung von Produkten oder Verfahren ist grundsätzlich davon auszugehen, dass mögliche Risiken, so auch seismische, bei eventuell erforderlichen Genehmigungen bereits berücksichtigt werden. Zur Abschätzung verbleibender Risiken ist entsprechendes Fachwissen erforderlich und ggf. sind andere Behörden und Prüfinstanzen hinzuzuziehen.

**Abbildung 11** Natürliche (tektonisch: rote Kreise) und induzierte Seismizität (braun: Sprengungen, gelb: Bergbau) in Deutschland und angrenzenden Ländern für den Zeitraum 1991 - 2015. Die Größe der Kreise entspricht der jeweiligen Stärke des seismischen Ereignisses. Bei induzierten Ereignissen sind zusätzlich die Art des Eingriffs unterschieden und die Stärke (lokale Magnitude  $M_L$ ) des stärksten Ereignisses angegeben (nach Plenefisch et al. 2016).



### 6.5.2.1 Bewertungsmodell Produktebene

Für die Bewertung der Auswirkungen aggressiver Substanzen auf Sachgüter existieren keine Dosis-Wirkungsbeziehungen und somit auch keine Qualitätsziele. Relevantes Kriterium ist die Aggressivität des im betreffenden Fall eingesetzten Stoffes gegenüber den relevanten Materialien bei langfristiger Exposition.

Für die Beurteilung möglicher durch Erschütterungen verursachten Einwirkungen auf bauliche Anlagen wird die DIN 4150-3 herangezogen. Die Messung und Beurteilung von Erschütterungsimmissionen erfolgt in Deutschland zum Beispiel durch die zuständigen Landesbehörden. Hierzu existieren vielfach technische Fachinformationen und Leitfäden auf Landesebene. Für eine Bewertung möglicher Sachschäden aufgrund induzierter Seismizität ist die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Ansprechpartner. Für eine quantitative Vorhersage einer möglichen Schadenswirkung durch induzierte seismische Ereignisse ist die zu erwartende Intensität am Ort der Einwirkung zu betrachten (Grünthal, 1998). Dazu ist für ein Ereignis einer bestimmten Stärke die Auftretswahrscheinlichkeit in Beziehung zu setzen mit den aufgrund der lokalen Gegebenheiten bzgl. der Dämpfungseigenschaften und der Untergrundklasse erwartbaren Bodenbewegungen. Quantitative Analysen sind sehr aufwändig und an bestimmtes, teilweise nur durch Messungen zu erlangendes Vorwissen geknüpft. Qualitative Einschätzungen sind möglicherweise jedoch für die Bewertung der Umweltwirkung nicht aussagekräftig genug.

### 6.5.2.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit

Im Einzelfall ist der ökonomische oder kulturelle Schaden an den betroffenen Sachgütern zu bewerten. Ein verallgemeinerbares Bewertungsschema kann derzeit nicht angegeben werden, weil kultureller und ökonomischer Wert im Einzelfall bewertet und zu dem Nutzen einer Alternative ins Verhältnis zu setzen sind (bspw. ökonomischer Wert von Bodenschätzen, lebensrettender Nutzen von Salz auf vereisten Autobahnen gegen die Schäden an Stahlbetonbrücken).

Wie auf Produktebene kann beispielsweise bei der Beurteilung von Erschütterungen und bei der Erdbeben-Gefährdungsanalyse Expertenwissen erforderlich sein. Entsprechend dem jeweiligen Betrachtungsrahmen ist eventuell ein Wechsel von Befähigung und Zuständigkeiten z.B. zwischen Landes- und Bundesebene möglich.

**Tabelle 35** Bewertungsmodell für die Belastung durch Auswirkungen auf Sachgüter

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	sehr hohe Belastung
Intensität der Noxe, Ökonomischer Wert	Schäden nicht zu erwarten	<- Experteneinschätzung ->			Hohe Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts, ökonomisch nicht vertretbare Schäden

### 6.5.3 Gerüche

Gerüche haben keine unmittelbar krank machende Wirkung. Viele Menschen nehmen sie jedoch als echte oder vermeintliche Indikatoren für eine Schadstoffbelastung wahr und sehen sich in ihrem Wohlbefinden beeinträchtigt. Daher gehören Gerüche von Anlagen zu den Emissionen, die nach BImSchG zu vermeiden sind (Stroh und Djeradi 2015). Auch bei Gebrauchs- oder Bauprodukten im Innenraum können Gerüche den Menschen beeinträchtigen. Da es sich dabei zumeist um Stoffgemische handelt, ist die Messung von Geruchsemissionen aus (Bau)Produkten anspruchsvoll und bedarf menschlicher Prüfer. Im Einzelnen richten sich die Experten nach existierenden ISO- und VDI-Normen [DIN ISO 16000 2012, 2015, VDI 4302 2012]. Kriterien für die Bewertung der Geruchsemissionen aus Bauprodukten werden derzeit intensiv diskutiert (z.B. im AgBB im Rahmen der Pilotphase für die Einführung der Geruchsprüfung im AgBB Schema (AgBB 2015b)). Aufgrund der aktuellen Diskussion können hier noch keine konkreten Angaben für eine quantitative Bewertung genannt werden.

#### 6.5.3.1 Bewertungsmodell Produktebene

Die Priorisierung der Alternativen erfolgt mittels Experteneinschätzung unter Berücksichtigung der Geruchsintensität, der Hedonik und der Dauer der Belastung.

#### 6.5.3.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit

Bei Geruchsbelastungen im Außenbereich durch Anlagen ist für die Beurteilung auf Makroebene auch die Zahl der Betroffenen zu berücksichtigen.

**Tabelle 36 Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Kategorie Gerüche im Außenbereich**

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Intensität und Hedonik	Anlagen* erzeugen keinen wahrnehmbaren Geruch	Schwach wahrnehmbarer Geruch, Hedonik angenehm oder neutral	Deutliche wahrnehmbarer Geruch, Hedonik unangenehm	Starker Geruch	Extrem starker Geruch

\*In der Regel ist davon auszugehen, dass Anlagen nur dann eine mehr als nur geringe Geruchsbelästigung erzeugen können, wenn sie Stoffe mit einer hohen Geruchsintensität (Geruchsschwelle von  $< 0,05 \text{ mg/m}^3$ ) emittieren.

Für die Beurteilung konkreter Fälle ist Expertenwissen erforderlich. Die Angaben in Tabelle 36 haben daher nur einen orientierenden Charakter. Bei Produkten, die in Innenräumen verwendet werden, sollte sich der Geruch nach einigen Wochen verloren (verflüchtigt) haben.

**Tabelle 37 Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorie Gerüche im Innenraum**

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Intensität und Hedonik	Kein wahrnehmbarer Geruch	Geruchsarm	Geruch mit einer mittleren empfundene Intensität	Geruch unangenehm und mit einer hohen empfundene Intensität	Geruch unangenehm und mit einer sehr hohen empfundenen Intensität

Für die Bestimmung von Geruchsimmissionen in der Innenraumluft gibt es seit 2015 eine Norm (DIN ISO 16000 2015). Allerdings fehlen bislang allgemeine Kriterien für eine quantitative Bewertung. Hierfür besteht noch Forschungsbedarf. Ein erster Ansatz für die Beurteilung von Gerüchen in der Innenraumluft wurde 2014 vom Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR, ehemals Ad-hoc AG) vorgeschlagen und bis Ende 2015 zur öffentlichen Diskussion gestellt. Dieser Vorschlag wurde in den letzten zwei Jahren kontrovers diskutiert, eine Stellungnahme des AIR zu den erhaltenen Kommentaren steht noch aus.

### 6.5.4 Auswirkungen auf die Landschaftsästhetik

Bauliche Veränderungen bzw. Neubauten führen in der Regel auch zu einer Veränderung des Landschaftsbildes. Das ästhetische Empfinden des Einzelnen ist individuell sehr unterschiedlich und - je nach Rahmenbedingungen (Einstellung zu Erneuerbarer Energie, ökonomische Beteiligung u.ä.) - wechselhaft. Es unterliegt gesellschaftlichen Konventionen und historischen Entwicklungen.

Während für das „Bestehende“, seien es Fabrikgebäude/-schlote, Eisenbahntrassen oder Braunkohletagebaue, die seit Jahrzehnten bestehen oder betrieben werden, in der Regel Akzeptanz besteht, sie manchmal inzwischen zum Landschaftsbild dazugehören, stoßen Neuerrichtungen von Brücken, Hochhäusern, Stromtrassen oder Windparks zum Teil auf energischen Widerstand der örtlichen oder überregionalen Bevölkerung.

Bei Vergleichen von Dienstleistungen und Produkten können die möglichen visuellen optischen Wirkungen zu bewerten sein, obwohl ihr Einfluss auf Gesundheit und Wohlbefinden nicht quantitativ messbar und objektivierbar ist. Ein Teil der Bevölkerung sieht sich durch bauliche Eingriffe in Natur und Landschaft in seinem Wohlbefinden beeinträchtigt, eine Kategorie, die gemäß WHO-Definition zur Gesundheit gehört. Entsprechende politische Entscheidungen über technische Alternativen können zum Teil weitreichenden ökonomischen Folgen (Stromtrassen oder Erdkabel) zur Folge haben.

Für die Aufnahme des Kriteriums spricht, dass entsprechende Anforderungen nach Baurecht und Naturschutzrecht bestehen, die nicht ignoriert werden sollen. Beim Vergleichen bestimmter Techniken und Produkten, die sich v.a. diesbezüglich unterscheiden, kann das Kriterium von Bedeutung sein und wird im Rahmen von VERUM als Zusatzkriterium angesprochen.

#### 6.5.4.1 Bewertungsmodell Produktebene

Bei der Beurteilung der Relevanz können Bewertungskategorien als Anhaltspunkte dienen, die „verallgemeinerbar“ sind, z.B.:

- ▶ Der Grad der Veränderung des Landschaftsbilds durch den Eingriff. Dabei ist relevant, in wie weit die Landschaft durch entsprechende Vorbelastung bereits vorgeprägt ist (Kontrastwirkung),
- ▶ Die Sichtbarkeit und Dominanz des Eingriffs

#### 6.5.4.2 Bewertungsmodell Produktgesamtheit

Für die Bewertung der Gesamtrelevanz ist die Gesamtheit der baulichen Eingriffe in Deutschland bzw. in dem zu betrachtenden Raum zu bewerten, d.h. das Verhältnis von Räumen mit und ohne Nutzung (Freiräume). Hierbei kommt es neben der Kontrastwirkung und die Sichtbarkeit auch darauf an, wie hoch der Anteil der betroffenen Bevölkerung ist.

**Tabelle 38** Bewertungsmodell für Auswirkungen auf die Landschaftsästhetik

Indikator	Keine Belastung	Geringe Belastung	Mäßige Belastung	Hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Kontrastwirkung, Sichtbarkeit	Keine wahrnehmbare Veränderung des Landschaftsbildes	Keine negative/auffällige Veränderung/ Kontrastwirkung; Sichtbarkeit für die Allgemeinheit gering	Deutliche Kontrastwirkung zum Landschaftsbild; Sichtbarkeit für die Allgemeinheit gegeben	Hohe Kontrastwirkung zu unverfälschter historischer Kulturlandschaft, Baudenkmal, sonstige Kultur- und naturhistorisch bedeutsame Objekte; Dominante Wirkung sichtbar	Statusbeeinträchtigung von geschützten Natur- und Baudenkmalern, insbes. UNESCO Welterbestätten

## 6.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Nachdem die relevanten Belastungen auf Produktebene und auf Ebene der Produktgesamtheit bewertet wurden, sollen die Ergebnisse wie im Folgenden beschrieben zusammenfassend dargestellt werden. Bei Bedarf können die Belastungskategorien priorisiert werden.

### 6.6.1 Darstellung in Formblatt

Es wird empfohlen, die Reihenfolge der zu untersuchenden Alternativen sowie die Ergebnisse der Gesamtbelastungsbewertung mithilfe eines zur Verfügung gestellten Formblattes (Anhang 4) zu dokumentieren.

#### Beispiel: Zusammenfassung der Ergebnisse

Tabelle 39 zeigt beispielhaft die Darstellung der Ergebnisse für den Vergleich eines Kupfer-, Silber- und Aluminiumkabels im Formblatt zur Ergebnisdarstellung (Anhang 4).

**Tabelle 39** Beispielhafte Darstellung des Vergleichs eines Kupfer-, Silber- und Aluminiumkabels (keine realen Ergebnisse)

Belastungsart	Belastungskategorie	Kupferkabel	Silberkabel	Aluminiumkabel
Chemische Belastungen	Treibhausgase	Mikro: Platz 1 Makro: gering	Mikro: Platz 2 Makro: mäßig	Mikro: Platz 3 Makro: mäßig
	Luftschadstoffe	Mikro: Platz 2 Makro: gering	Mikro: Platz 3 Makro: mäßig	Mikro: Platz 1 Makro: gering
	Schadstoffe in Innenräumen	Nicht relevant		
	Abwasser	Mikro: kein Unterschied Makro: gering	Mikro: kein Unterschied Makro: gering	Mikro: kein Unterschied Makro: gering
	Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge Wasser/Boden	Nicht relevant		
Physikalische Belastungen	Lärm	Nicht relevant		
	Strahlung	Nicht relevant		
	Mechanische Tötung von Tieren	Nicht relevant		
Biologische Belastungen	Mikrobielle Belastung	Nicht relevant		
	Invasoren	Nicht relevant		
Ressourcenbeanspruchung	Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger	Mikro: Platz 2 Makro: mittel	Mikro: Platz 3 Makro: hoch	Mikro: Platz 1 Makro: gering
	Verbrauch biotischer Rohstoffe	Nicht relevant		
	Wasserverbrauch	Mikro: Platz 3 Makro: hoch	Mikro: Platz 2 Makro: mittel	Mikro: Platz 1 Makro: gering
	Naturraumbeanspruchung	Nicht relevant		



Beispiel: Zusammenfassung der Ergebnisse				
Belastungsart	Belastungskategorie	Kupferkabel	Silberkabel	Aluminiumkabel
Sonstige Belastungen	Störfälle/Unfälle	Nicht relevant		
	Sachgüter	Nicht relevant		
	Geruch	Nicht relevant		
	Landschaftsästhetik	Nicht relevant		
Gesamtbewertung		Platz 2	Platz 3	Platz 1

### 6.6.2 Priorisierung der Belastungskategorien

In vielen Fällen wird VERUM zu nicht-eindeutigen Belastungsprofilen führen (zum Beispiel Alternative A besser in Treibhausgasemissionen aber schlechter in Lärm). Aufgrund des oft qualitativen Charakters der Belastungsbewertung wird von einer Gewichtung zu einem Single-Score Ergebnis, also einer Bewertung die die Umweltbelastung in einer einzigen Zahl ausdrückt, abgeraten, da dies zum einen die Transparenz und Vielschichtigkeit des Ergebnisses verhindert und zum anderen eine Präzision vortäuscht, die in einer vereinfachten Bewertung i. d. R. nicht gegeben ist.

Aus diesen Gründen wird eine Priorisierung der Belastungskategorien empfohlen, um zu prüfen, ob eine Alternative in relevanten oder weniger relevanten Belastungskategorien besser bzw. schlechter abschneidet. Die Rangbildung kann fallstudienpezifisch erfolgen, soll aber folgende vom UBA entwickelte Kriterien (Schmitz und Paulini 1999) berücksichtigen:

- ▶ Belastungskategorien sind entsprechend ihrer adressierten Schutzgüter in folgender Reihenfolge zu priorisieren:
  1. Menschliche Gesundheit (Stoffbelastungen im Innenraum, Lärm, etc.)
  2. Ökosystem (mechanische Tötung von Tieren, Naturraumbeanspruchung, etc.)
  3. Ressourceninanspruchnahme (Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger, etc.)
- ▶ Grad der potentiellen Gefährdung des ökologischen Schutzgutes hinsichtlich: Schadensausmaß, Reversibilität, Dauer, räumlicher Ausdehnung, Unsicherheiten bei der Prognose
- ▶ Grad der Entfernung des derzeitigen vom angestrebten Umweltzustands
- ▶ Spezifischer Beitrag des Belastungskategorie-Ergebnisses zu einheitlicher Referenz (zum Beispiel Gesamtbelastung Deutschlands).

Ökologisch vorteilhaft sind grundsätzlich diejenigen Produktalternativen, die vollständig oder überwiegend in den Umweltkategorien mit „geringe“ oder „keine Belastung“ bewertet sind. Findet sich hingegen in einer Kategorie die Bewertung „mäßige“ oder „hohe Belastung“, so kann diese nicht gewollt sein. Ein solches Produkt wird vom Umweltbundesamt nicht als zu empfehlende Alternative bewertet werden, es sei denn, unter der Berücksichtigung der absoluten Zahlen und der oben genannten Kriterien wäre dies hinnehmbar.

## 7 Auswertung

In der Auswertung werden aus den in der Belastungsermittlung und der Belastungsbewertung generierten Ergebnissen Schlussfolgerungen und Empfehlungen abgeleitet. Um zu belastbaren Aussagen zu gelangen und die Ergebnisse besser einordnen zu können sollen zuvor eine selbstkritische Prüfung der Studie, eine Analyse signifikanter Parameter, eine Untersuchung systemischer Effekte sowie eine Prüfung der Aussagesicherheit erfolgen. In einer Fallstudie müssen diese Aspekte nicht mechanisch nacheinander „abgearbeitet“ werden, es muss jedoch deutlich werden, dass eine Reflektion der genannten Aspekte stattgefunden hat.

### 7.1 Selbstkritische Prüfung

Zunächst werden alle vorherigen Phasen selbstkritisch betrachtet:

- ▶ Spezifizierung des Untersuchungsrahmens:
  - ▶ Wurde die funktionelle Einheit adäquat gewählt?
  - ▶ Sind die Systemgrenzen angemessen?
  - ▶ Etc.
- ▶ Belastungsermittlung:
  - ▶ Ist die Qualität der vorhandenen Daten ausreichend?
  - ▶ Wurden zeitliche und räumliche Bezüge eingehalten?
  - ▶ Haben Allokationsverfahren Einfluss auf das Ergebnis?
  - ▶ Etc.
- ▶ Belastungsbewertung:
  - ▶ Wurden alle in der Vorprüfung als betroffen eingestuften Belastungskategorien untersucht?
  - ▶ Kann die subjektive Experteneinschätzung einen zu hohen Einfluss auf das Ergebnis haben?
  - ▶ Etc.

### 7.2 Analyse signifikanter Parameter

Anschließend wird geprüft, ob bestimmte Stellgrößen das Ergebnis maßgeblich beeinflussen. Hierzu zählen beispielsweise:

- ▶ Lebenszyklusphasen
- ▶ Prozesse, die eine oder mehrere Belastungskategorien dominieren
- ▶ Belastungskategorien, in denen besonders hohe Belastungen ermittelt wurden
- ▶ Annahmen, zum Beispiel in Bezug auf Systemgrenzen
- ▶ Allokationsverfahren
- ▶ Etc.

Um die Auswertung effizient durchzuführen, werden nun ausschließlich für die signifikanten Parameter eine Vollständigkeits-, Konsistenz- und Sensitivitätsprüfung durchgeführt.

In der Vollständigkeits- und Konsistenzprüfung wird hinterfragt, ob die Datenlage der signifikanten Parameter vollständig ist beziehungsweise den im Untersuchungsrahmen vorgegebenen Anforderungen entspricht. Anschließend wird in der Sensitivitätsprüfung ermittelt, ob sich Änderungen der signifikanten Parameter (etwa anderer Strommix, Berücksichtigung von Recyclinggutschriften, andere Allokationsverfahren, anderes Bewertungsverfahren, etc.) so auf das Ergebnis der Belastungsbewertung auswirken können, dass es zu einer Änderung der Alternativenrelationen kommt.

### 7.3 Untersuchung systemübergreifender Effekte

Die in den vorangegangenen Kapiteln durchgeführten Untersuchungen haben bisher isoliert für ein Produktsystem stattgefunden. Es wurden also die Belastungen auf Produktebene ermittelt (und mit Alternativen verglichen) sowie die Belastung durch die Produktgesamtheit entsprechend ihrer Gefährdung von umweltpolitischen bzw. Qualitätszielen klassifiziert.

Diese Vorgehensweise ermöglicht zwar eine detaillierte Analyse des jeweiligen Produktsystems, vernachlässigt allerdings potentielle Rückkopplungseffekte des untersuchten Systems auf andere Systeme. So führt beispielsweise der im Rahmen einer VERUM Fallstudie untersuchte Fernbuslinienverkehr nicht nur zu direkten Umweltwirkungen durch die Herstellung und den Betrieb der Fahrzeuge. Es finden zusätzlich Verlagerungseffekte im Gesamtsystem der Verkehrsträger (zusätzliche Fahrten oder Ersatz von PKW bzw. Bahnfahrten) statt (siehe Beispiel).

In diesem Teil der Auswertung soll untersucht werden, ob potentielle systemübergreifende Effekte auftreten können. Wenn ja sollen diese zunächst qualitativ diskutiert werden und ihr Einfluss auf das Ergebnis der vereinfachten Umweltbewertung abgeschätzt werden. Sofern von einer hohen Ergebnisrelevanz ausgegangen wird und es die Datenlage zulässt, sollten die systemübergreifenden Effekte quantifiziert werden. In jedem Fall sind sie in den Schlussfolgerungen (Kapitel 0) zu adressieren.

Neben den genannten systemübergreifenden Effekten, können auch systeminterne Rückkopplungseffekte auftreten. So führen durch effizientere Technologien erzielte Einsparungen (z.B. Energiesparlampe) oft zu einem veränderten Nutzerverhalten (z.B. hellere Beleuchtung oder kein Lichtausschalten beim Verlassen des Raumes). Diese Reboundeffekte führen in der Praxis häufig dazu, dass ein Teil der Effizienzgewinne wieder ausgeglichen wird.

Ähnlich wie bei den systemübergreifenden Effekten, sollten auch die Auswirkungen derartiger systeminternen Rückkopplungseffekte zunächst qualitativ diskutiert und bei hoher Relevanz möglichst quantitativ untersucht werden.

#### Beispiel: Verlagerungseffekte zwischen Verkehrsträgern

Im Rahmen eines Verkehrsträgervergleichs wurde mithilfe der VERUM Methodik der Fernlinienbus mit der Deutschen Bahn verglichen. Auf der Produktebene zeigten sich hierbei aufgrund der hohen Auslastung von Fernbussen und des aktuell relativ ungünstigen Strommixes der Bahn leichte Vorteile des Fernbusses (34g CO<sub>2</sub> Äqv./Pkm) gegenüber der Bahn (44g CO<sub>2</sub> Äqv./Pkm).

Es wird allerdings argumentiert, dass der Fernbus einen zusätzlichen Verkehr induziert da:

- ▶ Einige Fahrgäste die Fahrt sonst nicht angetreten hätten
- ▶ Einige Fahrgäste von der Bahn umgestiegen sind, die Bahn aber nach wie vor fährt

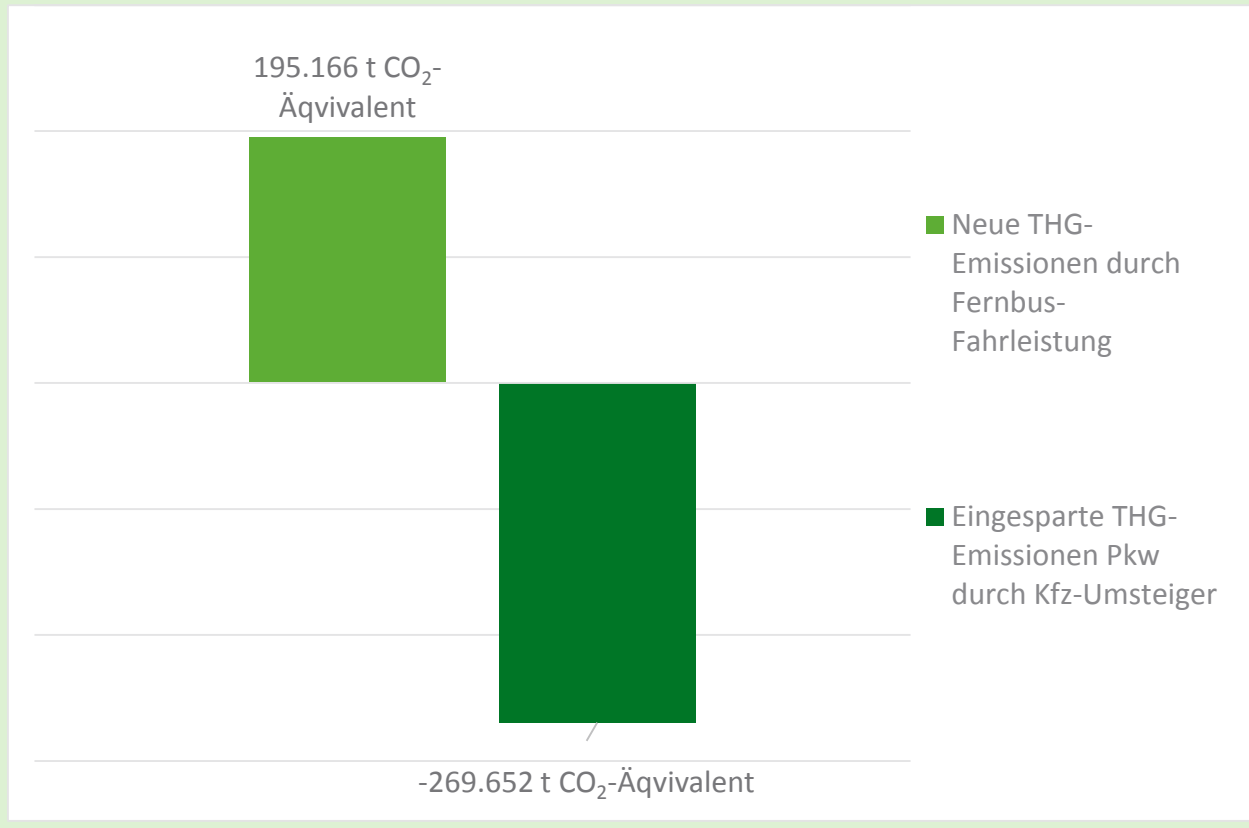
Auf der anderen Seite lässt sich aber argumentieren, dass der Fernbus auch individuelle Fahrten mit dem PKW reduziert. Um diese Verlagerungseffekte zu untersuchen, wurden Literaturrecherchen durchgeführt und eigene Umfragen im Rahmen der VERUM Studie durchgeführt.

Als Ergebnis lässt sich feststellen, dass die gesamte Fahrleistung der Fernbusse im Jahr 2014 (ca. 192 Mio. Buskilometern) Treibhausgasemissionen von ungefähr 195.000 t CO<sub>2</sub> Äqv. freigesetzt hat. Demgegenüber stehen aber rund 1,3 Mrd. Personenkilometer, die durch die Verlagerung vom Pkw zum Fernbus eingespart wurden und ungefähr 270.000 t CO<sub>2</sub> Äqv. eingespart haben (Abbildung 11) (Janitzek et al. 2016).

Unabhängig vom Ergebnis auf der Produktebene, entlasten also Fernbusse die Umwelt aufgrund von Verlagerungseffekten zwischen den Verkehrsträgern.

Beispiel: Verlagerungseffekte zwischen Verkehrsträgern

**Abbildung 11** Treibhausgasemissionen der Fernbusverkehrs und vermiedene Treibhausgasemissionen durch eingesparte PKW Fahrten



### 7.4 Prüfung der Aussagesicherheit

Je nach Fragestellung und für die Beantwortung zur Verfügung stehenden Ressourcen, kann VERUM eine sehr detaillierte Analyse oder eine erste Abschätzung der Umweltbelastungen eines Produktes darstellen. Um diese Flexibilität zu gewährleisten, enthält dieser Leitfaden zahlreiche Vereinfachungsmöglichkeiten, welche die Aussagesicherheit der Analyse beeinflussen.

Aus diesem Grund soll die Aussagekraft des mithilfe einer VERUM erzielten Ergebnisses bewertet werden. Da eine quantitative Unsicherheitsermittlung aufgrund der Datenverfügbarkeit und des oft qualitativen Charakters der Bewertung nicht möglich ist, soll die Aussagesicherheit ebenfalls qualitativ beurteilt werden. Anhand der in Tabelle aufgelisteten Kriterien, soll der Bearbeiter der VERUM die Aussagesicherheit in eher „gering“ beziehungsweise „hoch“ einschätzen.

**Tabelle 40** Kriterien für die Bewertung der Aussagesicherheit

Kriterium	Geringe Aussagesicherheit	Hohe Aussagesicherheit
Systemgrenzen	Nur Lebenswegabschnitte, obwohl Unterschiede in vor- bzw. nachgelagerten Prozessketten zu erwarten sind.	Lebensweg beziehungsweise alle Phasen, in denen sich Unterschiede in den vor- beziehungsweise nachgelagerten Prozessketten ergeben
Abschneidekriterien	Es wurden mehr als 5 Prozent der Systemkomponenten abgeschnitten; die Abschneidekriterien wurden asymmetrisch angewendet.	Es wurden weniger als 5 Prozent der Systemkomponenten abgeschnitten; die Abschneidekriterien wurden symmetrisch angewendet.
Belastungsermittlung	Bewertung der Belastungskategorien erfolgte überwiegend verbal/qualitativ und nicht mit den in Kapitel 6 aufgezeigten Bewertungsmodellen	Bewertung der Belastungskategorien erfolgte überwiegend mit den in Kapitel 6 aufgezeigten Bewertungsmodellen

Kriterium	Geringe Aussagesicherheit	Hohe Aussagesicherheit
Daten	Überwiegend abgeschätzte Daten	Überwiegend vertrauenswürdige Daten
Datenqualität	Datenbasis älter als 5 Jahre, Durchschnittsdaten	Datenbasis jünger als 5 Jahre, fallspezifische Daten
Eindeutigkeit des Belastungsprofils	Unterschiede in prioritären Belastungskategorien	Klarer Vorteil bei prioritären Belastungskategorien
Ergebnis Sensitivitätsanalyse	Veränderung signifikanter Parameter führt zu veränderten Präferenzen signifikanter Belastungsprofile	Ergebnisse bleiben auch in Sensitivitätsbetrachtungen stabil

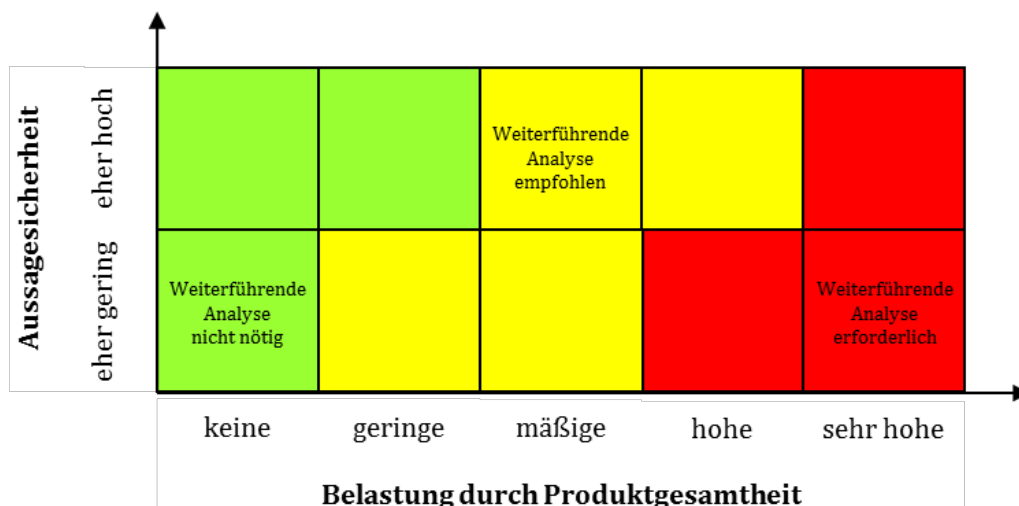
### 7.5 Schlussfolgerungen & weitere Schritte

Aufbauend auf den bisher gewonnenen Erkenntnissen werden Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur Beantwortung der Fragestellung formuliert. Dabei sollen insbesondere folgende Punkte zusammenfassend adressiert werden:

- ▶ Wie lautete die zu beantwortende Fragestellung?
- ▶ Welche Belastungskategorien sind hierfür relevant?
- ▶ Welche Reihenfolge haben die zu untersuchenden Alternativen in den einzelnen Belastungskategorien?
- ▶ Wie ist die durch die Produktgesamtheit hervorgerufene Belastung einzustufen?
- ▶ Zu welcher Gesamteinschätzung hinsichtlich der ökologischen Vorteilhaftigkeit kommt man nach Priorisierung der einzelnen Belastungskategorien?
- ▶ Ist die Aussagesicherheit eher gering oder eher hoch?
- ▶ Welche Schlussfolgerungen ergeben sich zur Beantwortung der eingangs gestellten Fragestellung?
- ▶ Unter welchen Annahmen und Einschränkungen gelten diese?
- ▶ Sind weiterführende Studien erforderlich?

Für die zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Ergebnisse aus Vorprüfung und Belastungsbewertung steht ein Formblatt zur Verfügung (Anhang 4). Ob weiterführende Studien (Ökobilanz, Umweltverträglichkeitsprüfung, etc.) erforderlich sind, soll wie in Abbildung 12 dargestellt basierend auf der Aussagesicherheit und der durch die Produktgesamtheit hervorgerufenen Belastung entschieden werden.

**Abbildung 12** Auf Gesamtbelastung und Aussagesicherheit basierendes Schema zur Festlegung, ob weiterführende Analysen notwendig sind oder nicht



## 8 Literatur

AbwV - Abwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S. 1108, 2625), zuletzt geändert durch Artikel 6 der Verordnung vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973)

AgBB - Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (2015a): Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VVOC, VOC und SVOC) aus Bauprodukten. Download unter:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/dokumente/agbb-bewertungsschema\\_2015\\_2.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/dokumente/agbb-bewertungsschema_2015_2.pdf), Stand: 24.06.2016

AgBB - Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (2015b): Fachkonferenz zum Abschluss der Pilotphase des AgBB zur Geruchsprüfung von Bauprodukten. Aus: Homepage.

<https://www.umweltbundesamt.de/service/termine/konferenz-abschluss-pilotphase-agbb-geruchspruefung>, Stand: 31.08.2016

AGÖF - Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V. (2013): AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft. Download unter:

<http://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-voc-orientierungswerte.html>, Stand: 18.02.2016

Ahbe, S; Schebek, L; Jansky, N; Wellge, S; Weihofen, S (2014): Methode der ökologischen Knappheit für Deutschland. Eine Initiative der Volkswagen AG. AutoUni - Schriftenreihe, Bd. 68, Logos Verlag Berlin GmbH, Berlin

AIR - Ausschuss für Innenraumrichtwerte. ehemals Ad-hoc AG (2014): Gesundheitlich-hygienische Beurteilung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft mithilfe von Geruchsleitwerten.

Bundesgesundheitsblatt 57(1), S. 148-153

Anderer, P; Dumont, U; Keuneke, P (2012): Wasserkraftnutzung in Deutschland. Wasserrechtliche Aspekte, ökologisches Modernisierungspotenzial und Fördermöglichkeiten. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 22/2012. Dessau-Roßlau. Download unter:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte\\_22\\_2012\\_n\\_aumann\\_bericht\\_2\\_wasser\\_als\\_ee\\_recht\\_foederung\\_mit\\_anhang\\_neue\\_website.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_22_2012_n_aumann_bericht_2_wasser_als_ee_recht_foederung_mit_anhang_neue_website.pdf)

Apel, D (1973): Kraftverkehr und Umweltqualität von Stadtstrassen. Schriftenreihe, Bd. 40, Verein für Kommunalwissenschaften e.V. Berlin, Stuttgart

BAuA - Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2015): Unfalltote und Unfallverletzte 2013 in Deutschland. Dortmund

BBodSchV - Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), zuletzt geändert am 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)

Bechmann, A (1998): Anforderungen an Bewertungsverfahren im Umweltmanagement: dargestellt am Beispiel der Bewertung für die UVP. Verlag Edition Zukunft, Barsinghausen

Bernotat, V; Dierschke, D (2012): Übergeordnete Kriterien zur Bewertung der Mortalität wildlebender Tiere im Rahmen von Projekten und Eingriffen - unter besonderer Berücksichtigung der deutschen Brutvogelarten. Download unter:

[www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/eingriffsregelung/Skripte/Dierschke\\_Bernotat\\_MGI\\_2012.pdf](http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/eingriffsregelung/Skripte/Dierschke_Bernotat_MGI_2012.pdf), Stand: 01.12.2012

BfS - Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.) (2009): Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007 : ICRP-Veröffentlichung 103 verabschiedet im März 2007.

BfS-Schriften 47/2009. Download unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2009082154>, Stand: 01.12.2016

BGR - Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Rohstoffsituation in Deutschland (jährlich). Item: Rohstoffabbau in Tonnen und Fläche in km<sup>2</sup>. Download unter: [http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Produkte/produkte\\_node.html](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Produkte/produkte_node.html), Stand: 01.12.2012

BGR - Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Deutscher Erdbebenkatalog 1968 - Gestern. Aus: Homepage. [http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Erdbeben-Gefaehrdungsanalysen/Seismologie/Seismologie/Erdbebenauswertung/D\\_seit\\_1968/d\\_1968\\_node.html](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Erdbeben-Gefaehrdungsanalysen/Seismologie/Seismologie/Erdbebenauswertung/D_seit_1968/d_1968_node.html), Stand: 07.09.2016

BImSchG - Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das durch Artikel 3 des Gesetzes vom 26. Juli 2016 (BGBl. I S. 1839) geändert worden ist

BImSchV - Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) vom 14.08.2013 . (BGBl. I S. 3266). Download unter: [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschv\\_26/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschv_26/gesamt.pdf), Stand: 14.10.2016

BImSchV - Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065), die durch Artikel 87 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist

Blauer Engel (2016) <https://www.blauer-engel.de/de/fuer-unternehmen/vergabegrundlagen>, Stand: 01.12.2016

Blondzik, K; Claussen, U; Füll, C; Heidemeier, J; Herata, H; Irmer, U et al. (2004): Die Wasserrahmenrichtlinie – Neues Fundament für den Gewässerschutz in Europa. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.), Berlin, Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3044.pdf> Stand: 01.12.2016

BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Berlin Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin

BNatSchG - Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. August 2016 (BGBl. I S. 1972) geändert worden ist

Borchardt, D; Friedl, C; Richter, S (2006): Die Wasserrahmenrichtlinie - Ergebnisse der Bestandsaufnahme 2004 in Deutschland. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.), Berlin

Boulay, AM et al. (2016): The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: Assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). International Journal of Life Cycle Assessment (eingereicht)

Buchert, M; Fritsche, U; Jenseit, W; Rausch, L; Deilmann, C; Schiller, G et al. (2004): Nachhaltiges Bauen und Wohnen in Deutschland. Stoffflussbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung – Verknüpfung des Bereiches Bauen und Wohnen mit dem komplementären Bereich „Öffentliche Infrastruktur“. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 01/2004. Berlin. Download unter:

<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2600.pdf> Stand: 01.12.2016

Bundesamt für Statistik (1982): Schlussbericht der Kommission zur Überprüfung der Straßenrechnung. Bern.

Bundesanstalt für Wasserbau (2011): RiReBsk - Richtlinien für Regelquerschnitte von Binnenschifffahrtskanälen vom 2. Mai 2011 (VkB. Nr. 10 vom 31.05.2011 S. 395)

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2014): Der Wald in Deutschland - Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Download unter: [https://www.bundeswaldinventur.de/fileadmin/SITE\\_MASTER/content/Dokumente/Downloads/BMEL\\_Wald\\_Broschuere.pdf](https://www.bundeswaldinventur.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Dokumente/Downloads/BMEL_Wald_Broschuere.pdf), Stand: 11.10.2016

Bundesministerium für Verkehr: Statistik der Bundesfernstraßen (jährlich, nicht öffentlich zugänglich): Item: Neubau von Bundesautobahnen und Bundesstraßen

Bundesregierung (2007): Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimapaket.

Berlin Bundesregierung (2012): Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Fortschrittsbericht 2012, Berlin

Bunge, T; Dirbach, D; Dreher, B; Fritz, K; Lell, O; Rechenberg, B et al. (2001): Wasserkraftanlagen als erneuerbare Energiequelle - rechtliche und ökologische Aspekte. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 01/2001. Berlin

Cotonea (2013): Cotonea-Baumwollbauern auf Platz drei und vier der Weltrangliste der Hektarerträge. Aus: Homepage. <https://www.cotonea.de/toxid-curl/aktuell/news/news-detailseite/artikel/cotonea-baumwollbauern-auf-platz-drei-und-vier-der-weltrangliste-der-hektarertraege/>, Stand: 11.10.2016

Dannwolf, U; Heckelsmüller, A; Steiner, N; Rink, C; Weichgrebe, D; Kayser, K; Zwafink, R; Rosenwinkel, KH; Fritsche, U; Fingermaier, K; Hunt, S; Rüter, H; Donat, A; Bauer, S; Runge, K; Heinrich, S et al. (2014): Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas insbesondere aus Schiefergaslagerstätten - Teil 2. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 53/2014. Dessau-Roßlau

DESTATIS - Statistisches Bundesamt (a): Gebäude- und Wohnungszählung (1987 und 1995): Item: Grundstücksflächen

DESTATIS - Statistisches Bundesamt (b): Statistik der Flächennutzung nach Art der tatsächlichen Nutzung (jährlich)

DESTATIS - Statistisches Bundesamt (c): Statistik des Neubaus von Gebäuden (jährlich)

DESTATIS - Statistisches Bundesamt (d): Umweltökonomische Gesamtrechnung (UGR, jährlich): Item: Belegung von Siedlungsflächen durch private Haushalte sowie durch die Wirtschaft, aufgegliedert nach Wirtschaftszweigen (jährlich)

DESTATIS - Statistisches Bundesamt (2014): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2014. Download unter:

[https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomisheGesamtrechnungen/Umweltindikatoren/IndikatorenPDF\\_0230001.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomisheGesamtrechnungen/Umweltindikatoren/IndikatorenPDF_0230001.pdf?__blob=publicationFile), Stand: 17.10.2016

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.) (2004): Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. ATV-DVWK Themen

DIN ISO 226 - Akustik – Normalkurven gleicher Lautstärkepegel. Ausgabe 2006-04

DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau, Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen. Ausgabe 2016-07

DIN 4150 - Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen. Ausgabe 1999



DIN EN ISO 14040 - Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen. Ausgabe 2006-10

DIN EN ISO 14044 - Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen. Ausgabe 2006-10

DIN ISO 16000 - Innenraumluftverunreinigungen - Teil 28: Bestimmung der Geruchsstoffemissionen aus Bauprodukten mit einer Emissionsprüfkammer. Ausgabe 2012-12

DIN ISO 16000 - Innenraumluftverunreinigungen - Teil 30: Sensorische Prüfung der Innenraumluft. Ausgabe 2015-05

EBO - Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung vom 8. Mai 1967 (BGBl. 7 II S. 1563), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 25. Juli 2012 (BGBl. I S. 1703)

EEA - European Environmental Agency (2011): Revealing the costs of air pollution from industrial facilities in Europe. EEA Technical report No 15/2011. Kopenhagen. Download unter: <http://www.eea.europa.eu/publications/cost-of-air-pollution>, Stand: 13.06.2012

Europäischer Rat - 1999/519/EG: Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz - 300 GHz). Aus: Homepage. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:31999H0519&from=DE>, Stand: 14.10.2016

EU-RL - Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie)

EU-RL - Richtlinie 2001/95/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Dezember 2001 über die allgemeine Produktsicherheit. Download unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:011:0004:0017:de:PDF>, Stand: 14.10.2016

EU-RL - Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom. Download unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:013:FULL:DE:PDF>, Stand: 14.10.2016

EU-RL - Richtlinie 2014/35/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt. Download unter: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=OJ:L:2014:096:TOC>, Stand: 14.10.2016

EU-RL - Richtlinie 2014/53/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über die Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Funkanlagen auf dem Markt und zur Aufhebung der Richtlinie 1999/5/EG. Download unter: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2014:153:FULL&from=DE>, Stand: 14.10.2016

Factfish: Baumwollsamens, Ertrag (Hektogramm pro Hektar) - für alle Länder. Aus: Homepage. <http://www.factfish.com/de/statistik/baumwollsamens%2C%20ertrag>, Stand: 14.10.2016

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.) (2006): RAST - Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen RaSt 06 [FGSV-Nr. 200] FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.) (2008): RAA - Richtlinien für die Anlage von Autobahnen [FGSV-Nr. 202]

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.) (2012): RAL - Richtlinien für die Anlage von Landstraßen [FGSV-Nr. 201]

- Frischknecht, R; Steiner, R; Jungbluth, N (2008): Ökobilanzen: Methode der ökologischen Knappheit: Ökofaktoren 2006. Verband für nachhaltiges Wirtschaften öbu. Zürich
- Fritschen, R (2013): Messung und Beurteilung induzierter Seismizität nach DIN 4150 für Landau und Insheim. DMT GmbH & Co. KG, Vortrag auf dem Third European Geothermal Review, Mainz
- Fuchs, S; Scherer, U; Wander, R; Behrendt, H; Venohr, M; Opitz, D; Hillenbrand, Th; Marscheider-Weidemann, F; Götz, Th (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS. Nährstoffe, Schwermetalle und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 45/2010. Dessau-Rosslau vgl. auch <https://iswww.iwg.kit.edu/MoRE.php>, Stand: 01.12.2016
- Fuchs, S; Toshovski, S; Wander, R; Kittlaus, S; Reid, L (2016): Aktualisierung der Stoffeintragsmodellierung (Regionalisierte Pfadanalyse) für die Jahre 2012-2014 (unveröffentlicht)
- Gesamtverband deutscher Holzhandel: Die Rohdichte des Holzes. Aus: Homepage. <http://www.holzhandel.de/fachwissen-holz/rohddichte.html>, Stand: 14.10.2016
- Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2550)
- Giegrich, J et al. (2012): Indikatoren / Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 01/2012. Dessau-Roßlau
- Google Inc. (2010): Google Earth. Aus: Homepage. <http://earth.google.com>, Stand: 07.01.2010
- Grünthal, G. (Hrsg.) (1998): Short form of the EMS-98 in German, (Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie ; 15), Luxembourg : Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie. Download unter: [http://gfzpublic.gfz-potsdam.de/pubman/item/escidoc:61356:2/component/escidoc:61354/EMS-98\\_short\\_form\\_german.pdf](http://gfzpublic.gfz-potsdam.de/pubman/item/escidoc:61356:2/component/escidoc:61354/EMS-98_short_form_german.pdf), Stand: 17.10.2016
- GrwV - Verordnung zum Schutz des Grundwassers vom 9. November 2010 (BGBl. I S.1513)
- Holzhey, M (2010): Schienennetz 2025 / 2030. Ausbaukonzeption für einen leistungsfähigen Schienengüterverkehr in Deutschland. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte, 42/2010. Dessau-Roßlau. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4005.pdf>, Stand: 14.10.2016
- Holzner, M (1999): Untersuchungen zur Vermeidung von Fischschäden im Kraftwerksbereich; dargestellt am Kraftwerk Dettelbach am Main/Unterfranken. Bayerns Fischerei + Gewässer, Schriftenreihe des Landesfischereiverbandes Bayern e.V, Heft 1
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2007): Climate Change 2007 - The Fourth Assessment Report. United Nations
- Janitzek, T; Langner, M; Lindmaier, J; Penn-Bressel, G; Richter, N; Schade, L; Schütze, G (2016): Fallstudie Fernbus – Vereinfachte Umweltbewertung (VERUM). Dessau-Roßlau (in Druck)
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2001): Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland Gewässerstrukturkarte 2001.
- LFGB - Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch, Ausfertigungsdatum: 01.09.2005
- Meyerhoff, J; Petschow, U (1997): Umweltverträglichkeit kleiner Wasserkraftwerke – Zielkonflikte zwischen Klima- und Gewässerschutz. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Schriftenreihe , 124/97, Download unter:

[http://www.ioew.de/fileadmin/migrated/tx\\_ukioewdb/IOEW\\_SR\\_124\\_Umweltvertraeglichkeit\\_kleiner\\_Wasserkraftwerke-Zielkonflikt\\_Klima-\\_und\\_Gewaesserschutz.pdf](http://www.ioew.de/fileadmin/migrated/tx_ukioewdb/IOEW_SR_124_Umweltvertraeglichkeit_kleiner_Wasserkraftwerke-Zielkonflikt_Klima-_und_Gewaesserschutz.pdf), Stand: 14.10.2016

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2005): Handbuch Querbauwerke. Düsseldorf. Download unter: [http://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/umwelt/Handbuch\\_Querbauwerke\\_2015.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/umwelt/Handbuch_Querbauwerke_2015.pdf), Stand: 14.10.2016

Möser, M (2015): Technische Akustik. 10. Aufl, Springer Verlag, Berlin Müller, G; Möser, M (Hrsg.) (2004): Taschenbuch der technischen Akustik. Springer Verlag, Berlin

OGewV - Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1429)

NiSG - Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen vom 08.04.2013 (BGBl. I S. 2433)

Pfister, S; Koehler, A; Hellweg, S (2009): Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. Environmental. Science and Technology 43, S. 4098–4104

Plenefisch, T; Bönnemann, C; Brückner, L; Ceranna, L; Gerstermann, N; Houben, G; Tischner, T; Wegler, U; Wellbrink, M (2015): Tiefe Geothermie – mögliche Umweltauswirkungen infolge hydraulischer und chemischer Stimulationen, Texte 104/2015, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Plenefisch T., Brückner L., Ceranna L., Gerstermann N., Houben G., Tischner T., Wegler U., Wellbrink M., Bönnemann C., Bertram A. and Kirschbaum B. (2016): Induced seismicity caused by hydraulic fracturing in deep geothermal wells in Germany and adjacent areas European Geosciences Union General Assembly 2016 17–22 April 2016, Vienna, Austria, EGU2016-Poster 12481.

Richter, S; Völker, J (2010): Die Wasserrahmenrichtlinie. Auf dem Weg zu guten Gewässern. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.). Berlin. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4012.pdf>, Stand: 14.10.2016

Richter, S; Völker, J (2013): Die Wasserrahmenrichtlinie. Eine Zwischenbilanz zur Umsetzung der Maßnahmenprogramme 2012. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.). Berlin. Download unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/wasserrahmenrichtlinie\\_2012.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/wasserrahmenrichtlinie_2012.pdf), Stand: 14.10.2016

Rockström, J et al. (2009): A Safe Operating Space for Humanity. Nature 461, 472 ff.

RöV - Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung) vom 04.10.2011 (BGBl. I S. 604)

Schmitz, S und Paulini, I (1999): Bewertung in Ökobilanzen Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043 Version '99. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 92/1999. Berlin. Download unter: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3619.pdf>, Stand: 14.10.2016

- Schmoll, O; Chorus, I; Feuerpfeil, I; Selinka, HC; Szewzyk, R (2012): Die Bewertung gesundheitlicher Risiken durch Krankheitserreger im Trinkwasser – Theoretische Maßstäbe und praktische Konsequenzen. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 17, S. 81–951
- Stroh, K; Djeradi, B (2015): Gerüche und Geruchsbelästigungen. Bayerisches Landesamt für Umwelt StrSchV - Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung) vom 24.02.2012
- TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - „Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 24.06.2002
- UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2011): Zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen (ZEMA)
- UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2012): Ausschuss für Innenraumrichtwerte (vormals Ad-hoc-Arbeitsgruppe). Aus: Homepage.  
<http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm>, Stand: 05.07.2012
- UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2013a): Thru.de. Aus: Homepage. <http://www.thru.de>, Stand: 12.06.2013
- UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2013b): Schwerpunkte 2013. Die Jahres-Publikation des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau. Download unter:  
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/schwerpunkte-2013>, Stand: 14.10.2016
- UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2013c): Daten zum Thema Wasser und Wasserbelastungen, Flächenbeanspruchung. Aus: Homepage. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser>, Stand: 14.10.2016
- UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016a): BVT - Merkblätter und Durchführungsbeschlüsse. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/beste-verfuegbare-techniken/sevilla-prozess/bvt-merkblaetter-durchfuehrungsbeschluesse>, Stand: 14.10.2016
- UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016b): Emissionen und Luftschadstoffe. Download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen>, Stand: 14.04.2016.
- UBA - Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016c): ProBas - Prozessorientierte Datenbasis für Umweltmanagementsysteme. Aus: Homepage.  
<http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>, Stand: 14.10.2016
- UVSV - Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung (UV-Schutz-Verordnung) vom 20.07.2011 (BGBl. I S. 1412)
- VBEB - Bekanntmachung der Vorläufigen Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm vom 9. Februar 2007, Bundesanzeiger Nr. 75 vom 20. April 2007
- VDI 4100 - Schallschutz im Hochbau –Wohnungen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz. Ausgabe 2012-10
- VDI 4302 - Blatt 1: Geruchsprüfung von Innenraumluft und Emissionen aus Innenraummaterialien – Grundlagen. Ausgabe 2012
- VDI 4600 - Kumulierter Energieaufwand (KEA) - Begriffe, Berechnungsmethoden. Ausgabe 2012-01
- VDI 4800 - Blatt 2: Ressourceneffizienz - Bewertung des Rohstoffaufwands. Ausgabe 2016

Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2011): Verkehrsbericht 2011. Wasser- und Schifffahrtsdirektion West. Download unter: [http://www.wsd-west.wsv.de/Service/Publikationen/verkehrsberichte/Dateien/Verkehrsbericht\\_2011\\_INTERNET.pdf](http://www.wsd-west.wsv.de/Service/Publikationen/verkehrsberichte/Dateien/Verkehrsbericht_2011_INTERNET.pdf), Stand: 14.10.2016

WHG - Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts (Wasserhaushaltsgesetz) vom 31.07.2009. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 51

WHO - World Health Organization (2009): Night noise guidelines for Europe. WHO Regional Office for Europe (Hrsg.), Copenhagen

WHO - World Health Organization (2011): Guidelines for Drinking-water Quality. Fourth Edition. WHO chronicle 38, S. 104–108

WHO - World Health Organization (2013): Air quality guidelines - global update 2005. Download unter: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/outdoorair\\_aqg/en/index.html](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/index.html), Stand: 17.04.2013

Wichmann, E; Fromme, H (2015): Handbuch der Umweltmedizin. Toxikologie - Epidemiologie - Hygiene - Belastungen - Wirkungen - Diagnostik - Prophylaxe. ecomed-Verlag, Landsberg/Lech

## Anhang

Anhang 1	Bewertung des Versorgungsrisikos abiotischer Rohstoffe.....	85
Anhang 2	Auf Länderebene aggregierte AWaRe Faktoren.....	88
Anhang 3	Ist-Zustand und Handlungsziele für terrestrische Naturraumbeanspruchung.....	92
Anhang 4	Zusammenfassende Bewertung (Fallbeispiel).....	93
Anhang 5	Bearbeitungsbogen für VERUM-Studien.....	94
Anhang 6	Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorien.....	95
Anhang 7	Abschätzung der nationalen Emissionsmengen für Luftschadstoffe.....	100

**Anhang 1 Bewertung des Versorgungsrisikos abiotischer Rohstoffe**

Rohstoff / Element	Anwendungsbe- reich	Geologische, technische und strukturelle Indikatoren					Geopolitische und regulatorische Indikatoren				Ökonomische Indikatoren			
		Verhältnis von Reserven zu globaler Jahresproduktion	Grad der Koppelproduktion / Nebenproduktion	Verbreitungsgrad funktionaler EoL-Recycling-technologien	Wirtschaftlichkeit von Lagerung und Transport	Verbreitungsgrad natürlicher Vorkommen/ Anbauggebiete	Herfindahl-Hirschman-Index der Reserven	Herfindahl-Hirschman-Index der Länderproduktion	Politisches Länderrisiko	Regulatorisches Länderrisiko	Herfindahl-Hirschman-Index der Unternehmen	Grad der Nachfragesteigerung	Technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Substitutionen	Annualisierte Preisvolatilität
<b>Mineralisch- nicht metallische Rohstoffe</b>														
Magnesit und Seewassermagnesia	Reduktionsmittel Legierungselement	0	0,3	1	0	0	0,7	1	0,7	1	0,3	0,7	0	
				0,3									0,3	
Dolomit	Magnesiummetall Feuerfestbaustoffe	0	0,3	0	0,3	0	-	-	-	1	0	0,7	-	
				1									0,3	
Sand	Glasindustrie Leuchtstoff	0	0,3	0,7	0,7	0	0,3	1**	0,3**	-	0	0,7	-	
				0									0,3	
Kies	Beton-Wörtel Glasherstellung	0	0,3	0,3	0,7	0	0,3	1**	0,3**	-	0	0,3	-	
				0,3									0,3	
Ton	Beton	0	0,3	1	0,7	0	0,7*	-	-	-	0	1	0	
				0,3									0,3	
Kaolin	Tonkeramik	0	0,3	1	0,3	0	1*	1	0,3	-	0	0,3	0,7	
				0,3									1	
	Füllstoff (Papier, Kunststoff, Gummi) Porzellan	0	0,3	1	0,3	0	1*	1	0,3	-	0	0,3	0,7	
				0,3									1	

\* aufgrund fehlender Reserven-Angaben wurden die Produktionsdaten herangezogen

\*\* basierend auf Produktionsdaten für industriellen Kies und Sand

Rohstoff / Element	Anwendungsbe- reich	Geologische, technische und strukturelle Indikatoren					Geopolitische und regulatorische Indikatoren				Ökonomische Indikatoren			
		Verhältnis von Reserven zu globaler Jahresproduktion	Grad der Koppelproduktion / Nebenproduktion	Verbreitungsgrad funktionaler EoL-Recycling-technologien	Wirtschaftlichkeit von Lagerung und Transport	Verbreitungsgrad natürlicher Vorkommen/ Anbauggebiete	Herfindahl-Hirschman-Index der Reserven	Herfindahl-Hirschman-Index der Länderproduktion	Herfindahl-Hirschman-Index der Unternehmen	Grad der Nachfragesteigerung	Technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Substitutionen	Annualisierte Preisvolatilität		
<b>Metallische Rohstoffe</b>														
Aluminium		0	0	0,3	0	0	0,7	1	0,5	0,3	0,3	0	0,7	0,7
Antimon		1	0,3	0,7	0	0	0,7	1	0,7	0,7	0,7	0	0,7	1
Beryllium		0	0	0,7	0	0	0,7	1	0,3	0,3	1	0,7	0,7	-
Bismut		0,7	1	0,7	0	0	0,7	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Dysprosium		0	0,7	0,7	0	0	1	1	0,7	0,7	1	0,7	0,7	1
Chrom		1	0	0,3	0	0	1	1	0,7	0,3	0,7	0,3	1	0,7
Cobalt		0,3	0,7	0,7	0	0	0,7	1	0,7	0,7	0,3	0,3	1	1
Cer		0	0,7	0,7	0	0	1	1	0,7	0,7	1	0,3	0,7	0,7
Eisen		0,3	0	0,3	0	0	0,3	1	0,7	0,3	0,3	0	0,7	0,7
Gallium		0	1	1	0	0	0,7	1	0,7	0,3	0,7	1	0,7	1
Germanium		1	1	0,7	0	0	0,3	1	0,7	0,7	0,7	1	0,7	1
Hafnium		0	1	0,7	0	0	1	1	0,3	0,3	0,7	0,7	0,7	1
Indium		1	1	0,7	0	0	0,3	1	0,7	0,3	0,7	1	1	1
Kupfer		0,7	0,3	0,3	0	0	0,3	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	1
Lithium		0	0	1	0	0	1	1	0,3	0,3	0,7	0,3	0,7	0,7
Magnesium		0	0,3	0,3	0	0	0,7	1	0,7	0,7	0,3	0,3	0,7	0,7
Mangan		0,7	0	0,3	0	0	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3	0	1	1
Molybdän		0,7	0	0,7	0	0	0,7	1	0,7	0,3	0,3	0	0,7	1
Neodym		0	0,7	0,7	0	0	1	1	0,7	0,7	1	0,7	0,7	0,3
Nickel		0,7	0,3	0,3	0	0	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1	1
Niob		0,3	0,3	0,7	0	0	0,7	1	0,7	0,3	1	0	0,7	1



Rohstoff / Element	Anwendungsbe- reich	Geologische, technische und strukturelle Indikatoren					Geopolitische und regulatorische Indikatoren				Ökonomische Indikatoren			
		Verhältnis von Reserven zu globaler Jahresproduktion	Grad der Koppelproduktion / Nebenproduktion	Verbreitungsgrad funktionaler EoL-Recycling-technologien	Wirtschaftlichkeit von Lagerung und Transport	Verbreitungsgrad natürlicher Vorkommen/ Anbauggebiete	Herfindahl-Hirschman-Index der Reserven	Herfindahl-Hirschman-Index der Länderproduktion	Politisches Länderrisiko	Regulatorisches Länderrisiko	Herfindahl-Hirschman-Index der Unternehmen	Grad der Nachfragesteigerung	Technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Substitutionen	Annualisierte Preisvolatilität
<b>Metallische Rohstoffe</b>														
Palladium		0	0,7	0,7	0	0	1	1	0,7	0,7	0,7	0	0,7	0,7
Platin		0	0,3	0,7	0	0	1	1	0,7	0,3	0,7	0	0,7	1
Rhenium		0,7	1	0,7	0	0	0,7	1	0,3	0	0,7	0,7	0,7	-
Selen		0,7	1	0,7	0	0	0,3	1	0,3	0	0,3	0,7	0,7	0,7
Silber		1	0,7	0,3	0	0	0,3	0,3	0,7	0,3	0,3	0,7	0,7	1
Silicium		0	0	0,7	0	0	0,3	1	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3	0,7
Strontium		1	0	0,3	0	0	1	1	0,3	0,3	0,7	0,3	1	1
Tantal		0,3	0,3	0,7	0	0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,3	0,7	0,7
Tellur		0,7	1	0,7	0	0	0,3	1	0,3	0,3	0,3	0	0,7	0,7
Titan		0	0	0,3	0	0	0,7	1	0,7	0,7	0,3	1	0,7	1
Vanadium		0	1	0,7	0	0	1	1	0,7	0,7	0,3	1	0,7	1
Wolfram		0,7	0	0,3	0	0	0,7	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1
Zink		1	0,3	0,7	0	0	0,3	1	0,7	0,3	0,3	1	1	1
Zinn		1	0	0,7	0	0	0,7	1	0,7	0,7	0,3	0,3	0,7	1

## Anhang 2 Auf Länderebene aggregierte AWaRe Faktoren (Boulay et al. 2016) für die Anwendung bei allgemeinen, landwirtschaftlichen und nicht landwirtschaftlichen Fallstudien

Indikator	AWaRe Faktoren auf Länderebene		
	allgemein	landwirtschaftlich	nicht-landwirtschaftlich
Afghanistan	57,20	57,91	32,18
Albania	23,12	25,13	5,03
Algeria	64,45	66,56	36,21
American Samoa	4,42	0,00	4,42
Andorra	74,67	78,96	26,10
Angola	7,99	4,00	9,82
Anguilla	22,37	0,00	22,37
Antigua & Barbuda	13,66	20,57	4,91
Argentina	47,10	54,15	6,82
Armenia	85,45	87,59	40,30
Aruba	100,00	0,00	100,00
Australia	72,11	73,66	25,46
Austria	1,27	1,24	1,19
Azerbaidjan	85,94	88,37	50,96
Bahrain	9,93	8,54	12,84
Bangladesh	2,43	2,35	2,89
Barbados	10,52	14,35	6,93
Belarus	3,39	4,02	2,94
Belgium	1,37	2,28	1,16
Belize	2,13	1,19	3,36
Benin	7,29	6,72	8,10
Bhutan	1,03	1,06	0,78
Bolivia	6,62	8,21	2,99
Bosnia & Herzegovin	1,16	1,28	1,01
Botswana	22,53	13,48	32,94
Brazil	2,17	2,45	1,88
British Virgin Is.	14,62	23,41	13,24
Brunei	0,22	0,24	0,20
Bulgaria	25,63	26,41	10,83
Burkina Faso	15,87	13,66	18,37
Burundi	76,87	75,09	66,37
Cambodia	6,53	7,05	3,24
Cameroon	8,51	9,82	4,94
Canada	7,40	9,65	2,62
Cape Verde	1,05	0,19	1,31
Central African Rep	10,57	16,89	10,44
Chad	22,60	15,43	34,73
Chile	80,10	81,85	39,25
China	42,43	45,53	27,67
Colombia	0,68	0,55	0,77
Comoros	9,20	0,67	19,29
Congo	0,86	0,29	0,68
Congo, DRC	7,11	1,66	8,63
Costa Rica	0,93	1,35	0,49
Cote d'Ivory	6,85	7,18	6,76
Croatia	9,06	15,40	3,20
Cuba	5,30	3,97	3,80
Cyprus	74,30	74,73	60,92
Czech Republic	1,79	1,73	1,69
Denmark	3,54	3,28	4,83
Djibouti	13,44	10,27	27,10
Dominica	5,50	0,00	5,44
Dominican Republic	9,69	8,79	6,24
East Timor	9,08	10,56	4,47
Ecuador	4,06	4,62	1,39
Egypt	98,42	98,51	97,79

Indikator	AWaRe Faktoren auf Länderebene		
	allgemein	landwirtschaftlich	nicht-landwirtschaftlich
El Salvador	1,65	1,57	1,72
Equatorial Guinea	0,23	0,00	0,23
Eritrea	50,07	50,03	37,50
Estonia	1,97	0,85	1,60
Ethiopia	28,65	25,01	30,01
Falkland Is.	14,34	0,00	14,34
Faroe Is.	0,88	0,00	0,88
Fiji	1,38	1,62	1,11
Finland	1,94	1,72	1,96
France	6,98	8,29	2,31
French Guiana	0,61	0,42	0,71
Gabon	1,09	0,26	1,25
Gaza Strip	82,82	83,29	53,27
Georgia	74,23	80,91	22,89
Germany	1,36	1,61	1,24
Ghana	20,79	22,39	20,31
Gibraltar	46,16	48,07	30,98
Greece	68,44	70,11	30,74
Greenland	0,00	0,00	0,00
Grenada	11,82	0,00	13,47
Guadeloupe	14,98	15,76	10,46
Guatemala	1,20	1,17	1,13
Guinea	15,10	4,44	22,38
Guinea-Bissau	5,01	3,38	7,82
Guyana	2,39	2,84	0,68
Haiti	2,56	2,09	5,08
Honduras	1,11	1,00	1,19
Hungary	1,26	1,29	1,16
Iceland	0,60	0,00	0,60
India	29,35	29,91	21,34
Indonesia	23,60	25,41	10,52
Iran	66,59	67,21	41,01
Iraq	56,42	56,67	34,98
Ireland	0,72	1,43	0,71
Isle of Man	4,07	0,00	4,11
Israel	82,03	83,68	52,25
Italy	44,88	48,50	17,75
Jamaica	7,98	10,87	5,15
Japan	0,90	0,51	0,95
Jersey	13,54	0,00	13,54
Jordan	77,51	78,82	49,12
Kazakhstan	52,58	54,50	26,87
Kenya	19,50	9,67	28,95
Kuwait	53,78	4,87	70,88
Kyrgyzstan	68,88	69,19	63,98
Laos	5,71	6,03	3,44
Latvia	1,45	5,63	1,31
Lebanon	85,12	86,81	48,37
Lesotho	19,28	18,98	22,09
Liberia	0,68	1,31	0,64
Libya	51,65	51,43	42,95
Liechtenstein	0,76	0,93	0,71
Lithuania	1,23	1,49	1,27
Luxembourg	0,85	0,93	0,78
Macedonia	34,22	35,96	14,96
Madagascar	2,74	1,81	2,59
Malawi	5,44	5,25	6,39
Malaysia	1,64	2,20	0,59
Mali	15,73	13,58	28,56
Malta	62,61	65,92	47,56

Indikator	AWaRe Faktoren auf Länderebene		
	allgemein	landwirtschaftlich	nicht-landwirtschaftlich
Martinique	9,64	0,00	3,76
Mauritania	91,34	94,98	56,11
Mauritius	3,34	0,78	3,45
Mayotte	0,00	0,00	0,00
Mexico	33,45	34,25	20,16
Moldova	1,70	1,69	1,99
Monaco	3,04	5,05	1,73
Mongolia	29,77	29,02	30,79
Montenegro	8,73	11,68	3,61
Montserrat	10,45	0,00	10,45
Morocco	86,39	86,79	56,66
Mozambique	4,42	3,67	7,06
Myanmar	5,02	5,04	2,63
Namibia	37,80	5,98	42,36
Nepal	14,18	13,82	17,78
Netherlands	1,17	1,51	1,01
Netherlands Antille	88,82	0,00	88,82
New Caledonia	6,90	0,00	5,71
New Zealand	9,53	12,16	3,21
Nicaragua	2,17	1,72	2,67
Niger	8,67	6,99	19,07
Nigeria	8,91	8,09	10,38
North Korea	2,50	2,34	2,96
Norway	0,63	0,65	0,64
Oman	17,15	13,36	34,89
Pakistan	61,44	62,19	44,69
Panama	2,14	1,29	1,73
Papua New Guinea	1,43	0,10	0,65
Paraguay	1,29	1,08	1,46
Peru	24,93	25,53	16,13
Philippines	7,82	6,13	6,07
Poland	1,96	2,05	1,94
Portugal	49,57	51,03	15,33
Puerto Rico	7,93	18,39	1,95
Qatar	73,37	65,40	80,91
Reunion	9,61	4,06	10,29
Romania	8,33	8,87	2,54
Russia	12,51	19,97	3,93
Rwanda	80,66	72,15	81,72
Samoa	0,84	0,00	0,84
San Marino	12,19	14,10	5,18
Sao Tome & Principe	14,61	0,00	14,61
Saudi Arabia	18,73	18,23	29,02
Senegal	81,75	84,30	47,87
Serbia	13,73	16,40	4,59
Sierra Leone	1,06	1,27	0,94
Singapore	0,93	0,00	0,93
Slovakia	1,30	1,29	1,27
Slovenia	0,92	0,90	1,01
Solomon Is.	1,11	0,00	1,11
Somalia	49,49	37,04	38,13
South Africa	36,35	38,11	19,58
South Korea	1,66	1,28	2,23
Spain	77,70	79,13	31,49
Sri Lanka	24,60	22,36	9,67
St. Kitts & Nevis	4,59	6,38	4,32
St. Lucia	41,55	0,00	14,14
St. Pierre & Miquel	12,43	0,00	12,42
St. Vincent & the G	9,23	0,00	9,23
Sudan	38,17	37,45	47,45

Indikator	AWaRe Faktoren auf Länderebene		
	allgemein	landwirtschaftlich	nicht-landwirtschaftlich
Suriname	0,56	0,57	0,53
Svalbard	0,00	0,00	0,00
Swaziland	1,93	1,69	2,84
Sweden	4,41	4,58	4,03
Switzerland	1,34	1,77	0,82
Syria	75,50	75,49	48,33
Taiwan	4,99	3,99	7,70
Tajikistan	72,00	72,91	49,50
Tanzania	19,45	8,29	40,43
Thailand	7,82	7,78	5,44
The Bahamas	24,88	0,00	33,45
The Gambia	11,79	7,78	13,33
Togo	15,28	16,86	14,34
Tonga	12,26	0,00	12,26
Trinidad & Tobago	14,48	41,27	9,85
Tunisia	69,32	68,33	41,68
Turkey	55,57	57,39	20,68
Turkmenistan	65,74	66,58	42,45
Turks & Caicos Is.	12,66	0,00	12,66
Uganda	83,32	79,10	84,03
Ukraine	26,85	29,88	5,58
United Arab Emirate	18,56	15,18	46,01
United Kingdom	3,50	4,61	3,13
United States	33,84	36,49	9,51
Uruguay	0,60	0,64	0,53
Uzbekistan	72,31	73,19	52,25
Vanuatu	2,75	0,00	2,17
Vatican City	15,66	17,75	6,09
Venezuela	4,55	4,90	3,64
Vietnam	13,35	18,99	6,94
Virgin Is.	12,83	24,02	5,79
West Bank	81,53	83,30	52,29
Western Sahara	41,95	0,00	31,29
Yemen	37,63	37,42	39,41
Zambia	5,58	5,31	6,52
Zimbabwe	4,97	4,25	11,13
<b>Auf Weltregionen aggregiert</b>			
World avg	42,95		
World Agri	45,74		
World non-agri	20,30		
RER	36,53	39,97	21,00
Europe-CH	20,94	24,89	5,19
RoW	44,04	46,04	22,25
RAF	73,94	77,35	51,34
RAS	43,53	44,59	26,00
RLA	26,50	31,45	7,50
RNA	32,77	35,67	8,65
RME	60,03	60,53	40,92
ENTSOE	36,73	40,21	21,08
OECD	38,20	41,36	20,50
OECD+BRIC	34,30	36,45	19,45
CS	11,98	18,46	3,92
PS	83,30	52,36	81,92
OCEANIA	69,60	19,82	67,65

### Anhang 3 Ist-Zustand und Handlungsziele für terrestrische Naturraumbeanspruchung

Flächennutzungs- änderung	Verlust von Urwäldern (global)	Umbruch von Dauergrünland zu Ackerland (Deutschland)	Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche (Deutschland)	Umwandlung von Flächen in Abbauland (Deutschland)	Umwandlung von Ackerland in Standort für Freiflächenvoltaik (Deutschland)
IST-Zustand (2010)	Urwald	Ackerland	SV-Fläche	Abbauland	FF-PV
Flächenbelegung		11,847 Mio. ha	4,770 Mio. ha	0,16 Mio. ha	ca. 0,015 Mio. ha
Flächen- nutzungsänderung	- 14 Millionen Hektar pro Jahr	+ 270 Hektar pro Tag	+ 76,7 Hektar pro Tag	+ 7,1 Hektar pro Tag	bis zu + 15 Hektar pro Tag
Handlungs-Ziele für Flächennutzungs- Änderung	Reduktion auf Null	Reduktion auf Null	Reduktion auf 30 Hektar pro Tag (2020) Null (mittelfristig)	Reduktion auf 2,8 Hektar pro Tag (2020) Null (mittelfristig)	Reduktion auf Null (sofort, s. EEG)
<b>Herunterbrechen des 30-Hektar-Ziels für Siedlungs- und Verkehrsflächen auf Wirtschaftszweige/Aktivitäten (25% vom Stand im Jahr 1996)</b>					
Nutzungsart	Wirtschafts-zweig Wohnungsbau, Bedürfnisfeld Wohnen	Wirtschafts-zweig Produktion, Handel, öffentliche und private Dienstleistungen	Wirtschaftszweig Freizeit, Sport, öffentliche Grünflächen und Friedhöfe	Wirtschaftszweig Verkehrsträger, Transporte, Bedürfnisfeld Mobilität	
				insgesamt	davon [ha p.d.]
IST-Zustand (2010)					
Flächenbelegung	<b>1,662 Mio. ha</b>	<b>0,88 Mio. ha</b>	<b>0,40 Mio. ha</b>	<b>1,79 Mio ha</b>	
Flächennutzungs- sänderung	+ 17,8 Hektar pro Tag, davon  Einfamilienhäuser + 14,2 Hektar pro Tag <b>(1,028 Mio. ha)</b>  Zweifamilienhäuser + 2,0 Hektar pro Tag <b>(0,356 Mio. ha)</b>  Mehrfamilienhäuser + 1,6 Hektar pro Tag <b>(0,278 Mio. ha)</b>	+ 15,3 Hektar pro Tag	+ 23,1 Hektar pro Tag	+ 20,6 Hektar pro Tag	Erschließungsstraßen Wohnungsbau: + 4,2  Erschließungsstraßen Gewerbe usw.: + 2,5  Land- und forstwirtschaftlicher Wegebau: ca. + 7  Ausbau überörtliche Straßen: ca. + 5  Sonstiges (Bahn, Flughäfen): ca. + 2
Teilziel	+ 10,8 Hektarpro Tag  <i>Bedarfsgerecht umzulegen auf Wohnungstypen</i>	+ 11,0 Hektar pro Tag	+ 2,2 Hektar pro Tag	+ 5,9 Hektar pro Tag	Erschließung Wohnen 2,6  Erschließung Gewerbe usw. 1,8  Sonstiges: jeweils Reduktion um 71 Prozent

**Anhang 4 Zusammenfassende Bewertung (Vorlage)**

Belastungsart	Belastungskategorie	Option A	Option B	Option C	Option D
Chemische Belastungen	Treibhausgase				
	Luftschadstoffe				
	Schadstoffe in Innenräumen				
	Abwasser				
	Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge Wasser/Boden				
Physikalische Belastungen	Lärm				
	Strahlung				
	Mechanische Tötung von Tieren				
Biologische Belastungen	Mikrobielle Belastung				
	Invasoren				
Ressourcenbeanspruchung	Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger				
	Verbrauch biotischer Rohstoffe				
	Wasserverbrauch				
	Naturraumbeanspruchung				
Sonstige Belastungen	Störfälle/Unfälle				
	Sachgüter				
	Geruch				
	Landschaftsästhetik				
<b>Gesamtbewertung</b>					

Fallstudienspezifisch können nicht relevante Belastungskategorien gelöscht werden

## Anhang 5 Bearbeitungsbogen für VERUM-Studien

### Belastungsbewertung Wählen Sie ein Element aus.

**Fachgebiet** Klicken Sie hier, um Text einzugeben., Klicken Sie hier, um Text einzugeben.

K GEGENSTAND DER BEWERTUNG	
<i>Beschreibung des/des zu beurteilenden Produkts/Dienstleistung bzw. der zu vergleichenden Produkte/Dienstleistungen</i>	
K ANLASS UND ZIEL DER BEWERTUNG	
<i>z.B. Vereinfachte Umweltbewertung im Rahmen einer kleinen Anfrage, Produktvergleich für Ministerin, etc.</i>	
K BEWERTUNGSGRUNDLAGE	
<i>Hinweise, nach welcher Grundlage bewertet werden soll, z.B. die Bewertung von Lärm erfolgt entsprechend dem Kapitel „Lärm“ im Leitfaden VERUM</i>	
K+F SYSTEMGRENZEN	
<i>Beschreibung der Referenzflüsse, für die keine Beurteilung abgegeben werden soll oder kann, z.B. nur Nutzungsphase, ohne Rückführung in den Stoffkreislauf, etc.</i>	Empfehlung Koordinator:  Hinweise Facheinheit:
F PRODUKTEBENE	
<i>Beschreibung, welche Belastungen eine einzelne Einheit in der Anwendung verursacht, z.B. spezifischer Nährstoffeintrag, CO<sub>2</sub> Emission eines Fahrzeugs, Schallemissionspegel, etc.</i>	
F PRODUKTGESAMTHEIT	
<i>Beschreibung der Gesamtbelastung bei erwarteter Verbreitung des Produkts/der Dienstleistung. Dabei ist die Einwirkdauer, Häufigkeit der Belastung und die Betroffenzahl zu berücksichtigen.</i>	

F URTEIL	
<i>Abschließendes Urteil entsprechend der fünfstufigen Belastungsmatrizen im Leitfaden VERUM</i>	Indikator
	<small>Klicken Sie hier, um Text einzugeben.</small>
	Belastung
	<small>Wählen Sie ein Element aus.</small>

F SICHERHEIT DER AUSSAGE	
<i>Aussage zur Datengrundlage (z.B. eigene Forschungsergebnisse, Datum der Erhebung). Einschätzung der Richtigkeit und Aktualität des Urteils. Feststellung, ob eher qualitativ oder eher quantitativ bewertet wurde</i>	Die Beurteilung wurde aufgrund <input type="checkbox"/> qualitativer <input type="checkbox"/> quantitativer Erkenntnisse getroffen.
F SONSTIGE ANMERKUNGEN	
<i>Wichtige Hinweise, z.B. Forschungsbedarf, politische Relevanz, Überschneidung mit anderen Studien etc.</i>	



## Anhang 6 Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung aller Belastungskategorien

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	sehr hohe Belastung
<b>Treibhausgase</b> Vergleich mit Referenzszenario	Relevante Verringerung des Treibhauspotentials gegenüber Referenz (>10%)	Geringe Verringerung des Treibhauspotentials gegenüber Referenz (0-10%)	Geringe Erhöhung des Treibhauspotentials gegenüber Referenz (0-10%)	Relevante Erhöhung des Treibhauspotentials gegenüber Referenz (10-30%)	Deutliche Erhöhung des Treibhauspotentials gegenüber Referenz (>30%)
Gefährdung des 40% Ziels der Bundesregierung	Relevanter Beitrag zur nationalen THG-Minderung	Geringer Beitrag zur nationalen THG-Minderung	Kein Beitrag zur nationalen THG-Minderung	Leichte Erhöhung der nationalen THG-Emissionen	Deutliche Erhöhung der nationalen THG-Emissionen um mehr als 1 %
<b>Luftschadstoffe</b> Beurteilungswert und Vergleich mit Referenz Fall a) Immissionswerte werden derzeit eingehalten	Immissionen <b>verringern</b> sich im Vergleich zum Referenzfall	<b>Keine Veränderung</b> der Immissionen im Vergleich zum Referenzfall	Immissionen <b>erhöhen sich</b> im Vergleich zum Referenzfall, <b>ohne</b> dass mit einer <b>Überschreitung der Immissionswerte</b> zu rechnen ist	Immissionen <b>erhöhen sich</b> im Vergleich zum Referenzfall, so dass eine <b>Überschreitung der Immissionswerte wahrscheinlich</b> ist	Immissionen <b>erhöhen sich stark</b> im Vergleich zum Referenzfall, so dass <b>Immissionswerte stark überschritten</b> werden
Beurteilungswert und Vergleich mit Referenz Fall b) Immissionswerte werden derzeit überschritten	Immissionen <b>verringern sich so stark</b> im Vergleich zum Referenzfall, dass die <b>Immissionswerte sicher eingehalten</b> werden	Immissionen <b>verringern sich so stark</b> im Vergleich zum Referenzfall, dass die <b>Immissionswerte unter Umständen eingehalten</b> werden können	Immissionen <b>verringern sich</b> im Vergleich zum Referenzfall, <b>ohne</b> dass von einer <b>Unterschreitung der Immissionswerte</b> ausgegangen werden kann	<b>Keine Veränderung</b> der Immissionen im Vergleich zum Referenzfall	Immissionen <b>erhöhen sich</b> im Vergleich zum Referenzfall
<b>Stoffbelastungen im Innenraum</b> Belastung durch Bauprodukte: Emissionen für VVOC, VOC und SVOC gem. AgBB- und Blauer Engel-Vorgabe	keine Emissionen; kaum messbare Schadstoffkonzentrationen im Innenraum	-< Experteneinschätzung ->			AgBB- und Blauer Engel-Vorgabe nicht erfüllt; sehr hohe Schadstoffkonzentrationen im Innenraum
Belastung für VOC/TVOC Richtwertüberschreitung der Innenraumlufthygiene-Kommission	keine Emissionen zu erwarten; kaum messbare Schadstoffkonzentrationen im Innenraum	VOC-Emissionen, die als Gesamtkonzentration unter dem Richtwert I des UBA oder unter Stufe 2 für TVOC bleiben	VOC-Emissionen, die als Gesamtkonzentration zwischen RW I und RW II liegen, oder unter Stufe 3 für TVOC bleiben	VOC-Emissionen, die als Gesamtkonzentration RW II erreichen oder überschreiten, oder unter Stufe 4 für TVOC bleiben	VOC-Emissionen, die als Gesamtkonzentration RW II deutlich überschreiten, oder Stufe 3 für TVOC überschreiten
Belastung Staub Grenzwertüberschreitung	keine Staubemissionen zu erwarten	Das PM <sub>2,5</sub> Tagesmittel wird unterschritten.	Das PM <sub>2,5</sub> Tagesmittel wird nur zeitweise überschritten.	Das PM <sub>2,5</sub> Tagesmittel wird häufiger überschritten.	Das PM <sub>2,5</sub> Tagesmittel wird dauerhaft überschritten.
<b>Abwasser</b> durch Punktquellen, Anteil an den nationalen Gesamtemissionen	keine relevanten Emissionen zu erwarten	1/10.000 – 1/1.000	1/1.000 – 1/100	> 1/100	> 1/10

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	sehr hohe Belastung
<b>Diffuse Nähr- und Schadstoffe</b> Überschreitung von Qualitätszielen und Normen Fall a) Immissionswerte werden derzeit eingehalten	Immissionen <b>verringern</b> sich gegenüber der Referenz	<b>Keine Veränderung</b> der Immissionen gegenüber der Referenz	<b>Erhöhung</b> der Immissionen gegenüber der Referenz, die <b>Qualitätsziele/ Normen</b> werden jedoch <b>unterschritten</b> ; (nur sehr lokale Überschreitungen)	<b>Erhöhung</b> der Immissionen gegenüber der Referenz, Gefährdung von Pflanzen und Tieren, <b>hohes Risiko Normen zu überschreiten</b> ; (regional größere Zahl von Überschreitungen zu erwarten)	<b>Starke Erhöhung</b> der Immissionen gegenüber der Referenz führt zu <b>Überschreitung von Normen, Gesundheitsgefährdung</b> ; (überregionale Überschreitungen sind zu erwarten)
Überschreitung von Qualitätszielen und Normen Fall b) Immissionswerte werden derzeit überschritten	Immissionen <b>veringern sich so stark</b> gegenüber der Referenz, dass die <b>Qualitätsziele/ Normen sicher eingehalten</b> werden.	Immissionen <b>veringern sich</b> gegenüber der Referenz, so dass die <b>Qualitätsziele/ Normen u.U. eingehalten</b> werden können	Immissionen <b>veringern sich</b> gegenüber der Referenz, die <b>Qualitätsziele/ Normen können dennoch nicht eingehalten</b> werden	<b>Keine Veränderung</b> der Immissionskonzentrationen gegenüber der Referenz	Immissionen <b>erhöhen sich</b> gegenüber der Referenz
<b>Lärm, außen</b> Grenzwertüberschreitung Leq, Tag Leq, Nacht		geringfügige Belästigung beziehungsweise Beeinträchtigung durch Lärm 40...50 dB(A) 30...40 dB(A)	mittlere Belästigung beziehungsweise Beeinträchtigung durch Lärm 50...55 dB(A) 40...45 dB(A)	wesentliche Belästigung beziehungsweise Beeinträchtigung durch Lärm 55...65 dB(A) 45...55 dB(A)	Beeinträchtigung der Gesundheit durch Lärm > 65 dB(A) > 55 dB(A)
<b>Lärm in Innenräumen</b> Schwellenwerte aus bekannten Regelwerken	keine Lärmemissionen zu erwarten	Experteneinschätzung von Belästigung beziehungsweise Beeinträchtigung durch Lärm. Unterscheidung zwischen Räumen unterschiedlicher Nutzung. An Schlafräume bestehen beispielsweise völlig andere Anforderungen als an Büroarbeitsräume. Beispiele: Leq, Nacht = 25 dB(A) wird von der VDI 4100 empfohlen für Schlafräume. LEX,8h = 55 dB(A) gilt als empfohlene Belastungsdosis für die Ausführung überwiegend geistiger Tätigkeiten.			Beeinträchtigung der Gesundheit durch Lärm zum Beispiel am Arbeitsplatz: LEX,8h ≥ 85 dB(A) LpC,peak ≥ 137 dB(C)
<b>Ionisierende Strahlung</b> Grenzwertüberschreitung	keine Strahlenemissionen zu erwarten	Belastung unterhalb des Grenzwertes und unter Beachtung des Optimierungsgebots			Belastungen, die zur Überschreitung von Grenzwerten führen
<b>Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder</b> Gesamtbelastung	keine Emissionen zu erwarten	Belastung unterhalb des jeweiligen Grenzwertes und im Bereich der Vorsorge: neue Technologien sollen bestehende Belastungen nicht wesentlich erhöhen.			Belastungen, die zur Überschreitung von Grenzwerten führen
<b>Mechanische Tötung von Tieren</b> Häufigkeit und Gefährdungsgrad der Art	Es sind keine tödlichen Verletzungen von Tieren zu erwarten.	Der Verlust an Individuen einer Art wird als vernachlässigbar eingeschätzt.	Der Verlust an Individuen einer Art führt zur temporären Beeinträchtigung der Teilpopulation/Population.	Der Verlust an Individuen einer Art wird als Gefährdung für eine Teilpopulation eingeschätzt.	für den Erhalt der Population nicht ausgleichender Verlust an Individuen einer Art
<b>Mikrobiologische Belastung</b> Erkrankungswahrscheinlichkeit und Schwere der Erkrankung	Es treten keine Krankheitserreger oder andere mikrobielle Belastungen auf.	-< Experteneinschätzung ->			tödliche Erkrankungen mit nicht zu vernachlässigender Eintrittswahrscheinlichkeit

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	sehr hohe Belastung
<b>Invasoren</b> Experteneinschätzung	Es sind keine Invasoren zu erwarten.	Ökoregionen übergreifender Transport, jedoch keine relevante Verschleppung fremder Arten zu erwarten, auch aufgrund wirksamer Maßnahmen (zum Beispiel Desinfektion)	Ökoregionen übergreifender Transport, relevante Verschleppung von Arten möglich, jedoch ohne Nachweis der dauerhaften Etablierung, Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen begrenzt (zum Beispiel Aquakultur im Küstenbereich)	Ökoregionen übergreifender Transport, relevante Verschleppung von Arten wahrscheinlich, ohne Nachweis der dauerhaften Etablierung, keine wirksamen Maßnahmen (zum Beispiel Desinfektion)	Ökoregionen übergreifender Transport, relevante Verschleppung von Arten wahrscheinlich, Nachweis der dauerhaften Etablierung vorhanden, keine wirksamen Maßnahmen (zum Beispiel Desinfektion)
<b>Abiotische Rohstoffe ohne fossile Energieträger</b> zusätzlicher Nachfrageimpuls nach versorgungskritischen Rohstoffen	keine versorgungskritischen Rohstoffe <b>ODER</b> Nachfrageimpuls nach versorgungskritischen Rohstoffen < 10 % pro Jahr	<b>Signifikanter Nachfrageimpuls <math>\geq 10\%</math> und &lt; 30 % pro Jahr</b> nach mindestens einem versorgungskritischen Rohstoff	<b>Signifikanter Nachfrageimpuls <math>\geq 10\%</math> und &lt; 30 % pro Jahr</b> nach mindestens einem versorgungskritischen Rohstoff MIT geringer funktionaler Recyclingfähigkeit UND geringem Substitutionspotenzial	<b>Disruptiver Nachfrageimpuls <math>\geq 30\%</math> pro Jahr</b> nach mindestens einem versorgungskritischen Rohstoff	<b>Disruptiver Nachfrageimpuls <math>\geq 30\%</math> pro Jahr</b> nach mindestens einem versorgungskritischen Rohstoff <b>MIT</b> dissipativem Einsatz <b>UND OHNE</b> Substitutionspotenzial
<b>Abiotische Rohstoffe, fossile Energieträger</b> Reduktion des KEA <sub>NE</sub> gegenüber Ausgangswert des Referenzszenarios	Senkung des KEA <sub>NE</sub> $\geq 50\%$ gegenüber dem Ausgangswert des Referenzszenarios	Senkung des KEA <sub>NE</sub> < 50 % und $\geq 35\%$ gegenüber dem Ausgangswert des Referenzszenarios	Senkung des KEA <sub>NE</sub> < 35% und $\geq 20\%$ gegenüber dem Ausgangswert des Referenzszenarios	Senkung des KEA <sub>NE</sub> < 20 % und $\geq 0\%$ gegenüber dem Ausgangswert des Referenzszenarios	Steigerung des KEA <sub>NE</sub> gegenüber dem Ausgangswert des Referenzszenarios
<b>Biologische Ressourcen</b> Entnahme und Erneuerungsrate	keine Entnahme	Entnahme geringer als Erneuerung	Entnahme entspricht Erneuerung	Entnahme übersteigt Erneuerung	Entnahme übersteigt Erneuerung dauerhaft
<b>Wasserknappheit am Ort des Verbrauchs</b>	Wasserverbrauch ausschließlich in Gebieten mit AWaRe 0,1 – 1	Wasserverbrauch ausschließlich in Gebieten mit AWaRe 1 – 10	Wasserverbrauch überwiegend in Gebieten mit AWaRe 10 – 40	Wasserverbrauch überwiegend in Gebieten mit AWaRe 40 – 70	Wasserverbrauch überwiegend in Gebieten mit AWaRe $\geq 70$
<b>Erhöhung der Wasserknappheit am Ort des Verbrauchs</b>	kein relevanter Wasserverbrauch	Wasserverbrauch der Produktgesamtheit führt zu keiner Verschärfung der Wasserknappheit	Wasserverbrauch der Produktgesamtheit führt zu einer Verschärfung der Wasserknappheit in Gebieten mit AWaRe 0,1 – 40	Wasserverbrauch der Produktgesamtheit führt zu einer Verschärfung der Wasserknappheit in Gebieten mit AWaRe 40 – 70	Wasserverbrauch der Produktgesamtheit führt zu einer Verschärfung der Wasserknappheit in Gebieten mit AWaRe $\geq 70$
<b>Flächeninanspruchnahme</b> Anteil an sektorspezifischer Flächenbelegung oder Flächennutzungsänderung	keine Flächeninanspruchnahme	1/1000 – 1/100	1/100 – 1/10	> 1/10	entfällt
<b>Naturraum-inanspruchnahme</b> Hemerobie	keine Flächenumwandlung	Flächenumwandlung von 1 Stufe	Flächenumwandlung von 2 Stufen	Flächenumwandlung von 3 Stufen	mehr als 3 Stufen oder völlige Zerstörung der Fläche (d. h. Überführung in Nutzungstyp G)

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	sehr hohe Belastung
Gefährdung des 30 ha-Ziels der Bundesregierung	keine Flächenrelevanz	hoher Beitrag zur Flächenentlastung	kein Beitrag zur Flächenentlastung	leichte Erhöhung der Flächenbeanspruchung	deutliche Erhöhung der Flächenbeanspruchung
Gefährdung der Ziele der EG-Wasserrahmenrichtlinie	Ziele der EG-WRRRL werden nicht tangiert	Grundwasserspiegel und hydromorphologische Qualität der Grund- und Oberflächenwasserkörper sind nicht gefährdet	Grundwasserspiegel und hydromorphologische Qualität der Grund- und Oberflächenwasserkörper sind gefährdet	Grundwasserspiegel und hydromorphologische Qualität der Grund- und Oberflächenwasserkörper sind erheblich gefährdet	Grundwasserspiegel und hydromorphologische Qualität der Grund- und Oberflächenwasserkörper werden zerstört
Gefährdung globaler politischer Ziele Erhalt der Urwälder, Feuchtgebiete (global) oder FFH-Gebiete (Europa)	globale politische Ziele nicht tangiert	Urwälder/ Feuchtgebiete/FFH etc. sind nicht gefährdet und kein Beitrag zur Bodenerosion/ Wüstenbildung	Urwälder/ Feuchtgebiete/ FFH etc. sind gefährdet oder Beitrag zur Bodenerosion/ Wüstenbildung	Urwälder/ Feuchtgebiete/FFH etc. sind erheblich gefährdet oder erheblicher Beitrag zur Bodenerosion/ Wüstenbildung	Urwälder/ Feuchtgebiete/FFH werden zerstört oder führt zur vollständigen Bodenerosion/ Verwüstung
<b>Störfälle/Unfälle,</b> Kriterium 1: Schwere der gesundheitlichen/ ökologischen/ ökonomischen Beeinträchtigung	Bewertungsvoraussetzungen aus der Vorprüfung nicht erfüllt	leichte und vorübergehende Gefährdung möglich	gesundheitliche Störung/ Erkrankung möglich für Nutzer oder Anwohner, längerfristige ökologische/ ökonomische Belastung	tödliches Risiko für Nutzer oder Anwohner	katastrophale Auswirkungen
Kriterium 2: Anzahl der betroffenen Personen/Größe der betroffenen Region, Machbarkeit der Sanierung	Bewertungsvoraussetzungen aus der Vorprüfung nicht erfüllt	Nur sehr wenige Menschen/ begrenzte Region sind im Eintrittsfall betroffen/ Sanierung technisch einfach	zahlreiche Menschen/ größere Region sind im Eintrittsfall betroffen/ Sanierung schwierig	Ein hoher Anteil der Bevölkerung ist im Eintrittsfall betroffen/ Sanierung sehr aufwändig	Die gesamte Bevölkerung einer Region ist im Eintrittsfall betroffen/ Sanierung sehr aufwändig
Kriterium 3: Eintrittswahrscheinlichkeit	Bewertungsvoraussetzungen aus der Vorprüfung nicht erfüllt	Eintritt des Ereignisses kann fast ausgeschlossen werden	Eintritt des Ereignisses ist unwahrscheinlich	Mit einem Eintritt des Ereignisses muss gerechnet werden.	Eintritt des Ereignisses ist sehr wahrscheinlich
<b>Sachgüter</b> Intensität der Noxe, Ökonomischer Wert	Schäden nicht zu erwarten	-< Experteneinschätzung ->			hohe Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts, ökonomisch nicht vertretbare Schäden
<b>Geruch Anlagen:</b> Intensität und Hedonik	kein wahrnehmbarer Geruch	schwach wahrnehmbarer Geruch, Hedonik angenehm oder neutral	deutlich wahrnehmbarer Geruch, Hedonik unangenehm	starker Geruch	extrem starker Geruch
<b>Geruch Produkte</b> Intensität und Hedonik	kein wahrnehmbarer Geruch	geruchsarm	Geruch mit einer mittleren empfundenen Intensität	Geruch unangenehm und mit einer hohen empfundenen Intensität	Geruch unangenehm und mit einer sehr hohen empfundenen Intensität
<b>Auswirkungen auf die Landschaftsästhetik</b> Kontrastwirkung, Sichtbarkeit	keine wahrnehmbare Veränderung des Landschaftsbildes	keine negative/ auffällige Veränderung/ Kontrastwirkung; Sichtbarkeit für die Allgemeinheit gering	deutliche Kontrastwirkung zum Landschaftsbild; Sichtbarkeit für die Allgemeinheit gegeben	hohe Kontrastwirkung zu unverfälschter historischer Kulturlandschaft, Baudenkmal, sonstige Kultur- und naturhistorisch bedeutsame Objekte; dominante Wirkung sichtbar	Statusbeeinträchtigung von geschützten Natur- und Baudenkmalern, insbesondere UNESCO-Welterbestätten

## Anhang 7 Abschätzung der nationalen Emissionsmengen für Luftschadstoffe

Die nationalen Emissionsmengen werden vorzugsweise der aktuellen nationalen Berichterstattung unter dem Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverschmutzung (UN ECE-CLRTAP) entnommen (UBA 2016b). Diese Berichterstattung umfasst jedoch nur ausgewählte Schadstoffe. Mit Stand 2015 sind dies Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ), flüchtige organische Verbindungen (NMVOC), Schwefeloxide ( $\text{SO}_x$ ), Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), Kohlenmonoxid (CO), drei Staubfraktionen ( $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ , TSP), neun Schwermetalle (Pb, Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, Se, Zn) und die persistenten organischen Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen Dioxine und Furane (PCDD/PCDF), Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Indeno(1,2,3-cd)pyren), Hexachlorbenzol (HCB), Hexachlorhexan (HCH) und Polychlorierte Biphenyle (PCBs).

Ist für einen Schadstoff keine nationale Emissionsmenge bekannt, wird ersatzweise (als fiktive nationale Emissionsmenge) eine Vergleichsgröße aus dem Emissionswert abgeleitet. Vorzugsweise wird diese Vergleichsgröße berechnet als Produkt aus der Begrenzung des Massenstroms nach den allgemeinen Anforderungen der Nr. 5.2 der TA Luft (VDI 4600 2012) und dem Faktor  $106 \cdot 8760 \text{ h/a}$ . Dieser Faktor entspricht etwa dem geometrischen Mittelwert der entsprechenden Faktoren für die nationalen Emissionsmengen in der Berichterstattung des Jahres 2015. Mit zunehmender Erfahrung in der Anwendung des Leitfadens kann der Faktor ggf. korrigiert werden.

Falls für einen Schadstoff keine allgemeine Anforderungen nach Nr. 5.2 der TA Luft gelten, kann ersatzweise auf besondere Regelungen für bestimmte Anlagenarten nach Nr. 5.4 der TA Luft oder nach den BVT-Merkblättern für bestimmte Anlagenarten (UBA 2016a) zurückgegriffen werden. Wird nicht der Emissionsmassenstrom, sondern die Massenkonzentration der Emission im Abgas begrenzt, kann diese mit einem Abgasvolumenstrom von  $5.000 \text{ m}^3/\text{h}$  in einen Emissionsmassenstrom umgerechnet werden. Dies entspricht dem häufigsten Verhältnis zwischen Massenstrom und Massenkonzentration in Nr. 5.2 der TA Luft.