

TEXTE

33/2014

Vereinfachte Umweltbewertungen des Umweltbundesamtes (VERUM)

TEXTE 33/2014

Vereinfachte Umweltbewertungen des Umweltbundesamtes (VERUM)

Bearbeitung:

Dr. Markus Berger & Prof. Dr. Matthias Finkbeiner

Fachgebiet Sustainable Engineering
Institut für Technischen Umweltschutz
Technische Universität Berlin

Beiträge Umweltbundesamt:

Kernteam:

Christiane Markard (Projektleitung)
**Michael Angrick, Jakob Frommer, Ulrich Irmer, Klaus Müschen,
Simone Richter**

Arbeitsgruppe:

**Christian Fabris, Roland Fendler, Gunnar Gohlisch, Ulrich Gromke,
Dirk Günther, Barbara Jahn, Jan Kosmol, Anja Lüdecke,
Christoph Mordziol, Heinz-Jörn Moriske, Felix Müller, Thomas Myck,
Ines Oehme, Gertrude Penn-Bressel, Almut Reichart, Michael Strogies,
Katrin Süring, Regine Szewzyk, Alfred Trukenmüller**

Thomas Jung (Bundesamt für Strahlenschutz)

Im Auftrag und unter aktiver Mitarbeit des Umweltbundesamt

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

Tel.: 0340/2103-0

Telefax: 0340/2103 2285

info@umweltbundesamt.de

Internet: www.umweltbundesamt.de

<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

www.facebook.com/umweltbundesamt.de

www.twitter.com/umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Umweltbundesamt

Stand:

April 2014

Redaktion:

Fachgebiet II 2.1

Publikation als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/vereinfachte-umweltbewertungen-des>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2014

Inhaltsverzeichnis Teil I: Konzept und Bewertungsmethode

Abbildungsverzeichnis.....	
Tabellenverzeichnis.....	
1 Einleitung	1
1.1 Ökologische Bewertungen im Umweltbundesamt.....	1
1.2 Möglichkeiten und Grenzen einer vereinfachten Umweltbewertung	1
2 Ablauf der Vereinfachten Umweltbewertung	3
3 Zieldefinition und Vorprüfung.....	5
3.1 Ziel	5
3.2 Prüfung der Notwendigkeit	5
3.3 Beschreibung des Produktlebensweges	5
3.4 Ermittlung des Belastungsprofils	5
4 Spezifizierung des Untersuchungsrahmens	12
4.1 Funktionelle Einheit und Referenzflüsse.....	12
4.2 Systemgrenzen und Abschneidekriterien	12
4.3 Annahmen und Einschränkungen.....	13
5 Belastungsermittlung.....	14
5.1 Qualitative Belastungsermittlung.....	14
5.2 Quantitative Belastungsermittlung.....	14
5.2.1 Vorgehen.....	14
5.2.2 Datenquellen.....	17
5.2.3 Allokation bei Kuppelprodukten.....	17
5.2.4 Allokation bei Recycling/Einsatz von Sekundärmaterialien	20
6 Belastungsbewertung.....	21
6.1 Bewertung der Belastungen auf Produktebene	21
6.1.1 Chemische Belastungen	22
6.1.2 Physikalische Belastungen	28
6.1.3 Biologische Belastung	30
6.1.4 Ressourceninanspruchnahme.....	31
6.1.5 Störfälle/Unfälle.....	37
6.2 Bewertung der Gesamtbelastung	37
6.2.1 Chemische Belastungen	38
6.2.2 Physikalische Belastungen	45
6.2.3 Biologische Belastungen	49
6.2.4 Ressourceninanspruchnahme.....	50

6.2.5	Störfälle/Unfälle.....	55
6.3	Priorisierung der Belastungskategorien.....	55
7	Auswertung.....	57
7.1	Selbstkritische Prüfung.....	57
7.2	Analyse signifikanter Parameter.....	57
7.3	Prüfung der Aussagesicherheit	58
7.4	Schlussfolgerungen/weitere Schritte	58
7.5	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	59
8	Literatur.....	59

Inhaltsverzeichnis Teil II: Evaluierung und Fallbespiele

Fallbeispiel Lampen (Glühlampe versus Kompaktleuchtstofflampe)

1	Zieldefinition und Vorprüfung.....	75
1.1	Ziel	75
1.2	Prüfung der Notwendigkeit	75
1.3	Beschreibung des Produktlebensweges.....	75
1.4	Ermittlung des Belastungsprofils	76
2	Spezifizierung des Untersuchungsrahmens	83
2.1	Funktionelle Einheit und Referenzflüsse.....	83
2.2	Systemgrenzen.....	84
2.3	Abschneidekriterien und Annahmen	85
3	Belastungsermittlung.....	86
3.1	Qualitative Belastungsermittlung.....	86
3.2	Quantitative Belastungsermittlung.....	87
3.2.1	Chemische Belastungen	87
3.2.2	Physikalische Belastungen	91
3.2.3	Störfälle/Unfälle.....	93
4	Belastungsbewertung.....	95
4.1	Bewertung der Belastungen auf Produktebene	95
4.1.1	Chemische Belastungen	95
4.1.2	Physikalische Belastungen	96
4.1.3	Störfälle/Unfälle.....	97
4.2	Zusammenfassung der Bewertung auf Produktebene	97
4.3	Bewertung der Gesamtbelastung	97

5	Auswertung.....	99
5.1	Selbstkritische Prüfung.....	99
5.2	Analyse signifikanter Parameter.....	99
5.3	Prüfung der Aussagesicherheit	100
5.4	Schlussfolgerungen/weitere Schritte	100
5.5	Fazit Methode	101
6	Literatur.....	103

Fallbeispiel Handtrocknungssysteme

1	Ziel und Untersuchungsrahmen	108
1.1	Vorbemerkung.....	108
1.2	Problemstellung.....	108
1.3	Ergebnisse aus der Vorprüfung	108
1.4	Systembeschreibung.....	109
1.4.1	Untersuchte Produktsysteme	109
1.4.2	Funktionelle Einheit.....	109
1.4.3	Referenzflüsse.....	109
1.4.4	Systemgrenzen.....	109
1.4.5	Allokationsverfahren	110
1.4.6	Anforderungen an die Daten (Datenqualität, räumlicher und zeitlicher Bezug)	110
1.4.7	Annahmen und Einschränkungen.....	110
2	Berücksichtigte Belastungskategorien.....	111
3	Sachbilanzdatenerhebung	112
3.1	Sachbilanzdaten Papierhandtücher/Frischfaser	112
3.2	Sachbilanzdaten Papierhandtücher/ Recyclingpapier.....	113
3.3	Sachbilanzdaten Baumwollhandtücher.....	113
3.4	Sachbilanzdaten Gebläsetrockner (Warmluft & Jetstream)	114
3.5	Aufgetretene Probleme bei der Sachbilanzdatenermittlung	114
4	Belastungsbewertung – Mikroebene.....	115
4.1	Treibhausgase.....	115
4.2	Gefährliche Stoffe.....	115
4.3	Gefährliche Stoffe im Innenraum.....	116
4.4	Abwasser	116
4.5	Lärm.....	117
4.6	Krankheitserreger.....	117

4.7	Verbrauch mineralischer Rohstoffe und fossiler Energieträger	117
4.8	Verbrauch biotischer Rohstoffe.....	118
4.9	Wasserverbrauch.....	118
4.10	Naturraumbeanspruchung.....	119
4.11	Störfälle/Unfälle.....	120
4.12	Fazit zur Methodik der Belastungsbewertung	120
5	Belastungsbewertung – Makroebene.....	121
5.1	Gesamtrelevanz Treibhausgase	121
5.2	Gefährliche Stoffe.....	122
5.3	Stoffbelastung in Innenräumen.....	122
5.4	Abwasser	122
5.5	Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge	123
5.6	Wasserverbrauch.....	123
5.7	Lärm.....	123
5.8	Krankheitserreger.....	124
5.9	Naturraumbeanspruchung.....	124
5.10	Störfälle, Unfälle	125
6	Zusammenfassung der Ergebnisse	126
6.1.1	Priorisierung der Belastungskategorien und Ergebnisranking	127
6.1.2	Selbstkritische Prüfung.....	128
6.1.3	Fazit: Methodik.....	130
7	Quellenverzeichnis	131

Fallbeispiel Gütertransporte

1	Einleitung und Einordnung der Arbeiten.....	137
2	Darstellung der Ergebnisse.....	138
3	Kritische Punkte	140
4	Notwendige Erweiterungen.....	141
5	Anhang:	142

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Schematischer Verfahrensablauf der vereinfachten Umweltbewertung	3
Abbildung 2	Beispielhafte Skizze des Lebensweges eines Kupferkabels	5
Abbildung 3	Beispielhafte Systemgrenzen für die Herstellung eines Kupferkabels	12
Abbildung 4	Beispielhaftes Ergebnis der qualitative Belastungsermittlung der Herstellung eines Kupferkabels.....	14
Abbildung 5	Ergebnis der quantitativen Belastungsermittlung für die Herstellung eines Kupferkabels (theoretische Werte).....	16
Abbildung 6	Kuppelprodukte der Erdölraffination	19
Abbildung 7	Qualitativen Risikoabschätzung für VOC Immissionen in Innenräumen über Gefährlichkeit des Stoffes und Exposition (grün = geringes Risiko, gelb = mittleres Risiko, rot = hohes Risiko).....	24
Abbildung 8	Risikobewertung für Schadstoffe im Abwasser über Gefährlichkeit und Exposition (grün = geringes Risiko, gelb = mittleres Risiko, rot = hohes Risiko)	26
Abbildung 9	Risikobewertung über Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß (grün = geringes Risiko, gelb = mittleres Risiko, rot = hohes Risiko)	30
Abbildung 10	Google Earth [15] mit von Pfister et al entwickeltem Layer [16] zur Darstellung globaler Wasserknappheitsverhältnisse (basierend auf WTA).....	35
Abbildung 11	Auf Gesamtbelastung und Aussagesicherheit basierendes Schema zur Festlegung, ob weiterführende Analysen notwendig sind oder nicht	59
Abbildung 12	Quecksilberemissionen bei Standardglühlampen und Kompaktleuchtstofflampen (Situation EU).....	89
Abbildung 13	Quecksilberemissionen bei Standardglühlampen und Kompaktleuchtstofflampen (Situation D).....	90
Abbildung 14	kg CO ₂ je Mlmh auf Basis des abgegebenen Lichtstromes	95
Abbildung 15	kg CO ₂ je Mlmh auf Basis Lichtstrombedarf.....	96
Abbildung 16	Vergleich von Lampentechniken (Standardglühlampe = Tungsten Lamp, Halogenglühlampe = Halogen Lamp, stabförmige Leuchtstofflampe = Fluorescent Lamp und Kompaktleuchtstofflampe = Comp. Fluorescent Lamp) mittels Ecoindicator (EI'99) sowie für die Treibhausgasemissionen (GWP) und den kumulierten Energieaufwand (CED), [Quelle: Welz et.al 2011]	101

Abbildung 17	Umweltwirkungen verschiedener Beleuchtungstechnologien relativ zu den Wirkungen einer Glühlampe [Quelle: Defra 2009, S. 62]	102
Abbildung 18	Verteilung der weltweiten Kurzfaserherstellung	113
Abbildung 19	Treibhausgaspotential in Kilogramm CO ₂ -Äquivalenten der verschiedenen Produktsysteme bezogen auf die funktionelle Einheit	115
Abbildung 20	Ergebnisse zum Treibhausgaspotenzial aus diesen Fallbeispielen in Kilogramm CO ₂ -Äquivalente, bezogen auf 1000 paar getrocknete Hände.	129
Abbildung 21	Ergebnisse zum Treibhausgaspotenzial einer vergleichbaren Studie in Gramm CO ₂ -Äquivalente, bezogen auf 1 paar getrocknete Hände. [Gregory, Jeremy R. et al. (2013)]	129

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Welche Belastungsarten und -kategorien sind in VERUM zu analysieren?.....	6
Tabelle 2	Quantitative und qualitative Belastungsermittlung.....	15
Tabelle 3	Datenquellen für die quantitative Belastungsermittlung.....	17
Tabelle 4	Zielwerte für nationale Emissionen und daraus abgeleitete Faktoren zur Gewichtung des Emissionen von gefährlichen Stoffen/Nährstoffen in Außenluft.....	23
Tabelle 5	Beispielhafter quantitativer Vergleich der Emissionsfaktoren für Nährstoffe zweier Verfahren.....	26
Tabelle 6	Kritikalitätsaspekte und deren Gewichtung für die Bewertung des Verbrauchs mineralischer Rohstoffe.....	32
Tabelle 7	Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorie Treibhausgase.....	39
Tabelle 8	Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorie gefährliche Stoffe/Nährstoffe in Außenluft.....	40
Tabelle 9	Bewertungsmodell der Belastungskategorie Stoffbelastung im Innenraum / Bauprodukte.....	41
Tabelle 10	Bewertungsmodell der Belastungskategorie Stoffbelastung im Innenraum / VOC.....	41
Tabelle 11	Bewertungsmodell der Belastungskategorie Stoffbelastung im Innenraum / Feinstaub	42
Tabelle 12	Abschätzung nationaler Emissionsmengen relevanter Schadstoffe [18].....	43
Tabelle 13	Bewertungsmodell der Belastungskategorie Nährstoffe oder Schadstoffe aus Punktquellen in Gewässer.....	43
Tabelle 14	Bewertungsmodell der Belastungskategorie diffuse Nährstoff- und Schadstoffeinträge in Wasser.....	44
Tabelle 15	Bewertungsmodell für die Gesamtbelastung durch Umgebungslärm	45
Tabelle 16	Bewertungsmodell für die Gesamtbelastung durch Lärm in Innenräumen.....	46
Tabelle 17	Bewertungsmodell der Belastungskategorie ionisierende Strahlung	47
Tabelle 18	Bewertungsmodell für die Gesamtbelastung durch elektrische-, magnetische und elektromagnetische Felder.....	48
Tabelle 19	Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorie Mechanische Tötung von Tieren.....	48
Tabelle 20	Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorie Krankheitserreger.....	49

Tabelle 21	Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorie Invasoren.....	50
Tabelle 22	Bewertungsmodell für die Gesamtbelastung durch Wasserverbrauch.....	52
Tabelle 23	Bewertungsmodell der Belastungskategorie Flächeninanspruchnahme.....	53
Tabelle 24	Qualitative Bewertung der Belastungskategorie Naturraumbeanspruchung.....	54
Tabelle 25	Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorie Störfälle/Unfälle.....	55
Tabelle 26	Kriterien für die Bewertung der Aussagesicherheit.....	58
Tabelle 27	Prüfung, welche Belastungsarten und -kategorien in der vereinfachten ökologischen Bewertung zu analysieren sind	77
Tabelle 28	Ausgangsdaten Glühlampe (GL) und Kompaktleuchtstofflampen (KLL).....	83
Tabelle 29	Zusammensetzung einer Glühlampe (nach Vito et al. 2009)	84
Tabelle 30	Zusammensetzung einer Kompaktleuchtstofflampe (abgeleitet nach Parson 2006 und Vito et al. 2009)	84
Tabelle 31	Qualitative Belastungsermittlung.....	86
Tabelle 32	Treibhausgasäquivalente (kg CO ₂ eq.) je Megalumenstunde (Mlmh) nach Lichtstrombedarf.....	87
Tabelle 33	Treibhausgasäquivalente (kg CO ₂ eq.) je Megalumenstunde (Mlmh) für abgegebenen Lichtstrom.....	87
Tabelle 34	Treibhausgasäquivalente (kg CO ₂ eq.) pro Lampe bezogen auf den jeweiligen gesamten Lebensweg, d.h. auch für die jeweils unterschiedliche Brenndauer.....	88
Tabelle 35	Bewertung zu Strahlung im Einzelnen:	92
Tabelle 36	Kriterien für die Bewertung der Aussagesicherheit.....	100
Tabelle 37	Referenzflüsse der betrachteten Produktsysteme	109
Tabelle 38	Systemgrenzen der betrachteten Produktsysteme	110
Tabelle 39	Zu Berücksichtigende Belastungskategorien	111
Tabelle 40	Prozesse, in denen nicht zu quantifizierende Belastungen auftreten (Papierhandtücher Frischfaser)	112
Tabelle 41	Prozesse, in denen nicht zu quantifizierende Belastungen auftreten (Papierhandtücher Recyclingpapier).....	113
Tabelle 42	Prozesse, in denen nicht zu quantifizierende Belastungen auftreten (Baumwollhandtücher)	114
Tabelle 43	Prozesse, in denen nicht zu quantifizierende Belastungen auftreten (Gebälsetrockner)	114

Tabelle 44	Ergebnisse der Belastungsbewertung für gefährliche Stoffe in Kilogramm für die verschiedenen Produktsysteme bezogen auf die funktionelle Einheit.....	116
Tabelle 45	Abwasserbelastungen in Kilogramm bezogen auf die funktionelle Einheit	117
Tabelle 46	Bewertung der Wasserknappheit am Beispiel Frischfaserzellstoff	118
Tabelle 47	Bewertung der Naturraumbeanspruchung	120
Tabelle 48	Treibhausgaspotenzial der verschiedenen Produktsysteme auf Makroebene bezogen auf die alleinige Nutzung der einzelnen Produktsysteme	121
Tabelle 49	Ergebnisse der Belastungsbewertung für gefährliche Stoffe auf Makroebene: Anteil der einzelnen Produktsysteme in Prozent am NEC1 Wert. Angabe für die einzelnen Produktsysteme in Prozent des NEC1-Wertes	122
Tabelle 50	Ergebnisse der Belastungsbewertung für Abwasser auf Makroebene. Dargestellt ist der Anteil an der Gesamtbelastung	123
Tabelle 51	Gesamtnaturraumbedarf der einzelnen Produktsysteme auf Makroebene für den Jahresbedarf	124
Tabelle 52	Ergebniszusammenfassung auf Makroebene.....	126
Tabelle 53	Berücksichtigte Belastungskategorien	139
Tabelle 54	Einschätzung zum Belastungsprofil	142

1 Einleitung

1.1 Ökologische Bewertungen im Umweltbundesamt

Das Umweltbundesamt (UBA) ist eine Institution, von der Politik, Verbände und Bevölkerung Rat und Beratung erwarten. Eine zentrale Frage ist hierbei, welchen Produkten, Verfahren oder Dienstleistungen (im Folgenden „Produkt“) unter Umweltsichtspunkten im Falle unterschiedlicher Alternativen der Vorzug zu geben ist.

Das Ziel ökologischer Bewertungen des UBA ist daher nicht der Qualitätstest von Produkten, wie das zum Beispiel die Stiftung Warentest macht. Es geht vielmehr darum, die Umweltfolgen der Realisierung eines Zwecks oder einer Funktion (zum Beispiel Transport von Waren, Beleuchtung, Energieerzeugung) zu bewerten oder zu vergleichen. Oft geht es primär darum zu prüfen, ob eine bestimmte ökologische Verbesserung durch eine neue Entwicklung (zum Beispiel Energieersparnis) nicht durch Verschlechterungen in einer oder mehreren anderen Umweltkategorien erkauft wird (zum Beispiel höhere Schadstoffeinträge), die den vermeintlichen Vorteil wieder zunichtemachen.

Das Umweltbundesamt ist dazu verpflichtet, 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 eine ISO-Norm entwickelt wurde (ISO 14040 ff) [2, 3], 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 derartige 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 Techniken 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 Methodik 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).

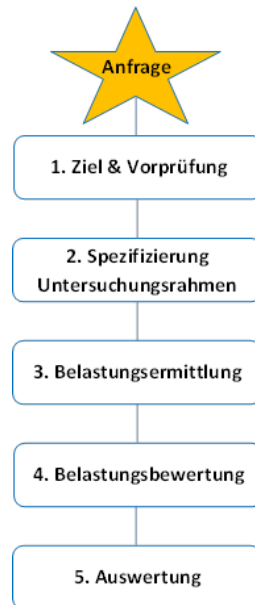
Vereinfachte Umweltbewertungen sollen – gemäß dem Aufgabenbereich des UBA – aus der Sicht des Umweltschutzes (inklusive der menschlichen Gesundheit) ohne Abwägung ökonomischer und sozialer Auswirkungen erstellt werden. Zu beachten ist, dass sie nur einen wenn auch wichtigen Aspekt im Rahmen komplexer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

Eine regelmäßige Aktualisierung ist vorgesehen.

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



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 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

ven erfolgen. Da auch geringe spezifische Belastungen eines Produktes relevante Konsequenzen haben können, wenn eine hohe Stückzahl von ihnen hergestellt wird, werden anschließend die Belastungen für die Produktgesamtheit bewertet und klassifiziert. Abschließend werden Hinweise gegeben, wie mit Zielkonflikten zwischen Belastungskategorien (zum Beispiel besser bei Treibhausgasemissionen aber schlechter im Wasserverbrauch) umgegangen werden kann.

In der Auswertung erfolgt zunächst eine kritische Prüfung der vorherigen Phasen. Anschließend 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, die Gründe für die Durchführung sowie der Anfrager 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

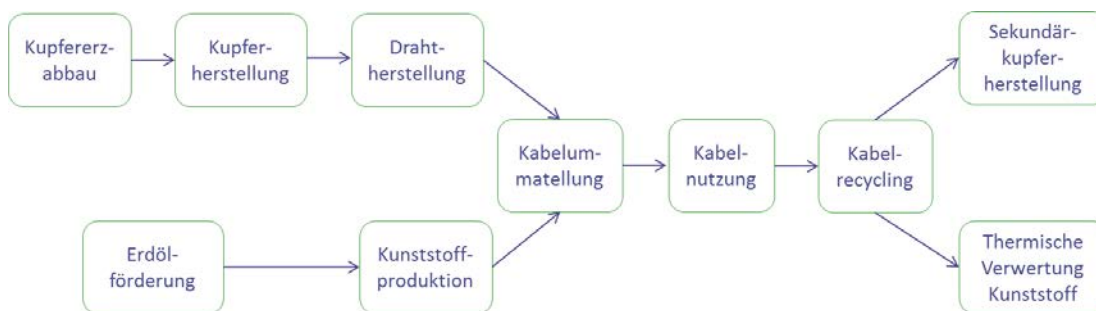
Vor Durchführung der vereinfachten Umweltbewertung ist zu prüfen, ob diese überhaupt nötig ist. Auf eine Untersuchung kann verzichtet werden, wenn:

- ▶ 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 (Rohstoffgewinnung, Materialherstellung, Nutzung, Entsorgung) 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. 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 im folgenden Beispiel dargestellt, anhand einer einfachen Skizze erfolgen.

Abbildung 2 Beispielhafte Skizze des Lebensweges eines Kupferkabels



3.4 Ermittlung des Belastungsprofils

Um ein umfassendes Bild über verschiedene mögliche Belastungen entlang des Produktlebensweges zu erhalten, werden fünf generelle Belastungsarten und 15 spezifische Belastungskategorien analysiert. Da jedoch nicht in jeder Untersuchung alle Belastungskategorien betroffen oder relevant sind, erfolgt eine Ermittlung des Belastungsprofils für jede zu untersuchende Alternative.

So wäre beispielsweise die Kategorie „mechanische Tötung von Tieren“ immer betroffen, wenn ein Produkt elektrische Energie benötigt, die zu geringen Teilen aus Wasserkraftwerken gewonnen wird. Eine solche Belastung wäre allerdings eher bei Kraftwerksvergleichen als beim Vergleich von stromverbrauchenden Produkten relevant.

Tabelle 1 zeigt Beispiele, die auf eine Betroffenheit der jeweiligen Belastungskategorie schließen lassen. Zunächst wird qualitativ bewertet, ob die Belastung in der jeweiligen Kategorie 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 Excel-Tool zur Verfügung.

Tabelle 1 Welche Belastungsarten und -kategorien sind in VERUM zu analysieren?

Belastungsart	Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen	Ist die Belastungskategorie für die konkrete Fragestellung relevant? Wenn ja, wodurch wird die Belastung hervorgerufen?
Chemische Belastungen	Treibhausgase	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz fossiler Energien • Landnutzungsänderungen • Einsatz von Kältemitteln und klimawirksamen Schutzgasen (zum Beispiel SF₆) 	
	Schadstoffe/ Nährstoffe in Außenluft	bei Freisetzung von Gasen oder Partikeln in die Außenluft, insbesondere durch: <ul style="list-style-type: none"> • Großfeuerungsanlagen • Industrieanlagen • sonstige Feuerungsanlagen • sonstige Verbrennungsmotoranlagen • Verkehr • Landwirtschaft • Lösemittelanwendungen 	
	Schadstoffe in Innenräumen	<ul style="list-style-type: none"> • Belastungen durch gas- und staubförmige Schadstoffe • Belastungen mit Lösemitteln, Weichmachern oder Klebstoffen durch: <ul style="list-style-type: none"> – Teppiche, Fußbodenbeläge – Farben, Lacke – Spanplattenmöbel, Holzeinbauten – Inventar – Sonstige technische Geräte (Lampen, PCs, 	

Belastungsart	Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen	Ist die Belastungskategorie für die konkrete Fragestellung relevant? Wenn ja, wodurch wird die Belastung hervorgerufen?
		Drucker etc.) • Einträge mit Schwermetallen aus technischen Prozessen	
	Abwasser	• Stoffeinträge aus dem Abwasser relevanter Branchen (Bergbau, Textilindustrie etc.) • Belastungen aus kommunalen Einleitungen • Emissionen eutrophierender Stoffe bei fehlender 3. Reinigungsstufe	
	Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge, Pestizide	• Belastungen durch diffuse Nährstoffe, Pestizide und andere Schadstoffeinträge aus der landwirtschaftlichen Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln, pflanzlichen Rohstoffen oder Energiepflanzen • Einbringen von Baustoffen und Recyclingmaterialien, großflächigen Bauprodukten (Metalldächer oder mit Bioziden behandelte Flachdächer oder andere Hölzer im Freien) • Einbringen von Stoffen in den Untergrund	

Belastungsart	Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen	Ist die Belastungskategorie für die konkrete Fragestellung relevant? Wenn ja, wodurch wird die Belastung hervorgerufen?
Physikalische Belastungen	Lärm	<ul style="list-style-type: none"> • Lärm, Schall, Geräusch und/oder Akustik werden konkret in der Produkt-beziehungsweise Dienstleistungs-beschreibung genannt • ein Motor, ein Generator oder eine sonstige schnell bewegliche Baugruppe ist in dem Produktsystem vorhanden • Dienstleistungen, bei denen eine Anlage und/oder ein Produkt mit Motor, Generator, schnell beweglichen Baugruppen benutzt werden • Belastungen durch Verkehrsmittel oder einen Verkehrswege 	
	Strahlung	<ul style="list-style-type: none"> • Mobilfunk, Mobiltelefone, Radar • Elektrische Geräte • Hochspannungsleitungen • Bauprodukte (Radon) • Kernkraft 	
	mechanische Tötung von Tieren	<ul style="list-style-type: none"> • 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. • Wasserkraft (Verluste aquatischer Organismen an Turbinen und Rechen von Wasserkraftanlagen) • Windenergie (Vogelschlag an Rotoren von Windenergieanlagen) • Verkehrssysteme, Tötung durch Überfahren (Straße, Bahn) • Anlagen- und Siedlungsbau: Vogelschlag • Viehzucht, Jagd, Fischerei • Stromschlag 	

Belastungsart	Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen	Ist die Belastungskategorie für die konkrete Fragestellung relevant? Wenn ja, wodurch wird die Belastung hervorgerufen?
Biologische Belastungen	Krankheitserreger	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturverminderung bei hohen Temperaturen • Temperaturerhöhung bei niedrigen Temperaturen • Erhöhung von Feuchtigkeit • Vorhandensein/bessere Verfügbarkeit von organischen Stoffen • Vorhandensein von biologisch leicht abbaubaren Stoffen • Reduktion/Vermeidung von Desinfektionsmitteln oder Konservierungsmitteln • Einsatz von bisher unbekanntem Desinfektionsmitteln oder -verfahren • Aerosolbildung, strömende Luft-Wasser Kontaktflächen <p>Stagnationszonen oder -perioden in sonst fließenden wässrigen Systemen; Recycling von Stoffströmen mit organischen Komponenten (insbesondere Klärschlamm)</p>	
	Invasoren	<ul style="list-style-type: none"> • kommerzielle Nutzung gebietsfremder oder gentechnisch veränderter Arten in offenen Systemen • Bau von Kanälen • Ballastwasser 	
Ressourceninanspruchnahme	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	

Belastungsart	Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen	Ist die Belastungskategorie für die konkrete Fragestellung relevant? Wenn ja, wodurch wird die Belastung hervorgerufen?
	Wasserverbrauch	<ul style="list-style-type: none"> • Erzeugung von Agrar- und Forstprodukten (Nahrungs- und Futtermittel, nachwachsende Rohstoffe, Energiepflanzen) • wasserintensive Industrieproduktion 	
	Naturraumbeanspruchung	<p>relevante Technologien für terrestrische Naturraumbeanspruchung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erzeugung agrar- und forstwirtschaftlicher Produkte sowie Biomasse • Gewinnung, Verteilung, Speicherung erneuerbarer Energien • Verkehrsträger, Transporte, Bedürfnisfeld Mobilität • Industrie, Handel, Dienstleistungen, sonstige Infrastrukturen (zum Beispiel Krankenhäuser, Abfalldeponien), Bedürfnisfeld Konsum • Freizeit, Erholung, Sport, Friedhöfe • Wohnungsbau, Bedürfnisfeld Wohnen • Rohstoffgewinnung, Bergbau • Sonstiges, zum Beispiel Landesverteidigung, Naturschutz <p>relevante Technologien für aquatische Naturraumbeanspruchung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energieträger (Wasserkraft, off-shore Windkraft), • Verkehrsträger (Schifffahrt) • Siedlungsbau • Agrarprodukte einschließlich Biomasse 	
Störfälle/ Unfälle		<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz risikorelevanter Technologien • Risiken durch nicht ordnungsgemäßen Betrieb von Anlagen/unsachgemäßer Einsatz von Produkten • Verkehr 	

Der Anfall von Abfällen wird in VERUM 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.

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
- ▶ Annahmen und Einschränkungen.

4.1 Funktionelle Einheit und Referenzflüsse

Beispiel:

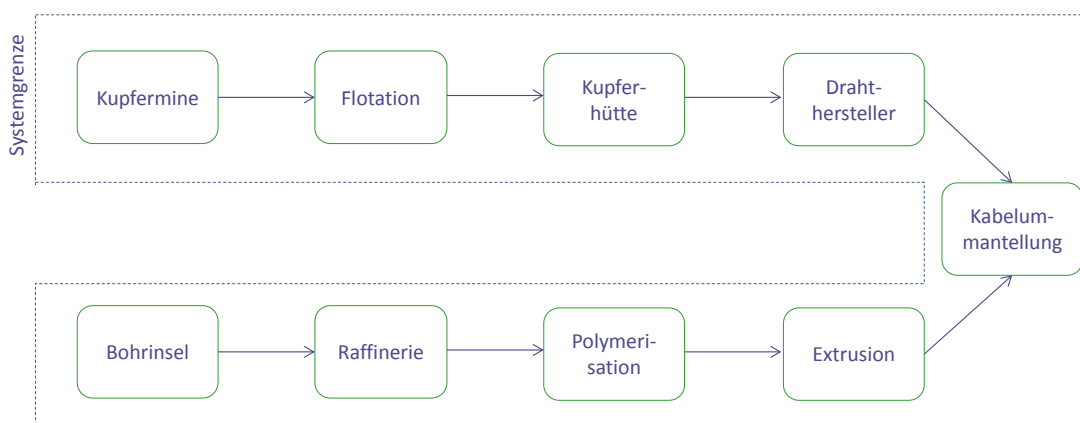
Besteht die funktionelle Einheit in der Übertragung elektrischer Energie in der Elektronik eines Autos über eine Entfernung von 1 m, so könnten folgende Referenzflüsse zur Erfüllung der Funktion angenommen werden:

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

4.2 Systemgrenzen und Abschneidekriterien

Die Systemgrenzen spezifizieren, welche Abschnitte des in der Vorprüfung grob beschriebenen Produktlebensweges (zum Beispiel Rohstoffgewinnung, Materialherstellung, Nutzung, Entsorgung) und welche Prozesse (zum Beispiel Transporte, Verarbeitungsprozesse, Herstellung von Betriebsstoffen) in der VERUM berücksichtigt werden. Sie sollten nach Möglichkeit den kompletten Produktlebensweg beinhalten. Wird von diesem Grundsatz abgewichen, soll dies explizit begründet werden.

Abbildung 3 Beispielhafte Systemgrenzen für die Herstellung eines Kupferkabels



Abschneidekriterien ermöglichen es auch innerhalb der Systemgrenzen, Komponenten zu vernachlässigen, um den Aufwand der VERUM zu verringern. Aus diesem Grund können Komponenten abgeschnitten werden, die 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 soll darauf

geachtet werden, dass die Abschneidekriterien konsistent und symmetrisch angewendet werden. Die Auswirkungen der zugrunde gelegten Abschneidekriterien auf das Ergebnis der 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 Annahmen und Einschränkungen

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

5 Belastungsermittlung

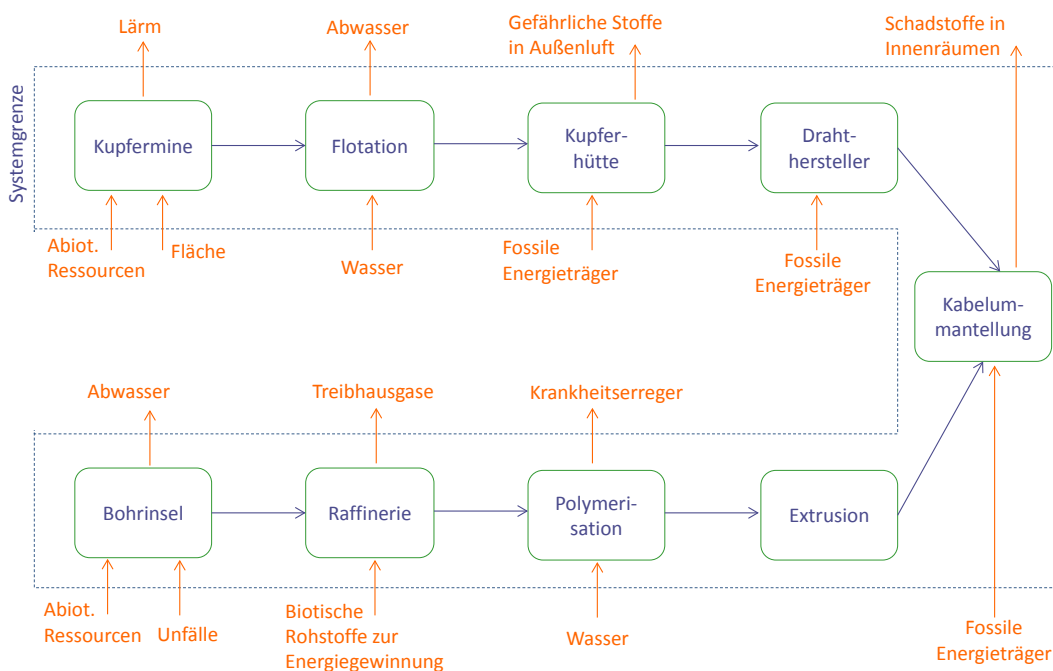
In der Belastungsermittlung werden alle die Systemgrenze überschreitenden Inputs (Rohstoffe, Energieträger, etc.) und Outputs (Emissionen in Luft, Wasser, Boden) sowie nicht-stoffliche Belastungen (Lärm, Invasoren, etc.) aufgelistet. Sie bildet die Grundlage für die Belastungsbewertung und beinhaltet 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 betroffen identifizierten Belastungskategorien beitragen. Ist beispielsweise die Belastungskategorie „Gefährliche Stoffe in Außenluft“ nicht betroffen, müssen auch keine Emissionen von Luftschadstoffen berücksichtigt werden.

Weiterhin sind nicht zwangsläufig alle in der Vorprüfung als betroffen identifizierten Belastungskategorien in jedem Prozess relevant. Treten beispielsweise Treibhausgasemissionen in einem Prozess in nur geringem Ausmaß auf, müssen diese nicht berücksichtigt werden. Es ist also nur zu ermitteln, welche Belastungskategorien in den beteiligten Prozessen in relevantem Ausmaß auftreten. Abbildung 4 zeigt die qualitative Ermittlung relevanter Belastungen am Beispiel der Herstellung eines Kupferkabels.

Abbildung 4 Beispielhaftes Ergebnis der qualitative 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 2 gibt einen Überblick, welche Belastungen zu quantifizieren oder zu erläutern sind beziehungsweise für welche die qualitative Belastungsermittlung ausreichend ist.

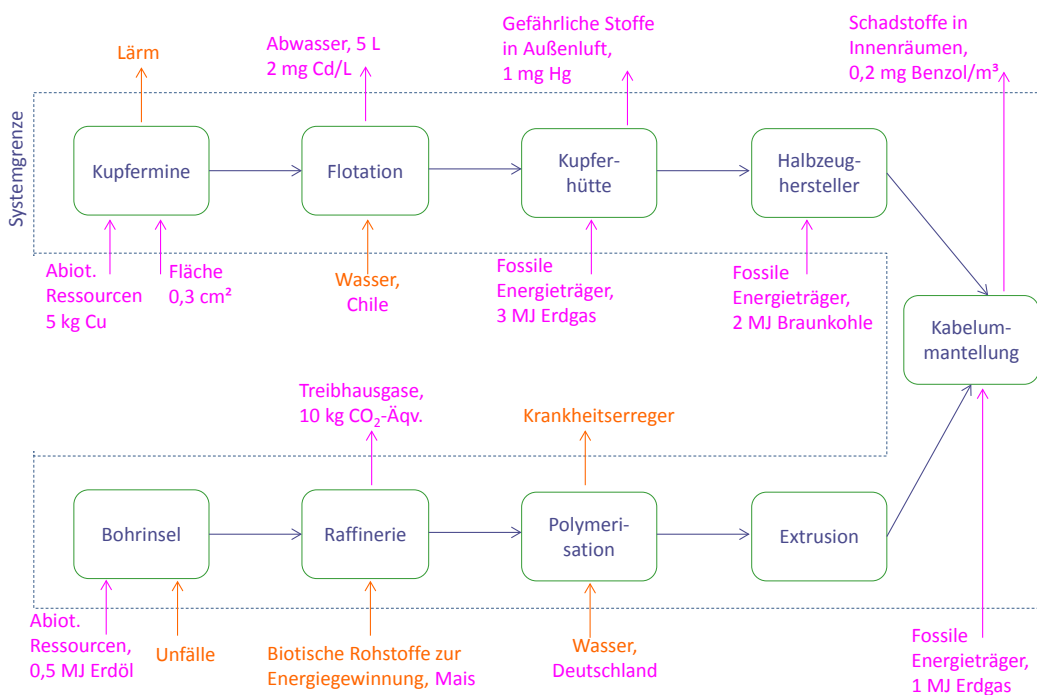
Tabelle 2 Quantitative und qualitative Belastungsermittlung

Belastungsart	Belastungskategorie	In Belastungsermittlung zu quantifizieren?
Chemische Belastungen	Treibhausgase	Ja
	Stoffe/Nährstoffe in Außenluft	Ja
	Schadstoffe in Innenräumen	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	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt.
	Strahlung	
	Mechanische Tötung von Tieren	
Biologische Belastungen	Krankheitserreger	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt.
	Invasoren	
Resourcen-inanspruchnahme	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.
Störfälle/Unfälle		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 Lärm, Unfälle und 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 5 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 der Tabelle 3 aufgeführten Datenquellen zur Verfügung. Um eine möglichst hohe Datenqualität zu gewährleisten, sollen (wenn vorhanden) Primärdaten, ansonsten Sekundärdaten, Berechnungen oder (wenn nicht anders möglich) quantitative Schätzungen verwendet werden.

Tabelle 3 Datenquellen für die quantitative Belastungsermittlung

Hierarchiestufe	Datenquelle	Beispiele
1	Primärdaten	Messungen; Rechnungen; Prozesssteuerungssysteme; Enterprise Resource Planning Systeme; Erstmusterprüfberichte; Genehmigungsunterlagen; Emissionserklärungen und -überwachungen genehmigungsbedürftiger Anlagen; Abfallbilanzen und Entsorgungsnachweise; Angaben zum Umweltstatistikgesetz; Einstufung von Stoffen und Zubereitungen gemäß Gefahrstoffverordnung; betriebsinternes Qualitäts- und Umweltmanagement; Umwelterklärungen und -berichte; Arbeitsschutzmaßnahmen
2	Sekundärdaten	Ökobilanzinventardatenbanken wie GaBi [4], Ecoinvent [5] oder ProBas [6]; Literatur; vorherige Studien; Emissionsdatenbanken; Umweltstatistiken; interne UBA Datenquellen
3	Berechnungen	physikalische Berechnungen, zum Beispiel Energiebedarf zum Erwärmen eines Werkstoffes; chemische Berechnungen, zum Beispiel Ermittlung der Emissionen aus stöchiometrischen Verhältnissen
4	Quantitative Schätzungen	Abschätzung eines Energieverbrauches 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 7.3).

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) Detaillierung: 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.

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.

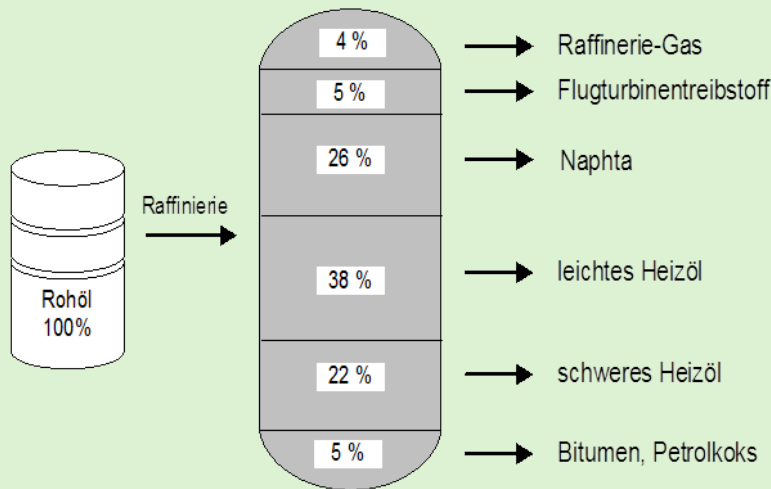
Bei dieser Vorgehensweise ist darauf zu achten, dass dem Gesamtsystem keine zu hochwertigen Alternativprodukte gutgeschrieben werden.

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

Beispiel:

In einer Erdölraffinerie werden aus Rohöl folgende Raffinerieprodukte gewonnen:

Abbildung 6 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 Preise 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 Molkerei auf die in ihr produzierten Kuppelprodukte (Butter, Käse, Quark, etc.) auf unterschiedliche Weise verteilen. Wird eine Allokation über Massenanteile durchgeführt, sind andere Umweltprofile der Produkte zu erwarten als würde die Verteilung der Gesamtumweltlast über den Nährwert der Produkte oder über Ihren Preis 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:

a) 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.

b) 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 erfolgt nun eine Bewertung der identifizierten und teilweise quantifizierten Belastungen. Zunächst erfolgt die Belastungsbewertung auf der Ebene der funktionalen Einheit, also auf der Produktebene (Kapitel 6.1). Da jedoch auch geringe spezifische Belastungen relevante Konsequenzen haben können, wenn das Produkt in hohen Stückzahlen produziert wird, erfolgt anschließend eine Bewertung der durch die Produktgesamtheit hervorgerufenen Belastungen (Kapitel 6.2).

6.1 Bewertung der Belastungen auf Produktebene

Ziel der Belastungsbewertung auf Produktebene 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 gewesen, darf die Rangfolge der Alternativen in Ausnahmefällen qualitativ bestimmt werden.

Es wird empfohlen, die Reihenfolge der zu untersuchenden Alternativen wie an folgendem Beispiel erläutert zu dokumentieren. Für die Dokumentation der Ergebnisse steht ein Excel-Tool zur Verfügung.

Beispiel: Reihenfolge der untersuchten Alternativen je Belastungskategorie

Belastungsart	Belastungskategorie	Reihenfolge der zu untersuchenden Alternativen
chemische Belastungen	Treibhausgase	Alternative B, Alternative C, Alternative A
	Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge	Alternative A, Alternative C = Alternative B
physikal. Belastungen	Lärm	Alternative C, Alternative B, Alternative A
Biolog. Belastungen	Krankheitserreger	Alternative C = Alternative B, Alternative A
Resourcen	Verbrauch mineralischer Rohstoffe und fossiler Energieträger	Alternative A, Alternative C, Alternative B

6.1.1 Chemische Belastungen

6.1.1.1 Treibhausgase

Beschreibung

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

Bewertungsmodell

Die über den Produktlebensweg auftretenden Treibhausgasemissionen werden zunächst entsprechend ihrer Klimawirksamkeit in CO₂-Äquivalente umgewandelt [1] 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 CO₂-Äquivalent/kg), Methan (25 kg CO₂-Äquivalent/kg) und Lachgas (298 kg CO₂-Äquivalent/kg) zu berücksichtigen. Für Prozesse, in denen halogenierte Gase relevant sind (zum Beispiel Solarzellenherstellung), können Charakterisierungsfaktoren aus dem IPCC Tabellenwerk abgelesen werden [1].

6.1.1.2 Gefährliche Stoffe/Nährstoffe in Außenluft

Beschreibung

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

Bewertungsmodell

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 [7]), was aber für eine vereinfachte Bewertung zu aufwendig ist. Die Bewertung der Emissionen erfolgt daher durch eine Experteneinschätzung. Typischerweise werden folgende Schadstoffe beziehungsweise Summenparameter betrachtet: NO_x, NH₃, SO₂, Feinstaub (PM_{2.5}), NMVOC. 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 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 auf SO₂ normierten Gewichtungsfaktor (GFN) multipliziert und anschließend für eine Gesamtbewertung aggregiert werden:

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

Die Rangfolge der zu untersuchenden Alternativen wird auf Basis der so gewichteten Emissionsmengen erstellt.

Die notwendigen Gewichtungsfaktoren (GF) zur Aggregation der Emissionen der einzelnen Schadstoffe werden – als erste pragmatische Herangehensweise – wie folgt definiert:

Zunächst wird ein Gewichtungsfaktor GF_{SO_2} für SO_2 berechnet, der eine Normierung auf die nationalen SO_2 -Emissionen (2011) und eine „distance-to-target“ Gewichtung beinhaltet. Hierfür wird, in Anlehnung an die Bewertungsmethode der ökologischen Knappheit [8], das Verhältnis aus aktuellen SO_2 -Emissionen (2011) und einem Zielwert gebildet. Durch das Quadrieren wird eine überproportionale Gewichtung starker Zielwertüberschreitungen erreicht. Pragmatisch werden als Zielwert nationale Emissionsmengen gewählt, die international als „mittleres Anspruchsniveau“ angesehen werden [9, Anhang Tabelle A 3].

$$GF_{SO_2} = \frac{1}{Emission(2011)_{SO_2}} \cdot \left(\frac{Emission(2011)_{SO_2}}{Zielwert_{SO_2}} \right)^2$$

Anschließend werden auf SO_2 normierte Gewichtungsfaktoren (GF_N) für alle betrachteten Luftschadstoffe (in der Einheit $kg\ SO_2$ -Äquivalent/kg Schadstoff) berechnet. Tabelle 4 enthält die berechneten normierten Gewichtungsfaktoren (diese sollten periodisch neu berechnet werden).

$$GF_N_{Schadstoff} = \frac{1}{GF_{SO_2}} \cdot \frac{1}{Emission(2011)_{Schadstoff}} \cdot \left(\frac{Emission(2011)_{Schadstoff}}{Zielwert_{Schadstoff}} \right)^2$$

Tabelle 4 Zielwerte für nationale Emissionen und daraus abgeleitete Faktoren zur Gewichtung der Emissionen von gefährlichen Stoffen/Nährstoffen in Außenluft (kt = Kilotonne)

	SO_2	NO_x	NH_3	NM VOC	Feinstaub ($PM_{2,5}$) ¹
Zielwert für jährliche nationale Emissionen	324 kt SO_2	652 kt NO_x (als NO_2)	426 kt NH_3	826 kt NM VOC	79 kt Feinstaub ($PM_{2,5}$)
Emissionen im Jahr 2011	445 kt SO_2	1.288 kt NO_x (als NO_2)	563 kt NH_3	1.006 kt NM VOC	111 kt Feinstaub ($PM_{2,5}$)
normierter Gewichtungsfaktor (GF_N)	1,0 $kg\ SO_2$ Äqv./ $kg\ SO_2$	0,7 $kg\ SO_2$ -Äqv./ $kg\ NO_x$ (als NO_2)	0,7 $kg\ SO_2$ -Äqv./ $kg\ NH_3$	0,3 $kg\ SO_2$ -Äqv./ $kg\ NM\ VOC$	4,2 $kg\ SO_2$ -Äqv./ $kg\ Feinstaub$

6.1.1.3 Stoffbelastungen im Innenraum

Beschreibung

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

Bewertungsmodell

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

¹ Liegen nur Werte für PM_{10} vor, so können diese (wenn keine weiteren Informationen vorliegen) in erster Näherung mit dem Faktor 0,7 in $PM_{2,5}$ umgerechnet werden.

a) Gegenstände und Möbel im Innenraum/Bauprodukt

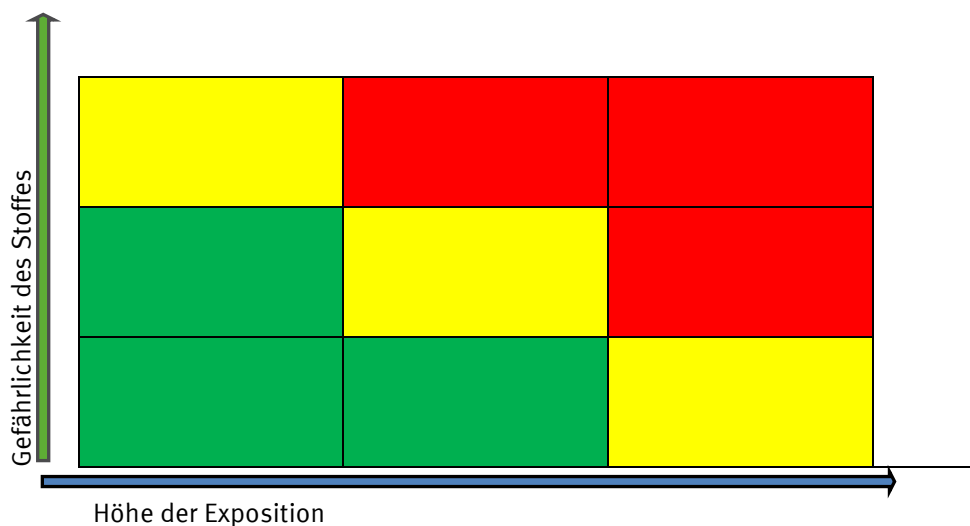
Für Einsatzprodukte im Innenraum/Bauprodukt erfolgt der Vergleich entsprechend der Erfüllung von Kriterien des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) oder von Vergabekriterien des Blauen Engels. Neben diesen auf der Einhaltung von Grenzwerten basierenden Kriterien wird die 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 Immissionsmenge auch die Gefährlichkeit der VOCs zu berücksichtigen (Abbildung 7).

Abbildung 7 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 über die Höhe der UBA-Richtwerte I & II (Innenraumlufthygiene-Kommission [10]) bestimmt werden.

Für einzelne VOC und SVOC, für die derzeit keine Richtwerte existieren, können hilfsweise zur Bewertung die – unter Prüfkammerbedingungen ermittelten – niedrigsten interessierenden Konzentrationen (NIK) des AgBB-Bewertungsschemas für Bauprodukte herangezogen werden. Die NIK-Werte beziehen sich allerdings auf Prüfkammerklimabedingungen und auf einen standardisierten Realraum mit einer Größe von 30 Kubikmeter (m³). Das Heranziehen ist daher nur bedingt möglich. Die aktuelle NIK-Werteliste ist über die UBA-Homepage unter dem Stichwort „AgBB“ abrufbar. Dort sind rund 180 Stoffe und ihre NIK aufgeführt, die vom NIK-AG-Ausschuss am UBA erarbeitet werden [23].

c) Feinstaub und Staubinhaltsstoffe

Für Staubeinträge existiert derzeit kein Bewertungsinstrumentarium für die Innenraumbelastung. Die Innenraumkommission kommt aktuell 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.“ [10]

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

6.1.1.4 Abwasser

Beschreibung

In dieser Belastungskategorie wird die Gefährdung von Mensch und Natur durch in Abwasser enthaltene Schadstoffe und Nährstoffe bewertet.

Bewertungsmodell

a) Nährstoffe

Es erfolgt ein quantitativer Vergleich der Emissionen für die verschiedenen Produktionsverfahren bezogen auf die funktionelle Einheit (zum Beispiel 100 Händetrocknungen). Dieser Vergleich gibt einen ersten Eindruck über die Umweltrelevanz eines Verfahrens. Treten wie im Beispiel (Tabelle 5) widersprüchliche Ergebnisse hinsichtlich CSB, N oder P auf, wird die Priorisierung der Alternativen mittels Experteneinschätzung festgelegt.

Tabelle 5 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

b) 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 8 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.

Sind in einer Studie Nähr- und Schadstoffemissionen relevant, soll die Gesamtpriorisierung der zu untersuchenden Alternativen für die Belastungskategorie Abwasser ebenfalls durch eine Experteneinschätzung festgelegt werden [23].

6.1.1 5 Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge in Wasser

Beschreibung

In dieser Belastungskategorie wird die die Gefährdung von Menschen und Ökosystemen durch diffuse Nährstoff- und Schadstoffeinträge in Grund- und Oberflächengewässer bewertet. Diffuse Quellen sind zum Beispiel mit Düngern auf den Boden eingetragene Nähr- und Schadstoffe, die über Auswaschung in das Grundwasser eingetragen oder über Wind- und/oder Wassererosion in Oberflächengewässer gelangen können.

Typischerweise werden folgende Nährstoffe betrachtet:

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

Typischerweise werden folgende Schadstoffe betrachtet:

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

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

Bewertungsmodell

Die Wirkung der in Gewässer aus diffusen Quellen eingetragenen Nähr- und Schadstoffe hängt von der Vorbelastung und der Empfindlichkeit der zu betrachtenden Schutzgüter (Menschen und Ökosysteme) ab. Für eine vereinfachte Bewertung von Produkten wird zunächst eine quantitative Bewertung durchgeführt (Schritt (a)). Wenn diese nicht möglich ist, wird eine qualitative Bewertung über eine Experteneinschätzung durchgeführt (Schritt (b)).

a) Quantitative Bewertung

Die Rangbildung der zu untersuchenden Alternativen erfolgt auf Basis der zu erwartenden diffusen Nähr- und Schadstoffausträge. Hierbei ist die Hintergrundkonzentration des jeweiligen Stoffes zu berücksichtigen. In der Regel lässt sich die Größenordnung der zu erwartenden Nährstoffausträge jedoch nicht klar beziffern, deshalb wird eine qualitative/semiquantitative Bewertung vorgeschlagen.

b) Qualitative Bewertung

Über eine Experteneinschätzung wird das Risiko einer Gewässerbelastung bewertet. Hierbei ist zwischen der Bewertung einer Gefährdung von Oberflächengewässern und Grundwasser zu unterscheiden, 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),
- ▶ Besondere stoffinhärente Eigenschaften (Persistenz, Bioakkumulation, Toxizität).

6.1.2 Physikalische Belastungen

6.1.2.1 Lärm

Beschreibung

In dieser Belastungskategorie wird die Beeinträchtigung von Menschen durch Lärm untersucht. Hierbei soll nicht nur die Intensität der Belastung sondern auch die Anzahl der Betroffenen einbezogen werden. Sollten zukünftig Bewertungskriterien, beispielsweise Grenzwerte für die Auswirkungen auf empfindliche 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.

Bewertungsmodell

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.
- ▶ 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 betroffener Personen. Diese werden in der Regel aus Forschungsberichten, Datensammlungen und Prognosen abgeleitet [24, 25, 26].

6.1.2.2 Strahlung

Beschreibung

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 [27, 28, 29, 30], optische Strahlung und elektromagnetische Felder [31, 32, 33]. 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

Bewertungsmodell

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

6.1.2.3 Mechanische Tötung von Tieren

Beschreibung

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 [11, 34, 36, 38, 39]:

Die Verluste an unbeweglichen Anlagen werden als „anlagenbedingten 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 [34, 36, 37, 40].

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 an 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 [35, 41].

Bewertungsmodell

Bei der hier vorgeschlagenen Bewertung ist daher entscheidend, ob eine Gefährdung der Population begründet wird. Diese populationsgefährdende Wirkung kann auf Ebene der funktionellen Einheit aber in der Regel nicht geprüft werden. Aus diesem Grund erfolgt die Bewertung lediglich auf Ebene

der Produktgesamtheit (Kapitel 6.2.2.3). Wenn auf Ebene der funktionellen Einheit eine populationsgefährdende Wirkung bestehen sollte, wäre die entsprechende Option inakzeptabel [35, 41].

6.1.3 Biologische Belastung

6.1.3.1 Krankheitserreger

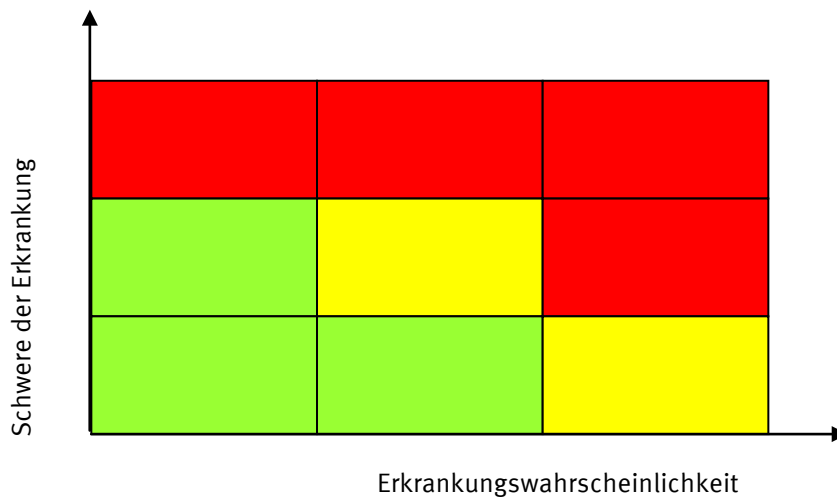
Beschreibung

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 [42, 43].

Bewertungsmodell

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

Abbildung 9 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 (siehe auch 6.3.2.1). Auch mikrobielle Belastungen durch Mikroorganismen mit sensibilisierendem oder toxischem Potential sollten in der Einschätzung berücksichtigt werden.

6.1.3.2 Invasoren

Beschreibung

In dieser Belastungskategorie wird die Gefährdung von Menschen und Ökosystemen durch Invasoren bewertet. Invasoren können im Meer, in Flüssen, in Seen, im Grundwasser 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. 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.

Bewertungsmodell

Die Wirkung der in Gewässer und/oder auf den Boden gelangenden Invasoren hängt von 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.

6.1.4 Ressourceninanspruchnahme

6.1.4.1 Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger

Beschreibung

In dieser Belastungskategorie wird die Nutzung mineralischer 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.

Sofern keine aktuelleren Datensammlungen existieren, sind die Verfügbarkeitsrisiken anhand einer Studie des Instituts für Zukunftstechnologien (IZT) [20] zu ermitteln. Es werden die Kriterien in Tabel-

le 6 mit der dargestellten Gewichtung vorgeschlagen². In der Tabelle A 1 (Anhang) sind die Kritikalitätsaspekte zu einem Single-Score (0-1) gewichtet und als Index aufgeführt. Da die Auswahl der Rohstoffe und sonstigen Materialien in der genannten Studie nicht abschließend ist, kann diese bei Bedarf durch weitere ergänzt werden.

Umweltwirkungen in der Vorkette der Materialien werden bei der Bewertung der Versorgungsrisiken der mineralischen 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. 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, FKZ 3713 94 302, Laufzeit 2013-2016).

Bewertungsmodell

In Abhängigkeit von der Komplexität und der Charakterisierbarkeit des Produktsystems ist zwischen zwei Bewertungsmethoden zu wählen.

a) Quantitatives Bewertungsmodell

Sind alle Referenzflüsse für die betrachteten Alternativen in hinreichender Detaillierung mit vertretbarem Aufwand ermittelbar, so wird ein quantitativer Bilanzierungsansatz verfolgt. Hierzu wird das Gesamtinventar der erforderlichen Rohstoffe innerhalb eines Produktsystems erfasst und das Produkt aus Rohstoffmenge und dem jeweiligen Versorgungskritikalitätskoeffizienten aus Tabelle A 1 gebildet. Anschließend werden die kritikalitätsgewichteten Rohstoffverbräuche entlang des Produktlebensweges aufsummiert. Die Rangbildung der Alternativen wird auf Basis des Gesamtergebnisses gebildet.

Tabelle 6 Kritikalitätsaspekte und deren Gewichtung für die Bewertung des Verbrauchs mineralischer Rohstoffe

Länderrisiko	Gewichtung
Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	10 Prozent
Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	10 Prozent
Marktrisiko	
Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	10 Prozent
Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	10 Prozent
Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	15 Prozent
Strukturrisiko	
Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	15 Prozent
Recyclingfähigkeit	15 Prozent
Substituierbarkeit	15 Prozent

b) Qualitatives Bewertungsmodell

Sofern eine knappheitsgewichtete Summenbildung nach Methode 1 nicht umsetzbar ist, wird eine vereinfachte qualitative Bewertung vorgenommen. Dies wird insbesondere dann erforderlich, wenn keine belastbaren Rohstoffinventare verfügbar sind, beispielsweise bei neuen Technologien, oder

² Im Rahmen der VDI-Richtlinienarbeit (VDI 4599) wird ebenfalls eine Kritikalitätsbewertungsmethode mit ähnlichen Teilindikatoren und der genannten IZT-Studie als zentraler Quelle formuliert. Da sich auf dieser Grundlage die Erhebung der Knappheitsfaktoren verstetigen wird, könnte mit Erscheinen 2014 auch die dort formulierte Methode in die UBA-Bewertung Eingang finden.

wenn ein nicht hinreichender Detaillierungsgrad für versorgungskritische Materialien vorhanden ist³.

Im qualitativen Bewertungsmodell wird die Priorisierung der zu untersuchenden Alternativen für den Verbrauch mineralischer Rohstoffe und fossiler Energieträger zunächst separat gebildet. Auf Basis einer Experteneinschätzung erfolgt anschließend eine Gesamtbewertung auf Ebene des Produktsystems.

Mineralisch genutzte Rohstoffe

In einem ersten Schritt werden anhand von Literaturstudien, Fachartikeln, Brancheninformationen und Expertenbewertungen die funktionalen Materialien verschiedener Alternativen des Produktsystems qualitativ ermittelt. Im zweiten Schritt erfolgt dann eine Rangbildung unter Abgleich der in Tabelle A 1 im Anhang angegebenen Versorgungskritikalitätskoeffizienten. Sofern gleichartige Belastungsniveaus vorliegen, sind diese durch Experteneinschätzungen hinsichtlich der Größenordnungen der eingesetzten Materialien sowie deren funktionaler Relevanz für das Produktsystem zu bewerten. Auf dieser Grundlage kann eine abschließende Rangfolge der Alternativen festgelegt werden. Ziel der vereinfachten Bewertung ist es vorrangig, besonders relevante Materialien für weitergehende Betrachtungen zur Gesamtrelevanz zu ermitteln.

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) [12]. Dieser lässt sich untergliedern nach KEA *nuklear*, KEA *fossil*, KEA *erneuerbar* und KEA *sonstige* (zum Beispiel Ersatzbrennstoffe).

6.1.4.2 Verbrauch biotischer Rohstoffe

Beschreibung

Der Verbrauch biotischer Rohstoffe ist in der Regel mit anderen Umweltwirkungen wie Naturraumbeanspruchung, Wasserverbrauch, diffusen Nährstoffeinträgen, etc. verbunden, die in den entsprechenden Belastungskategorien untersucht werden. Theoretisch sind biotische erneuerbare Rohstoffe, soweit nicht die Vorgaben zum allgemeinen Artenschutz in § 39 Abs. 1 BNatSchG verletzt werden, unbegrenzt vorhanden und werden lediglich durch das Vorhandensein anderer Ressourcen (insbesondere Fläche und Wasser) begrenzt. Der Verbrauch dieser Ressourcen wird jedoch nicht über ihre Fähigkeit biotische Rohstoffe zu produzieren bewertet. Weiterhin sind Knappheiten von biotischen Rohstoffen aufgrund Übernutzung und Nutzungskonkurrenzen (zum Beispiel Holz, Fisch) ein reales Problem. Aus diesen Gründen wird der Verbrauch biotischer Rohstoffe als eigenständige Belastungskategorie untersucht.

Bewertungsmodell

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.

³ Dies ist häufig durch Abschneidekriterien in Lebenszyklusinventaren der Fall.

Zusätzlich zur physischen Knappheit wird die Verfügbarkeit biotischer Rohstoffe, genau wie die Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe, auch über sozio-ökonomische Versorgungsrisiken bestimmt. Aus Mangel an Daten bleiben diese Faktoren im Rahmen der VERUM zunächst unberücksichtigt.

6.1.4.3 Wasserverbrauch

Beschreibung

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 und andere Industriebranchen. Aus diesen Gründen werden die Wassernutzung oder, wenn es die Datenlage zulässt, der Wasserverbrauch (der Teil der Wassernutzung, welcher durch Evapo(transpi)ration, Produktintegration beziehungsweise Einleitung in Meerwasser lokal verloren geht) wie folgt bewertet. Veränderungen der Wasserqualität werden bei den stofflichen Belastungen berücksichtigt.

Bewertungsmodell

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

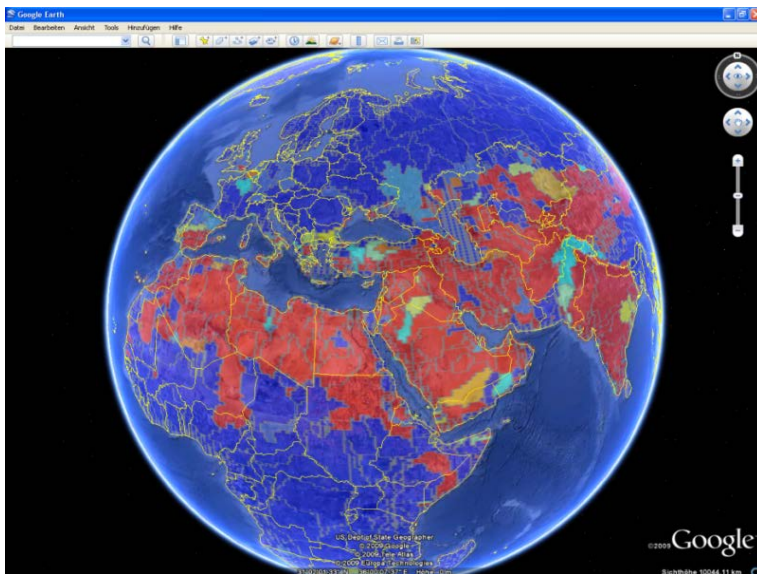
Im Rahmen der VERUM erfolgt die Bewertung des Wasserverbrauchs unabhängig vom verbrauchten Volumen und ausschließlich über die Wasserknappheit am Ort des Verbrauchs. Die lokale Wasserknappheit wird mithilfe des von Pfister et al. [13] entwickelten Wasserstressindex (WSI) gemessen. Fällt entlang des Produktlebensweges Wasserverbrauch an verschiedenen Orten an, so ist der höchste WSI für die Bewertung ausschlaggebend. Die Rangbildung der zu untersuchenden Alternativen erfolgt also über den Vergleich der maximalen WSI.

Der Wasserstressindex basiert auf dem ‚withdrawal-to-availability‘ Quotienten (WTA), der das Verhältnis von Gesamtwassernutzung zu erneuerbaren Wasservorkommen ausdrückt. Mithilfe des WaterGap2 Modells [14] wurde der WTA Quotient für mehr als 10.000 Niederschlagsgebiete weltweit ermittelt. Die hydrologische Situation kann jedoch über das Jahr wegen der verschiedenen saisonalen Niederschlagsverhältnisse variieren. Diese saisonalen Veränderungen können zu zusätzlicher Wasserknappheit führen, wenn die niederschlagsreichen Zeiten die trockenen Zeiten wegen fehlender Speichermöglichkeiten des Niederschlagsgebiets oder zusätzlicher Evaporation von gespeichertem Wasser nicht ausgleichen können. Durch den Variationsfaktor (VF) können solche Effekte bei der Berechnung der WTA berücksichtigt werden und es ergibt sich ein modifizierter WTA*. Um geeignete Charakterisierungsfaktoren zwischen 0,01 und 1 zu erhalten, wird der WSI nach folgender Formel berechnet:

$$WSI = \frac{1}{1 + e^{-6,4 \cdot WTA^*} \cdot \left(\frac{1}{0,01} - 1 \right)}$$

Um die Anwendbarkeit ihrer Methode zu erleichtern, haben Pfister et al. einen Google Earth [15] Layer entwickelt, mit dessen Hilfe Charakterisierungsfaktoren für mehr als 10.000 Niederschlagsgebiete ermittelt werden können [16]. Wie in der folgenden Abbildung dargestellt, lassen sich somit standortgenaue Wasserstress-Indices ablesen.

Abbildung 10 Google Earth [15] mit von Pfister et al entwickeltem Layer [16] zur Darstellung globaler Wasserknappheitsverhältnisse (basierend auf WTA)



Die Knappheitsbewertung auf der Ebene der hydrologischen Einzugsgebiete ist jedoch nicht immer möglich, da Angaben zu Produktionsorten oft nur auf Länderebene vorliegen. Deshalb werden die von Pfister et al. [13] berechneten Länderindices angewendet (siehe Anhang, Tabelle A 2).

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 Wasserstressindexes 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 [13] multipliziert und anschließend aufsummiert. Über Abschneidekriterien wird im Einzelfall entschieden. Gegebenenfalls dürfen kleine Wasserverbräuche, die zusammen nicht mehr als 10 Prozent des Gesamtwasserverbrauchs ausmachen oder unbedeutende Produktionsmengen, hierbei vernachlässigt werden.

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

6.1 4 4 Naturraumbeanspruchung

Beschreibung

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 sauberer Gewässer schmälert die Optionen kommender Generationen, Nahrungsmittel, nachwachsende Rohstoffe oder Energiepflanzen anzubauen [44, 45, 46, 47].

Zur Belastungskategorie zählen die momentane und kontinuierliche Belegung terrestrischer und aquatischer Flächen, direkte und indirekte Flächennutzungsänderung, Flächenzerschneidung sowie Bodendegradation und Erosion. Von der Belastungskategorie ausgenommen sind alle stofflichen Belastungen und deren Folgewirkungen, die im Zusammenhang mit der Inanspruchnahme von Naturräumen stehen (siehe Belastungskategorie stoffliche Belastungen).

Eine detaillierte Bewertung der Naturrauminanspruchnahme kann eigentlich nur im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) für ein konkretes Projekt erfolgen. Sofern der Bewertung ein konkretes Projekt oder ein bestimmter Raumbezug zu Grunde liegt, ist eine vereinfachte Umweltprüfung nicht zielführend sondern eine Prüfung entsprechend UVP. Um den Beitrag von Produkten zur Naturraumbeanspruchung im Rahmen einer VERUM zu untersuchen, werden im Folgenden zunächst lediglich die Flächenbelegung und Flächennutzungsänderung berücksichtigt.

Bewertung

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

Sofern es die Datenlage zulässt, werden die Flächenbelegung und Flächennutzungsänderung quantitativ und unter Berücksichtigung der Schwere der Flächennutzungsänderung verglichen. Je nach Bewertungssituation kann dabei auf verschiedene Daten- und Informationsquellen zurückgegriffen werden. Näheres im Literaturverzeichnis unter [51] bis [75].

Falls quantitative Daten nicht verfügbar sind, erfolgt die Bewertung der aquatischen sowie terrestrischen Flächennutzungsänderung allein über die Schwere der Flächennutzungsänderung.

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“, künftig gegebenenfalls zunehmend Freiflächenphotovoltaik auf Militärbrachen sowie Windenergie und Stromtrassen im Wald
- F) Siedlungs- und Verkehrsfläche
- G) Abbauland, Deponien, künstliche Gewässer (zum Beispiel Tagebauseen), Wüste, Fels und sonstige weitgehend erodierte oder anderweitig (zum Beispiel durch Altlasten) degradierte Flächen.

Für aquatische Flächennutzungen wird folgende Abstufung der häufigsten innerhalb oder außerhalb von Deutschland relevanten aquatischen Nutzungstypen vorgenommen [41, 48, 49, 50]:

- 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 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.

6.1.5 Störfälle/Unfälle

Beschreibung

Beim Vergleich von Techniken, Produktionsverfahren, Dienstleistungen oder Produkten geht man im Prinzip von der ordnungsgemäßen Produktion, Verwendung und Entsorgung aus. Dennoch ist nicht zu vernachlässigen, dass bestimmte Techniken/Produktions-/Entsorgungsprozesse und Produkte eher als andere geneigt sind, Fehlverhalten oder Störfälle/Unfälle zuzulassen, insbesondere, wenn die Folgen nicht oder nur schwer beherrschbar sind. Das trifft auch für solche Abfälle zu, für die derzeit keine langfristig sichere Entsorgung zur Verfügung steht. Allerdings ist bei Sicherheitsproblemen nicht nur an Anlagen wie Pipelines, Chemie- oder Biogasanlagen zu denken, sondern auch an Produkte (wie Kühlgeräte, Energiesparlampen) die Risikopotentiale enthalten, die bei einem Vergleich in die Bewertung einbezogen werden müssen.

Bewertungsmodell

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

6.2 Bewertung der Gesamtbelastung

Bisher erfolgte die VERUM ausschließlich auf der Ebene der funktionellen Einheit (im Folgenden Produktebene). Das heißt es wurden die Belastungen eines Produktes (beziehungsweise die zur Erfüllung der funktionellen Einheit benötigte Anzahl von Produkten) mit denen einer Alternative verglichen. Ein solches Vorgehen vernachlässigt allerdings, dass auch geringe spezifische Belastungen relevante Konsequenzen haben können, wenn eine hohe Stückzahl von ihnen hergestellt wird. Dieser Fakt 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. Hierbei soll die Belastung aller zu untersuchenden Alternativen in jeder betroffenen Belastungskategorie als makroökonomisch nicht, gering, mäßig, hoch oder nicht tolerierbar klassifiziert werden.

In den folgenden Kapiteln werden die Bewertungsmodelle und -kriterien für jede Belastungskategorie beschrieben. Wenn möglich, bewerten die Modelle, ob die Produktgesamtheit zu einer Einhaltung beziehungsweise Gefährdung von politischen oder qualitativen Zielen beiträgt. Ist dies nicht mög-

lich, erfolgt die Belastungsklassifizierung basierend auf der relativen Veränderung im Vergleich zu einer Referenzsituation oder anderweitigen Kriterien. Die Ergebnisse der Gesamtbelastungsbewertung sollen, wie im nachstehenden Beispiel dargestellt, dokumentiert werden. Für die Dokumentation der Ergebnisse steht ein Excel-Tool zur Verfügung.

Beispiel: Bewertung der makroökonomischen Gesamtbelastung durch die Produktgesamtheit				
Belastungsart	Belastungskategorie	Belastung durch Produktgesamtheit		
		Alternative A	Alternative B	Alternative C
Chemische Belastungen	Treibhausgase	mäßig	hoch	hoch
	Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge	hoch	gering	keine
physikalische Belastungen	Lärm	keine	gering	nicht tolerierbar
Biolog. Belastungen	Krankheitserreger	nicht tolerierbar	keine	hoch
Ressourcen	Verbrauch abiotischer Rohstoffe und fossiler Energieträger	gering	gering	gering

6.2.1 Chemische Belastungen

6.2.1.1 Treibhausgase

Um die THG Emissionen eines einzelnen Produktes auch auf der Ebene der Produktgesamtheit bewerten zu können, werden zunächst die in Kapitel 6.1.1.1 pro funktionelle 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 der THG-Emissionen gegenüber dem Referenzszenario erfolgt die Belastungsklassifizierung entsprechend Tabelle 7. 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 [76]. Dazu wird das ermittelte Treibhausgaspotential der Produktgesamtheit mit der jährlichen THG-Gesamtemission verglichen. Die aus diesem Vergleich abgeleiteten Veränderungen sollen ein Indiz für die Gefährdung des 40 Prozent-Zieles sein.

Tabelle 7 Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorie Treibhausgase

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
Erhöhung des Treibhauspotentials gegenüber Referenzszenario	Bewertungsvoraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	Keine messbare Erhöhung des Treibhauspotentials gegenüber Referenz	Geringe Erhöhung des Treibhauspotentials gegenüber Referenz (<10 Prozent)	Relevante Erhöhung des Treibhauspotentials gegenüber Referenz (10-30 Prozent)	Nicht akzeptable Erhöhung des Treibhauspotentials gegenüber Referenz (>30 Prozent)
Gefährdung des 40 Prozent-Ziels der Bundesregierung		40 Prozent-Ziel der Bundesregierung ist nicht gefährdet	40 Prozent-Ziel der Bundesregierung ist eventuell gefährdet	40 Prozent-Ziel der Bundesregierung ist gefährdet	40 Prozent-Ziel der Bundesregierung kann nicht erreicht werden

6.2.1.2 Gefährliche Stoffe/Nährstoffe in Außenluft

Für die Beurteilung der Gesamtrelevanz wird das vorhandene Wissen über die voraussichtliche Immissionsbelastung durch das zu beurteilende Produkt an den Schutzgütern vor dem Hintergrund der Vorbelastung herangezogen (soweit vorhanden kann dabei zum Beispiel auf eine Parametrisierung nationaler Immissionsprognosen zurückgegriffen werden). 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 (vergleiche Anhang Tabelle A3). Ist dieses kleiner als 1 Prozent, ist in der Regel nicht mit einem wesentlichen Beitrag zur Immissionsbelastung zu rechnen.

Bei der Immissionsbetrachtung werden in der Regel Szenarien betrachtet. Das heißt es wird berücksichtigt, dass bestimmte, bereits weit verbreitete Optionen erheblich zur derzeitigen Belastung beitragen können und andere (neu eingeführte) Optionen zu einer Entlastung führen können (weil sie eine Option ersetzen, die zu einer starken Immissionsbelastung führt).

Typischerweise werden zur Beurteilung folgende Immissionswerte herangezogen:

- ▶ Die in den aktuell gültigen WHO-Leitlinien [17] zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegten Beurteilungswerte für Feinstaub (Jahresmittelwert: PM₁₀: 20 µg/m³; PM_{2,5}: 10 µg/m³; 24-Stunden-Mittelwert: PM₁₀: 50 µg/m³; PM_{2,5}: 25 µg/m³), NO₂ (Jahresmittelwert: 40 µg/m³; 1-Stunden-Mittelwert: 200 µg/m³), Ozon (8-Stunden-Mittel: 100 µg/m³) und SO₂ (24-Stunden-Mittelwert: 20 µg/m³; 10-Minuten-Mittelwert: 500 µg/m³).
- ▶ 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)⁴.

Die Bewertung erfolgt durch Experteneinschätzung anhand folgender Kriterien:

Tabelle 8 Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorie gefährliche Stoffe/Nährstoffe in Außenluft

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbar
Experten-einschätzung	Keine relevanten Emissionen; beziehungsweise es wird eine Verbesserung der Immissions-situation erreicht.	Das Produkt führt zu einer Erhöhung der Immission. Die relevanten ⁵ Immissionswerte der betrachteten Stoffe werden jedoch deutlich unterschritten.	Das Produkt führt zu einer Erhöhung der Immission. Die relevanten Immissionswerte der betrachteten Stoffe werden nur knapp eingehalten.	Das Produkt führt zu einer Erhöhung der Immission. Die relevanten Immissionswerte der betrachteten Stoffe werden mindestens regional überschritten.	Gesetzliche Emissions- oder Immissionsgrenzwerte werden nicht eingehalten.

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).

6.2.1.3 Stoffbelastungen im Innenraum

Da Stoffbelastungen im Innenraum immer nur lokal wirken, kann eine Belastungsbewertung der Produktgesamtheit (unter der Annahme, dass die Anzahl der Betroffenen gleich ist) zu keinen anderen Ergebnissen als eine Belastungsbewertung auf der Produktebene führen. Die hierfür zugrunde gelegten Kriterien (Kapitel 6.2.1) werden genutzt, um eine Klassifizierung der Stoffbelastungen in Innenräumen zu ermöglichen.

⁴ Eine Überschreitung der Emissionsstandards der TA Luft wird ausgeschlossen (gesetzliche Vorgabe).

⁵ Das heißt die Immissionswerte am voraussichtlichen Ort der Immission.

a) Gegenstände und Möbel im Innenraum/Bauprodukte

Tabelle 9 Bewertungsmodell der Belastungskategorie Stoffbelastung im Innenraum / Bauprodukte

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
Bauprodukte: Emissionen für VOC (Einzelstoffe) und SVOC (Summenwert)	AgBB- und Blauer Engel-Vorgabe erfüllt; kaum messbare Schadstoffkonzentrationen im Innenraum	AgBB- und Blauer-Engel-Vorgabe erfüllt; geringe Schadstoffkonzentrationen im Innenraum	AgBB Vorgabe erfüllt; Blauer Engel Vorgabe nicht erfüllt; mäßige Schadstoffkonzentrationen im Innenraum	AgBB- und Blauer Engel Vorgabe nicht erfüllt; hohe Schadstoffkonzentrationen im Innenraum	AgBB- und Blauer Engel Vorgabe nicht erfüllt; sehr hohe Schadstoffkonzentrationen im Innenraum

b) Flüchtige organische Verbindungen

Bei Einträgen flüchtiger organischer Verbindungen (englisch volatile organic compounds = VOC) in die Raumluft gilt, dass über eine direkte Messung die Immissionssituation bestimmt wird. Die Immissionen werden gemäß den Vorgaben der Innenraumlufthygiene-Kommission [10] folgendermaßen bewertet:

Tabelle 10 Bewertungsmodell der Belastungskategorie Stoffbelastung im Innenraum/VOC

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
Vorgaben der Innenraumlufthygiene-Kommission	kaum messbare Schadstoffkonzentrationen im Innenraum	VOC-Emissionen, die als Gesamtkonzentration unter dem Richtwert I des UBA bleiben	VOC-Emissionen, die als Gesamtkonzentration zwischen RW I und RW II liegen	VOC-Emissionen, die als Gesamtkonzentration RW II erreichen oder überschreiten	VOC-Emissionen, die als Gesamtkonzentration RW II deutlich überschreiten

Für einzelne VOC und SVOC, für die derzeit keine Richtwerte existieren, kann eine Klassifizierung der Belastung mit Hilfe von NIK-Werten und der qualitativen Risikobewertung erfolgen (Kapitel 6.2.1).

c) Feinstaub und Staubinhaltsstoffe

Um eine Belastungsklassifizierung von Feinstaubbelastungen in Innenräumen zu ermöglichen, sollten die Grenzwerte für Feinstaub in der Außenluft herangezogen werden (§ 4 der 39. BImSchV):

- ▶ Der PM₁₀-Jahesmittelwert darf 40 µg/m³ (Mikrogramm PM₁₀ pro Kubikmeter Luft) nicht überschreiten.
- ▶ Der PM₁₀-Tagesmittelwert darf 50 µg/m³ nicht öfter als an 35 Tagen im Kalenderjahr überschreiten.

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

Tabelle 11 Bewertungsmo­dell der Belastungskategorie Stoffbelastung im Innenraum/Feinstaub

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
Grenzwert-überschreitungen	Der PM ₁₀ -Tagesmittelwert von 50 µg/m ³ wird nie überschritten.	Der PM ₁₀ -Tagesmittelwert von 50 µg/m ³ wird nicht öfter als an 10 Tagen im Kalenderjahr überschritten.	Der PM ₁₀ -Tagesmittelwert von 50 µg/m ³ wird nicht öfter als an 35 Tagen im Kalenderjahr überschritten.	Der PM ₁₀ -Tagesmittelwert von 50 µg/m ³ wird öfter als an 35 Tagen im Kalenderjahr überschritten.	Der PM ₁₀ -Tagesmittelwert von 50 µg/m ³ wird dauerhaft überschritten.

6.2.1.4 Abwasser

Variante a)

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 [18]. Thru.de löst das bisherige Schadstofffreisetzung- und -verbringungs-register (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 12 Abschätzung nationaler Emissionsmengen relevanter Schadstoffe [18]

Schadstoff	nationale Emissionsmenge aus Punktquellen in t/a
CSB (TOC*3)	368.000
Gesamtposphor	3.520
Gesamtstickstoff	781.700
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 13 Bewertungsmodell der Belastungskategorie Nährstoffe oder Schadstoffe aus Punktquellen in Gewässer

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
Anteil an nationalen Gesamtemissionen	Bewertungsvoraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	1/10.000 – 1/1.000	1/1.000 – 1/100	> 1/100	> 1/10

Variante b)

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 [77] lässt – vorausgesetzt es herrschen keine Sonderbedingungen – erwarten, dass die Umweltqualitätsnormen (UQN) [41] eingehalten werden. Um die Belastung qualitativ genauer zu bewerten ist gegebenenfalls eine Einzelstoffbewertung nach Tabelle 14 (Bewertungsmodell der Bewertungskategorie diffuse Nährstoff- und Schadstoffeinträge in Wasser) erforderlich.

6.2.1.5 Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge in Wasser

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 eine Parametrisierung nationaler Immissionsprognosen zurückgegriffen werden).

Die Relevanzprüfung auf der Makroebene erfolgt wie das Bewertungsmodell über Experteneinschätzung. Bei der Bewertung sollte zwischen diffusen Einträgen in Oberflächengewässer (Flüsse, Seen

und Meere) und Grundwasser unterschieden werden. Die Bewertung erfolgt durch Experteneinschätzung anhand folgender Kriterien:

- ▶ **Flächenausdehnung/Flächenveränderungen**
- ▶ **Hydrogeologische Randbedingungen**, die das Risikopotential für eine Überschreitung der (UQN) wesentlich beeinflussen (Niederschlagsmenge und -verteilung, Art und Mächtigkeit der Deckschichten, Hangneigung, Drainagen und so weiter)
- ▶ **Dauer des Anbaus**, zum Beispiel Dauerkulturen, Monokulturen, und Anwendungsart, Anwendungshäufigkeit und Anwendungsmenge von Pflanzenschutzmitteln oder anderer schadstoffhaltiger Produkten.
- ▶ **Emissionsfrachten > 5 Prozent** des sektorspezifischen Beitrages

Die Gesamtbewertung erfolgt anhand der nachfolgenden Tabelle. Die zu erwartenden Nähr- und Schadstoffkonzentrationen werden in Relation zu den UQN [41] gesetzt und über ein abgestuftes Verfahren bewertet:

Tabelle 14 Bewertungsmodell der Belastungskategorie diffuse Nährstoff- und Schadstoffeinträge in Wasser

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
Experteneinschätzung	Bewertungsvoraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	geringe Stofffreisetzung	Erhöhung der Belastung, QZ langfristig nicht gefährdet	Erhöhung der Belastung, QZ langfristig gefährdet, Gefährdung von Pflanzen und Tieren	Erhöhung der Belastung führt zu Überschreitung des QZ, Gesundheitsgefährdung
	Es werden keine Nähr- oder Schadstoffe freigesetzt.	Geringes Risiko UQN zu überschreiten – in der Regel bewegen sich die Konzentrationen im Bereich < 1/2 UQN (nur sehr lokale Überschreitungen)	Mäßiges Risiko UQN zu überschreiten. In der Regel bewegen sich die Konzentrationen im Bereich < UQN. Risiko steigender Trends (eher lokal und regional begrenzte Überschreitungen)	Hohes Risiko UQN zu überschreiten. An bis zu 10 Prozent der Messstellen werden die UQN nicht eingehalten. Sehr hohes Risiko für steigende Nähr- und Schadstoff-trends (regional größere Zahl von Überschreitungen zu erwarten)	UQN werden mit großer Wahrscheinlichkeit überschritten. In der Regel bewegen sich die Konzentrationen im Bereich > UQN. (überregionale Überschreitungen sind zu erwarten)

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

6.2.2 Physikalische Belastungen

6.2.2.1 Lärm

Die Belastungsbeurteilung erfolgt durch eine Experteneinschätzung auf der Basis der vom jeweiligen Produkt verursachten Lärmimmissionen. Die Belastung durch Lärmimmissionen setzt eine Ermittlung aus Lärmemission und -transmission voraus. Für die Beurteilung der spezifischen Lärmimmission wird anhand von wissenschaftlich belegten Schwellen-, Auslöse-, Richt- oder Grenzwerten eine Beurteilung der Lärmbelastung vorgenommen, wobei zwischen Lärmwerten im Freien und innerhalb von Gebäuden unterschieden wird.

Unter anderem werden hier gesetzliche Regelungen (2002/49/EG, BImSchG, 16./18./32. BImSchV, TA Lärm, FlugLSG, LärmVibrationsArbSchV...), Normen (ISO 266, DIN 4109, VDI 4100...), unabhängige Empfehlungen (WHO Night Noise Guidelines...), etc. 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 ausschließlich über einen Einzahlwert beschrieben werden kann, ist es möglich, dass vermeintlich unterschiedliche Kennwerte zur selben Beurteilung führen. In diesen Fällen wird qualitativ auf die Beurteilung eingegangen.

Tabelle 15 Bewertungsmodell für die Gesamtbelastung durch Umgebungslärm

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
Experten-einschätzung	Bewertungs-voraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	geringfügige Belästigung beziehungsweise Beeinträchtigung durch Lärm	mittlere Belästigung beziehungsweise Beeinträchtigung durch Lärm	wesentliche Belästigung beziehungsweise Beeinträchtigung durch Lärm	Beeinträchtigung der Gesundheit durch Lärm
L _{eq, Tag}		40...50 dB(A)	50...55 dB(A)	55...60 dB(A)	≥ 60 dB(A)
L _{eq, Nacht}		30...40 dB(A)	40...45 dB(A)	45...55 dB(A)	≥ 55 dB(A)

Tabelle 16 Bewertungsmodell für die Gesamtbelastung durch Lärm in Innenräumen

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
Experten-einschätzung	Bewertungs-voraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	Experteneinschätzung von Belästi-gung beziehungsweise Beeinträchti-gung durch Lärm. Unterscheidung zwischen Räumen unterschiedlicher Nutzung. An Schlafräume bestehen beispielsweise völlig andere Anfor-derungen als an Büroarbeitsräume.			Beeinträchtigung der Gesundheit durch Lärm
Schwellen-werte aus bekannten Regel-werken		Beispiele: $L_{eq, Nacht} = 25 \text{ dB(A)}$ 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.			zum Beispiel am Ar-beitsplatz: $L_{EX, 8h} \geq 85 \text{ dB(A)}$ $L_{pC, peak} \geq 137 \text{ dB(C)}$

6.2.2.2 Strahlung

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 festgelegt, 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 „nicht tolerierbare Belastung“ (bei Erreichen oder Überschreiten des Grenzwertes). Da aber gleichzeitig das Optimierungsgebot gilt, wäre auch das annähernde Ausschöpfen des Grenzwertes unter Umständen bereits als nicht mehr tolerierbare 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.

Tabelle 17 Bewertungsmodell der Belastungskategorie ionisierende Strahlung

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
Experteineinschätzung	Bewertungsvoraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	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 auf Grund der unterschiedlichen Wirkmechanismen und Vielzahl der zu berücksichtigenden Parameter nicht möglich.

Bezüglich der Anwendung von UV-emittierenden Produkten im Wellness- und Kosmetikbereich (Solarium 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 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. Mittels europäisch harmonisierter Produkthanforderungen sind auf dieser Grundlage für einzelne Produkte (quasi-)gesetzliche Vorgaben an die maximale Exposition von Verbrauchern und anderen Personen realisiert (siehe 1999/519/EG, LVD, R&TTED, GPSD). 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 [32].

Wenn die oben beschriebenen Werte beziehungsweise Vorgaben eingehalten sind, ist bei Anerkennung des aktuellen, allgemein akzeptierten wissenschaftlichen Kenntnisstands davon auszugehen, dass keine gesundheitlichen Konsequenzen zu erwarten sind. Folglich 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 18 Bewertungsmodell für die Gesamtbelastung durch elektrische-, magnetische und elektromagnetische Felder

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
Experten einschätzung	Bewertungsvoraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	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.

6.2.2.3 Mechanische Tötung von Tieren

Die Belastungsklassifizierung hinsichtlich der mechanischen Tötung von Tieren durch die Produktgesamtheit erfolgt auf Basis der in Tabelle angegebenen Bewertungskriterien [11, 35, 41].

Tabelle 19 Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorie Mechanische Tötung von Tieren

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
Experten einschätzung	Bewertungsvoraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	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

6.2.3 Biologische Belastungen

6.2.3.1 Krankheitserreger

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 20 Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorie Krankheitserreger

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	Nicht tolerierbare Belastung
Experteneinschätzung	Es treten keine Krankheitserreger oder andere mikrobielle Belastungen auf	Experteneinschätzung			Tödliche Erkrankungen mit nicht zu vernachlässigender Eintrittswahrscheinlichkeit

6.2.3.2 Invasoren

Sobald auf der Mikroebene eine relevante Belastung festgestellt wurde, wird auf der Makroebene von einer mindestens mäßigen Belastung ausgegangen (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21 Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorie Invasoren

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
Experteneinschätzung	Bewertungsvoraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	Ökoregionen übergreifender Transport, jedoch keine relevante Verschleppung fremder Arten zu erwarten, auch aufgrund wirksamer Maßnahmen (zum Beispiel Desinfektion)	Ökoregionen übergreifender Transport, Verschleppung von Arten möglich, Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen begrenzt (zum Beispiel Aquakultur im Küstenbereich)	Ökoregionen übergreifender Transport, Verschleppung von Arten ohne Nachweis der dauerhaften Etablierung, keine wirksamen Maßnahmen (zum Beispiel Desinfektion)	Ökoregionen übergreifender Transport von bekanntermaßen invasiven Arten, ohne Maßnahmen zur sicheren Verhinderung (zum Beispiel Desinfektion)

6.2.4 Ressourceninanspruchnahme

6.2.4.1 Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger

Zur Bewertung der Gesamtrelevanz des mineralischen Rohstoffeinsatzes wird die potenzielle Bedeutung des Produktsystems auf nationaler Ebene betrachtet. Dies geschieht anhand des wirtschaftlichen Stellenwertes für eine oder mehrere Branchen, die Bedeutung für große Teile der Bevölkerung oder anhand der reinen Mengenrelevanz. Mithilfe von prognostizierten Marktentwicklungen oder potenziellen Sättigungsgraden bei der Marktdiffusion des betrachteten Produkts beziehungsweise der betrachteten Produktgruppe erfolgt eine Abschätzung des zusätzlichen Rohstoffnachfrageimpulses. Hierbei werden vertieft solche Rohstoffe berücksichtigt, die mit einem hohen Versorgungsrisiko verbunden sind und die für die Umsetzung der Produktsystemalternativen als essenziell erachtet werden. Eine nähergehende Betrachtung von Rohstoffen ist ebenso geboten, sofern von bestimmten Materialien im Laufe ihrer Lebenszyklen besondere ökologische Risiken, beispielsweise durch einen vorwiegend dissipativen Einsatz, ausgehen.

Die durch die betrachtete Produktgruppe bestehende oder zu erwartende Rohstoffnachfrage wird in Bezug zu volkswirtschaftlichen Rohstoffkennzahlen, wie zum Beispiel der Importmenge Deutschlands oder der Weltjahresproduktion gesetzt. Dabei wird einerseits geprüft, ob dieser Rohstoffbedarf im Sinne einer intragenerationalen Verteilungsgerechtigkeit übertragbar wäre und ob andererseits technische und logistische Maßnahmen implementiert oder absehbar sind, um die Stoffkreisläufe durch funktionales Recycling am Ende der Produktlebenszyklen wieder zu schließen. Auf Grundlage einer Experteneinschätzung erfolgt eine abschließende Beurteilung der durch das Produktsystem induzierten Kritikalitätsentwicklung für die fokussierten Rohstoffe.

Für Produktsysteme mit gesamtwirtschaftlich relevantem Energiebedarf erfolgt eine Experteneinschätzung, ob die Produktgesamtheit die Erreichung des Primärenergieverbrauchsziels der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie gefährdet.

6.2.4.2 Verbrauch biotischer Rohstoffe

Zur Bewertung der Relevanz auf der Makroebene sind Marktdaten beziehungsweise Daten zur prognostizierten Marktentwicklung des betrachteten Produkts beziehungsweise der betrachteten Pro-

duktgruppe 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 Makroebene bewerten zu können. Ist der Anteil höher als 1 Prozent, so muss eine vertiefte Prüfung möglicher Auswirkungen erfolgen. Dies muss in den Schlussfolgerungen kenntlich gemacht werden.

6.2.4.3 Wasserverbrauch

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

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

Während Kriterium 1 schon Grundlage für die Bewertung auf der Produktebene (Kapitel 6.1.4.3) war, ist eine Beurteilung entsprechend Kriterium 2 nur möglich, wenn quantitative regionale Daten vorliegen oder eine Experteneinschätzung möglich ist. Entsprechend Tabelle 22 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 22 Bewertungsmodell für die Gesamtbelastung durch Wasserverbrauch

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
<u>Kriterium 1:</u> Wasserknappheit am Ort des Verbrauchs		Wasserverbrauch ausschließlich in Gebieten mit WSI: 0,01 - 0,09	Wasserverbrauch überwiegend in Gebieten mit WSI: 0,09 - 0,50	Wasserverbrauch überwiegend in Gebieten mit WSI: 0,51 - 0,80	Wasserverbrauch überwiegend in Gebieten WSI $\geq 0,8$
<u>Kriterium 2:</u> Erhöhung der Wasserknappheit am Ort des Verbrauchs	Bewertungsvoraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	Wasserverbrauch der Produktgesamtheit führt zu keiner Verschärfung der Wasserknappheit	Wasserverbrauch der Produktgesamtheit führt zu einer Verschärfung der Wasserknappheit in Gebieten mit WSI: 0,01 - 0,50	Wasserverbrauch der Produktgesamtheit führt zu einer Verschärfung der Wasserknappheit in Gebieten mit WSI: 0,51 - 0,80	Wasserverbrauch der Produktgesamtheit führt zu einer Verschärfung der Wasserknappheit in Gebieten mit WSI $\geq 0,8$ Wasserverbrauch führt zu nicht tolerierbaren Umwelt- und Gesundheitsschäden

6.2.4.5 Naturraumbeanspruchung

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 in Kapitel 6.1.4.4 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, Tabelle A 4). Entsprechend des spezifischen Beitrages der Produktgesamtheit zur Gesamtflächenbelegung und Flächennutzungsänderung des Sektors erfolgt die Klassifizierung der Belastung entsprechend Tabelle 23. Umfasst ein Produkt mehrere Sektoren, so ist der höchste spezifische Beitrag (und damit die höchste Belastungsklasse) ausschlaggebend [48].

Tabelle 23 Bewertungsmodell der Belastungskategorie Flächeninanspruchnahme

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
Anteil an sektor-spezifischer Flächenbelegung oder Flächen-nutzungsänderung	Bewertungs-voraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	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 24 dargestellt erfolgt die Bewertung anhand verschiedener Kriterien:

- ▶ die Schwere der aquatischen sowie terrestrischen Flächennutzungsänderung (Hemerobiestufen, siehe Kapitel 6.1.4.4)
- ▶ die Gefährdung des politischen Ziels der Bundesregierung, die Flächenneuanspruchnahme für Siedlungen und Verkehr bis zum Jahr 2020 auf 30 ha [51] am Tag zu begrenzen. Um die Einschätzung zu erleichtern wird in Tabelle A 4 (Anhang) das 30-Hektar-Ziel für Siedlungs- und Verkehrsflächen auf Wirtschaftszweige/Aktivitäten heruntergebrochen
- ▶ Gefährdung globaler politischer Ziele, zum Beispiel Erhalt von Urwäldern.

Maßgeblich für die Einstufung ist neben der Naturnähe der Fläche insbesondere auch ihre Eignung sowohl als Lebensraum für Pflanzen und Tiere als auch als Lebensgrundlage für den Menschen im Hinblick auf Biomasseproduktion. 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, Wiederaufforschung von Weideland, Umwandlung von Ackerland in artenreiches Dauergrünland) der veränderten Fläche und vollständige Renaturierung dauert 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. Als Grundsatz sind Flächen – in jeder Kategorie – sparsam und effizient zu nutzen. Exzessive Flächennutzung erhöht den Druck in Richtung Nutzungsintensivierung und/oder negative Flächennutzungsänderungen.

Tabelle 24 Qualitative Bewertung der Belastungskategorie Naturraumbeanspruchung

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
Flächennutzungs-Änderung (qualitativ)		Flächenumwandlung von 1 Stufe	Flächenumwandlung von 2 Stufen	Flächenumwandlung von 3 Stufen	mehr als 3 Stufen oder völlige Zerstörung der Fläche (das heißt Überführung in Nutzungstyp G)
Gefährdung politischer Ziele (D, quantitativ für Umwandlung in Siedlung und Verkehr)	Bewertungsvoraussetzungen aus Vorprüfung nicht erfüllt	30 ha-Ziel der Bundesregierung ist nicht gefährdet	30 ha-Ziel der Bundesregierung ist gefährdet	30 ha-Ziel der Bundesregierung ist erheblich gefährdet	30 ha-Ziel der Bundesregierung kann nicht mehr erreicht werden
Gefährdung globaler politischer Ziele (temporäre Flächennutzungen, insbesondere zur Erzeugung von Biomasse)		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
		= geringe indirekte Landnutzungsänderung oder wenig intensive Flächennutzung	= mäßige indirekte Landnutzungsänderung oder mäßig intensive Flächennutzung	= hohe indirekte Landnutzungsänderung oder sehr intensive Flächennutzung	= nachweisbar direkte Landnutzungsänderung oder nachweisbar Raubbau

6.2.5 Störfälle/Unfälle

Die Bewertung der Produktgesamtheit in der Kategorie Störfälle/Unfälle basiert auf drei Kriterien:

- ▶ Schwere der gesundheitlichen Beeinträchtigung
- ▶ Anzahl der betroffenen Personen und Möglichkeit der Schadensbehebung
- ▶ Eintrittswahrscheinlichkeit.

Da die drei Kriterien auch bei einer Alternative zu unterschiedlichen Belastungsklassifizierungen führen können, muss die Gesamtklassifizierung durch Experteneinschätzung erfolgen.

Tabelle 25 Kriterien für die Gesamtbelastungsbewertung der Belastungskategorie Störfälle/Unfälle

Indikator	keine Belastung	geringe Belastung	mäßige Belastung	hohe Belastung	nicht tolerierbare Belastung
<u>Kriterium 1:</u> Schwere der gesundheitlichen Beeinträchtigung	Bewertungsvoraussetzungen aus Vorprüfung nicht	leichte und vorübergehende gesundheitliche Gefährdung möglich	gesundheitliche Störung/ Erkrankung möglich für Nutzer oder Anwohner	tödliches Risiko für Nutzer oder Anwohner	katastrophale Auswirkungen
<u>Kriterium 2:</u> Anzahl der betroffenen Personen/ Machbarkeit der Sanierung		Nur sehr wenige Menschen sind im Eintrittsfall betroffen/ Sanierung technisch einfach.	Zahlreiche Menschen 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		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.

6.3 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 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 [19] 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 Umweltzustandes
- ▶ spezifischer Beitrag des Belastungskategorieergebnisses zu einheitlicher Referenz (zum Beispiel Gesamtbelastung Deutschlands).

Für die Dokumentation der Ergebnisse der Priorisierung steht ein Excel-Tool zur Verfügung.

7 Auswertung

In der Auswertung werden aus den in der Belastungsermittlung und der Belastungsbewertung generierten Ergebnissen Schlussfolgerungen und Empfehlungen abgeleitet.

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:
 - Wie gut ist die Qualität der vorhandenen Daten?
 - Wurden zeitliche und räumliche Bezüge eingehalten?
 - Welchen Einfluss haben Allokationsverfahren auf das Ergebnis?
 - Etc.
- ▶ Belastungsbewertung:
 - Wurden alle in der Vorprüfung als betroffen eingestuften Belastungskategorien untersucht?
 - Wie stark ist der Einfluss subjektiver Experteneinschätzungen?
 - Etc.

7.2 Analyse signifikanter Parameter

Anschließend werden die signifikanten Parameter, also Stellgrößen, die das Ergebnis maßgeblich beeinflussen, identifiziert. 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, wie stark sich Änderungen der signifikanten Parameter (etwa anderer Strommix, Berücksichtigung von Recyclinggutschriften, andere Allokationsverfahren, anderes Bewertungsverfahren, etc.) auf das Ergebnis der Belastungsbewertung auswirken.

7.3 Prüfung der Aussagesicherheit

Ziel dieser Phase ist es, die Aussagekraft des mithilfe einer VERUM erzielten Ergebnisses bewerten zu können. 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 26 aufgelisteten Kriterien, soll der Bearbeiter der VERUM die Aussagesicherheit in eher gering beziehungsweise hoch einschätzen.

Tabelle 26 Kriterien für die Bewertung der Aussagesicherheit

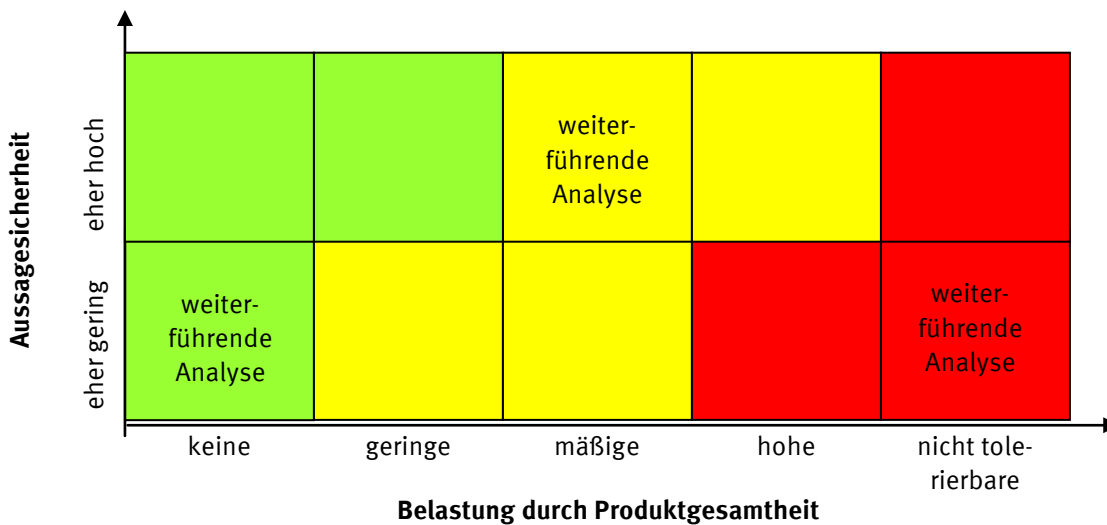
Kriterium	geringe Aussagesicherheit	hohe Aussagesicherheit
Systemgrenzen	Nur Lebenswegabschnitte, obwohl Unterschiede in vor- bzw. nachgelagerten Prozessketten zu erwarten sind.	Lebensweg beziehungsweise alle Phasen, in denen sich Unterschiede in den vor- beziehungsweise nachgelagerten Prozessketten 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
Daten	überwiegend berechnete bzw. abgeschätzte Daten	überwiegend Primär- und Sekundärdaten
Datenqualität	Datenbasis älter als 5 Jahre, Durchschnittsdaten	Datenbasis jünger als 5 Jahre, fall-spezifische 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

7.4 Schlussfolgerungen/weitere Schritte

Aufbauend auf den bisher gewonnenen Erkenntnissen werden schließlich Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur Beantwortung der Anfrage formuliert. Des Weiteren werden Einschränkungen und Annahmen aufgezeigt, unter denen diese gelten.

Basierend auf den Ergebnissen der Aussagesicherheitsanalyse und der durch die Produktgesamtheit hervorgerufenen Gesamtbelastung wird auch über eventuell weiterführende Analysen (Ökobilanz, Umweltverträglichkeitsprüfung, Stoff-/Produktbewertung nach bestehenden gesetzlichen Vorgaben, etc.) entschieden. Hierbei werden drei Fälle unterschieden und folgendes Vorgehen empfohlen:

Abbildung 11 Auf Gesamtbelastung und Aussagesicherheit basierendes Schema zur Festlegung, ob weiterführende Analysen notwendig sind oder nicht



7.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Abschließend sind die wichtigsten Erkenntnisse der VERUM zusammenzufassen. Hierbei sollen insbesondere folgende Punkte adressiert werden:

- ▶ Wie lautete die zu beantwortende Fragestellung?
- ▶ Welche Belastungskategorien sind hierfür relevant und wie ist das Ergebnis der qualitativen Ersteinschätzung?
- ▶ 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?
- ▶ Sind weiterführende Studien erforderlich?
- ▶ Welche Schlussfolgerungen ergeben sich zur Beantwortung der eingangs gestellten Fragestellung?

Für die zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Ergebnisse aus Vorprüfung und Belastungsbewertung steht ein Excel-Tool zur Verfügung.

8 Literatur

1. IPCC(2007): *Climate Change - The Fourth Assessment Report*. United Nations, Intergovernmental Panel on Climate Change
2. ISO 14040 (2006): *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*, International Organisation for Standardisation, Edt, Geneva, Switzerland
3. ISO 14044 (2006): *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines*, International Organisation for Standardisation, Edt., Geneva, Switzerland
4. PE International. <http://www.gabi-software.com> (2012), aufgerufen 12.06.2013
5. Ecoinvent centre. <http://www.ecoinvent.org> (2012), aufgerufen 10.06.2012
6. UBA. <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php> (2012) aufgerufen 04.07.2012
7. EEA(2011): *Revealing the Costs of Air Pollution from Industrial Facilities in Europe. EEA Technical report No 15/2011. European Environment Agency, Kopenhagen.* <http://www.eea.europa.eu/publications/cost-of-air-pollution>
8. Frischknecht, R., et al. (2006): *Ökobilanzen: Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006 - Methode für die Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen*, Öbu - Netzwerk für nachhaltiges Wirtschaften
9. Amann, M. et al. (2011) : *An Updated Set of Scenarios of Cost-effective Emission Reductions for the Revision of the Gothenburg Protocol.*, in *CIAM Report 4/2011 Version 1.0*. 2011, EMEP Centre for Integrated Assessment Modelling, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria <http://gains.iiasa.ac.at/images/stories/reports/CIAM/CIAM2011-4-v1.pdf>
10. UBA(2012):. <http://www.umweltbundesamt.de/gesundheits/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm>. aufgerufen am 05.07.2012
11. Bernotat, D. und Dierschke, V. (2012): *Übergeordnete Kriterien zur Bewertung der Mortalität wildlebender Tiere im Rahmen von Projekten und Eingriffen - unter besonderer Berücksichtigung der deutschen Brutvogelarten* www.bfn.de/fileadmin/MDB/.../Dierschke_Bernotat_MGI_2012.pdf.
12. VDI 4600 (1997): *Kumulierter Energieaufwand - Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden. Ersatz für: VDI 4600 (1995-05); Nachdruck in: VDI-Handbuch Energietechnik; VDI-Handbuch Betriebstechnik Teil 1; VDI-Handbuch Technische Gebäudeausrüstung Band 4; VDI-Handbuch Umwelttechnik*, V.D. Ingenieure, Edt., Beuth Verlag GmbH
13. Pfister, St. et al. (2009): *Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA*. Environ. Sci. Technol., 43: p. 4098-4104
14. Alcamo, J. et al. (2003): *Development and Testing of the WaterGAP 2 Global Model of Water Use and Availability*. Hydrol. Sci. J., 48(3): p. 317-337
15. Google Inc. <http://earth.google.com> (2010), aufgerufen 07.01.2010
16. Pfister, St. (2010): <http://www.ifu.ethz.ch/staff/stpfiste>. aufgerufen 07.01.2010
17. WHO (2013): . http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/index.html aufgerufen 17.04.2013.
18. UBA (2013): <http://www.thru.de/>. 2013 aufgerufen 12.06.13
19. Schmitz, St., Paulini, Inge et al. (1999): *Bewertung in Ökobilanzen - Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von*

Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043. UBA-Texte 92/99, Umweltbundesamt: Berlin.

20. Erdmann, L. und Behrendt, S. (2011): *Kritische Rohstoffe für Deutschland*. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) und adelphi im Auftrag der KfW Bankengruppe: Berlin.
21. UBA (2012): <http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm#AktuelleBerichterstattungen>, aufgerufen 13.06.2012.
22. UBA (2012): *Beste verfügbare Techniken – (BVT)* <http://www.bvt.umweltbundesamt.de/>, aufgerufen 11.07.2012.
23. AgBB (Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten) (2012): *Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten*, Aufstellung der NIK-Werte im Anhang: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/agbb_bewertungsschema_2012.pdf aufgerufen am 08.01.2014
24. Müller, G. und Möser, M. (2004): *Taschenbuch der Technischen Akustik*, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin
25. Möser, M. (2012): *Technische Akustik*, 9. Auflage, Springer-Verlag, Berlin
26. UBA (2013): *Schwerpunkte 2013 – Jahrespublikation des Umweltbundesamtes*, Kap. Lärm, p. 44 - 65. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
27. Valentin, J. (2007): *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*; Annals of the ICRP PUBLICATION 103, Elsevier (auf deutsch: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2009082154>)
28. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrSchV), BGBl I 2001, 1714 (2002 I 1459), zuletzt geändert durch Art. 5 Abs. 7 G v. 24. Februar .2012 I 212 http://www.juris.de/purl/gesetze/_ges/StrlSchV
29. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 (BGBl. I S. 604), geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 4. Oktober 2011 (BGBl. I S. 2000) (http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/r_v_1987/gesamt.pdf)
30. 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 (EURATOM Grundnorm 2013), Amtsblatt der Europäischen Union Ausgabe in deutscher Sprache, 57. Jahrgang, 17. Januar 2014 (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:013:FULL:DE:PDF>)
31. Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSG) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2433), zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 8. April 2013 (BGBl. I S. 734) (<http://www.gesetze-im-internet.de/nisg/index.html>)
32. Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) Ausfertigungsdatum: 16. Dezember 1996, Neugefasst durch Bekanntmachung vom 14. August 2013 (BGBl. I S. 3266) (http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschv_26/gesamt.pdf)

33. Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung (UV-Schutz-Verordnung - UVSV) vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1412) (<http://www.gesetze-im-internet.de/uvsv/BJNR141200011.html>)
- 34.. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2004): *Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle* ATV-DVWK Themen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.,
35. Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts (WHG) vom 31. Juli 2009. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 51, Bonn, 2009
36. Holzner, M. (1999): *Untersuchungen zur Vermeidung von Fischschäden im Kraftwerksbereich dargestellt am Kraftwerk Dettelbach/Main*, Schriftenreihe des Landesfischereiverbandes Bayern e. V., München, S. 25-26
37. *Handbuch Querbauwerke* (2005): Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MfUNL)
38. Meyerhoff, J. und Petschow, U.(1998): *Umweltverträglichkeit kleiner Wasserkraftwerke – Zielkonflikte zwischen Klima- und Gewässerschutz*. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH. UBA Texte 13/98, Umweltbundesamt, Berlin
39. Bunge, Th. et al.(2001): *Wasserkraftanlagen als erneuerbare Energiequelle – rechtliche und ökologische Aspekte*-. UBA Texte 01/01, Umweltbundesamt Berlin
40. Anderer, P. et al. (2012): *Wasserkraftnutzung in Deutschland: Wasserrechtliche Aspekte, ökologisches Modernisierungspotenzial und Fördermöglichkeiten*. Teilprojekt 2 aus: *Effiziente Maßnahmen und Kriterien zur Verbesserung des ökologischen Zustands an Wasserkraftanlagen*. UBA Texte 22/12, Umweltbundesamtes Dessau.
41. Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1429)
42. Schmoll, O. et al. (2012) *Die Bewertung gesundheitlicher Risiken durch Krankheitserreger im Trinkwasser - Theoretische Maßstäbe und praktische Konsequenzen*. Umweltmedizin in Forschung und Praxis 17 (2) 81-95
43. World Health Organization (WHO) (2011): *Guidelines for Drinking Water Quality*. Fourth Edition. Chapter 3 and 4
44. Blondzik, Katrin et al. (2004): *Die Wasserrahmenrichtlinie – Neues Fundament für den Gewässerschutz in Europa*, Langfassung. Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
45. Borchardt, D. et al. (2005): *Die Wasserrahmenrichtlinie -Ergebnisse der Bestandsaufnahme 2004 in Deutschland*. Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
46. Richter, Sandra et al. (2010): *Die Wasserrahmenrichtlinie – Auf dem Weg zu guten Gewässern*. Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
47. Richter, Sandra et al. (2013): *Die Wasserrahmenrichtlinie - Eine Zwischenbilanz zur Umsetzung der Maßnahmenprogramme 2012*. Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
48. Umweltbundesamt (2013): Daten zum Thema Wasser und Wasserbelastungen, Flächenbeanspruchung unter: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser>
49. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, *Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland (2001): Gewässerstruktur in der Bundesrepublik Deutschland*

50. Berichterstattung der Bundesländer für Richtlinie 2000/60/EG (Wasserrahmenrichtlinie). Berichtsportal WasserBlick. <http://www.wasserblick.net/>.
51. Bundesregierung (2002): *Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung*, Berlin
52. Statistisches Bundesamt (Destatis): Statistik der Flächennutzung nach Art der tatsächlichen Nutzung (jährlich).
53. Statistisches Bundesamt (Destatis): Statistik des Neubaus von Gebäuden (jährlich)
54. Statistisches Bundesamt (Destatis): Gebäude- und Wohnungszählung (1987 und 1995): *Item: Grundstücksflächen*
55. Statistisches Bundesamt (Destatis): Umweltökonomische Gesamtrechnung (UGR, jährlich): *Item: Belegung von Siedlungsflächen durch private Haushalte sowie durch die Wirtschaft, aufgliedert nach Wirtschaftszweigen*
56. Buchert, M. et al. (2003): *Basis II. Stoffflussbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung – Verknüpfung des Bereiches Bauen und Wohnen mit dem komplementären Bereich Öffentliche Infrastruktur*. Ökoinstitut, IOER und TU Dresden, im Auftrag des Umweltbundesamtes.: *Item: Fläche der Erschließungsstraßen für Neubaugebiete*. UBA Texte 01/04, Umweltbundesamt
57. *Bundesministerium für Verkehr*: Statistik der Bundesfernstraßen (jährlich, nicht öffentlich zugänglich): *Item: Neubau von Bundesautobahnen und Bundesstraßen*.
58. Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Rohstoffsituation in Deutschland (jährlich). *Item: Rohstoffabbau in Tonnen und Fläche in km²*.
59. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). (2008): RAA - Richtlinien für die Anlage von Autobahnen [FGSV-Nr. 202].
60. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). (2012):. RAL - Richtlinien für die Anlage von Landstraßen [FGSV-Nr. 201].
61. Bundesminister für Verkehr (2012):. EBO - Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung vom 8. Mai 1967 (BGBl. 7 II S. 1563), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 25. Juli 2012 (BGBl. I S. 1703) geändert worden ist.
62. Bundesanstalt für Wasserbau (2011):. RiReBsk Richtlinien für Regelquerschnitte von Binnenschiffahrtskanälen vom 2. Mai 2011 (VkBBl. Nr. 10 vom 31.05.2011 S. 395)
63. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) [Hrsg.] (2006): RASt - Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen RaSt 06 [FGSV-Nr. 200].
64. Bundesamt für Statistik (1982): Schlussbericht der Kommission zur Überprüfung der Straßenrechnung,. Bern.
65. Holzhey, M.: Schienennetz 2025/2030 – Ausbaukonzeption für einen leistungsfähigen Schienengüterverkehr in Deutschland. UBA-Texte 42/2010, S. 56, <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4005.pdf>
66. Wasser- und Schifffahrtsdirektion West (2011) *le/Flussschifffahrt*:. <http://www.faehre-zons.de/faq.html>; http://www.new-logistics.de/new-logistics/pdf/schifffahrt_und_technik,futura_carrier_im_alltagseinsatz_auf_der_elbe.pdf) <http://www.wsd->

west.wsv.de/Service/Publikationen/verkehrsberichte/Dateien/Verkehrsbericht_2011_INTERNE_T.pdf

http://www.wsd-mitte.wsv.de/Service/publikationen/download/Verkehrsbericht_2009.pdf

67. Apel, D. (1973): *Kraftverkehr und Umweltqualität von Stadtstraßen*, Kohlhammer Verlag, Köln.
68. Heine, B. und Penn-Bressel, Gertrude (1995): *Vergleich des Flächenbedarfs verschiedener Verkehrsmittel im städtischen Personenverkehr*, Umweltbundesamt, Berlin (unveröffentlicht), Darstellung der Methode in: Bracher, T. et al. (2002): *Umwelentlastung durch Kostenminimierung im Verkehr (Least Cost Planning im Verkehr)*; FE-Vorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes, UFO-Plan-Nr. 29551070; *Schlußbericht* Teil 3: Bewertungs- und Berechnungsverfahren zur Flächenbeanspruchung
69. <http://de.wikipedia.org/wiki/Biodiesel> (siehe unter anderem Abschnitte „Fremdenergiebedarf“ + „Flächenbedarf“)
70. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft:
<http://www.bundeswaldinventur.de/enid/0,dedd0a305f7472636964092d09323130/4t.html>;
71. Gesamtverband deutscher Holzhandel: <http://www.holzhandel.de/fachwissen-holz/rohdicke.html>;
72. <http://de.wikipedia.org/wiki/Baumwolle>;
73. <https://www.cotonea.de/toxid-curl/aktuell/news/news-detailseite/artikel/cotonea-baumwollbauern-auf-platz-drei-und-vier-der-weltrangliste-der-hektarertraege/>;
74. http://www.volksbank.com/m101/volksbank/m074_40000/downloads/research/rohstoffmaerkte/
75. <http://www.factfish.com/de/statistik/baumwollsamen%2C%20ertrag>
76. www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/ThemenAZ/Klimaschutz/klimaschutz-2006-07-27-die-nationale-strategie.html
77. Abwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S. 1108, 2625), die zuletzt durch Artikel 6 der Verordnung vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973) geändert worden ist

Anhang

Tabelle A 1 Kritische Rohstoffe für Deutschland und deren gewichteter Versorgungskritikalitätsindex zur Bewertung der Belastungskategorie „Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive Energieträger“ [20]

Rohstoff	Länderrisiko für die globale Produktion (2008)	Länderkonzentration der globalen Reserven (2008)	Unternehmenskonzentration der globalen Produktion (2008)	Verhältnis von globalen Reserven zu globaler Produktion (2008)	Globaler Nachfrageimpuls durch Zukunftstechnologien (2030)	Anteil der globalen Haupt- und Nebenproduktion (2008)	Recyclingfähigkeit	Substituierbarkeit	Versorgungskritikalitätsindex
Gewichtung	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	
Aluminium (Al)	0,14	0,58	0,3	0	0	0	0,34	0,51	0,23
Antimon (Sb)	0,76	0,74	0,51	1	0	0,3	0,67	0,64	0,54
Baryt	0,23	0,62	0,4	0,7	0	0	0,72	0,94	0,44
Bauxit	0,11	0,58	0,4	0	0	0	1	0,94	0,40
Bentonit	0,09	0,58	0,65	0	0	0	0,96	0,53	0,36
Beryllium	0,14	0,8	1	0	0,7	0	0,78	0,79	0,53
Bismut (Bi)	0,27	0,82	0,75	0,7	0,7	1	0,68	0,58	0,70
Blei (Pb)	0,15	0,54	0,19	0,7	0	0,7	0,13	0,91	0,42
Borat	0,15	0,71	0,83	0,7	0	0	0,88	0,72	0,48
Chrom (Cr)	0,26	0,89	0,5	1	0,3	0	0,32	0,97	0,50
Cobalt (Co)	0,21	0,82	0,16	0,3	0,3	0,7	0,58	0,9	0,52
Diamant	0,22	0,63	0,83	1	0	0	0,5	0	0,34
Diatomit	0,11	0,25	0,15	0	0	0	0,83	0,3	0,22
Eisen (Fe)	0,16	0,17	0,34	0,3	0	0	0,3	0,7	0,25
Flussspat	0,46	0,37	0,3	0,7	0	0,7	0,67	0,9	0,52
Gallium (Ga)	0,14	0,58	0,5	0	1	1	0,84	0,74	0,66
Germanium (Ge)	0,61	0,46	0,71	1	1	1	0,67	0,8	0,80
Gips	0,13	0,46	0,4	0	0	0,7	0,75	0,7	0,42
Glimmer	0,12	0,67	0,15	0	0	0,7	0,63	0,5	0,37
Graphit	0,22	0,89	0,69	0,3	0	0	0,77	0,5	0,40
Hafnium	0,1	0,9	0,62	0	0,7	1	0,77	0,7	0,64
Ilmenit und Rutil	0,07	0,61	0,53	0	0	0	0,91	0,32	0,31
Indium (In)	0,48	0,37	0,56	1	1	1	0,71	0,94	0,79
Kalk	0,2	0,71	0,39	0	0	0	0,91	0,8	0,39
Kaolin	0,09	0,44	0,15	0	0	0	0,92	0,78	0,32
Kupfer (Cu)	0,08	0,48	0,31	0,7	0,3	0,3	0,34	0,56	0,38
Lithium (Li)	0,12	0,9	0,77	0	0,3	0	0,85	0,8	0,47
Magnesit	0,51	0,653	0,13	0	0	0	0,73	0,72	0,35
Magnesium (Mg)	0,67	0,65	0,2	0	0,3	0,3	0,41	0,82	0,43
Mangan (Mn)	0,19	0,66	0,25	0,7	0	0	0,34	1	0,38
Molybdän (Mo)	0,35	0,82	0,38	0,7	0	0	0,6	0,71	0,42
Nickel (Ni)	0,17	0,56	0,46	0,7	0,3	0,3	0,36	0,9	0,47
Niob (Nb)	0,24	0,68	0,99	0,3	0	0,3	0,66	0,7	0,47
Palladium (Pd)	0,44	0,99	0,77	0	0,3	0,7	0,53	0,75	0,56
Perlit und Vermiculit	0,1	0,18	0,25	0	0	0	0,94	0,31	0,24
Phosphat	0,15	0,68	0,39	0,3	0	0	0,95	0,95	0,44
Platin (Pt)	0,26	0,99	0,66	0	0,7	0	0,53	0,75	0,49
Rhenium (Re)	0,13	0,8	0,8	0,7	0,7	1	0,54	0,84	0,71
Selen (Se)	0,08	0,48	0,31	0,7	0	1	0,83	0,56	0,52
Seltene Erden	0,76	0,69	0,76	0	1	0,7	0,75	0,87	0,72
Silber (Ag)	0,19	0,46	0,18	1	0,3	0,7	0,41	0,71	0,50
Silicium (Si)	0,57	0,3	0,2	0	0	0	0,63	0,75	0,31
Strontium (Sr)	0,23	0,98	0,68	1	0	0	0,46	0,68	0,46
Talk und Speckstein	0,12	0,48	0,5	0	0	0	0,92	0,33	0,30
Tantal (Ta)	0,12	0,73	0,61	0,3	0,3	0,3	0,63	0,4	0,42
Tellur (Te)	0,08	0,48	0,31	0,7	0,7	1	0,76	0,32	0,57
Titan (Ti)	0,35	0,61	0,43	0	0	0	0,22	0,32	0,22
Vanadium (V)	0,4	0,93	0,4	0	0,3	1	0,66	0,45	0,53
Wolfram (W)	0,65	0,78	0,5	0,7	0,3	0	0,45	0,77	0,49
Zink (Zn)	0,14	0,37	0,2	1	0	0,3	0,53	0,94	0,44
Zinn (Sn)	0,25	0,53	0,4	1	0,3	0	0,63	0,82	0,48
Zirkon	0,1	0,53	0,75	0,3	0	0,7	0,68	0,6	0,47
Energieträger									
Erdöl	0,17	0,37	0,20	0,70	0	0,00	1,00	0,70	0,40
Erdgas	0,18	0,59	0,24	0,30	0,3	0,00	1,00	0,70	0,43
Hartkohle	0,38	0,82	0,14	0,00	0,3	0,00	1,00	0,70	0,43
Weichbraunkohle	0,16	0,71	0,34	0,00	0,3	0,00	1,00	0,70	0,42
Uran	0,19	0,69	0,51	0,70	0,3	0,00	1,00	0,70	0,51

Tabelle A 2 Water Stress Index auf Länderebene [13]

Land	Wasser Stress Index
A	
Ägypten	0,98
Äquatorialguinea	0,01
Äthiopien	0,21
Afghanistan	0,97
Albanien	0,13
Algerien	0,79
Andorra	
Angola	0,02
Antigua und Barbuda	
Argentinien	0,35
Armenien	0,98
Aserbaidschan	0,90
Australien	0,40
B	
Bahamas	
Bahrain	
Bangladesch	0,50
Barbados	
Belgien	0,72
Belize	0,01
Benin	0,02
Bhutan	0,02
Bolivien	0,37
Bosnien und Herzegowina	0,08
Botsuana	0,68
Brasilien	0,07
Brunei	0,01
Bulgarien	0,39
Burkina Faso	0,02
Burundi	0,01
C	
Chile	0,74
China	0,48
Costa Rica	0,02
D	
Dänemark	0,07
Deutschland	0,12
Dominica	
Dominikanische Republik	0,11
Dschibuti	0,04
E	
Ecuador	0,18
El Salvador	0,02
Elfenbeinküste	0,01
Eritrea	0,61
Estland	0,03
F	
Fidschi	0,01
Finnland	0,42
Frankreich	0,18
G	
Gabun	0,01
Gambia	0,02
Georgien	0,68
Ghana	0,06
Grenada	
Griechenland	0,71
Großbritannien	0,40
Guatemala	0,01
Guinea	0,02
Guinea-Bissau	0,01
Guyana	0,01
H	
Haiti	0,05
Honduras	0,01
I	
Indien	0,97
Indonesien	0,18
Irak	0,97
Iran	0,91
Irland	0,02
Island	0,01
Israel	1,00
Italien	0,27

Land	Wasser Stress Index
J	
Jamaika	0,01
Japan	0,32
Jemen	0,94
Jordanien	0,97
K	
Kambodscha	0,09
Kamerun	0,01
Kanada	0,10
Kap Verde	
Kasachstan	0,62
Katar	1,00
Kenia	0,02
Kirgistan	1,00
Kiribati	
Kolumbien	0,04
Komoren	-
Kongo, Republik	0,01
Kongo, Demokratische Republik	0,01
Kroatien	0,05
Kuba	0,23
Kuwait	1,00
L	
Laos	0,03
Lesotho	0,99
Lettland	0,02
Libanon	0,83
Liberia	0,01
Libyen	0,99
Liechtenstein	
Litauen	0,04
Luxemburg	0,10
M	
Madagaskar	0,03
Malawi	0,01
Malaysia	0,04
Malediven	
Mali	0,27
Malta	
Marokko	0,84
Marshallinseln	
Mauretanien	0,09
Mauritius	-
Mazedonien	0,53
Mexiko	0,76
Mikronesien	
Moldawien	0,14
Monaco	
Mongolei	0,05
Montenegro	0,10
Mosambik	0,20
Myanmar	0,02
N	
Namibia	0,02
Nauru	
Nepal	1,00
Neuseeland	0,02
Nicaragua	0,03
Niederlande	0,31
Niger	0,17
Nigeria	0,30
Niue	
Nordkorea	0,37
Norwegen	0,08
O	
Österreich	0,10
Oman	0,98

Land	Wasser Stress Index
P	
Pakistan	0,97
Palau	
Palästinensische Gebiete	1,00
Panama	0,01
Papua-Neuguinea	0,01
Paraguay	0,01
Peru	0,72
Philippinen	0,40
Polen	0,07
Portugal	0,57
R	
Ruanda	0,02
Rumänien	0,10
Russland	0,11
S	
Sahara	0,15
Salomonen	0,01
Sambia	0,01
Samoa	
San Marino	
São Tomé und Príncipe	
Saudi-Arabien	1,00
Schweden	0,04
Schweiz	0,09
Senegal	0,11
Serbien	0,10
Seychellen	
Sierra Leone	
Simbabwe	0,19
Singapur	0,48
Slowakei	0,09
Slowenien	0,10
Somalia	0,15
Spanien	0,72
Sri Lanka	0,61
St. Kitts und Nevis	
St. Lucia	
St. Vincent und die Grenadinen	
Sudan	0,32
Südafrika	0,69
Südkorea	0,60
Suriname	0,01
Swasiland	0,02
Syrien	1,00
T	
Tadschikistan	1,00
Taiwan	0,48
Tansania	0,01
Thailand	0,53
Timor-Leste	0,01
Togo	0,01
Tonga	
Trinidad und Tobago	0,51
Tschad	0,03
Tschechien	0,14
Tunesien	0,91
Turkmenistan	1,00
Turks- und Caicosinseln	
Tuvalu	
Türkei	0,78
U	
Uganda	0,02
Ukraine	0,30
Ungarn	0,10
Uruguay	0,01
USA	0,50
Usbekistan	0,99
V	
Vanuatu	0,01
Vatikanstadt	
Venezuela	0,30
Vereinigte Arabische Emirate	1,00
Vietnam	0,35
W	
Weißrussland	0,08
Z	
Zentralafrikanische Republik	0,01
Zypern	0,88

Tabelle A 3 Nationale Emissionshöchstmengen (NEC) für Deutschland. Hierbei NEC_1: gegenwärtig gültige NEC; für Feinstaub wurde der im revidierten Göteborg-Protokoll festgelegte Wert verwendet. NEC_2: NEC, die eine Verbesserung des Umweltzustands ermöglichen, die international als „mittleres Anspruchsniveau“ betrachtet wird [9]. NEC_3: NEC, die eine deutliche Verbesserung des Umweltzustands ermöglichen würden (hier pragmatisch: $NEC_3 = 0,5 \times NEC_2$).

	SO ₂ [kt]	NO _x [kt]	NH ₃ [kt]	NMVOC [kt]	Feinstaub (PM _{2,5}) [kt]
NEC_1	520	1051	550	995	89,5
NEC_2	324	652	426	826	79
NEC_3	162	326	213	413	40

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 [21]. Diese Berichterstattung umfasst jedoch nur ausgewählte Schadstoffe. Mit Stand 2012 sind dies Stickstoffoxide (NO_x), flüchtige organische Verbindungen (NMVOC), Schwefeloxide (SO_x), Ammoniak (NH₃), Kohlenmonoxid (CO), drei Staubfraktionen (PM_{2,5}, PM₁₀, 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)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, 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 [12] und dem Faktor $106 \cdot 8760$ h/a. Dieser Faktor entspricht etwa dem geometrischen Mittelwert der entsprechenden Faktoren für die nationalen Emissionsmengen in der Berichterstattung des Jahres 2012. 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 [22] 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.

Tabelle A 4 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 Abbauand (Deutschland)	Umwandlung von Ackerland in Standort für Freiflächenvoltaik (Deutschland)
IST-Zustand (2010) Flächenbelegung Flächennutzungsänderung	Urwald - 14 Millionen Hektar pro Jahr	Ackerland 11,847 Mio. ha + 270 Hektar pro Tag	SV-Fläche 4,770 Mio. ha + 76,7 Hektar pro Tag	Abbauand 0,16 Mio. ha + 7,1 Hektar pro Tag	FF-PV ca. 0,015 Mio. ha bis zu + 15 Hektar pro Tag
Handlungsziele 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)

Herunterbrechen des 30-Hektar-Ziels für Siedlungs- und Verkehrsflächen auf Wirtschaftszweige/Aktivitäten

Nutzungsart	Wirtschaftszweig Wohnungsbau, Bedürfnisfeld Wohnen	Wirtschaftszweig 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 Flächennutzungsänderung	1,662 Mio. ha + 17,8 Hektar pro Tag, davon Einfamilienhäuser + 14,2 Hektar pro Tag (1,028 Mio. ha) Zweifamilienhäuser + 2,0 Hektar pro Tag	0,88 Mio. ha + 15,3 Hektar pro Tag	0,40 Mio. ha + 23,1 Hektar pro Tag	1,79 Mio ha + 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,

Flächennutzungs-Änderung	Verlust von Urwäldern (global)	Umbruch von Dauergrünland zu Ackerland (Deutschland)	Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche (Deutschland)	Umwandlung von Flächen in Abbau-land (Deutschland)	Umwandlung von Ackerland in Standort für Freiflächen-voltaik (Deutschland)
	tar pro Tag (0,356 Mio. ha) Mehrfamili- enhäuser + 1,6 Hektar pro Tag (0,278 Mio. ha)				Flughäfen): ca. + 2
Teilziel	+ 7,1 Hektarpro Tag <i>Bedarfsge- recht umzu- legen auf Wohnungs- typen</i>	+ 6,1 Hektar pro Tag	+ 9,2 Hektar pro Tag	+ 8,2 Hektar pro Tag	jeweils Redukti- on um 60 Prozent

Vereinfachte Umweltbewertungen des Umweltbundesamtes (VERUM)

Teil II: Evaluierung und Fallbeispiele

Stand März 2014

Glühlampe versus Kompaktleuchtstofflampe

Handtrocknungssysteme

Fallbeispiel Gütertransporte

VERUM

Fallbeispiel Lampen

(Glühlampe versus Kompaktleuchtstofflampe)

29. November 2013

Bearbeitung:

Ines Oehme, III 1.3

Christoph Mordziol, I 2.4

Katrin Süring, II 1.5

Anja Lüdecke, II 1.3

1 Zieldefinition und Vorprüfung

1.1 Ziel

Ziel der Untersuchung ist es, Lampentechniken zu vergleichen, die dazu dienen, Sichtbarkeit im Wohnbereich mit warmweißem Licht (2700 K) und mit guter Farbwiedergabe (Farbwiedergabeindex CRI > 80) herzustellen.

Zur Vereinfachung des Fallbeispiels, welches vor allem dazu dient, den Leitfaden für vereinfachte ökologische Bewertungen des Umweltbundesamtes zu testen, erfolgt eine Beschränkung des Vergleiches auf Glühlampen (GL) und Kompaktleuchtstofflampen (KLL), mit der Referenz des Lichtstromes einer 60-Watt-Standardglühlampe.

Für die Beantwortung der Frage, welche Lampentechnik für die Anwendung in Haushalten (oder speziell Wohnbereich) mit den geringsten Umweltbelastungen verbunden ist, müssten zusätzlich weitere Lampentechniken wie zum Beispiel Lampen auf Basis licht emittierender Dioden (LED-Lampen), nicht-kompakte Leuchtstofflampen sowie Halogennetzspannungs- und Halogenniederspannungslampen einbezogen werden. Außerdem wäre ein benötigter Lichtstrom für einen Wohnraum zu definieren und zu untersuchen, ob und wie sich die Umweltwirkungen ändern, wenn der benötigte Lichtstrom nicht durch eine oder wenige Lampe bereit gestellt wird, sondern durch mehrere Lampen der gleichen Lampentechnik, aber mit geringerem Lichtstrom pro Lampe.

1.2 Prüfung der Notwendigkeit

Für die Verbraucherberatung und die Regulierung von Lampentechniken (Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG) besteht der Bedarf nach ökologischen Bewertungen. Es liegen bereits diesbezügliche Ökobilanzen oder ökologische Bewertungen vor, unter anderem:

- ▶ Pfeifer, R. (1994): Produktlinienanalyse Glühlampe versus Energiesparlampe, Öko-Institut e. V., , Freiburg.
- ▶ VITO (2009), BioIS, Energy Piano, Kreios: Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs, Lot 19 – Domestic Lighting, Study for European Commission DGTREN, Final Report, October 2009.
- ▶ Defra (Hrsg.): Life Cycle Assessment of Ultra-Efficient Lamps, Mai 2009, London.
- ▶ Welz, T.; Hischer, R., Hilty, L.M.(2011): Environmental impacts of lighting technologies - Life cycle assessment and sensitivity analysis, Environmental Impact Assessment Review 31, S. 334-343.

Insofern würde kein Bedarf für eine vereinfachte Bewertung bestehen. Das Fallbeispiel Lampen wurde jedoch ausgewählt, um die vereinfachte Methodik nach VERUM zu prüfen und die erzielten Ergebnisse mit den Ergebnissen von vorliegenden Ökobilanzen zu vergleichen.

1.3 Beschreibung des Produktlebensweges

Als „Glühlampe“ werden Leuchtmittel bezeichnet, bei denen das Licht erzeugt wird, indem ein feiner Draht von einem ihn durchfließenden Strom zum Glühen gebracht wird. Der Draht wird von einer Hülle umschlossen, die mit einem den Glühvorgang beeinflussenden Gas gefüllt sein kann. „Herkömmliche Glühlampe“ bezeichnet eine Glühlampe, deren Glühfaden von einer evakuierten oder mit einem Inertgas gefüllten Hülle umschlossen ist. Standardglühlampen sind herkömmliche Glühlampen mit einem klaren Kolben in Birnenform in Standardgröße, gefüllt nicht mit Krypton, sondern zum Beispiel Stickstoff, mit E27-Schraubsockel und einer Lebensdauer von 1.000 Stunden. Im Unter-

schied dazu ist eine „Halogenleuchtstofflampe“ eine Glühlampe, deren Glühfaden von einer mit Halogenen oder Halogenverbindungen gefüllten Hülle umschlossen ist⁶. Die Untersuchung bezieht sich auf herkömmliche Glühlampen.

Eine herkömmliche Glühlampe besteht aus Aluminium, Kupfer, einem Wolframglühfaden, Glas, Lötzinn und ggf. einem Füllgas. Glühlampen wurden/werden vorwiegend in Europa gefertigt. Ihre Nutzungsdauer beträgt im Durchschnitt 1.000 Brennstunden. Die Entsorgung erfolgt über den Restmüll und somit maßgeblich über die kommunalen Müllverbrennungsanlagen.

„Kompaktleuchtstofflampen“ mit eingebautem Vorschaltgerät (umgangssprachlich häufig als Energiesparlampen bezeichnet)⁷ sind eine Sonderform von Leuchtstofflampen, welche zu den Niederdruckentladungslampen gehören. Leuchtstofflampen erzeugen das Licht durch Leuchtstoffe, die durch die ultraviolette Strahlung der Entladung von Quecksilberdampf angeregt werden.

Eine Kompaktleuchtstofflampe besteht aus Aluminium, Kupfer, Glas, Kunststoff, Lötzinn, der Elektronik des Vorschaltgerätes, Klebstoff, einem oder mehreren Leuchtstoffen und Quecksilber. Kompaktleuchtstofflampen werden zu einem großen Teil in Asien gefertigt. Ihre Nutzungsdauer ist unterschiedlich. Die mittlere Lebensdauer beträgt im Allgemeinen zwischen 6.000 und 15.000 Brennstunden. Kompaktleuchtstofflampen unterliegen den Anforderungen des Elektro- und Elektronikgeräte-Gesetzes, welches eine vom Restabfall getrennte Sammlung für diese Lampen vorsieht. Die Kommunen sind verpflichtet, Sammelstellen einzurichten, bei welchen Verbraucherinnen und Verbraucher die Altlampen kostenlos zurückgeben können. Einige Hersteller haben das freiwillige, kollektive Rücknahmesystem Lightcycle gegründet. Je nach Verwertungsverfahren lassen sich verschiedene stoffliche Fraktionen gewinnen. Einem Recycling werden vor allem Glas, Aluminium und zunehmend auch die Leuchtstoffe zugeführt.

1.4 Ermittlung des Belastungsprofils

Die folgende Tabelle enthält die qualitative Bewertung, welche Belastungskategorien für einen Vergleich von Glühlampe und Kompaktleuchtstofflampe relevant sind.

⁶ Vgl. auch Verordnung (EG) Nr. 244/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht, Artikel 2, Pkt. 7 und 8.

⁷ Die Bezeichnung „Energiesparlampe“ war früher nicht reglementiert. Sie wurde häufig für Kompaktleuchtstofflampen verwendet, aber auch für bestimmte Halogenleuchtstofflampen oder auch LED-Lampen. Tatsächlich ist bei diesen Lampen die Ersparnis an Elektroleistung recht unterschiedlich: Sie reicht von rund 20 bis 80 v.H. Inzwischen gilt die EG-Verordnung 244/2009, nach der eine Lampe nur noch dann als Energiesparlampe oder ähnlich bezeichnet werden darf, wenn sie eine bestimmte Effizienz hat – umgerechnet entspricht dies einer Minderung der Elektroleistung (Watt) um mindestens 70 v.H. gegenüber einer Standardglühlampe. Dies gilt für alle Lampen – unabhängig von der Lichterzeugungstechnik. Erreicht wird der genannte Wert nur von einem Teil der Kompaktleuchtstofflampen und der LED-Lampen. Als Synonym für Kompaktleuchtstofflampe sollte die Bezeichnung „Energiesparlampe“ deshalb nicht mehr verwendet werden. Deshalb verwenden wir die Bezeichnung Energiesparlampe nicht pauschal.

Tabelle 27 Prüfung, welche Belastungsarten und -kategorien in der vereinfachten ökologischen Bewertung zu analysieren sind

Belastungsart	Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen	Ist die Belastungskategorie für die konkrete Fragestellung relevant? Wenn ja, wodurch wird die Belastung hervorgerufen?
Chemische Belastungen	Treibhausgase	Einsatz fossiler Energien Landnutzungsänderungen Einsatz von Kältemitteln und klimawirksamen Schutzgasen (z.B. SF6)	✓ Belastung vor allem durch Stromverbrauch in der Nutzungsphase.
	Gefährliche Stoffe / Nährstoffe in Außenluft	Bei Freisetzung von Gasen oder Partikeln in die Außenluft, insbesondere durch: Großfeuerungsanlagen Industrieanlagen sonstige Feuerungsanlagen sonstige Verbrennungsmotoranlagen Verkehr Landwirtschaft Lösemittelanwendungen	✓ Bezüglich des in Kompaktleuchtstofflampen enthaltenen Quecksilbers ist die Ermittlung einer Quecksilberstoffstrombilanz relevant, die auch die Quecksilberemissionen der Stromerzeugung berücksichtigt. Weitere stoffliche Luftbelastungen entstehen bei Rohstoffgewinnung, Materialverarbeitung, Herstellung, Transport, Stromverbrauch in der Nutzungsphase und Entsorgung.
	Schadstoffe in Innenräumen	Belastungen durch gas- und staubförmige Schadstoffe sowie Einträge mit Schwermetallen aus technischen Prozessen (Beispiel: Hg aus Lampen) in Innenräumen spielen dann eine Rolle, wenn großflächig Produkte eingesetzt werden, die bspw. Lösemittel oder Weichmacher enthalten oder durch Klebstoffe fixiert werden, wie: Teppiche, Fußbodenbeläge, Farben, Lacke, Spanplattenmöbel, Holzeinbauten. Inventar sonstige technische Produkte (Lampen, PCs, Drucker etc.)	✓ VOC-Emissionen in der Nutzungsphase. Belastungen gering, jedoch aufgrund der gesundheitlichen Relevanz zu prüfen.

Belastungsart	Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen	Ist die Belastungskategorie für die konkrete Fragestellung relevant? Wenn ja, wodurch wird die Belastung hervorgerufen?
Physikalische Belastungen	Abwasser	Belastungen durch Stoffeinträge in Gewässer spielen dann eine Rolle, wenn Abwasser aus relevanten Branchen (Bergbau, Textilindustrie, etc.) und kommunalen Einleitungen anfällt. Emissionen eutrophierender Stoffe werden dann betrachtet, wenn keine 3. Reinigungsstufe regelmäßig wie in Deutschland vorhanden ist. Andernfalls sind die Punktquellen im Vergleich zum diffusen Nährstoffeintrag gering.	✓ Belastungen bei Rohstoffgewinnung, ggf. auch bei Materialverarbeitung, Herstellung, Nutzung (durch Stromerzeugung) und Entsorgung.
	Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge	Belastungen von Gewässern durch diffuse Nährstoffeinträge spielen dann eine Rolle, wenn es um landwirtschaftliche Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln, pflanzlichen Rohstoffen oder Energiepflanzen geht oder Stoffe in den Untergrund eingebracht werden.	✗ Keine relevanten Belastungen.
	Lärm	Im Zusammenhang mit dem Produkt gibt es gehäuft Beschwerden über Geräusch- oder Lärmbelastung/-belastung. Lärm, Schall, Geräusch und/oder Akustik wird konkret in der Produkt- bzw. Dienstleistungsbeschreibung genannt. Ein Motor, ein Generator oder eine sonstige schnell bewegliche Baugruppe ist in dem Produktsystem vorhanden.	✗ Keine relevanten Belastungen

Belastungsart	Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen	Ist die Belastungskategorie für die konkrete Fragestellung relevant? Wenn ja, wodurch wird die Belastung hervorgerufen?
		<p>Es handelt sich um ein Verkehrsmittel oder einen Verkehrsweg.</p> <p>Im Zusammenhang mit der Dienstleistung wird unbedingt eine Anlage und/oder ein Produkt mit Motor, Generator, schnell beweglichen Baugruppen und/oder ein Verkehrsmittel bzw. Verkehrsweg benutzt .</p>	
	Strahlung	<ul style="list-style-type: none"> • Mobilfunk, Mobiltelefone, Radar • Elektrische Geräte • Hochspannungsleitungen • Bauprodukte (Radon) • Kernkraft 	<p style="text-align: center;">✓</p> <p>Elektromagnetische Felder und optische Strahlung in der Nutzungsphase.</p>
	Mechanische Tötung von Tieren	<p>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.</p> <p>Wasserkraft (Verluste aquatischer Organismen an Turbinen und Rechen von Wasserkraftanlagen)</p> <p>Windenergie (Vogelschlag an Rotoren von Windenergieanlagen)</p> <p>Verkehrssysteme, Tötung durch Überfahren (Straße, Bahn).</p> <p>Anlagen- und Siedlungsbau: Vogelschlag</p>	<p style="text-align: center;">✗</p> <p>Keine relevanten Belastungen.</p>

Belastungsart	Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen	Ist die Belastungskategorie für die konkrete Fragestellung relevant? Wenn ja, wodurch wird die Belastung hervorgerufen?
		Viehzucht, Jagd, Fischerei Stromschlag	
Biologische Belastungen	Krankheitserreger	Temperaturverminderung bei hohen Temperaturen Temperaturerhöhung bei niedrigen Temperaturen Erhöhung von Feuchtigkeit Vorhandensein/bessere Verfügbarkeit von organischen Stoffen Vorhandensein von biologisch leicht abbaubaren Stoffen Reduktion/Vermeidung von Desinfektionsmitteln oder Konservierungsmitteln Einsatz von bisher unbekanntem Desinfektionsmitteln oder -verfahren Aerosolbildung, strömende Luft-Wasser Kontaktflächen Stagnationszonen oder -perioden in sonst fließenden wässrigen Systemen Recycling von Stoffströmen mit organischen Komponenten (insbesondere Klärschlamm)	✗ Keine relevanten Belastungen.
	Invasoren	Kommerzielle Nutzung gebietsfremder oder genetisch veränderter Arten in offenen Systemen Bau von Kanälen Ballastwasser	✗ Keine relevanten Belastungen
Ressourceninanspruchnahme	Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energie	Verbrauch mineralischer Rohstoffe inklusive fossiler Energieträger, von denen Verfügbarkeitsrisiken ausgehen, welche die intra- und intergenerative Verteilungs- und Versorgungsgerechtigkeit gefährden.	✓ Es kommen Aluminium und Kupfer zum Einsatz. In den Leuchtstoffen der Kompaktleuchtstofflampen kommen seltene Erden zum Einsatz.

Belastungsart	Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen	Ist die Belastungskategorie für die konkrete Fragestellung relevant? Wenn ja, wodurch wird die Belastung hervorgerufen?
	Energieträger		
	Verbrauch biotischer Rohstoffe	Nutzung knapper biotischer Rohstoffe bei denen Nutzungskonkurrenzen bzw. Knappheiten zu befürchten sind, z.B. langsam nachwachsende Hölzer.	✘ Keine relevanten Belastungen
	Wasserverbrauch	Erzeugung von Agrar- und Forstprodukten (Nahrungs- und Futtermittel, Nachwachsende Rohstoffe, Energiepflanzen) Wasserintensive Industrieproduktion	✘ Keine relevanten Belastungen
	Naturraumbeanspruchung	Relevante Technologien für terrestrische Naturraumbeanspruchung: Agrar- und forstwirtschaftliche Produkte sowie Biomasse, Gewinnung, Verteilung, Speicherung erneuerbarer Energien Verkehrsträger, Transporte, Bedürfnisfeld Mobilität Industrie, Handel, Dienstleistungen, sonstige Infrastrukturen (z.B. Krankenhäuser, Abfalldeponien), Bedürfnisfeld Konsum Freizeit, Erholung, Sport, Friedhöfe Wohnungsbau, Bedürfnisfeld Wohnen Rohstoffgewinnung, Bergbau Sonstiges, z.B. Landesverteidigung, Naturschutz Relevante Technologien für aquatische Naturraumbeanspruchung Energieträger (Wasserkraft, off-shore Windkraft),	✘ Für vereinfachte Bewertung vernachlässigbar.

Belastungsart	Belastungskategorie	Beispiele, die auf eine Betroffenheit der Belastungskategorie schließen lassen	Ist die Belastungskategorie für die konkrete Fragestellung relevant? Wenn ja, wodurch wird die Belastung hervorgerufen?
Störfälle / Unfälle		Verkehrsträger (Schifffahrt), Siedlungsbau Agrarprodukte einschl. Biomasse	
		Einsatz risikorelevanter Technologien Risiken durch nicht ordnungsgemäßen Gebrauch/Einsatz von Produkten Verkehr	<p style="text-align: center;">✓</p> Freisetzung von Quecksilber im Falle des Lampenbruchs bei Kompaktleuchtstofflampen. Belastungen gering, jedoch aufgrund der gesundheitlichen Relevanz zu prüfen.

2 Spezifizierung des Untersuchungsrahmens

2.1 Funktionelle Einheit und Referenzflüsse

Eine übliche Kenngröße zur Bemessung der Stromeffizienz in der Beleuchtung ist die Lampenlichtausbeute (Lumen pro Watt). Diese hat jedoch eine Reihe von Nachteilen, die sie als Kenngröße für die Stromeffizienz (im weiteren Sinne) – vor allem bei Umweltbilanzen – letztlich unbrauchbar macht. Überlegungen zur Vermeidung dieser Nachteile führen zu einem Aufwandskennwert, also dem Verhältnis Aufwand zu Nutzen.

- ▶ Als Aufwand ist nicht der Strombezug am Lampensockel, sondern der „an der Steckdose“ heranzuziehen. Dies ist deshalb relevant, da einige Lampen ein Betriebsgerät (Vorschaltgerät, Transformator) benötigen, das nicht immer in die Lampe integriert ist, und dessen Verbrauch ebenfalls einzubeziehen ist. Dies wäre zum Beispiel für Halogenniedervoltlampen relevant. Es trifft jedoch nicht für die beiden ausgewählten Lampentechniken (Glühlampe und Kompaktleuchtstofflampe mit integriertem Vorschaltgerät) zu.
- ▶ Der Nutzen kann in erster Näherung mit dem von der Lampe abgegebenen Lichtstrom beschrieben werden. Dessen Einheit ist Lumen (lm). Der Lichtstrom einer Lampe ist nur ein Augenblickswert. Umweltbelastungen lassen sich daraus noch nicht ableiten. Das Produkt aus Lichtstrom und Zeit ergibt die Lichtmenge mit der Einheit Lumenstunde – analog zur Elektroenergie (Watt × Stunden = Wattstunden bzw. bei Division durch 1.000 Kilowattstunde). Auf diese Weise lässt sich auch die unterschiedliche Lebensdauer der Lampentechniken berücksichtigen. Bildet man mit der Lichtmenge Aufwandskennwerte, zeigt sich, dass sich mit der Einheit Lumenstunden unhandliche Größen ergeben. Besser ist die Verwendung der Lichtmenge mit der Einheit Megalumenstunden (Mlmh).
- ▶ Dies führt zu Aufwandskennwerten wie beispielsweise kg CO₂-Äquivalent pro Mlmh.

Tabelle 28 Ausgangsdaten Glühlampe (GL) und Kompaktleuchtstofflampen (KLL)

	Glühlampe (GL)	KLL1	KLL2	KLL3
Sockel	E27	E27	E27	E27
Kolben	matt	matt, ohne Hüllkolben	matt, ohne Hüllkolben	matt, mit Hüllkolben
Lichtstrom [lm] geliefert	711	650	900	850
Lichtstrom [lm] Bedarf	711	711	711	711
Leistungsaufnahme [W]	60	11	15	15
Mittlere Lebensdauer [h]	1.000	10.000	10.000	6.000

Die Zeile Bedarf bezieht sich auf die Referenz einer 60 Watt Standardglühlampe. Das bedeutet, bei Ersatz einer 60 Watt Standardglühlampe durch eine Kompaktleuchtstofflampe wird davon ausgegangen, dass der Lichtstrombedarf dem der Glühlampe entspricht, das heißt 711 Lumen beträgt.

Die folgende Tabelle enthält die genutzten Daten zur stofflichen Zusammensetzung der Lampen.

Tabelle 29 Zusammensetzung einer Glühlampe (nach VITO, 2009)

	Masse [g]	Bemerkung
Aluminium	1,5	Blech
Wolfram	0,1	Draht
Glas	25,5	
Kupfer	0,5	Kontakte, Drähte, Sockelstift
Lötzinn	0,2	Kontakte
Isolation (Glas)	6,2	19,7

Tabelle 30 Zusammensetzung einer Kompaktleuchtstofflampe (abgeleitet nach Parson 2006 und VITO et al. 2009)

	Masse [g]	Bemerkung
Aluminium	1,5	Blech
Kupfer	0,5	Kontakte, Drähte, Sockelstift
Glas	25 (mit zweitem Hüllkolben 47)	
Quecksilber	0,0035	
Elektronik	20	Vorschaltgerät
Klebstoff	3,6	
Kunststoff	25	
Lötzinn	0,2	
Sonstiges	1,1	z. B. Leuchtstoff

2.2 Systemgrenzen

Relevant für den Vergleich von Lampen sind alle Lebenswegabschnitte, das heißt Rohstoffgewinnung, Herstellung, Transport, Nutzung und Entsorgung. Im Rahmen der vereinfachten Bewertung und ohne Rückgriff auf Ökobilanzsoftware waren jedoch keine Daten für den Transport und die Entsorgung generierbar, so dass diese beiden Lebenswegphasen unberücksichtigt bleiben mussten.

Generell gilt für industrielle Produkte, dass der Transport normalerweise nur einen geringen Beitrag zu den Umweltbelastungen und zum Ressourcenverbrauch liefert. Jedoch wurden Glühlampen vorwiegend in der EU gefertigt, während die Produktion von Kompaktleuchtstofflampen zum überwiegenden Teil in Asien stattfindet. Insofern könnte ein Unterschied feststellbar sein, der das Ergebnis des Vergleiches jedoch nicht grundsätzlich verändern dürfte.

Auch in der Entsorgung sind Unterschiede zu erwarten, da Glühlampen mit dem Restmüll entsorgt werden, während Kompaktleuchtstofflampen der Rücknahme über die kommunalen oder freiwilligen Sammelstellen im Handel zuzuführen sind. Eine ordnungsgemäße Rückgabe erfolgt jedoch nur für einen Teil der Kompaktleuchtstofflampen. Es sind aber keine belastbaren Daten zur Bestimmung einer Rückgabequote verfügbar. Für ordnungsgemäß entsorgte Lampen findet ein Recycling der Metalle und des Glases statt, so dass hier Gutschriften zu verbuchen wären. Aufgrund fehlender Daten

unter den Bedingungen einer vereinfachten Bewertung erfolgte keine Berücksichtigung der Entsorgung.

2.3 Abschneidekriterien und Annahmen

- ▶ Statt des Anfangslichtstromes sollte der über die Lebensdauer gemittelte Lichtstrom verwendet werden. Dies ist jedoch vor allem für spezifische Vergleiche einzelner konkreter Lampen relevant. Im vorliegenden Beispiel sind allgemeine Durchschnittswerte zu nutzen.
- ▶ Statt des üblicherweise verwendeten Wertes der mittleren Lebensdauer sollte die Nutzlebensdauer herangezogen werden. Die mittlere Lebensdauer ist die Zeit in Stunden, nach der die Hälfte der Testlampen noch funktionsfähig ist, bzw. 50 Prozent der Lampen ausgefallen sind. Bei LED-Lampen spielt der plötzliche Ausfall durch Versagen der Lampe eine nicht so große Rolle. Bei diesen Lampen macht sich eher bemerkbar, dass der Lichtstrom sinkt. Als Lebensdauer von LED-Lampen wird im allgemeinen die Zeit in Stunden angegeben, die vergeht, bis der Lichtstrom der Lampe auf einen bestimmten Anteil seines Anfangswertes gesunken ist: üblicherweise 70 oder 50 Prozent. Aber auch bei anderen Lampen nimmt der Lichtstrom über die Lebensdauer ab. Aus Sicht des UBA ist eine gute Nutzlebensdauer definiert durch eine Lampenüberlebensrate von mindestens 70 oder besser 80 Prozent und einen Mindestwert für den Lichtstrom von 80 Prozent des Anfangslichtstromes. Auch für diese Parameter trifft zu, dass sie sich eher für den Vergleich konkreter Produkte eignen. Dem UBA liegen für diese Parameter zu wenige Produktdaten vor, um statistische Mittelwerte zu bestimmen. Im vorliegenden Beispiel sind allgemeine Durchschnittswerte zu nutzen.
- ▶ Bei Lampen steigt die Effizienz bei gleicher Technik mit der Produktgröße – so wie dies bei vielen energiebetriebenen Produkten der Fall ist. Die Effizienz eines Lampentyps lässt sich deshalb nicht mit einem einzigen Wert beschreiben. Dieser Zusammenhang wird für den vorliegenden Vergleich vernachlässigt und als Referenz der Lichtstrom einer 60-W-Standardglühlampe gesetzt.

3 Belastungsermittlung

3.1 Qualitative Belastungsermittlung

Tabelle 31 Qualitative Belastungsermittlung

Belastungskategorie	Qualitative Belastungsermittlung
Treibhausgase	Treibhausgasemissionen, bedingt durch den Energieeinsatz bei der Rohstoffgewinnung, der Herstellung, dem Transport, der Nutzung und der Entsorgung.
Gefährliche Stoffe in Außenluft	Bezüglich des in Kompaktleuchtstofflampen enthaltenen Quecksilbers ist die Ermittlung einer Quecksilberstoffstrombilanz relevant, die auch die Quecksilberemissionen der Stromerzeugung berücksichtigt. Weitere stoffliche Luftbelastungen entstehen bei Rohstoffgewinnung, Materialverarbeitung, Herstellung, Transport, Nutzungsphase (Stromerzeugung) und Entsorgung. Da die genutzte Datenquelle PROBAS ⁸ keine einheitliche Datenbasis für die Luftemissionen für die in den Lampen eingesetzten Materialien und die Stromerzeugung enthält und im Rahmen einer vereinfachten Bewertung kein Zugriff auf kommerzielle Ökobilanzsoftware erfolgen kann, ist eine quantitative Belastungsermittlung nicht möglich. Die Belastungen werden jedoch maßgeblich durch die Stromerzeugung in der Nutzungsphase dominiert. Es ist daher zu erwarten, dass für die Belastungskategorie gefährliche Stoffe in Außenluft eine ähnliche relative Bewertung der beiden Lampentechniken resultieren würde wie für die Belastungskategorie Treibhausgase.
Schadstoffe in Innenräumen	Emissionen flüchtiger organischer Kohlenwasserstoffe in der Nutzungsphase. Belastungen gering, aber aufgrund der gesundheitlichen Relevanz dennoch zu prüfen.
Abwasser	Abwasseremissionen entstehen bei Rohstoffgewinnung, Herstellung, Transport, Nutzungsphase (Stromerzeugung) und Entsorgung. Da die genutzte Datenquelle PROBAS keine einheitliche Datenbasis für die Abwasseremissionen für die in den Lampen eingesetzten Materialien und die Stromerzeugung enthält und im Rahmen einer vereinfachten Bewertung kein Zugriff auf kommerzielle Ökobilanzsoftware erfolgen kann, ist eine quantitative Belastungsermittlung nicht möglich. Die Belastungen werden jedoch maßgeblich durch die Stromerzeugung in der Nutzungsphase dominiert. Es ist daher zu erwarten, dass für die Belastungskategorie Abwasser eine ähnliche relative Bewertung der beiden Lampentechniken resultieren würde wie für die Belastungskategorie Treibhausgase.
Strahlung	Elektromagnetische Felder und optische Strahlung in der Nutzungsphase sind zu prüfen.

⁸ PROBAS – Prozessoptimierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente, www.probas.umweltbundesamt.de

Belastungskategorie	Qualitative Belastungsermittlung
Verbrauch mineralischer Rohstoffe und fossiler Energieträger	Sowohl bei Glühlampen als auch bei Kompaktleuchtstofflampen kommen Aluminium und Kupfer zum Einsatz, in den Leuchtstoffen der Kompaktleuchtstofflampen seltene Erden. Seltene Erden haben mit 0,72 einen besonders hohen Versorgungskritikalitätsindex. In jüngster Zeit erfolgte ein Aufbau von Recyclingverfahren zur Gewinnung Seltener Erden aus den Leuchtstoffen von Lampen. In der quantitativen Bewertung wird diese Belastungskategorie auf Grund fehlender Daten zu den Einsatzmengen nicht weiter berücksichtigt.
Störfälle / Unfälle	Freisetzung von Quecksilber im Falle des Lampenbruchs bei Kompaktleuchtstofflampen. Belastungen gering, aber aufgrund der gesundheitlichen Relevanz dennoch zu prüfen.

3.2 Quantitative Belastungsermittlung

3.2.1 Chemische Belastungen

Treibhausgase

Zur Belastungsermittlung dienten die in PROBAS (Prozessorientierte Basis-Daten für Umweltmanagement-Instrumente)⁹ verfügbaren Daten für die eingesetzten Materialien und die Stromerzeugung (EL-KW-Park-DE-2010). Im Rahmen der dem UBA kurzfristig verfügbaren Quellen waren keine Daten zur Umweltbelastung der Elektronik (Vorschaltgerät) und zum Energieaufwand der Herstellung verfügbar. Die diesbezüglichen Daten wurden daher aus VITO (2009) übernommen. Im Rahmen der vereinfachten Bewertung konnten keine Daten zum Transport und zur Entsorgung ermittelt werden.

Tabelle 32 Treibhausgasäquivalente (kg CO₂eq.) je Megalumenstunde (Mlmh) nach Lichtstrombedarf

	Glühlampe	KLL 1	KLL 2	KLL 3
Herstellung	7,42E-02	9,81E-02	9,81E-02	1,69E-01
Nutzung	4,77E+01	8,75E+00	1,19E+01	1,19E+01
Summe pro Lampe	4,78E+01	8,85E+00	1,20E+01	1,21E+01

Tabelle 33 Treibhausgasäquivalente (kg CO₂eq.) je Megalumenstunde (Mlmh) für abgegebenen Lichtstrom

	Glühlampe	KLL 1	KLL 2	KLL 3
Herstellung	7,42E-02	9,81E-02	9,81E-02	1,69E-01
Nutzung	4,77E+01	9,57E+00	9,43E+00	9,98E+00
Summe pro Lampe	4,78E+01	9,67E+00	9,52E+00	1,02E+01

⁹ www.probas.umweltbundesamt.de

Die Auswertung nach dem Lichtstrombedarf (Tabelle 32) geht von der Annahme aus, dass bei Ersatz einer 60 Watt Standardglühlampe durch eine Kompaktleuchtstofflampe, der Bedarf des Lichtstromes der 60 Watt Standardglühlampe mit 710 Lumen ausschlaggebend ist. Die verfügbaren Kompaktleuchtstofflampen liefern technisch bedingt häufig jedoch einen anderen Lichtstrom. KLL1 weniger (650 Lumen) und KLL 2 und 3 mehr (850 Lumen bzw. 900 Lumen). Für KLL 2 und 3 entstehen daher bei einer Normierung auf den Bedarf höhere Emissionen als für KLL 1. Bei einer Normierung auf den tatsächlich gelieferten Lichtstrom wie in Tabelle 33 bestehen jedoch kaum Unterschiede. Die unterschiedliche Lebensdauer der Lampen führt nur zu kleinen Unterschieden im Ergebnis.

Tabelle 34 Treibhausgasäquivalente (kg CO₂eq.) pro Lampe bezogen auf den jeweiligen gesamten Lebensweg, d.h. auch für die jeweils unterschiedliche Brenndauer

kg CO ₂ eq je Lampe	Glühlampe	KLL 1	KLL 2	KLL 3
Herstellung	5,28E-02	6,97E-01	6,97E-01	7,22E-01
Nutzung	3,39E+01	6,22E+01	8,48E+01	5,09E+01
Summe	3,40E+01	6,29E+01	8,55E+01	5,16E+01

Gefährliche Stoffe Außenluft – Quecksilberbilanz

Um eine umfassende Quecksilberbilanz für einen Lampentyp vornehmen zu können, ist es nötig, alle Quellen des Metalls von der Herstellung bis zur Entsorgung einzubeziehen. Zudem ist es wichtig, zwischen Quecksilberemissionen in die Umwelt (hier speziell in die Luft), dem Quecksilberrecycling und dem Quecksilber, welches abgeschieden und deponiert wird, zu unterscheiden. Durch entsprechende Vorsichtsmaßnahmen bei der Deponierung ist für Letzteres das Risiko einer Freisetzung und Emission in die Umwelt gut beherrschbar.

1. Quecksilberemissionen in die Umwelt. Diese entstehen:

- a.) Bei der Stromerzeugung durch Verbrennung von Kohle und Biomasse. Dabei wird das darin enthaltene (nicht durch Filtertechnik abgeschiedene) Quecksilber freigesetzt. Das heißt, dass jede kWh Strom, die eine Lampe verbraucht, mit einer bestimmten Menge an Quecksilberemission verbunden ist, solange der Strom aus Kohle und Biomasse erzeugt wird. Diese wird dem Stromverbrauch in der Nutzungsphase angerechnet.
- b.) Bei der Fertigung von Lampen (bei der Quecksilberdosierung; nur sehr geringe Mengen).
- c.) Beim Zerschneiden quecksilberhaltiger Lampen und bei unsachgemäßer Entsorgung dieser mit dem Restmüll (Emissionen von Siedlungsabfallverbrennungsanlagen oder in mechanisch-biologischen Anlagen).

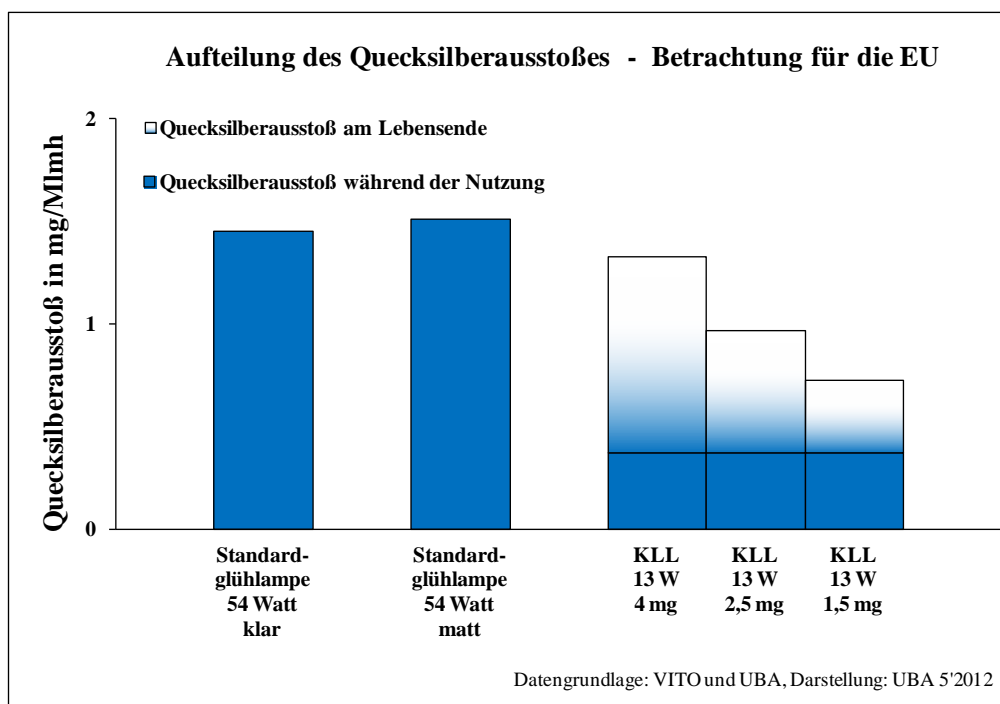
2. Quecksilber, welches abgeschieden und deponiert wird, umfasst:

- a.) bei der Stromerzeugung (aus Kohle und Biomasse) abgeschiedenes Quecksilber in Form von Schlämmen, welche deponiert werden (ein Teil des Quecksilbers gelangt auch in die Flugasche und den Gips der Rauchgasentschwefelungsanlage (REA-Gips), s.u.).
- b.) Quecksilber, das bei der Lampenentsorgung anfällt und nicht recycelt, sondern deponiert wird.
- c.) Quecksilber, das im Restmüll landet, weil die Lampen unsachgemäß entsorgt werden und welches anschließend in Siedlungsabfallverbrennungsanlagen herausgefiltert und deponiert wird.

Bezüglich der aufgelisteten Quecksilberstoffströme sind Daten zu Quecksilberemissionen aus Kohlekraftwerken und zum Gehalt an Quecksilber in Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen) verfügbar. Es gibt jedoch keine ausreichenden Daten dazu, wie viele Lampen nicht ordnungsgemäß entsorgt werden und damit in den Restmüll gelangen. Es sind ebenfalls keine präzisen Daten zu dem Gesamtquecksilbergehalt der Kohle und den Mengen an Quecksilber verfügbar, die im Zuge der Abgasreinigung bei der Stromerzeugung abgeschieden werden. Deshalb ist es derzeit nicht möglich, eine vollständige Quecksilberbilanz zu erstellen, die alle aufgeführten Stoffströme erfasst.

Die folgende Abbildung basiert auf den Ergebnissen von VITO (2009). Verglichen wurden Lampen, die als durchschnittlich für die EU angesehen werden können: links und in der Mitte sind die Balken für zwei herkömmliche Glühlampen (mit klarem und mit mattem Kolben; jeweils mit 54 Watt, was einem theoretischen Mittelwert entspricht); rechts sind drei Balken für eine Kompaktleuchtstofflampe (13 W): eine mit 4 mg Quecksilber, wie es in der Studie als Durchschnittswert angenommen wurde und zu Vergleichszwecken zwei weitere: eine Lampe mit 2,5 mg Quecksilber, was dem seit 1. Januar 2013 geltenden EU-Höchstwert für haushaltsübliche KLL entspricht und eine mit 1,5 mg, da es eine Reihe von Produkten auf dem Markt gibt, die nur 1 - 1,5 mg Quecksilber enthalten. Normiert ist die Darstellung auf eine gleiche Lichtmenge der Lampen.

Abbildung 12 Quecksilberemissionen bei Standardglühlampen und Kompaktleuchtstofflampen (Situation EU)



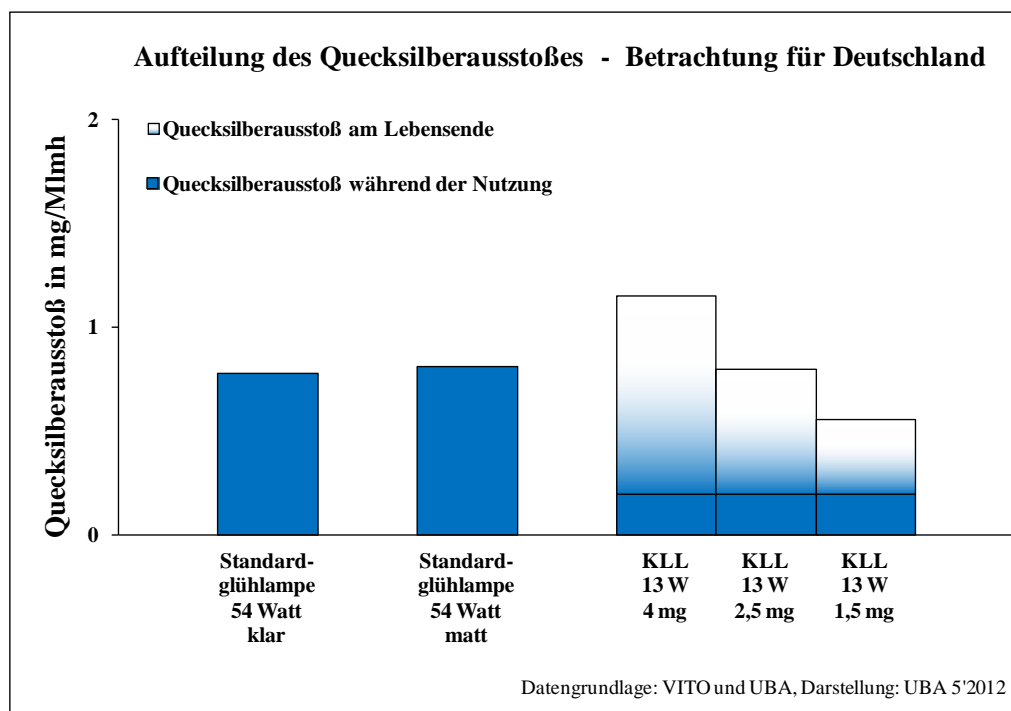
- Die dunklen Teile der Balken stehen für den Quecksilberausstoß der Kraftwerke (Emissionen in die Luft als Mittelwert für die EU¹⁰), der durch die Erzeugung des für die Nutzung benötigten Stroms verursacht wird. Der Quecksilbergehalt der Lampe ist dagegen als farblicher Übergang dargestellt. Dies soll zum einen die Unsicherheit symbolisieren, die diesen Quecksilberbetrag betrifft und zum anderen den Spielraum, den der Verbraucher hat, um durch eine höhere Rückgabequote die Umwelt zu entlasten. Angenommen ist hier, dass 20 % der Lampen von einer Sammelstelle erfasst werden. Das heißt, dass 80 % des Quecksilbergehaltes der Lampen in die Rechnung eingehen.

¹⁰ Siehe Vito et al. (2009), als Emissionswert wird dort 0,016 mg Hg/kWh in die Luft genannt bei einem Einsatz von 31 % Kohle, 22 % Gas und Öl sowie 47 % nichtfossiler Quellen (davon 32 % Atomkraft); Stand: 2008 oder früher.

- ▶ Damit keine oder nur sehr geringe Mengen an Quecksilber aus der Lampe (farblicher Übergangsbereich) in die Umwelt gelangen, sind mehrere Bedingungen notwendig: Die Lampen müssen über die Sammelstellen vollständig zurückgegeben werden; im Anschluss daran wird das Quecksilber entweder recycelt oder sicher deponiert; auch während dieser Phase der Entsorgung sind Emissionen in die Luft zu vermeiden. Im Falle einer unsachgemäßen Entsorgung kann dagegen ein Teil des Quecksilbers in die Luft gelangen, ein anderer Teil wird in der Abfallverbrennung wieder abgeschieden und ebenfalls deponiert.
- ▶ Zu berücksichtigen ist, dass bei der Stromerzeugung aus Kohle und Biomasse Quecksilber ebenfalls zurückgehalten und deponiert wird oder in andere Produkte, z. B. in die Flugasche und in den beim Betrieb von nass arbeitenden Rauchgasentschwefelungsanlagen (REA) anfallenden Gips gelangt. Hierfür liegen aber keine verlässlichen Angaben zur Menge vor (zur Abschätzung der Situation für Deutschland siehe Erläuterungen nach folgender Abbildung). Die Abscheidegrade für Quecksilber in der Stromerzeugung variieren je nach Abgasreinigungstechnik beträchtlich und liegen im Bereich von 30 - 90 %¹¹.

Die folgende Abbildung stellt den Vergleich in etwa für die Situation in Deutschland dar. Obwohl Deutschland einen höheren Anteil an Kohlekraftwerken hat als der EU-Durchschnitt, beträgt aufgrund des hohen Standards der Abgasreinigungstechnik im Kraftwerkspark die Quecksilberemission in die Luft weniger als für den EU-weiten Vergleich angegeben.¹²

Abbildung 13 Quecksilberemissionen bei Standardglühlampen und Kompaktleuchtstofflampen (Situation D)



- ▶ Bei der Stromerzeugung in deutschen Kohlekraftwerken gelangen nach grober Schätzung im Durchschnitt etwa 40 % des in der Kohle enthaltenen Quecksilbers in die Luft, 10 % in die Flugasche, 30 % in den REA-Gips; etwa 20 % finden sich wieder im Schlamm der REA-Abwasseraufbereitungsanlage. Die Emissionen über das gereinigte Abwasser sind sehr gering.

¹¹ BVT -MB GFA: Beste verfügbare Technik – Merkblatt: Großfeuerungsanlagen

¹² Die Quecksilberemissionen der Kraftwerke in Deutschland betragen 2010 5,9 Tonnen bei einer Bruttostromerzeugung von 628,6 TWh. Dies ergibt einen Emissionsfaktor von rund 0,009 mg Hg/kWh.

Aufgrund der unsicheren Datenlage sind diese Quecksilberströme in der Abbildung nicht dargestellt. Es lässt sich aber daraus grob ableiten, dass bei der Stromerzeugung etwa die Hälfte der Menge der dunklen Balken zusätzlich als Quecksilberabfall anfällt, welcher als Sondermüll zu deponieren ist.

Die Ergebnisse eines solchen Vergleiches hängen maßgeblich von der Lebensdauer und vom tatsächlichen Quecksilbergehalt sowie der Erfassungs- und der Recyclingquote der Lampen ab. Außerdem sind der Stand der Abgasreinigungstechnik in Kraftwerken und bei Abfallverbrennungsanlagen, der Anteil der für die Stromerzeugung eingesetzten Kohle und Biomasse und dessen Quecksilbergehalt wichtige Einflussfaktoren.

Schadstoffe in Innenräumen: VOC

Das Umweltbundesamt untersuchte Anfang 2013 einige ausgewählte Lampen auf Emissionen flüchtiger organischer Kohlenwasserstoffe (volatile organic compounds – VOC), darunter auch 2 Kompaktleuchtstofflampen (Lichtstrom äquivalent zu 40 bzw. 60 Watt Glühlampe) und zwei Glühlampen (40 W, 60 W).

Die Untersuchung erfolgte in einer 1 m³ großen Prüfkammer nach einer Brenndauer der Lampen von drei Stunden bei 23 °C und 50 % relativer Luftfeuchte. Der Luftwechsel betrug 1 h⁻¹. Die Probenahme wurde am Kammerausgang mit Perkin-Elmer-Röhrchen mit Tenax TA mit einem Probenvolumen von 4 bzw. 8 Liter (Doppelprobenahme) vorgenommen.

Durch die Untersuchung der Kammerluft konnten verschiedene VOC nachgewiesen werden, für die Glühlampen ein Alkan/Isoalkangemisch (C₁₁-C₁₂) und Phenol, für die Kompaktleuchtstofflampen Phenol, Styrol und Toluol und bei einer der Lampen einige Alkane. Es wurden jedoch keine erhöhten Konzentrationen gefunden. In einem realen Wohnraum wären die zu erwartenden Konzentrationen nochmals um einen Faktor in der Größenordnung von 15 bis 20 kleiner, so dass sie in der Innenraumluft vernachlässigbar sind.

3.2.2 Physikalische Belastungen

Strahlung

Die vorliegende Beurteilung und Bewertung ist aus folgenden Quellen des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) zusammengestellt:

- ▶ Informationen zu elektromagnetischen Emissionen von Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen) - Stand 10.08.2009 http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-201004221602/1/BfS_2009_Informationen_zu_Energiesparlampen.pdf.
- ▶ Steinmetz, Manfred; Geschwentner, Dirk: Stellt die elektromagnetische Strahlung von Kompaktleuchtstofflampen ein Gesundheitsrisiko dar?, UMID 3/2010, S. 25 <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/publikationen/umid0310.pdf>

Glüh- und Kompaktleuchtstofflampen unterscheiden sich hinsichtlich mehrerer für den Strahlenschutz wichtiger Charakteristika nur graduell. Die von den untersuchten Kompaktleuchtstofflampen emittierten niederfrequenten Felder weisen eine große Streubreite auf, führen aber auch in geringen Abständen nicht zu Expositionen jenseits der empfohlenen Höchstwerte. Diese Beurteilung beruht auf Daten aus begrenzten Stichproben und unterliegt den damit verbundenen Einschränkungen. Gesundheitliche Beeinträchtigungen sind nicht zu erwarten, es bestehen aber nach wie vor Unsicherheiten bei der Bewertung lang anhaltender bzw. wiederholter Expositionen.

Die UV-Strahlung einiger untersuchter Kompaktleuchtstofflampen kann bei geringen Abständen und lang anhaltenden Expositionen die Größenordnung beruflicher Grenzwerte erreichen. Diese sollten für die Allgemeinbevölkerung allerdings deutlich unterschritten werden. Die Streubreite der Bestrahlungsstärken ist sehr groß und liegt in derselben Größenordnung wie sie auch bei Glühlampen auftritt. Die UV-A- und Blaulichtanteile von Glühlampen können bei einem direkten, länger andauernden Blick in die Lichtquelle den hierfür vorgesehenen Grenzwert sogar deutlich früher erreichen.

Mögliche gesundheitliche Wirkungen des emittierten Lichtspektrums von Glüh- und Kompaktleuchtstofflampen sowie der infraroten Strahlung sind noch nicht ausreichend untersucht.

Tabelle 35 Bewertung zu Strahlung im Einzelnen:

	Kompaktleuchtstofflampe	Glühfadlampe	Mögliche gesundheitliche Wirkungen
UV-Strahlung	Vom BfS durchgeführte Messungen an 21 Kompaktleuchtstofflampen ergaben bei einem Messabstand von 20 cm auf 8 Stunden bezogene Expositionswerte, die 0,4 bis 89 % des Grenzwertes erreichten. Die durchgeführten Bewertungen der ungewichteten UV-A Strahlung lagen zwischen 0,02 und 70 % des hierfür festgelegten Grenzwertes und variierten demzufolge ebenfalls stark.	In 20 cm Abstand von getesteten Glühlampen würde Messungen des BfS zufolge nach einer 8 Stunden andauernden Exposition der Arbeitsschutzgrenzwert zwischen 3 und 19 % (38 bis 48 % des UV-A Grenzwertes) ausgeschöpft werden.	Entzündungen, Schwächung des Immunsystems, Krebsentstehung, Linsentrübung der Augenlinse, phototoxische und photoallergische Prozesse
Infrarote und langwellige sichtbare Strahlung	Vernachlässigbar gering	Höher als bei Kompaktleuchtstofflampen	Thermische Schäden, eventuell positive Wirkungen auf Regenerationsprozesse (unzureichend untersucht)
Langwelliges UV-A und kurzwellige sichtbare Strahlung (Blaulicht)	BfS- Messungen an Kompaktleuchtstofflampen verschiedener elektrischer Leistungsklassen zeigten in keinem Fall eine Grenzwertüberschreitung. Alle Messwerte lagen mindestens um einen Faktor 3 niedriger.	Glühlampen haben eine deutlich höhere effektive Strahldichte als Kompaktleuchtstofflampen. Der Grenzwert kann bereits nach wenigen Minuten überschritten werden.	"blue light hazard": Netzhautschädigungen

	Kompaktleuchtstofflampe	Glühfadenlampe	Mögliche gesundheitliche Wirkungen
Elektromagnetische Strahlung	<p>elektrische Felder: in 30 cm Abstand ermittelte das BfS für das elektrische Feld Messwerte zwischen 1 und 59 V/m entsprechend maximal 68 % des Referenzwertes. Mit zunehmendem Abstand nehmen die Feldstärken sehr schnell ab.</p> <p>Magnetische Felder: Die magnetischen Feldstärken waren sowohl bei der jeweiligen Betriebs- als auch bei der Netzstromfrequenz gering und erreichten bei keiner Lampe mehr als 1 % des jeweils gültigen Referenzwertes.</p>	ausschließlich netzfrequente Felder	<p>Gesundheitlich relevante akute Wirkungen der niederfrequenten elektrischen und magnetischen Felder können ausgeschlossen werden.</p> <p>Über Langzeitwirkungen liegen in diesem Frequenzbereich allerdings nur wenige Daten vor.</p>
Lichtspektrum	Einzelne Spektralbänder	kontinuierliches Spektrum	Mögliche Wirkungen unzureichend untersucht

3.2.3 Störfälle/Unfälle

Quecksilberfreisetzung bei Lampenbruch von Kompaktleuchtstofflampen

- ▶ In einer US-amerikanischen Untersuchung (Maine 2008) zur Bewertung eines Gesundheitsrisikos durch Quecksilberemissionen beim Bruch von Kompaktleuchtstofflampen fielen erhöhte Quecksilberkonzentrationen auf. Diese traten jeweils kurze Zeit nach dem Zerschlagen auf; die Konzentrationsspitzen betragen 50 - 100 µg/m³. Die Maine-Studie ergab aber auch, dass in der Großzahl der Fälle binnen einer Stunde nach Zerschlagen – bei Lüften und fachgerechter Entsorgung – die Quecksilber-Werte der Raumluft auf einen gesundheitlich unbedenklichen Wert sanken.
- ▶ Das Umweltbundesamt untersuchte zwischen Herbst 2010 und Mai 2011 die Quecksilberfreisetzungen von verschiedenen Lampentypen im Falle eines Bruches von Lampen im Betrieb – also im heißen Zustand – und im kalten Zustand. Drei verschiedene, fabrikneue Lampentypen mit unterschiedlicher Quecksilberdosierung (flüssige Dosierung, Quecksilber-Eisen-Pille, Amalgam) wurden getestet.
- ▶ Für Innenräume gilt ein Eingreifwert – sogenannter Richtwert I – von 0,035 µg/m³ bei dessen längerer Überschreitung Maßnahmen notwendig sind. Relevant ist also wie viel Quecksilber bei Lampenbruch in die Raumluft gelangt und wie schnell die Quelle entfernt wird.
- ▶ Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse machen deutlich, dass je nach Technik und Randbedingungen, beim Zerschlagen der Lampen Quecksilber in Mengen freigesetzt werden kann, die gesundheitlich durchaus bedeutsam sein können, dass also der Richtwert I überschritten wird. Für den ungünstigsten Fall, bei dem die zerbrochenen Lampen auf dem Boden liegen blieben und

nicht gelüftet wurde, wurden Quecksilberwerte von 5 - 8 µg/m³ in 30 cm Höhe über dem Bruch gefunden.

- ▶ Bei dem untersuchten Lampentyp, bei dem das Quecksilber als Amalgam dosiert ist, zeigten die Versuche im Vergleich zu den anderen Lampen eine geringere Quecksilberemission. Dieses zunächst auf eine geringe Datenbasis gestützte Ergebnis (nur ein Lampentyp getestet) wird durch eine Studie des Bayerischen Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit bestätigt.
- ▶ Die Untersuchungsergebnisse bestätigen aber auch, dass durch sofortiges Lüften und anschließendes Beseitigen der Scherben die Quecksilberkonzentrationen sehr rasch auf unschädliche Werte sinken; bis deutlich unter den Richtwert II, überwiegend sogar unter den RW-I-Wert (RW I, keine Gesundheitsgefahr auch bei lang andauernder Exposition). Das Lüften für ca. 15 Minuten ist dabei entscheidend, um die Quecksilberbelastung nach Bruch einer Energiesparlampe rasch zu senken.

4 Belastungsbewertung

4.1 Bewertung der Belastungen auf Produktebene

4.1.1 Chemische Belastungen

Treibhausgase

Die folgende Abbildung vergleicht die Treibhausgasemissionen (kg CO₂eq) bezogen auf Megalumenstunden und berücksichtigt daher die unterschiedliche Nutzungsdauer und den unterschiedlichen Lichtstrom der Lampen in der Normierung. Die Abbildung zeigt, dass Kompaktleuchtstofflampen rund 78 % weniger Treibhausgase verursachen.

Abbildung 14 kg CO₂ je Mlmh auf Basis des abgegebenen Lichtstromes

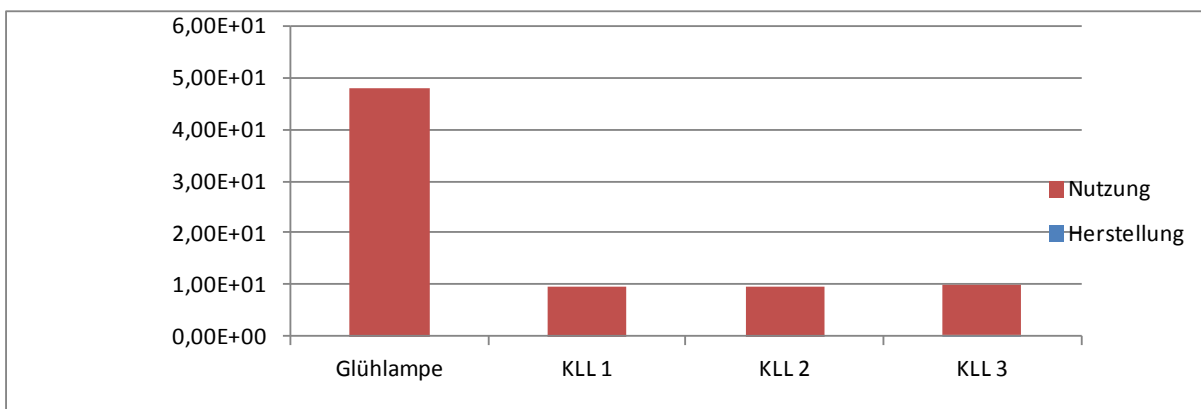
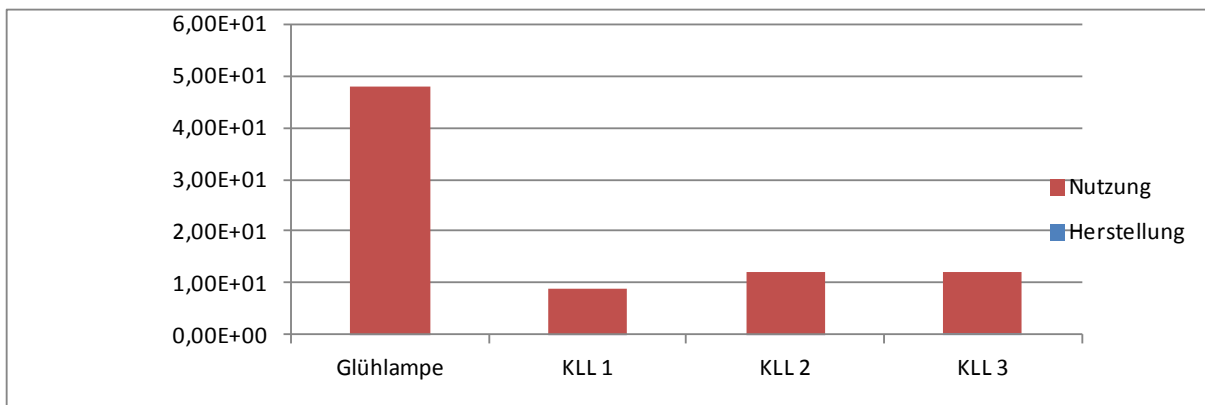


Abbildung 4 vergleicht die Treibhausgasemissionen (kg CO₂eq) bezogen auf Megalumenstunden und berücksichtigt daher die unterschiedliche Nutzungsdauer in der Normierung. Bezogen wird hier jedoch der Vergleich auf den abgegebenen Lichtstrom von 711 Lumen der 60-W-Standardglühlampe. Dieser Vergleich berücksichtigt die Praxissituation, dass zum Beispiel für den Ersatz einer 60-W-Standardglühlampe durch eine Kompaktleuchtstofflampe nicht zwangsläufig eine Kompaktleuchtstofflampe auf dem Markt verfügbar ist, die den exakt gleichen Lichtstrom abgibt wie die Glühlampe. Häufig liegt der Lichtstrom der Ersatzlampe etwas unter (hier KLL 1) oder über dem Lichtstrom (hier KLL 2 und 3) der zu ersetzenden Glühlampe, verbunden mit etwas mehr oder weniger Leistungsaufnahme und damit Stromverbrauch. Bei diesem Vergleich schneiden die Kompaktleuchtstofflampen KLL 2 und KLL 3, die mehr Lichtstrom abgeben und damit mehr Strom verbrauchen, leicht schlechter ab als im Vergleich in Abbildung 3. Statt 78 % sind sie bei diesem Vergleich 75 % besser als die Glühlampe.

Abbildung 15 kg CO₂ je Mlmh auf Basis Lichtstrombedarf



Die auf dem Markt verfügbaren Kompaktleuchtstofflampen variieren in ihrer Effizienz, für einzelne konkrete Lampen kann das Ergebnis daher abweichen. Die Dimension des Unterschieds zwischen Glühlampe und Kompaktleuchtstofflampe ändert sich damit jedoch nicht.

Gefährliche Stoffe Außenluft – Quecksilberbilanz

Aufgrund von Datenlücken ist eine genaue Quecksilberbilanz für Kompaktleuchtstofflampen im Vergleich zu Glühlampen nicht möglich. Bei der derzeitigen Situation der Stromerzeugung mit einem hohen Anteil an Kohleverbrennung und dem technischen Stand der Entsorgung in der EU lässt sich jedoch abschätzen, dass es durch den Ersatz von Glühlampen mit Kompaktleuchtstofflampen nicht zu höheren Quecksilberemissionen in die Umwelt kommt. Und je mehr Verbraucherinnen und Verbraucher die Kompaktleuchtstofflampen und stabförmige Leuchtstofflampen ordnungsgemäß entsorgen, desto weniger Quecksilber wird freigesetzt.

Stoffbelastungen im Innenraum

VOC-Emissionen

Die Konzentrationen der VOC-Emissionen aus Glühlampen und aus Kompaktleuchtstofflampen sind sehr gering. Bei Prüfkammermessungen ließen sich keine Richtwertüberschreitungen feststellen. Werden die gemessenen VOC-Konzentrationen auf einen Realraum umgerechnet, so sind diese vernachlässigbar. Auch bei gleichzeitiger Anwendung mehrerer Lampen, werden mit hoher Wahrscheinlichkeit keine wesentlichen VOC-Belastungen zu erwarten sein.

Das gesundheitliche Risiko durch VOC-Emissionen beim Gebrauch von Glühlampen und von Kompaktleuchtstofflampen wird als sehr gering eingeschätzt.

4.1.2 Physikalische Belastungen

Strahlung

Sowohl der Einsatz von Kompaktleuchtstofflampen als auch von Glühlampen für allgemeine Beleuchtungszwecke im Haushalt ist nachzeitigem Forschungsstand unter Strahlenschutzaspekten nicht bedenklich.

4.1.3 Störfälle/Unfälle

Quecksilberfreisetzung bei Lampenbruch von Kompaktleuchtstofflampen

Die im Falle des Bruches einer KLL frei gesetzten Quecksilbermengen sind so gering, dass eine Gefährdung der Gesundheit im Allgemeinen nicht besteht.

Es handelt sich bei einem Lampenbruch um ein einmaliges Ereignis, das keine dauerhafte Belastung mit Quecksilber verursacht.

Das Umweltbundesamt empfiehlt zur Vorsorge, im Falle eines Lampenbruches sofort zu lüften, umsichtig vorzugehen und den Schaden möglichst fachgerecht zu beheben.

4.2 Zusammenfassung der Bewertung auf Produktebene

Belastungsart	Belastungskategorie	Reihenfolge der zu untersuchenden Alternativen
Chemische Belastungen	Treibhausgase	1) Kompaktleuchtstofflampe, 2) Glühlampe
	Gefährliche Stoffe Außenluft	gleichwertig
	Stoffbelastung im Innenraum	gleichwertig (keine Gefährdung)
Physikal. Belastungen	Strahlung	1) Glühlampe, 2) Kompaktleuchtstofflampe (jedoch in beiden Fällen keine Gefährdung)
Ressourcen	Verbrauch mineralischer Rohstoffe und fossiler Energieträger	1) Glühlampe, 2) Kompaktleuchtstofflampe
Störfälle/Unfälle	Quecksilberemission bei Lampenbruch	1) Glühlampe, 2) Kompaktleuchtstofflampe (jedoch keine Gefährdung)

4.3 Bewertung der Gesamtbelastung

Belastungskategorie	Belastung durch Produktgesamtheit Glühlampe	Belastung durch Produktgesamtheit Kompaktleuchtstofflampe
Treibhausgase	nicht tolerierbar (> ca. 75-80 % als Kompaktleuchtstofflampe oder LED-Lampe, Einstufung als nicht tolerierbar bereits ab > 30 % zur Referenz)	geringe bis mäßige Belastung (gleich bis > 10 % gegenüber LED-Lampe)
Gefährliche Stoffe Außenluft (Quecksilberbilanz)	gleichwertig	
Stoffbelastung im Innenraum	geringe Belastung	

Belastungskategorie	Belastung durch Produktgesamtheit Glühlampe	Belastung durch Produktgesamtheit Kompaktleuchtstofflampe
Strahlung	Belastung unterhalb Grenzwert	
Quecksilberemission bei Lampenbruch	keine Belastung	Schwere der gesundh. Beeinträchtigung: gering Anzahl der betroffenen Personen: gering Eintrittswahrscheinlichkeit: hoch

Gesamtrelevanz Treibhausgase

Nimmt man an,

- ▶ dass 100 v.H. aller Lampen in den Privathaushalten in ihrer (In)Effizienz 100-Watt-Standardglühlampen gleichkommen – Krypton- und Halogenglühlampen sind besser, herkömmliche Glühlampen in Kerzenform, mit Farbtönung usf. sind schlechter –,
- ▶ dass diese durch durchschnittliche KLL ersetzt werden und
- ▶ dass dies in 90 v.H. der Fälle erfolgt, also in 10 v.H. der Fälle nicht, weil die KLL nicht gut geeignet ist (dies ist eine willkürliche Annahme),

dann ergibt sich folgende Minderung:

- ▶ rund 70 v.H. des Stromverbrauches für Beleuchtung der Privathaushalte, entsprechend
- ▶ rund 6 v.H. des Gesamtstromverbrauches der Privathaushalte, entsprechend
- ▶ rund 2 v.H. des Gesamtstromverbrauches in Deutschland (alle Sektoren), entsprechend
- ▶ rund 5 Mio. t. CO₂.

5 Auswertung

5.1 Selbstkritische Prüfung

- ▶ Spezifizierung des Untersuchungsrahmens:
 - Die funktionelle Einheit ist adäquat gewählt.
 - Die Systemgrenzen sind angemessen, allerdings konnten die Belastungen aufgrund mangelnder Daten nicht für alle Einflüsse innerhalb der Systemgrenzen ermittelt werden, siehe nächster Punkt.
- ▶ Belastungsermittlung:
 - Aufgrund mangelnder Daten konnten die Belastungen der Herstellungsphase nur teilweise sowie des Transportes und der Entsorgungsphase nicht ermittelt werden. Die quantitative Belastungsermittlung bei den Treibhausgasemissionen ist daher mit einem Fehler behaftet, der auf maximal 10 Prozent geschätzt wird. Damit wird das Gesamtergebnis jedoch nicht grundlegend beeinflusst.
 - Zeitliche und räumliche Bezüge wurden soweit möglich berücksichtigt, z. B. Verwendung des Datensatzes für die Stromerzeugung in Deutschland 2010, bei der Quecksilberbilanz für Deutschland und die EU. Weitere zeitliche und räumliche Bezüge haben wenig Einfluss auf das Gesamtergebnis.
 - Allokationsverfahren haben kaum Einfluss auf das Ergebnis.
- ▶ Belastungsbewertung:
 - Die Emissionen in die Außenluft und das Abwasser ließen sich auf Grund von Datenmangel oder -inkonsistenzen nicht quantitativ ermitteln. Die Belastungen werden jedoch maßgeblich durch die Stromerzeugung in der Nutzungsphase bestimmt. Es ist daher zu erwarten, dass für die Belastungskategorien gefährliche Stoffe in Außenluft und stoffliche Belastungen Abwasser eine ähnliche relative Bewertung der beiden Lampentechniken resultieren würde wie für die Belastungskategorie Treibhausgase.
 - Alle Belastungsbewertungen beruhen auf quantitativen oder Messdaten. Der Einfluss subjektiver Experteneinschätzungen ist daher gering.

5.2 Analyse signifikanter Parameter

- ▶ Der Stromverbrauch in der Nutzungsphase ist der die Belastungen dominierende Parameter. Maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis hat der Strommix. Bei einem Strommix mit stärkerem Anteil an fossilen Energieträgern würde sich der Unterschied zwischen Glühlampe und Kompaktleuchtstofflampe weiter vergrößern, bei einem größeren Anteil an erneuerbaren Energieträgern verringern.

5.3 Prüfung der Aussagesicherheit

Tabelle 36 Kriterien für die Bewertung der Aussagesicherheit

Kriterium	geringe Aussagesicherheit	hohe Aussagesicherheit
Systemgrenzen		Die Herstellungs- und Entsorgungsphase sowie der Transport konnten aufgrund von Datenmangel nicht ausreichend berücksichtigt werden. Der dadurch entstehende Fehler bei der quantitativen Belastungsermittlung Treibhausgase wird auf maximal 10 Prozent geschätzt.
Abschneidekriterien		
Belastungsermittlung		Bewertung der Belastungskategorien erfolgte überwiegend mit den im Leitfaden aufgezeigten Bewertungsmodellen.
Daten		Überwiegend Primär- und Sekundärdaten
Datenqualität		Datenbasis jünger als 5 Jahre, Fallspezifische Daten
Eindeutigkeit des Belastungsprofils		klarer Vorteil bei prioritären Belastungskategorien
Ergebnis Sensitivitätsanalyse		Es wurden Kompaktleuchtstofflampen mit unterschiedlicher Lebensdauer untersucht. Der Parameter hat keinen signifikanten Einfluss auf die Belastungskategorie Treibhausgase.

5.4 Schlussfolgerungen/weitere Schritte

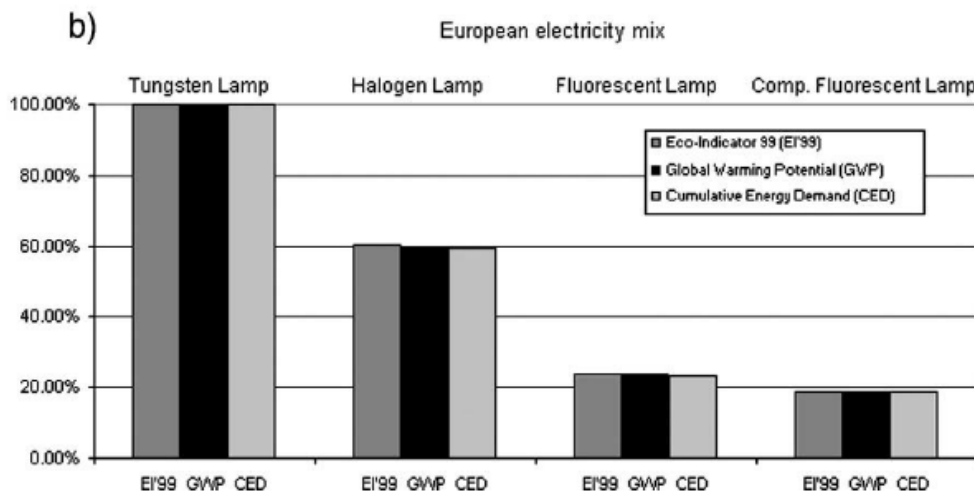
Die Aussagesicherheit der Bewertung ist eher hoch, auf Grund von Datenmangel konnten maßgebliche Lebenswegphasen (Herstellung, Transport, Entsorgung) jedoch nicht umfassend bewertet werden. Da die Belastung durch die Produktgesamtheit in der Belastungskategorie Treibhausgase hoch ist, ist eine weiterführende, vertiefende Ökobilanz zu empfehlen. Hierbei wären vor allem belastbare Daten zu den Lebenswegphasen Herstellung, Transport und Entsorgung zu erheben. Speziell wäre auch der Aspekt der Entstehung gefährlicher Abfälle zu betrachten.

Wie eingangs dargestellt liegen Ökobilanzen für Lampentechniken bereits vor, und das Fallbeispiel diente vor allem der Überprüfung der Methode sowie der Integration weiterer Belastungen, die in Ökobilanzen nicht in dieser Form enthalten sind (z. B. Stoffbelastungen im Innenraum, elektromagnetische Felder und optische Strahlung). Für einen Vergleich der Ergebnisse der vereinfachten Bewertung nach VERUM mit Ökobilanzen siehe folgendes Kapitel.

5.5 Fazit Methode

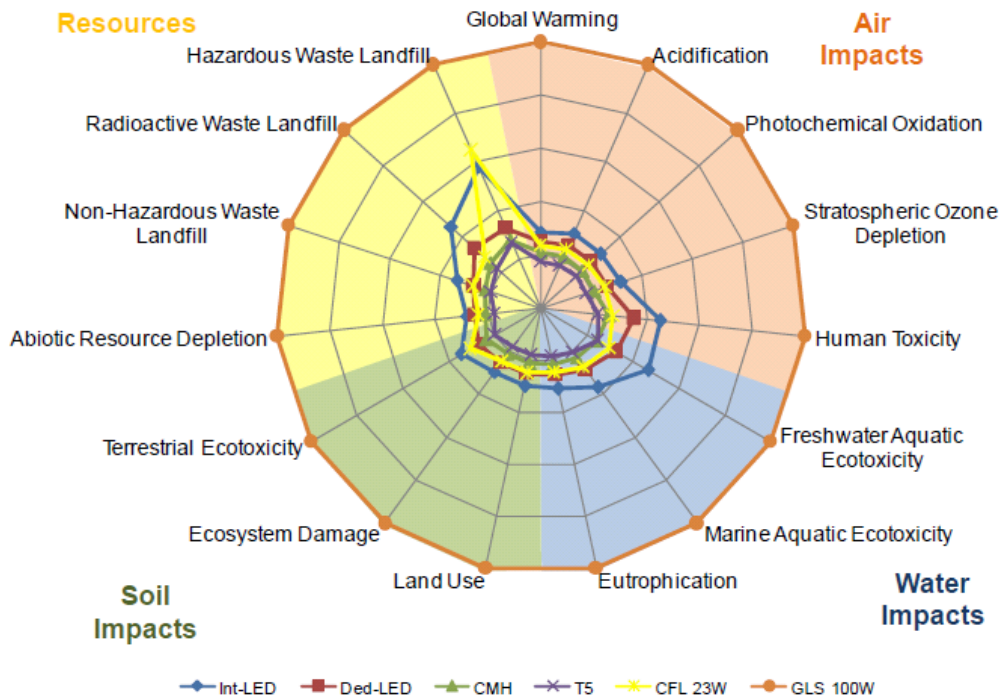
Die Studie Welz et al. (2011) zeigt, dass die Herstellungsphase bei Kompaktleuchtstofflampen nur etwa 5 Prozent der Umweltbelastungen über den gesamten Lebensweg ausmacht. In Ländern mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien oder Wasserkraft im Strommix (wie z. B. Schweiz) erhöht sich dieser Anteil auf maximal 15 %, weil dann die Herstellung gegenüber dem Stromverbrauch in der Nutzungsphase an Einfluss gewinnt. Aber auch dann entfallen die größten Umweltauswirkungen auf die Nutzungsphase. Unter Berücksichtigung des gesamten Lebenswegs (Herstellung, Transport, Nutzung, Entsorgung) schneiden Kompaktleuchtstofflampen bei der Belastungskategorie Treibhausgase, jedoch auch insgesamt nach der Endpunktmethode Ecoindicator EI'99 um knapp 80 Prozent besser ab als Glühlampen.

Abbildung 16 Vergleich von Lampentechniken (Standardglühlampe = Tungsten Lamp, Halogen-glühlampe = Halogen Lamp, stabförmige Leuchtstofflampe = Fluorescent Lamp und Kompaktleuchtstofflampe = Comp. Fluorescent Lamp) mittels Ecoindicator (EI'99) sowie für die Treibhausgasemissionen (GWP) und den kumulierten Energieaufwand (CED), [Quelle: Welz et.al 2011]



Dieses Ergebnis deckt sich mit den Befunden der vereinfachten Bewertung. Auch die Studie DEFRA (2009) zeigt vergleichbare Ergebnisse.

Abbildung 17 Umweltwirkungen verschiedener Beleuchtungstechnologien relativ zu den Wirkungen einer Glühlampe [Quelle: Defra 2009, S. 62]¹³



Im Fall des Vergleiches von Lampentechniken erbrachte die Belastungskategorie Treibhausgasemissionen ein belastbares Ergebnis. Dieser Befund gilt für Produkte mit einem hohen Energieverbrauch in der Nutzungsphase. Da auch Emissionen in die Außenluft und in das Abwasser in solchen Fällen häufig durch den Energieverbrauch bestimmt sind, ergibt sich über diese Belastungskategorien häufig kein anderes Bild. Für diese Fallstudie war somit auch kein Erkenntnisverlust zu verzeichnen, obwohl diese beiden Belastungskategorien auf Grund von Datenmangel bzw. Dateninkonsistenzen nicht quantitativ erhoben werden konnten.

Daten für Herstellung, Transport und Entsorgung von Produkten sind häufig nur mit relativ großem Aufwand oder nur unter Nutzung professioneller Ökobilanz-Datensätze ermittelbar. Auch für das vorliegende Fallbeispiel konnten Transport und Entsorgung nicht und die Herstellungsphase nur begrenzt einbezogen werden. Diese Lebenswegphasen haben bei Lampen, wie vorliegende Ökobilanzen zeigen, nur einen begrenzten Anteil an den Umweltwirkungen. Damit ist Ergebnis für die Belastungskategorie Treibhausgase dennoch richtungssicher. Für Produkte mit einem hohen Energieverbrauch in der Nutzungsphase ist dieses Bild häufig zu finden. Für Produkte mit einem größeren Einfluss von Herstellung und Entsorgung auf die Gesamtbilanz können jedoch Probleme für eine vereinfachte Bewertung resultieren.

Vorteil von VERUM ist für das vorliegende Fallbeispiel die Betrachtung von innenraumrelevanten Emissionen bei der Nutzung (VOC-Emissionen) und bei Unfall (Lampenbruch) sowie von elektromagnetischen Feldern und optischer Strahlung, welche in Ökobilanzen in dieser Form nicht betrachtet werden. Da hierzu bereits Untersuchungen des UBA und des BfS vorlagen, konnte leicht darauf zurück gegriffen werden. Im Rahmen einer vereinfachten Bewertung wären diese Kenntnisse jedoch nicht selbst generierbar gewesen.

¹³ Int-LED: LED-Lampe mit integriertem Vorschaltgerät, Ded-LED: LED-Leuchte, CMH: Halogen-Metalldampf Lampe, T5: T5-Leuchtstoffröhre (Durchmesser 16 mm), CFL: Kompaktleuchtstofflampe, GLS: Standardglühlampe.

6 Literatur

Defra (Hrsg.): Life Cycle Assessment of Ultra-Efficient Lamps, Mai 2009, London.

Stahler, D., Ladner, St., Jackson, H.(2008):: Maine Compact Fluorescent Lamp Study, Maine Department of Environmental Protection, February 2008, Augusta.

Parsons, David (2006): The Environmental Impact of Compact Fluorescent Lamps and Incandescent Lamps for Australian Conditions. In: The Environmental Engineer, Journal of the Society for Sustainability and Environmental Engineering, Vol. 7, No. 2, S. 8-14.

Pfeifer, R.(1994): Produktlinienanalyse Glühlampe versus Energiesparlampe, Öko-Institut e.V., Freiburg.

Steinmetz, M., Geschwentner, D.(2010): Stellt die elektromagnetische Strahlung von Kompaktleuchtstofflampen ein Gesundheitsrisiko dar?, UMID 3/2010, S. 25, <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/publikationen/umid0310.pdf>.

VITO (2009): Vito, BioIS, Energy Piano, Kreios: Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs, Lot 19 – Domestic Lighting, Study for European Commission DGTREN, Final Report, October 2009.

Welz, T., Hischier, R., Hilty, L.M. (2011): Environmental Impacts of Lighting Technologies - Life cycle Assessment and Sensitivity Analysis. Environmental Impact Assessment Review, 31, S. 334-343.

VERUM

Fallbeispiel Handtrocknungssysteme

November 2013

Bearbeitung:

Ulrich Gromke III 2.1

Kurzbeschreibung

Das UBA ist im alltäglichen Geschäft gefordert, umweltbezogene Bewertungen oder Vergleiche in kurzer Zeit und mit einer oftmals beschränkten Datengrundlage anzustellen. In politischen Entscheidungsprozessen über ökologische Vorteile alternativer Techniken und Produkte (z.B. Energiesparlampen), besteht oft die Notwendigkeit, kurzfristig eine Erstbewertung oder Empfehlung abzugeben, ob eine Neuentwicklung einen entscheidenden Umweltvorteil bietet, der ggf. eine weitere Unterstützung oder Förderung (Subventionierung, Blauer Engel etc.) rechtfertigt. Daher ist der Bedarf für eine vereinfachte, aber transparente, systematische und einheitliche umweltbezogene Bewertungsmethodik im UBA gegeben.

Ziel der vereinfachten ökologischen Bewertung ist es, auch ohne vollständige, quantitative Untersuchungen wie sie bei einer Ökobilanz oder Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt werden, zu einer plausiblen ersten Umweltbewertung zu kommen.

Die Unzulänglichkeiten einer vereinfachten Systematik hinsichtlich Genauigkeit und Vollständigkeit sind dann akzeptabel, wenn sie angemessen offengelegt werden. Zumindest kann die vereinfachte ökologische Bewertung deutlich machen, welche Vor- und Nachteile der Alternativen bei einem – gegebenenfalls detaillierteren – Vergleich gegeneinander abgewogen werden müssen und wie groß deren Bedeutung ist.

Das Umweltbundesamt bewertet Techniken und Produkte im Hinblick auf ihre Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit.

Ziel ist, mit den dem UBA verfügbaren Daten und Informationen eine belastbare Ersteinschätzung über die relevanten Umweltbelastungen durch Produkte und Technologien vorzunehmen, oft auch im Vergleich zu eingeführten Produkten.

Das vorliegende Fallbeispiel „Handtrocknungssysteme“ wurde parallel zur Entwicklung des Leitfadens für eine vereinfachte Umweltbewertung des Umweltbundesamtes (VERUM) entwickelt. Vorrangiges Ziel war die Überprüfung der vorgestellten Methode auf ihre Anwendbarkeit. Da hierbei mehrere Iterationen durchlaufen wurden, wurden bewusst Abstriche bei der Qualität der verwendeten Daten gemacht, um den Aufwand in Grenzen zu halten. Dies hat zwangsläufig auch Auswirkungen auf die Belastbarkeit der beschriebenen Ergebnisse.

Wichtigstes Ergebnis dieses Fallbeispiels ist, dass eine vereinfachte Bewertung nach der beschriebenen Methode mit den Ressourcen des Umweltbundesamtes durchführbar ist, wobei immer zwischen dem Bearbeitungsaufwand und dem Ziel möglichst belastbarer Ergebnisse abgewogen werden muss. Auf Grund der großen Bandbreite der betrachteten Umweltwirkungen ist auch auf der Grundlage der Vereinfachten Umweltbewertung VERUM eine schnelle Bearbeitung sehr anspruchsvoll.

1 Ziel und Untersuchungsrahmen

1.1 Vorbemerkung

Das Ziel dieses Vorhabens ist die Erprobung einer Methode zur vereinfachten Umweltbewertung (VERUM). Anhand von Fallbeispielen soll die Praktikabilität der vorgestellten Methode überprüft werden.

Das vorliegende Fallbeispiel „Handtrocknungssysteme“ wurde parallel zur Entwicklung des Leitfadens angefertigt. Vorrangiges Ziel war die kritische Begleitung der Methodenentwicklung und die Überprüfung der vorgestellten Methode auf ihre Anwendbarkeit. Im Rahmen des Projektes durchliefen die Fallbeispiele viele Iterationen. Um den Bearbeitungsaufwand im Rahmen zu halten, wurden Abstriche bei der Datenrecherche gemacht. Dies hat in einigen Punkten Auswirkungen auf die Belastbarkeit der Ergebnisse. Die Validität der Ergebnisse stand somit auch als Ziel dieses Fallbeispiels nicht im Vordergrund.

1.2 Problemstellung

In Form einer Untersuchung nach der UBA-Methode VERUM soll geklärt werden, welches Handtrocknungssystem im nicht-privaten Bereich ökologisch vorteilhaft ist. Dabei sollen fünf verschiedene Systeme betrachtet werden: Papierhandtücher aus Primär- und aus Sekundärfasern, Baumwoll-Endlosrollen, Warmluft-Gebläsetrockner und (Kaltluft) Jetstream-Trockner vom Typ „Dyson Airblade“.

1.3 Ergebnisse aus der Vorprüfung

Zunächst erfolgt eine Vorprüfung gemäß dem Leitfaden VERUM. Hierbei werden die folgenden drei Fragen beantwortet:

1. Ist eine ökologische Bewertung notwendig?

Ja. Der besondere Charme dieser Beispiele liegt darin, dass die Hauptumweltlasten in sehr unterschiedlichen Lebenswegphasen entstehen und sehr unterschiedliche Wirkungskategorien betreffen.

2. Sind die Alternativen vergleichbar?

Ja, quantifizierbare Hauptfunktion des Händetrocknens wird von allen Alternativen erfüllt. Nicht-messbares Komfortempfinden wird vernachlässigt.

3. Welche Belastungskategorien sind betroffen?

Alle im Leitfaden beschriebenen Belastungskategorien sind aufgeführt. In der detaillierteren Prüfung wird diese Aussage weiter spezifiziert.

Das Thema der ökologischen Vorteilhaftigkeit von Handtrocknungssystemen wird in der öffentlichen Beschaffung häufig diskutiert. Sie wird auch bei der Vergabe des Blauen Engels berücksichtigt.¹⁴

¹⁴ Im Rahmen dieses Fallbeispiels sind die oben genannten Einschränkungen bezüglich der Datenqualität zu beachten.

1.4 Systembeschreibung

1.4.1 Untersuchte Produktsysteme

Es sollen die folgenden Produktsysteme untersucht werden:

- ▶ Papierhandtücher (Primärfasern) mit mechanischem Spender
- ▶ Papierhandtücher (Sekundärfasern) mit mechanischem Spender
- ▶ Baumwollstoff-Endlosrolle
- ▶ Warmluft-Gebläsetrockner
- ▶ Kaltluft-Jetstream-Gebläsetrockner Typ „Dyson Airblade“

1.4.2 Funktionelle Einheit

Als Funktionelle Einheit wird das Trocknen von 1000 paar Händen außer Haus in Deutschland gewählt.

Als Bezugsjahr wird das Jahr 2013 gewählt.

1.4.3 Referenzflüsse

Es werden die in Tabelle 37 beschriebenen Referenzflüsse definiert:

Tabelle 37 Referenzflüsse der betrachteten Produktsysteme

Produktsystem	Referenzfluss
Papierhandtücher (Primärfasern):	2.000 Stück \Rightarrow 4,6 kg Primärpapier (25x23 cm, 40 g/m ² \Rightarrow 1 Blatt = 2,3 g)
Papierhandtücher (Sekundärfasern):	2.000 Stück \Rightarrow 4,6 kg Sekundärpapier (25x23 cm, 40 g/m ² \Rightarrow 1 Blatt = 2,3 g)
Baumwollstoff-Endlosrolle:	187 g Baumwollstoff (30 cm x 27,5 cm, ca. 225 g/m ² , 100 mal nutzbar)
Warmluft-Gebläsetrockner:	1.200-3.750 m ³ Warmluft (Warmluftstrom 40-125 l/s, 30 s, P = 2000+/-400 W \Rightarrow 13,3–20,0 kWh)
Kaltluft-Gebläsetrockner (Jetstream):	gefilterter Luftstrom v= 640 km/h, t=10-12 s/Par; P = 1600W, Lärm: 85 dB(A); 350.000 Nutzungen des Airblade innerhalb von 5 Jahren

1.4.4 Systemgrenzen

Für die fünf betrachteten Produktsysteme werden jeweils die in Tabelle 38 beschriebenen Systemgrenzen definiert:

Tabelle 38 Systemgrenzen der betrachteten Produktsysteme

Produktsystem	Systemgrenzen
Papierhandtücher (Primärfasern):	Holzanbau ⇒ Zellstoffherstellung ⇒ Papierherstellung ⇒ Verpackung* ⇒ Nutzen ⇒ Entsorgung (+ Transporte)* Handtuchspender
Papierhandtücher (Sekundärfasern):	Altpapierfassung/ -sortierung/ -aufbereitung ⇒ Papierherstellung ⇒ Verpackung* ⇒ Nutzen ⇒ Entsorgung (+ Transporte)* Altpapier vorlastenfrei Handtuchspender
Baumwollstoff-Endlosrolle:	Anbau ⇒ Faserherstellung ⇒ Stoffherstellung ⇒ Verpackung* ⇒ Nutzung ⇒ Reinigung ⇒ Entsorgung* Handtuchspender
Warmluft-Gebläsetrockner:	Nutzung ⇒ Energieerzeugung Zeitlicher Rahmen soll Stand-by Verluste berücksichtigen Herstellung Trockner Entsorgung*
Kaltluft-Gebläsetrockner (Jetstream):	Nutzung ⇒ Energieerzeugung, Zeitlicher Rahmen soll Stand-by Verluste berücksichtigen Herstellung Trockner Entsorgung*

* Wurde nicht berücksichtigt.

1.4.5 Allokationsverfahren

Das Altpapier wird vorlastenfrei (erste Verantwortung) betrachtet. In allen weiteren Fällen gilt die erste Verantwortung.

1.4.6 Anforderungen an die Daten (Datenqualität, räumlicher und zeitlicher Bezug)

Als Eingangsanforderung an die Daten wurden folgende Bedingungen gestellt:

- ▶ Daten so aktuell wie möglich
- ▶ Deutsche Marktsituation wird widerspiegelt
- ▶ Strommix aus Deutschland für die Nutzung der Gebläsetrockner
- ▶ Datenherkunft nach der im Leitfaden definierten Hierarchie

Im Verlauf der Bearbeitung wurde zur Vereinfachung mitunter von diesen Bedingungen abgewichen, da die Methodenentwicklung und nicht so sehr die Qualität der Ergebnisse im Vordergrund stand.

1.4.7 Annahmen und Einschränkungen

Annahmen werden zur Lebensdauer der verschiedenen Systeme und zur gesamten Nutzungshäufigkeit getroffen. Weitere Annahmen sind bei konkreten Fragestellungen notwendig.

2 Berücksichtigte Belastungskategorien

Die in Tabelle 39 hellblau hinterlegten Belastungskategorien wurden als relevant identifiziert und müssen quantifiziert werden. Da das Beispiel „Handtrocknungssysteme“ im Wesentlichen der Überprüfung der Methode dient, wurden mitunter auch als nicht zu quantifizierend eingestufte Belastungskategorien vertieft betrachtet.

Tabelle 39 Zu Berücksichtigende Belastungskategorien

Belastungsart	Belastungskategorie	In Belastungskategorie zu quantifizieren?
Chemische Belastungen	Treibhausgase	Ja, wenn mehr als „geringe“ Belastung zu erwarten ist
	Gefährliche Stoffe / Nährstoffe in Außenluft	Ja
	Schadstoffe in Innenräumen	Ja
	Abwasser	Ja
	Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt
Physikalische Belastungen	Lärm	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt
Biologische Belastungen	Krankheitserreger	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt
Ressourceninanspruchnahme	Verbrauch mineralischer Rohstoffe und fossiler Energieträger	Ja
	Verbrauch biotischer Rohstoffe	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt
	Wasserverbrauch	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt
	Naturraumbeanspruchung	Ja
Störfälle/Unfälle		Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt

3 Sachbilanzdatenerhebung

Die Sachbilanzdatenerhebung soll sich auf die folgenden Parameter beschränken:

- ▶ Treibhausgase: CO₂, CH₄, N₂O
- ▶ Gefährliche Stoffe/ Nährstoffe in Außenluft: SO₂, NO_x, NH₃, NMVOC, PM_{2,5}
- ▶ Schadstoffe in Innenräumen: ?
- ▶ Abwasserparameter: CSB, AOX, N, P, Abwassermenge, Hg, Cr, Cd
- ▶ Verbrauch mineralischer Rohstoffe und fossiler Energieträger: fossile Energieträger: Rohöl, Gas
- ▶ Naturraumbeanspruchung: Flächenbelegung, Flächenverbrauch

In den folgenden werden die zu berücksichtigenden Daten für die einzelnen Produktsysteme beschrieben.

3.1 Sachbilanzdaten Papierhandtücher/Frischfaser

- ▶ Papierherstellung (inklusive Vorketten)
- ▶ (Herstellung Handtuchspender und Abfallbehälter/ vereinfacht: Datensatz Kunststoff und Stahl)
- ▶ Entsorgung und Transporte nicht berücksichtigt! (ggf. relevant?)
- ▶ Datensatz Zellstoffherstellung in „nicht integriertem Prozess“. Daten liegen nicht in benötigter Form vor – aufwändige Datenerhebung notwendig.

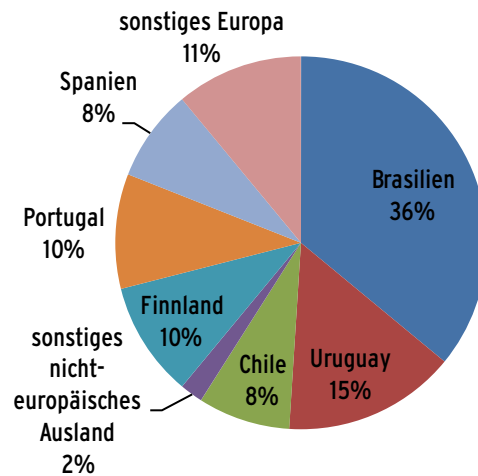
In der folgenden Tabelle 40 sind die Prozessschritte aufgeführt, in denen nicht zu quantifizierende Belastungen auftreten.

Tabelle 40 Prozesse, in denen nicht zu quantifizierende Belastungen auftreten (Papierhandtücher Frischfaser)

Belastungskategorie	Prozessschritt
Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge	–
Lärm	Ggf. Holzverarbeitung (Ernte)
Krankheitserreger	Ggf. in der Nutzungsphase
Verbrauch biotischer Rohstoffe	Holzanbau/ Papierherstellung
Wasserverbrauch	Papierherstellung – je nach Standort
Störfälle, Unfälle	–

Für die Herkunft des Kurzfasierzellstoffs wird angenommen, dass 1/3 aus deutscher Produktion stammt und 2/3 Ausland im Ausland produziert werden. Eine Aufschlüsselung der Nicht-deutschen Produktion erfolgt in Abbildung 18.

Abbildung 18 Verteilung der weltweiten Kurzfaserherstellung



3.2 Sachbilanzdaten Papierhandtücher/ Recyclingpapier

- ▶ Papierherstellung (inklusive Vorketten)
- ▶ (Herstellung Handtuchspender und Abfallbehälter/ vereinfacht: Datensatz Kunststoff und Stahl)
 - Daten nicht Mengenrelevant
- ▶ Entsorgung und Transporte nicht berücksichtigt! (ggf. relevant?)

In der folgenden Tabelle 41 sind die Prozessschritte aufgeführt, in denen nicht zu quantifizierende Belastungen auftreten.

Tabelle 41 Prozesse, in denen nicht zu quantifizierende Belastungen auftreten (Papierhandtücher Recyclingpapier)

Belastungskategorie	Prozessschritt
Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge	–
Lärm	–
Krankheitserreger	Ggf. in der Nutzungsphase
Verbrauch biotischer Rohstoffe	–
Wasserverbrauch	Papierherstellung – je nach Standort
Störfälle, Unfälle	–

3.3 Sachbilanzdaten Baumwollhandtücher

- ▶ Baumwollanbau – Herkunft gemäß Weltmarkt angenommen
- ▶ Textilherstellung
- ▶ (Herstellung Handtuchspender/ vereinfacht: Datensatz Kunststoff und Stahl)
- ▶ Reinigung Textilhandtücher
- ▶ Entsorgung und Transporte nicht berücksichtigt! (ggf. relevant?)

In der folgenden Tabelle 42 sind die Prozessschritte aufgeführt, in denen nicht zu quantifizierende Belastungen auftreten.

Tabelle 42 Prozesse, in denen nicht zu quantifizierende Belastungen auftreten (Baumwollhandtücher)

Belastungskategorie	Prozessschritt
Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge	Baumwollanbau
Lärm	–
Krankheitserreger	Ggf. in der Nutzungsphase
Verbrauch biotischer Rohstoffe	Baumwollanbau
Wasserverbrauch	Baumwollanbau, Textilherstellung, Reinigung
Störfälle, Unfälle	Pestizide/ Baumwollanbau

3.4 Sachbilanzdaten Gebläsetrockner (Warmluft & Jetstream)

- ▶ Herstellung Gebläsetrockner: Datensatz Kunststoff und Stahl
- ▶ Energiebereitstellung
- ▶ Entsorgung und Transporte nicht berücksichtigt!

In der folgenden Tabelle 43 sind die Prozessschritte aufgeführt, in denen nicht zu quantifizierende Belastungen auftreten.

Tabelle 43 Prozesse, in denen nicht zu quantifizierende Belastungen auftreten (Gebläsetrockner)

Belastungskategorie	Prozessschritt
Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge	–
Lärm	In der Nutzungsphase
Krankheitserreger	Ggf. in der Nutzungsphase
Verbrauch biotischer Rohstoffe	–
Wasserverbrauch	–
Störfälle, Unfälle	–

3.5 Aufgetretene Probleme bei der Sachbilanzdatenermittlung

Das größte Problem war erwartungsgemäß die Datenverfügbarkeit, dadurch wird die Datensammlung sehr zeitintensiv. Zudem sind Daten aus verschiedenen Quellen i.d.R. nicht kompatibel. Die Repräsentativität der Daten auf die Schnelle nur schwer einschätzbar

Es wurde daher empfohlen, dass häufig benötigte Daten im Leitfaden verfügbar gemacht werden (als Anhang oder Ergänzungsdokument auf Server) – Beispiel Energiedaten.

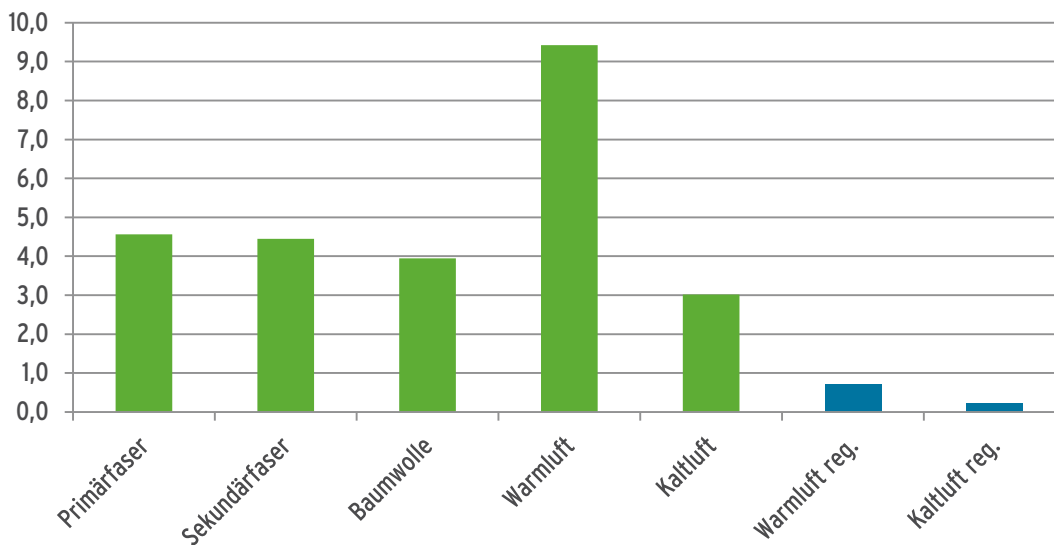
4 Belastungsbewertung – Mikroebene

Im Folgenden wird eine Betrachtung der einzelnen Bewertungskategorien auf Mikroebene durchgeführt.

4.1 Treibhausgase

Die Belastungsbewertung erfolgt über Aufsummierung der CO₂-Äquivalenzwerte für CO₂, CH₄ und N₂O. Die Ergebnisse sind in Abbildung dargestellt.

Abbildung 19 Treibhausgaspotential in Kilogramm CO₂-Äquivalenten der verschiedenen Produktsysteme bezogen auf die funktionelle Einheit



Die Methode ist einfach anwendbar. Grundsätzlich sollen Ergebnisse die sich um weniger als 10 Prozent unterscheiden als gleich angesehen werden.

Bei der Verwendung eines regenerativen Strommixes für Gebläsetrockner sinkt die CO₂-Menge für die Anwendung der Gebläsetrockner erwartungsgemäß signifikant.

4.2 Gefährliche Stoffe

Die Belastungsbewertung der gefährlichen Stoffe erfolgt über eine Summation der mit einem Gewichtungsfaktor versehenen Schadstoffmengen aus der Sachbilanz. Als Bezugsgröße dient die funktionelle Einheit. Die Ergebnisse sind in Tabelle 44 dargestellt.

Tabelle 44 Ergebnisse der Belastungsbewertung für gefährliche Stoffe in Kilogramm für die verschiedenen Produktsysteme bezogen auf die funktionelle Einheit

Schadstoff	Gewichtungsfaktor	Frischfaser	Recyclingpapier	Baumwolle	Warmluft	Jetstream
SO ₂	1	0,0054	0,0144	0,0279	0,0056	0,0018
NO _x	0,7	0,0082	0,001	0,0139	0,0094	0,0031
NH ₃	0,7	0	0,0001	0,0033	0,0005	0,0002
NMVOC	0,3	0,0032	0,0151	0,0236	0,0005	0,0001
Feinstaub	4,2	0,003	0	0	0,0006	0,0002
gewichtete Summe als SO ₂ -Äquivalent		0,025	0,020	0,047	0,015	0,005
Rangfolge		4	3	5	2	1

Die Methode ist einfach anwendbar. Grundsätzlich sollen Ergebnisse die sich um weniger als 10 Prozent unterscheiden als gleich angesehen werden.

4.3 Gefährliche Stoffe im Innenraum

Für gefährliche Stoffe im Innenraum ergab die Vorprüfung, dass keine Daten verfügbar sind. Mögliche Belastungen wären:

- VOC: ggf. aus Halterungen bzw. Gebläsetrocknern
- Staub: ggf. Papierfasern, Baumwollfasern oder aufgewirbelter Staub. Feinstaubanteil unbekannt.

Unter Berücksichtigung der kurzen Expositionszeit, der Menge und der Gefährlichkeit wird das Risiko für alle Systeme als gering eingestuft.

4.4 Abwasser

Bei der Belastungsbetrachtung des Abwassers sind folgende Prozesse relevant:

- ▶ Papierhandtücher, Frischfaser: Zellstoffherstellung, Papierherstellung
 - ▶ Papierhandtücher, Recycling: Papierherstellung
 - ▶ Baumwollhandtücher: Textilherstellung, Reinigung. Datenlage schlecht!
- Strommix: Keine Daten zu Abwasser im Datensatz vorhanden. Dies führt zu einer asymmetrischen Datenlage die einen belastbaren Vergleich nicht möglich macht!

Tabelle 45 Abwasserbelastungen in Kilogramm bezogen auf die funktionelle Einheit

Schadstoff	Frischfaser	Recyclingpapier	Baumwolle	Warmluft	Jetstream
CSB	0,0408	0,0026	0,0032	k.A.	k.A.
P	0,00016	0,00012	0,00058	k.A.	k.A.
N	0,00156	0,00068	0,00322	k.A.	k.A.
AOX	0,00014	0,00001	0	k.A.	k.A.

Die jeweils höchsten Belastungen sind rot markiert. Auf Grund der sehr schlechten Datenlage sind die Ergebnisse allerdings nicht belastbar.

4.5 Lärm

Da nur der Nutzungsfall betrachtet wird, entfällt eine Bewertung des Lärms, der durch Papier- bzw. Baumwollhandtücher verursacht werden könnte. Die ausschließliche Betrachtung des Nutzungsfalls ist grundsätzlich problematisch.

Aufgrund ihrer Geräuschcharakteristik werden Gebläsetrockner im Trocknungsbetrieb häufig als belästigend beschrieben. Insbesondere die sprachliche Kommunikation ist während des Betriebs solcher Geräte schwerlich bis gar nicht möglich. Die Geräuschentwicklung von Gebläsetrocknern liegt zwischen 70 und 85 dB(A) am Ohr des Benutzers (Schalldruckpegel LpA im üblichen Abstand von 50 cm vom Gerät). Leistungsstarke Geräte können kurzzeitig sogar mehr als 90 dB(A) erzeugen. Bei einer angenommenen Trockenzeit von 10 s bis 30 s fallen jedoch selbst diese Pegel höchstens in den Bereich der geringfügigen Gehörgefährdung einer gesunden Person. Eine mittlere Gehörgefährdung kann nicht ausgeschlossen werden, wenn – wie bei einigen Gerätetypen – hohe Spitzenschalldruckpegel (LpC_{peak}) von mehr als 115 dB(C) auftreten. Sind solche Geräte in niedriger Höhe montiert, können insbesondere Kinder in direkter Nähe einer mittleren Gehörgefährdung ausgesetzt sein (Belastung gering bis mäßig).

4.6 Krankheitserreger

Die Experteneinschätzung hat ergeben, dass bei allen Systemen von einer geringen Belastung (grüner Bereich in der Risikomatrix) hinsichtlich Krankheitserreger ausgegangen werden kann.

Für Papier und Stoffhandtücher wird eine geringe Erkrankungswahrscheinlichkeit für Erkrankungen mit geringer/ mittlerer Schwere z.B. leichte/ schwere Durchfallerkrankungen gesehen („grüne“ Einstufung gemäß Leitfaden).

Für Warmluft- und Jet Stream wird eine mittlere Infektionswahrscheinlichkeit für Erkrankungen mit geringer Schwere und eine geringe Infektionswahrscheinlichkeit für Erkrankungen mit mittlerer Schwere gesehen (immer noch grün aber etwas schlechter als A, daher hat A in hygienisch sensiblen Bereichen wie Krankenhäusern einen Vorteil).

4.7 Verbrauch mineralischer Rohstoffe und fossiler Energieträger

Da für die betrachteten Systeme keine Detaildaten verfügbar sind, wird eine vereinfachte Betrachtung durchgeführt. Hierbei werden nur die Halterungen der Papierhandtücher bzw. die Gebläsetrockner betrachtet.

In Gebläsetrocknern sind keine Rohstoffe mit hoher Belastung gemäß Anhang A1 verbaut.

Ggf. verwendete Rohstoffe mit mittlerer Belastung sind Wolfram, Zinn, Zink, die Menge kann nicht spezifiziert werden.

Ggf. ergibt sich ein leichter Nachteil für die Gebläsetrockner, der jedoch nicht als relevant angesehen wird.

Die Bewertung der fossilen Energieträger anhand des KEA (kumulierten Energieaufwandes) ist theoretisch möglich, wurde für dieses Beispiel aber nicht durchgeführt.

4.8 Verbrauch biotischer Rohstoffe

Zur Bewertung des Verbrauchs biotischer Rohstoffe sind folgende Prozessschritte relevant:

- ▶ Papierhandtücher, Frischfaser: Holzernte. Hier besteht eine Nutzungskonkurrenz als Werkstoff und als Energieträger
- ▶ Papierhandtücher, Recycling: keine nennenswerten Verbräuche
- ▶ Baumwollhandtücher: Baumwollanbau/ -ernte
- ▶ Gebläsetrockner: keine nennenswerten (ggf. erneuerbare Energieträger je nach Energiemix)

Im Ergebnis sind Recyclinghandtücher und Gebläsetrockner beim Verbrauch biotischer Rohstoffe leicht im Vorteil.

4.9 Wasserverbrauch

Der Wasserverbrauch wird ausschließlich für Zellstoffherstellung und Baumwollanbau betrachtet (Standardmodell). Hierzu wird der Wasserstressindex als Bewertungsmaßstab herangezogen.

Zur Darstellung der Vorgehensweise sind in Tabelle 46 beispielhaft die Ergebnisse für die Papierherstellung dargestellt.

Tabelle 46 Bewertung der Wasserknappheit am Beispiel Frischfaserzellstoff

Land	Anteil der Produktion in Prozent	Water Stress Index nach Pfister et al. 2009	Belastungskategorie gemäß Leitfaden	Stress-Index	Gewichteter Stress-Index
Deutschland	33	0,0555 lokal bis 0,1225 (nur um Leipzig)	geringe Belastung, lokal mäßige Belastung	0,12	$0,12 * 0,33 = 0,040$
Chile	5	0,01 (immer-feuchte Zonen im Süden) bis 1 (im trockenen subtropischen Norden)	Je nach lokaler Situation bzw. Klimazone geringe bis hohe Belastung	0,74	$0,74 * 0,05 = 0,037$
Uruguay	10	0,0102 bis 0,167	überwiegend geringe, lokal mäßige Belastung	0,01	$0,01 * 0,10 = 0,001$
Finnland	7	0,01 bis 0,04 Lokal begrenztes Gebiet im SW 0,69	geringe Belastung	0,42	$0,42 * 0,07 = 0,029$

Land	Anteil der Produktion in Prozent	Water Stress Index nach Pfister et al. 2009	Belastungskategorie gemäß Leitfaden	Stress-Index	Gewichteter Stress-Index
Spanien	8	0,0143 bis 0,2592 (in nördlicher Landeshälfte) 0,534 bis 1 in südlicher Landeshälfte	Geringe bis mäßige Belastung in der nördlichen Landeshälfte; hohe Belastung in der südlichen Landeshälfte	0,72	$0,72 * 0,12 = 0,058$
Brasilien	12	0,01 bis lokal begrenzt 0,999	i.d.R geringe Belastung, (lokal begrenzt in Regenschattengebieten im Osten des Landes hohe Belastung)	0,07	$0,07 * 0,12 = 0,008$
Portugal	7	0.0145 nur im Südwesten äußersten lokal begrenzt bis 0,6518 bzw. 0,5802	geringe Belastung, im Südwesten lokal begrenzt hohe Belastung	0,57	$0,57 * 0,07 = 0,040$
Europa (11%)		So pauschal nicht bestimmbar, da viele Regionen mit unterschiedlichen Niederschlagsverhältnissen betroffen			
Summe					0,213

Für die Papierhandtücher weist kein Produktionsland für Zellstoff „Nicht tolerierbare Belastungen“ auf. In Spanien, Chile und Portugal herrscht jedoch ein hoher Wasserstress, die Länder sind jedoch nur für einen kleinen Teil der Produktion (5 - 8%) verantwortlich.

Im Produktsystem Baumwollhandtücher herrschen nicht tolerierbare Wasserbelastungen bzw. Wasserknappheit in Indien, Usbekistan, Turkmenistan, Israel, Pakistan, Ägypten, Tadschikistan, Kirgisistan, Syrien und Marokko.

Im Vergleich zu den Papierhandtüchern wird Baumwolle damit in mehr wasserknappen Regionen hergestellt, d.h. Papierhandtücher sind hier vorzuzugwürdiger.

Innerhalb der Produktionsländer für Baumwolle sind Indien mit Produktionsanteilen von 6,3 %, Usbekistan mit 5,2 % sowie Turkmenistan und Israel mit je 4,6 % Anteil besonders kritisch zu betrachten, die anderen wasserknappen Länder haben einen Produktionsanteil von kleiner/ gleich 3 %.

4.10 Naturraumbeanspruchung

Bei der Naturraumbeanspruchung wird zwischen zeitweiser Flächenbelegung (Primärfaser, Sekundärfaser, Baumwolle) und Flächenverbrauch (Energie) unterschieden. In Tabelle 47 sind die Ergebnisse dargestellt.

Aus methodischen Gründen können die zeitweise Flächenbelegung und der Flächenverbrauch nicht miteinander verrechnet und müssen getrennt aufgeführt werden. Eine Gesamtbewertung ist daher nicht möglich.

Transporte wurden nicht berücksichtigt, theoretisch wäre dies aber auch möglich.

Tabelle 47 Bewertung der Naturraumbeanspruchung

Flächenbedarf für...	Flächenbedarf	Einheit	Bezogen auf Referenzfluss	Einheit
Belastungskategorie: Temporäre Flächenbelegung durch Biomasseerzeugung				
Primärfaser	4,5	m ² * a/kg	20,7	m ² * a
Sekundärfaser	0	m ² * a/kg	0	m ² * a
Baumwolle	3,3	m ² * a/kg	0,6125625	m ² * a
Belastungskategorie: Flächendegradierung durch Braunkohleabbau zur Stromerzeugung				
Energie/ Warm-luftgebläse	50	cm ² /MWh	0,0000835	m ²
Energie/ Jet-stream	50	cm ² /MWh	0,0000265	m ²

4.11 Störfälle/Unfälle

Stör- und Unfälle werden nur für die Anwendung betrachtet.

Alle Systeme sind für die Anwendung in Feuchträumen zugelassen. Über bisherige Schadensfälle liegen keine Informationen vor. Es wird davon ausgegangen, dass das Risiko für Unfälle/ Störfälle als gering einzustufen ist.

4.12 Fazit zur Methodik der Belastungsbewertung

Die Qualität Belastungsbewertung ist stark von der Datenverfügbarkeit abhängig. Eine asymmetrische Datenlage erschwert die Vergleiche zwischen Systemen. Zudem ist das Aufwand/ Nutzenverhältnis nicht immer so günstig, wie man es von einer „vereinfachte Methode“ erwarten möchte.

5 Belastungsbewertung – Makroebene

Zur Bewertung der Gesamtrelevanz von $25 \cdot 10^9$ Händetrocknungen im Jahr ausgegangen (Annahme: 40 Mio. Beschäftigte in D \cdot 3 Handrocknungen außer Haus/Tag \cdot 210 Arbeitstage). Bei der Belastungsbewertung auf Mikroebene wurde die Funktionelle Einheit (1000 paar Händetrocknungen in Deutschland außer Haus) zu Grunde gelegt.

5.1 Gesamtrelevanz Treibhausgase

Die Bewertungssystematik sieht einen Vergleich mit einem „Referenzszenario“ vor. Hier ist allerdings unklar, wie das Referenzszenario gebildet werden soll. Möglichkeiten wären zum Beispiel der aktuelle Marktmix, das Produktsystem mit dem niedrigsten Wert, der Mittelwert aller Produktsysteme oder weitere Referenzszenarien nach freier Entscheidung.

Ein aktueller Marktmix für die Anteile der verschiedenen Handrockensysteme liegt nicht vor, die Bildung eines „eigenen“ Referenzszenarios stellt eine gewisse Beliebigkeit dar.

Die In Tabelle 48 ist dargestellt, wie hoch das Treibhausgaspotenzial wäre, wenn sämtliche Händetrocknungen ($25 \cdot 10^9$) von einem Produktsystem dargestellt würden.

Tabelle 48 Treibhausgaspotenzial der verschiedenen Produktsysteme auf Makroebene bezogen auf die alleinige Nutzung der einzelnen Produktsysteme

Produktsystem	Treibhausgaspotenzial	Einheit
Primärfaser	0,114	M t CO ₂ -Äquivalente/ a
Sekundärfaser	0,111	M t CO ₂ -Äquivalente/ a
Baumwolle	0,099	M t CO ₂ -Äquivalente/ a
Warmluft	0,236	M t CO ₂ -Äquivalente/ a
Kaltluft	0,075	M t CO ₂ -Äquivalente/ a
Warmluft reg.	0,018	M t CO ₂ -Äquivalente/ a
Kaltluft reg.	0,006	M t CO ₂ -Äquivalente/ a

Werden die Ergebnisse aus Tabelle 48 zu Grunde gelegt würde dies folgendes bedeuten:

- ▶ Referenz Niedrigste Belastung (Kaltluft, 0,075 Mio. t): alle anderen Szenarien liefern eine nicht tolerierbare Belastung.
- ▶ Referenz Mittelwert: Nur Warmlufttrockner liefert eine nicht tolerierbare Belastung.
- ▶ Referenz Marktmix: Nicht vorhanden.

Die Einstufung als „Nicht tolerierbare Belastung“ ist nach gesundem Menschenverstand sicherlich eine Überbewertung. Jedoch sei hier angemerkt, dass bei komplizierteren Fallbeispielen der gesunde Menschenverstand ggf. auf eine harte Probe gestellt werden kann.

Für das Fallbeispiel „Handrocknungssysteme“ ist das Referenzszenario „Mittelwert“ mit der vorhandenen Datenlage am zielführendsten. Der Mittelwert der fünf berechneten Szenarien liegt bei 0,13 Mt CO₂-Äquivalenten pro Jahr. Da der Warmlufttrockner diesen Wert um mehr als 80 Prozent überschreitet, wird er unter Klimagesichtspunkten als nicht empfehlenswert angesehen.

5.2 Gefährliche Stoffe

Die Darstellung der gefährlichen Stoffe erfolgt in Tabelle 49 als Anteil in Prozent der NEC1 Ziele (National Emission Ceilings).

Tabelle 49 Ergebnisse der Belastungsbewertung für gefährliche Stoffe auf Makroebene: Anteil der einzelnen Produktsysteme in Prozent am NEC1 Wert. Angabe für die einzelnen Produktsysteme in Prozent des NEC1-Wertes

Schadstoff	NEC1 Wert	Frischfaser	Recyclingpapier	Baumwolle	Warmluft	Jetstream
SO ₂	520 k t	0,026	0,069	0,134	0,027	0,009
No _x	1.051 k t	0,019	0,002	0,033	0,022	0,007
NH ₃	550 k t	0	0	0,015	0,002	0,001
NMVOG	995 k t	0,008	0,038	0,059	0,001	0
Feinstaub	89 k t	0,085	0,001	0	0,018	0,006

Die Emissionen tragen mit max. 0,1 Prozent zu den NECs bei. Keines der untersuchten Systeme leistet somit einen wesentlichen Beitrag zur Emission gefährlicher Stoffe.

Eine weitergehende Betrachtung gemäß Leitfaden hätte sicherlich eine Herausforderung für den Anwender dargestellt.

5.3 Stoffbelastung in Innenräumen

Auf Mikroebene wurde nur eine geringe Relevanz festgestellt. Auf Grund von fehlenden Daten wird keine weitere Betrachtung durchgeführt.

Anmerkung: Die Vorgehensweise im Leitfaden für PM10 (Abstufung nach Überschreitungstagen) ist scheint für Innenräume eher problematisch zu sein, denn wenn der Wert an einem Nutzungstag überschritten wird, dann wird er (bei gleichen Randbedingungen) vermutlich immer überschritten sein!

5.4 Abwasser

In Tabelle 50 sind die Ergebnisse der makroskopischen Betrachtung bezogen auf die im Leitfaden dargestellten Gesamtemissionsmengen aufgeführt.

Die Anmerkung zur Datenqualität der Abwasserbelastung bei der mikroskopischen Betrachtung gilt auch hier. Keines der Systeme führt zu nicht tolerierbaren Belastungen.

Tabelle 50 Ergebnisse der Belastungsbewertung für Abwasser auf Makroebene. Dargestellt ist der Anteil an der Gesamtbelastung

Schadstoff	Frischfaser	Recyclingpapier	Baumwolle	Warmluft	Jetstream	Farb- legende
CSB	0,00277	0,00017	0,00022	k.A.	k.A.	> 1/10
P	0,00114	0,00087	0,00413	k.A.	k.A.	1/100 - 1/10
N	0,00005	0,00002	0,0001	k.A.	k.A.	1/1000 - 1/100
AOX	0,01173	0,00115	0,0000	k.A.	k.A.	1/10000 - 1/1000

Anmerkung: Abwasserbelastungen wirken regional. Der Bezug auf die Gesamtemissionen in Deutschland ist daher problematisch, da z.B. nur ein Drittel des Zellstoffs für Papierhandtücher in Deutschland erfolgt.

5.5 Diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge

Die Diffusen Nähr- und Schadstoffeinträge sind nur für das Produktsystem Baumwollhandtücher relevant. Auf Grund der vielen verschiedenen Anbauggebiete und der schlechten Datenlage sind diese allerdings nur schwer zu quantifizieren.

5.6 Wasserverbrauch

Der Wasserverbrauch ist wie bei der Belastungsbewertung auf Mikroebene nur für Papier- und Baumwollhandtücher relevant. Die Beurteilung erfolgt nach den beiden im Leitfaden definierten Kriterien.

Kriterium 1: Bei vorhandener Wasserknappheit ist der höchste Wert ausschlaggebend.

- ▶ Baumwolle: 28 % in Gebieten mit WSI > 0,8 (nicht tolerierbare Belastung); 36 % in Gebieten mit WSI zwischen 0,5 und 0,8 (hohe Belastung)
- ▶ Frischfaserpapier: 20 % in Gebieten mit WSI zwischen 0,5 und 0,8 (hohe Belastung); 47 % in Gebieten mit WSI zwischen 0,09 und 0,5 (mäßige Belastung)

Kriterium 2: Die regionale Verschärfung der Wasserknappheit infolge des Wasserverbrauchs der Produktgesamtheit wird betrachtet.

- ▶ Daten über lokale Auswirkungen des Baumwollanbaus liegen nicht vor.

Anmerkung: Im Leitfaden wird als Bezugsgröße „Wasserverbrauch überwiegend in Gebieten mit WSI x“ gewählt. Baumwolle wäre demnach hohe Belastung, allerdings stellen 20 % des Anteils bei nicht tolerierbarer Belastung einen durchaus relevanten Anteil dar!

5.7 Lärm

Bei Lärm wird die Expertenschätzung aus der Bewertung auf der Mikroebene übernommen.

Methodische Anmerkung:

Es wird nur Lärm in der Nutzungsphase berücksichtigt. Ggf. wäre Lärm durch Transporte (Bsp. Papier + Baumwollhandtücher) interessant und relevant.

Ab wann „besonders viele Personen von der Lärmbeeinträchtigung betroffen“ wird auch hier dem gesunden Menschenverstand überlassen. In nicht so eindeutigen Fallbetrachtungen mag das einen schwierigen Abwägungsprozess darstellen.

5.8 Krankheitserreger

Auch hier wird die Bewertung aus dem Vorschritt der mikroskopischen Betrachtung übernommen (Experteneinschätzung). Auch wenn $25 \cdot 10^9$ Nutzungen im Jahr in Deutschland angenommen werden – was sicherlich eine große Zahl ist – sind insgesamt nur wenige Personen von Krankheitserregern betroffen.

5.9 Naturraumbeanspruchung

Bei der Bewertung der Naturraumbeanspruchung auf Makroebene wird für die Belastungskategorie „Flächennutzungsänderung durch Braunkohletagebau“ – in Analogie zum 30 Hektar Ziel für die Neuinanspruchnahme von Siedlungs- und Verkehrsflächen – für den Abbau von Rohstoffen im Tagebau ein Ziel von 2,2 ha/d zu Grunde gelegt. Davon entfällt auf Braunkohle ein Teilziel von 0,6 ha/d, in einem Jahr sind das 213,3 ha.

Für die Belastungskategorie „Temporäre Flächenbelegung durch Biomasseerzeugung“ muss noch über den Vergleichsmaßstab diskutiert werden.

Zum einen könnte die benötigte Landwirtschaftsfläche oder Waldfläche mit der in Deutschland vorhandenen verglichen werden. Alle Nutzungen, die mehr als einen bestimmten Prozentsatz der verfügbaren Fläche einnehmen, wären dann als kritisch einzustufen (Diskussionsbedarf).

Zum anderen könnte als Vergleichsmaßstab der globale Nutzungsdruck zur Umwandlung von Urwald in Nutzwald oder Landwirtschaftsfläche (vergleiche Anlage) zugrunde gelegt werden (indirekte Landnutzungsänderung). Dieses ITEM müsste in der Tabelle A4 ebenfalls noch als weiterer Bewertungsmaßstab (ggf. mit einem mittelfristigen Handlungsziel, Endziel ist immer: „Landnutzungsänderung = 0“) weiter ausgeführt werden.

Tabelle 51 beschreibt den Gesamtnaturraumbedarf für $25 \cdot 10^9$ Nutzungen des jeweiligen Handtrocknungssystems im Jahr in Deutschland.

Tabelle 51 Gesamtnaturraumbedarf der einzelnen Produktsysteme auf Makroebene für den Jahresbedarf

Flächenbedarf für...	Menge	Einheit
Belastungskategorie: Temporäre Flächenbelegung durch Biomasseerzeugung		
Primärfaser	51.750	ha * a
Sekundärfaser	0	ha * a
Baumwolle	1.531	ha * a
Belastungskategorie: Flächennutzungsänderung durch Braunkohletagebau zur Stromerzeugung		
Energie/ Warmluftgebläse	0,21	ha, das entspricht 0,10 % des Jahresziels
Energie/ Jetstream	0,07	ha, das entspricht 0,03 % des Jahresziels

Die temporäre Flächenbelegung und Flächenumwandlung können/ dürfen nicht miteinander verrechnet werden!

In dieser Tabelle können die ersten drei Zeilen miteinander verglichen werden, weil sie die gleiche Belastungskategorie („temporärer Flächenbedarf durch Biomasseproduktion“) abbilden. Papiertücher aus Sekundärfaser sowie waschbare Baumwollhandtücher sind deutlich günstiger als Papiertücher aus Primärfaser.

Desgleichen können die vierte und fünfte Zeile verglichen werden (Belastungskategorie: Flächenumwandlung durch den Abbau von Braunkohle für die Stromerzeugung). Dabei schneidet der elektrische Handtrockner mit Jetstream günstiger ab (es werden im Jahr „nur“ 700 m² Fläche durch den Braunkohleabbau für die Stromerzeugung umgewandelt) als der Trockner mit Warmluftgebläse (2.100 m² pro Jahr umgewandelt). Das Warmluftgebläse würde 1 Promille des Flächenziels für den Braunkohleabbau ausfüllen und würde somit unter quantitativer Betrachtung eine „geringe Belastung“ erzeugen. In qualitativer Hinsicht wird die Fläche durch den Braunkohleabbau jedoch z.T. völlig zerstört, was wiederum intolerabel ist. Letzteres trifft dann aber auch auf den Jetstream-Trockner zu, wenngleich er um 70 % unter der 1-Promille-Schwelle bleibt.

5.10 Störfälle, Unfälle

Bei der Betrachtung auf Mikroebene wurde das Risiko als gering eingestuft. Der Vollständigkeit halber wird hier dennoch beispielhaft eine Bewertung der Anwendung vorgenommen

Gebälsetrockner:

- ▶ Kriterium 1: hohe Belastung (Tödliches Risiko bei Stromschlag und mäßige Belastung durch Keime in sensiblen Bereichen);
- ▶ Kriterium 2: geringe Belastung (nur wenige Menschen im Eintrittsfall betroffen);
- ▶ Kriterium 3: geringe Belastung (Eintritt kann fast ausgeschlossen werden).
- ▶ Daraus folgt, dass das Gesamtrisiko für Unfälle/ Störfälle bei Gebläsetrocknern gering ist.

Mechanische Trockner (Papierhandtücher, Baumwollhandtücher):

- ▶ In allen Kriterien geringe Belastung.

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

In Tabelle 52 sind die einzelnen Ergebnisse nochmals zusammengefasst.

Tabelle 52 Ergebniszusammenfassung auf Makroebene

Ergebnisse auf Makroebene		Primär-faser	Recycling-papier	Baumwolle	Warmluft	Jet-stream	
	Kategorie	Relevanz	Rangfolge				
Chemische Belastungen	Treibhaus-gase	Ja, wenn mehr als „ge-ringe“ Belas-tung zu er-warten ist	2	2	2	3	1
	Gefährliche Stoffe / Nährstoffe in Außenluft	Ja	keine Re-levanz (4)	keine Re-levanz (3)	keine Re-levanz (5)	keine Re-levanz (2)	keine Relevanz (1)
	Schadstoffe in Innen-räumen	Ja	nicht be-wertet	nicht be-wertet	nicht be-wertet	nicht be-wertet	nicht bewertet
	Abwasser	Ja	hoch	mäßig	mäßig	k.A.	k.A.
	Diffuse Nähr- und Schadstoff-einträge	Nein, nur Prozess-schritt anzei-gen, in dem die Belastung auftritt			Baumwoll-anbau		
Physik. Belastungen	Lärm	Nein, nur Prozess-schritt anzei-gen, in dem die Belastung auftritt				Anwen-dung: ge-ring bis mäßig	Anwen-dung: gering bis mä-ßig
Biol. Belastungen	Krankheits-erreger	Nein, nur Prozess-schritt anzei-gen, in dem die Belastung auftritt	gering	gering	gering	gering (aber hö-her als mechani-sche)	gering (aber höher als mechani-sche)
Ressourceninan-	Verbrauch minerali-scher Roh-stoffe und fossiler Energie-	Ja	–	–	–	gering	Gering

Ergebnisse auf Makroebene		Primär-faser	Recycling-papier	Baumwolle	Warmluft	Jet-stream
Kategorie	Relevanz	Rangfolge				
träger						
Verbrauch biotischer Rohstoffe	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt und um welche biotischen Rohstoffe es sich handelt	Holzanbau	–	Baumwollanbau	Energie-träger	Energie-träger
Wasserverbrauch	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt und angeben an welchen Orten der Wasserverbrauch stattfindet	(3) Zellstoffherstellung	(2) Recyclingfaserherstellung	(4) Baumwollherstellung, Reinigung	(1) (Energiebereitstellung)	(1) (Energiebereitstellung)
Naturraumbeanspruchung	Ja	Bewertung auf Makroebene unklar 3	Bewertung auf Makroebene unklar 1	Bewertung auf Makroebene unklar 2	Bewertung auf Makroebene unklar 1	Bewertung auf Makroebene unklar 1
Störfälle/ Unfälle	Nein, nur Prozessschritt anzeigen, in dem die Belastung auftritt	–	–	–	–	–

6.1.1 Priorisierung der Belastungskategorien und Ergebnisranking

Die Priorisierung der Belastungskategorien wurde im Leitfaden bewusst vage gehalten. Für dieses Fallbeispiel wurde bei der Priorisierung auch die Datenverfügbarkeit und die Datenqualität berücksichtigt. Ein festes Raster liegt nicht vor. Problematisch ist die asymmetrische Datenlage.

Daraus ergibt sich folgende Rangfolge:

1. Jetstream
2. Recyclingpapier
3. Frischfaserpapier
4. Baumwolle/ Warmluft

In den meisten bewerteten Belastungskategorien ist der Jetstream im Vorteil, weitere Differenzierungen zwischen Recyclingpapier, Frischfaserpapier, Baumwolle und Warmluft (Platz 2-4) sind auf Grund der Datenlage und im Vergleich mit anderen Studien zu unsicher!

Anwendungseinschränkungen gibt es für die Gebläsetrockner. Diese sollten eher nicht in hygienisch sensiblen Bereichen verwendet werden. Auf Grund des hohen Schalldruckpegels können insbesondere Kinder in direkter Nähe einer mittleren Gehörgefährdung (Jetstream) ausgesetzt sein.

6.1.2 Selbstkritische Prüfung

Der Leitfaden sieht eine selbstkritische Prüfung der Vorgehensweise und der Ergebnisse vor. Diese bezieht sich auf den Untersuchungsrahmen, die Belastungsermittlung, die Belastungsbewertung und eine Analyse signifikanter Parameter.

Spezifizierung des Untersuchungsrahmens:

- ▶ Wurde die funktionelle Einheit adäquat gewählt? JA
- ▶ Sind die Systemgrenzen angemessen? JA

Belastungsermittlung:

- ▶ Wie gut ist die Qualität der vorhandenen Daten? Die Daten liegen in der ganzen Bandbreite von sehr schlecht bis sehr gut vor.
- ▶ Wurden zeitliche und räumliche Bezüge eingehalten? Nicht immer.
- ▶ Welchen Einfluss haben Allokationsverfahren auf das Ergebnis? Ein Einfluss ist vorhanden, als Beispiel sei die Naturraumbeanspruchung beim als vorlastenfrei definierten Recyclingpapier genannt.

Belastungsbewertung:

- ▶ Wurden alle in der Vorprüfung als betroffen eingestuft Belastungskategorien untersucht? Soweit Daten verfügbar waren, wurden sie verwendet.
- ▶ Wie stark ist der Einfluss subjektiver Experteneinschätzungen

Analyse signifikanter Parameter

- ▶ Lebenszyklusphasen: Schwerpunkt der Betrachtung wurde auf die mutmaßlich relevanten Prozesse/ Phasen gelegt.
- ▶ Prozesse, die eine oder mehrere Belastungskategorien dominieren: S.o.
- ▶ Belastungskategorien in denen besonders hohe Belastungen ermittelt wurden:
- ▶ Annahmen, z.B. in Bezug auf Systemgrenzen Allokationsverfahren:

Es wird angeregt bei zukünftigen Studien intern eine Qualitätssicherung durch Mitzeichnung in den Abteilungen sicherzustellen. Bei Unklarheiten hinsichtlich der Annahmen, der Sachbilanzerstellung, der Berechnungen und Bewertung sollten diese ggf. durch eine unabhängige UBA-interne Person geklärt werden.

Bei einem Vergleich mit anderen Studien zu Handtrocknungssystemen fällt auf, dass die Höhe der absoluten Ergebnisse mitunter signifikant schwankt – beim Beispiel Treibhausgase um Faktor 2-5 (siehe Abbildung 20 und Abbildung 21). Bei den Papierhandtüchern im Fallbeispiel kann der Unterschied teilweise auf den deutlich aktuelleren Datensatz aus dem neuen Merkblatt zur besten verfügbaren Technik in der Papierindustrie (BVT-Merkblatt) zurück zu führen sein. Grundsätzlich geben solche Unterschiede Anlass zur kritischen Überprüfung.

Abbildung 20 Ergebnisse zum Treibhausgaspotenzial aus diesen Fallbeispielen in Kilogramm CO₂-Äquivalente, bezogen auf 1000 paar getrocknete Hände

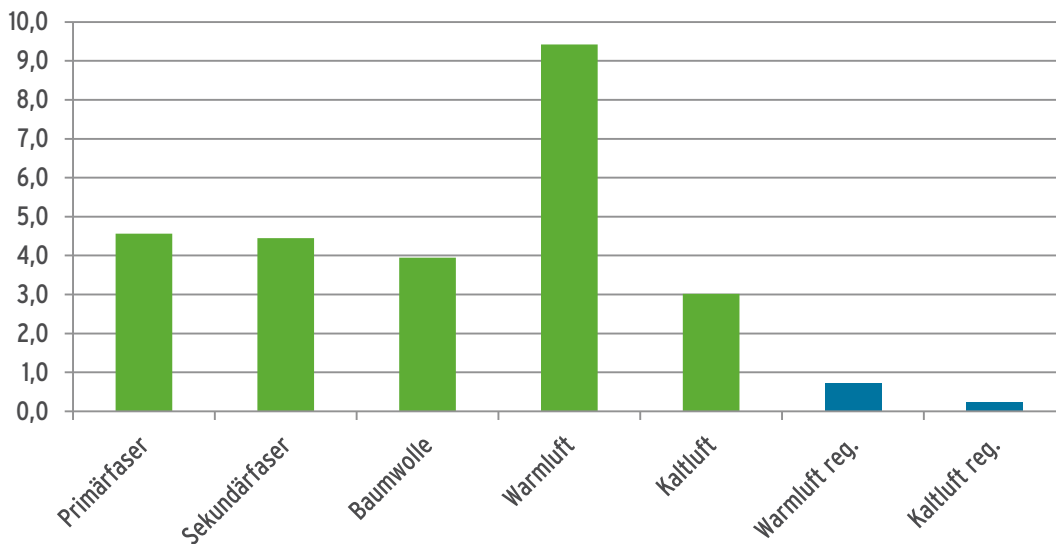
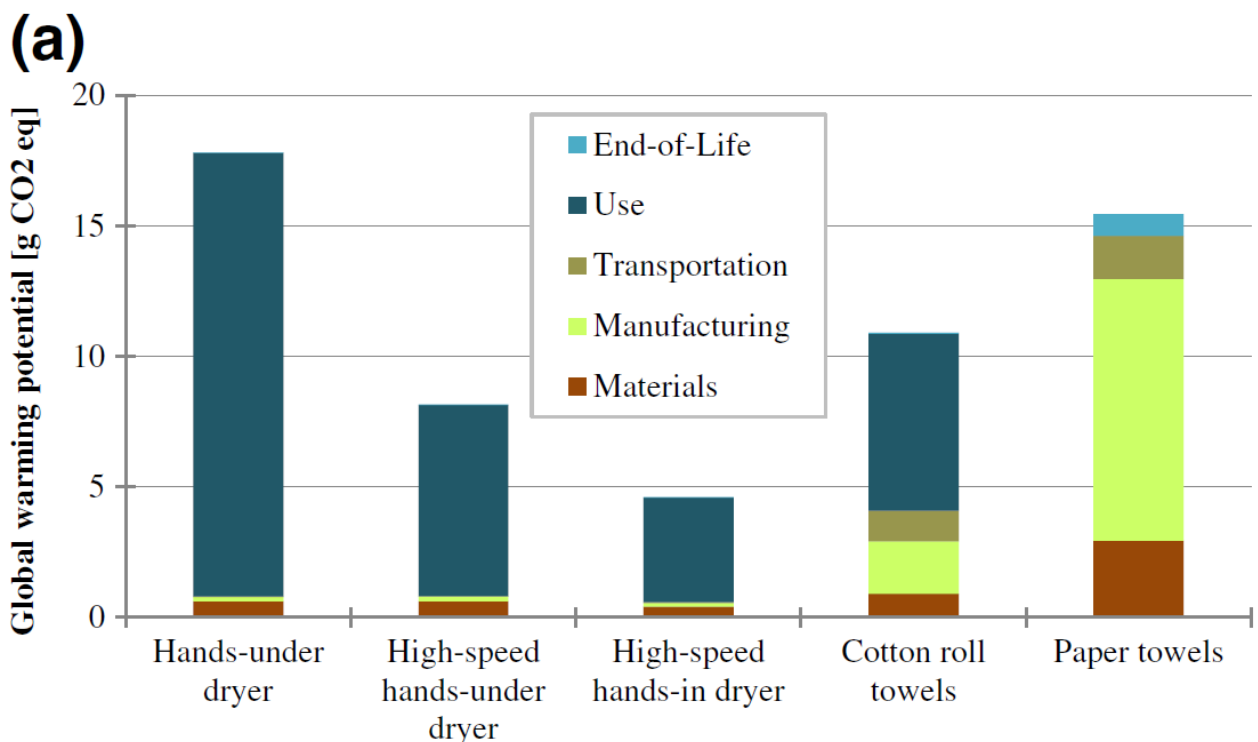


Abbildung 21 Ergebnisse zum Treibhausgaspotenzial einer vergleichbaren Studie in Gramm CO₂-Äquivalente, bezogen auf 1 paar getrocknete Hände. [Gregory, Jeremy R. et al. (2013)]



6.1.3 Fazit: Methodik

Im Rahmen des Projektes wurde die Methode zur vereinfachten ökologischen Bewertung VERUM entwickelt. An Hand von Fallbeispielen sollte die Praktikabilität überprüft werden. Dabei stand die Methodenentwicklung im Vordergrund.

Aufgetretene Probleme in der Anwendung

- ▶ Datenverfügbarkeit: Daten müssen (Zeit-)aufwändig recherchiert werden, Daten aus verschiedenen Quellen sind häufig nicht kompatibel.
- ▶ Asymmetrische Datenlage erschwert Vergleiche zwischen Systemen
- ▶ Repräsentativität der Daten oft schwer einschätzbar.
- ▶ Aufwand/ Nutzenverhältnis ist nicht immer günstig. („vereinfachte Methode“!)

Vergleich mit Ökobilanz

Die Detailtiefe ist bei VERUM auf Grund von Vereinfachungen geringer als bei einer Ökobilanz, was zu einem geringeren Bearbeitungsaufwand führt. Bei VERUM findet immer eine Abwägung zwischen der Genauigkeit der erzielbaren Ergebnisse und dem notwendigem Bearbeitungsaufwand statt.

Allerdings kann der Bearbeitungsaufwand für die datenkritischen Bereiche (Hauptprozesse) ähnlich hoch wie bei einer Ökobilanz sein, wenn bei VERUM detaillierte Sachbilanzdaten erhoben werden müssen um eine hohe Aussagesicherheit der Ergebnisse zu erzielen.

Bei VERUM werden zusätzliche Belastungskategorien betrachtet, was zu einer wichtigen Diskussion im UBA führte. Dies führt aber auch zu einem höheren Bearbeitungs- und Beteiligungsaufwand bei VERUM.

Obwohl es sich um eine „Vereinfachte Umweltbewertung“ handelt, ist der Bearbeitungsaufwand hoch. Wenn nicht schon wesentliche Daten vorliegen, ist eine ad hoc Bewertung bei aufwändigeren Systemen nur schwer möglich.

Bewertung auf Mikro- & Makroebene

Soweit Daten in entsprechender Qualität vorliegen, kann die Bewertung auf Mikroebene recht einfach entsprechend dem Leitfaden durchgeführt werden. Für die Bewertung auf Makroebene sind weitere Daten/ Annahmen/ Ziele notwendig (Bsp: Referenzsystem). Liegen diese vor, kann auch hier eine Bewertung vorgenommen werden.

Priorisierung der Belastungskategorien und Ergebnisranking

Zur Priorisierung der Belastungskategorien liegt kein festes Raster vor. Im Leitfaden wurde dies bewusst vage gehalten, was durchaus vorteilhaft sein kann, da bei unterschiedlichen betrachteten Systemen die Schwerpunkte anders gelegt werden können. Allerdings kann das aber ggf. zu einer Beliebigkeit der Ergebnisse führen.

Prüfung der Aussagesicherheit: Vergleich mit anderen Studien

Die Höhe der absoluten Ergebnisse schwankt im Vergleich zu anderen Studien zu Handtrockensystemen signifikant (Bsp.: Treibhauseffekt um Faktor 2-5). Hier wäre eine Ergebnisüberprüfung notwendig. Dabei könnte auch eine Überprüfung der Vorgehensweise und der Ergebnisse durch unabhängige (interne) Dritte hilfreich sein.

7 Quellenverzeichnis

Gregory, Jeremy R. et al. (2013): Analyzing uncertainty in a comparative life cycle assessment of hand drying systems, The International Journal of Life Cycle, September 2013, Volume 18, Issue 8, pp 1605-1617 Assessment (DOI 10.1007/s11367-013-0606-0), Heidelberg

Tabelle A 5 Ist-Zustand und Handlungsziele für terrestrische Naturraumbeanspruchung

Flächennutzung für Biomasseproduktion und nicht dafür nutzbare Fläche	Wälder Urwald (Bestand, global)	Sonstiger Wald / Forst (global)	Weideland (genutzt, global)	Ackerland (genutzt, global)	Städte, Infrastruktur (genutzt, global)	Unland (Bestand, global)
IST-Zustand	1,4 Mrd. ha	2,5 Mrd. ha	3,55 Mrd. ha	1,445 Mrd. ha (-13 Mio ha pro Jahr durch Wüstenbildung)	0,2 Mrd. ha	4,3 Mrd. ha (+13 Mio ha pro Jahr durch Wüstenbildung)
Umnutzungen / sonstige Gewinne / Verluste: Ziel = 0	-14 Mio Hektar pro Jahr					

Flächennutzungsänderung	Bestand und 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) Flächenbelegung Flächennutzungsänderung	Urwald 1,4 Mrd. ha - 14 Millionen Hektar pro Jahr	Ackerland 11,847 Mio. ha + 270 Hektar pro Tag	SV-Fläche 4,770 Mio. ha + 76,7 Hektar pro Tag	Abbauland 0,16 Mio. ha + 7,1 Hektar pro Tag	FF-PV ca. 0,015 Mio. ha Bis zu + 15 Hektar pro Tag
Handlungs-Ziele für Flächennutzungsänderung	Reduktion auf Null	Reduktion auf Null	Reduktion auf 30 Hektar pro Tag (2020) Null (mittelfristig)	Reduktion auf 2,2 Hektar pro Tag (2020), davon 0,6 Hektar pro Tag für Braunkohle Null (mittelfristig)	Reduktion auf Null (sofort, s. EEG)

Herunterbrechen des 30-Hektar-Ziels für Siedlungs- und Verkehrsflächen auf Wirtschaftszweige / Aktivitäten

Flächennutzungs- änderung	Bestand und Verlust von Urwäldern (global)	Umbruch von Dauer- grünland zu Ackerland (Deutsch- land)	Zuwachs der Siedlungs- und Ver- kehrsfläche (Deutsch- land)	Umwand- lung von Flächen in Abbauland (Deutsch- land)	Umwandlung von Ackerland in Standort für Freiflächenvol- taik (Deutsch- land)
Nutzungsart	Wirtschafts- zweig Wohn- ungsbau, Bedürfnisfeld Wohnen	Wirt- schafts- zweig Pro- duktion, Handel, öffentliche und private Dienst- leistungen	Wirtschafts- zweig Frei- zeit, Sport, öffentliche Grünflächen und Friedhö- fe	Wirtschaftszweig Verkehrs- träger, Transporte, Bedürfnis- feld Mobilität insgesamt	davon [ha p.d.]
IST-Zustand (2010) Flächenbelegung Flächennutzungs- änderung	1,662 Mio. ha + 17,8 Hektar pro Tag, da- von Einfamilien- häuser + 14,2 Hektar pro Tag (1,028 Mio. ha) Zweifamilien- häuser + 2,0 Hektar pro Tag (0,356 Mio. ha) Mehrfamili- enhäuser + 1,6 Hektar pro Tag (0,278 Mio. ha)	0,88 Mio. ha + 15,3 Hek- tar pro Tag	0,40 Mio. ha + 23,1 Hek- tar pro Tag	1,79 Mio ha + 20,6 Hektar pro Tag	Erschließungs- straßen Wohn- ungsbau: + 4,2 Erschließungs- straßen Gewer- be usw.: + 2,5 Land- und forstwirtschaft- licher Wege- bau: ca. + 7 Ausbau über- örtliche Stra- ßen: ca. + 5 Sonstiges (Bahn, Flughä- fen): ca. + 2
Teilziel	+ 7,1 Hektar- pro Tag <i>Bedarfsge- recht umzu- legen auf Wohnunstype n</i>	+ 6,1 Hek- tar pro Tag	+ 9,2 Hektar pro Tag	+ 8,2 Hek- tar pro Tag	jeweils Reduk- tion um 60 %

VERUM

Fallbeispiel Gütertransporte

Januar 2014

Bearbeitung:

Gunnar Gohlisch I 3.1,

Martin Lange I 3.2

Jörn Lindmaier I 3.3

Gertrude Penn-Bressel I 1.6

Felix Müller III 2.2

1 Einleitung und Einordnung der Arbeiten

Der Verkehrssektor trägt mit knapp 20 % maßgeblich zu den Treibhausgas-Emissionen Deutschlands bei. Einen wesentlichen und kontinuierlich wachsenden Anteil hat dabei der Schwerlastverkehr auf der Straße. Klimaschutzbemühungen müssen daher dringend auch beim Straßengüterverkehr ansetzen. Dieser basiert heute fast noch vollständig auf Dieselkraftstoff als Energieträger.

Im Rahmen eines vom BMUB geförderten Projektes (ENUBA I, Laufzeit 2010-2011) wurde auf einer 1,5 km langen Teststrecke die grundsätzliche technische Realisierbarkeit eines oberleitungsgebundenen elektrisch betriebenen Lkw-Verkehrs („O-Lkw“) nachgewiesen.¹⁵ Dieser ermöglicht die Verwendung von effizienten elektrischen Motoren als Antrieb und die direkte Nutzung erneuerbar erzeugten Stromes zur Energieversorgung des Verkehrs. Das Konzept wurde vom Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) im Jahre 2012 aufgegriffen und ausführlich beschrieben.¹⁶

Bei der Entscheidung, ob ein neuartiges Verkehrsmittel, wie es der O-Lkw darstellt, weiter erforscht und gegebenenfalls eingeführt werden sollte, ist unter anderem dessen Umweltverträglichkeit zu bewerten. Im Rahmen der Entwicklung des „VERUM“-Leitfadens wurde vor diesem Hintergrund das Fallbeispiel „Gütertransportsysteme“: O-LKW ausgewählt. Wie bei den anderen Fallbeispielen lag der Schwerpunkt hierbei darauf, die Anwendbarkeit der „VERUM“-Methodik anhand des Fallbeispiels zu überprüfen und ihre Weiterentwicklung zu unterstützen. Entsprechend wird in den folgenden Ausführungen mit Bezug auf das Fallbeispiel „Gütertransportsysteme: O-Lkw“ eingegangen auf

- ▶ die bei der Anwendung des Leitfadens auf das Beispiel erfolgreich absolvierten Schritte,
- ▶ Probleme bei der Anwendung des Leitfadens,
- ▶ notwendige Erweiterungen des Leitfadens.

¹⁵ Abschlussbericht: <http://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/foerderprojekte-aus-dem-konjunkturpaket-ii-2009-2011/wirtschaftsverkehr-feldversuche/abschlussberichte-wirtschaftsverkehr/abschlussbericht-enuba.pdf>

¹⁶ Sachverständigenrat für Umweltfragen: „Verantwortung in einer begrenzten Welt“, Umweltgutachten (2012), S. 150-152.

2 Darstellung der Ergebnisse

Die ersten Bearbeitungsschritte des Leitfadens stellen die „Zieldefinition“ und die sogenannte „Vorprüfung“ dar. Auf die „Zieldefinition“ wurde bereits in der Einleitung eingegangen:

Ziel der Untersuchung war es, die Umweltverträglichkeit des „O-Lkw“ zu bewerten.

Auf eine derartige Untersuchung kann verzichtet werden, wenn im Rahmen der sogenannten „Vorprüfung“ festgestellt wird, dass

- ▶ eine derartige Untersuchung beim UBA oder extern bereits vorliegt bzw.
- ▶ die Verbesserungen/Verschlechterungen durch den O-Lkw auch ohne Untersuchung offensichtlich sind oder
- ▶ mit der Einführung des O-Lkw in irgendeiner Form gegen gesetzliche Anforderungen verstoßen wird.

Im Rahmen der durchgeführten „Vorprüfung“ wurde festgestellt, dass keiner dieser Punkte zutrifft. Daher waren in den nächsten Schritten der Untersuchungsrahmen festzulegen und das Belastungsprofil zu ermitteln.

Der Untersuchungsrahmen wurde so festgelegt, dass die Umweltauswirkungen des oberleitungsgebundenen Lkws mit jenen verglichen werden, die entstehen, wenn die Güter alternativ per Bahn, Binnenschiff oder konventionellem Diesel-Lkw transportiert werden.

Für die Ermittlung des Belastungsprofils wurde davon ausgegangen, dass grundsätzlich die folgenden Lebenszyklusphasen zu betrachten sind:

- ▶ Fahrzeugbau
- ▶ Fahrzeugbetrieb (einschließlich Berücksichtigung der Erzeugung der Energieträger)
- ▶ Infrastrukturaufbau
- ▶ Infrastrukturbetrieb

Die Phasen werden dabei, wenn notwendig, anteilig dem Belastungsprofil angerechnet (z.B. Infrastrukturaufbau), da diese nicht für diesen einzelnen Transport errichtet worden.

In Abstimmung mit den Facheinheiten des Umweltbundesamtes wurden 8 der 15 in „VERUM“ definierten Belastungskategorien als „nicht-relevant“ für das Fallbeispiel ausgeschlossen. Für die zu berücksichtigenden Belastungskategorien wurde wiederum in Abstimmung mit den Facheinheiten festgelegt, in welchen Lebenszyklusphasen sie relevant sind. Im Ergebnis verblieben 14 Belastungen, für die aus fachlicher Sicht die Erstellung einer Sachbilanz angezeigt ist. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle durch „+“ gekennzeichnet. Die Erstellung dieser Sachbilanzen musste jeweils für jeden der vier Verkehrsträger erfolgen.

Tabelle 53 Berücksichtigte Belastungskategorien

	Fahrzeugbau	Fahrzeugbetrieb	Energieerzeugung	Bau/Betrieb Infrastruktur
Treibhausgase/Energie	+	+	+	+
Gefährliche Stoffe in Außenluft	-	+	+	-
Lärm	-	+	-	-
mechanische Tötung von Tieren	-	+	-	+
Verbrauch mineralischer Rohstoffe	+	-	-	+
Naturraumbelastung	-	+	+	-
Stör-/Unfälle	-	+	-	-

Das erste Ziel des „VERUM“-Leitfadens, ein Belastungsprofil zu erstellen, das systematisch und vergleichbar ist, konnte somit erreicht werden. Die weiteren Arbeitsschritte „Belastungsermittlung“ und „Belastungsbewertung“ gestalteten sich jedoch schwierig.

3 Kritische Punkte

Belastungsermittlung und -bewertung

Die „VERUM“-Methodik sieht vor, dass die Belastungsermittlung zunächst für eine sogenannte „funktionelle Einheit“ erfolgt, die den quantifizierten Nutzen eines Produkt-/Dienstleistungssystems als Vergleichseinheit angibt.

Die Festlegung einer eindeutig definierten funktionellen Einheit, für die sich Belastungen ermitteln lassen, die letztlich auf eine Gesamtbelastung skaliert werden können, ist für das Fallbeispiel „Gütertransportsysteme“ nur unzureichend möglich. Der Güterverkehr stellt ein Gesamtsystem von sehr vielen unterschiedlichen Einzelprozessen dar. Die auftretenden Umweltbelastungen hängen unter anderem sehr stark von den folgenden Einflussgrößen ab:

- ▶ Fahrzeugart (Bauart, Größe, Alter, Abgastechnik, Beladungsgrad)
- ▶ Güterart (Volumengut, Massengut, Container, Mischformen)
- ▶ Fahrweg (Straßenkategorie, Gefälle, Stau/freie Fahrt, Streckenführung in Siedlungsnähe ja/nein)
- ▶ Strom- und Kraftstoffzusammensetzung (z.B. Anteil Bio-Kraftstoff)
- ▶ Zeitpunkt der Betrachtung (Bezugsjahr z.B. wichtig für die Stromzusammensetzung)

Für das Fallbeispiel wurde die „VERUM“-Methodik stark vereinfachend am Beispiel einer „skalierbaren“ funktionellen Einheit „Transport von 1 t Durchschnittsgut über 1 km“ erprobt. Für einige Belastungskategorien konnte die Methodik zumindest durch die Verwendung von heutigen Durchschnittswerten für die o.g. Einflussgrößen angewendet werden („Treibhausgase/Energie“, „Gefährliche Stoffe in der Außenluft“, „Naturraumbeanspruchung“, „Stör-/Unfälle“). Aus den o.g. Gründen wären aber auch für diese Kategorien umfangreiche Sensitivitätsuntersuchungen notwendig, die über den Rahmen einer vereinfachten Bewertung hinausgehen. So hätte z.B. eine Veränderung der Zusammensetzung des Stromes auf rein erneuerbar erzeugtem Strom deutliche Veränderungen der Bewertung zur Folge.

Für andere Kategorien konnte die Methodik nicht angewendet werden, da sich der Ansatz einer „skalierbaren funktionellen Einheit“ als nicht durchführbar erwies („Lärm“) oder die notwendigen Daten nicht vorlagen bzw. nur mit einem Aufwand zu ermitteln gewesen wären, wie er im Rahmen von Ökobilanzen üblicherweise betrieben wird („mineralische Rohstoffe“).

Ein weiteres Problem ergibt sich aus der Tatsache, dass Güterverkehr in der Regel dieselbe Infrastruktur nutzt wie der Personenverkehr. Hieraus ergeben sich für einige Belastungskategorien Schwierigkeiten, dem Güterverkehr einen quantifizierten Anteil an den auftretenden Belastungen zuzuordnen („Unfälle“, „Naturraumbeanspruchung“ etc.).

Die wesentlichen Schwierigkeiten im Rahmen der „Belastungsermittlung“ sind somit:

- ▶ Definition einer sinnvollen funktionellen Einheit
- ▶ Problematik der Sensitivitäten
- ▶ Datenverfügbarkeit
- ▶ Allokationsprobleme

Sie führen dazu, dass nur eingeschränkte, wenig belastbare Teilbewertungen möglich sind (vgl. Anhang). Eine Gesamtbewertung des oberleitungsgebundenen Lkws erfordert daher weiterführende Arbeiten.

4 Notwendige Erweiterungen

Durch die "VERUM"-Methodik werden nur die primären ökologischen Wirkungen erfasst. Sekundäreffekte, die sich aus der Veränderung des Gesamtsystems ergeben, können ebenso wenig erfasst werden wie ökonomische und soziale Aspekte.

Ein völlig neues Verkehrsmittel, wie es der oberleitungsgebundenen Lkw darstellt, kann jedoch nicht nur als „Produkt“ betrachtet werden, welches in mehr oder minder großen Stückzahlen in den Markt kommt, ohne Systemveränderungen und damit sekundäre Umwelteffekte mit großer Wirkung auszulösen.

Die „VERUM“-Ergebnisse sollten daher um eine Abschätzung der systemischen Folgen ergänzt werden. Als Gesamtsystem kann dabei nicht allein der „Güterverkehr“ betrachtet werden, da Veränderungen des Güterverkehrs auch Auswirkungen auf den Personenverkehr haben können.¹⁷

Eine systemische Bewertung sollte zumindest folgende Punkte umfassen, für die einzuschätzen ist, ob es zu relevanten Veränderungen kommt

- ▶ Kostensituation für die einzelnen Verkehrsträger
- ▶ Auswirkungen auf das Verkehrsaufkommen
- ▶ Wahl der Verkehrsmittel/Aufteilung auf Verkehrsmittel („Modal Split“)
- ▶ Energiemarkt (Verfügbarkeit/Kosten für verschiedene Energieträger)
- ▶ Infrastrukturaufbau

Für die identifizierten relevanten Veränderungen müssen die hieraus folgenden Auswirkungen auf die Umwelt ermittelt werden. Sowohl die o.g. Änderungen als auch die daraus folgenden Umweltwirkungen sind schwer abzuschätzen. Aufgrund der großen Rolle, die sie spielen können, kann auf sie jedoch nicht verzichtet werden, bevor eine Empfehlung abgegeben werden kann, ob der oberleitungsgebundene Lkw weiter unterstützt bzw. gefördert werden soll.

¹⁷ Führt beispielsweise eine verbesserte Kostensituation im Straßengüterverkehr zu einem Rückgang des Schienengüterverkehrs kann es zur Stilllegung von Bahnstrecken kommen, die dann auch den Personenverkehr betreffen.

5 Anhang:

Tabelle 54 Einschätzung zum Belastungsprofil

Belastungskategorie	Aussage möglich ?	Bisheriges Ergebnis	Probleme
Treibhausgase/Energie	Eingeschränkt	Lkw und O-Lkw etwa gleichwertig, schlechter als Bahn/Schiff	Ergebnis gilt nur für heutigen Strom-Mix
Gefährliche Stoffe in Außenluft	Eingeschränkt	Lkw und O-Lkw etwa gleichwertig, schlechter als Bahn, besser als Schiff	Ergebnis gilt nur für heutigen Strom-Mix
Lärm	Eingeschränkt	Lkw und O-Lkw etwa gleichwertig, schlechter als Schiff, besser als Bahn	Rein emissionsseitige Betrachtung; modellgestützte Belastungsermittlung notwendig
mechanische Tötung von Tieren	Eingeschränkt	Lkw und O-Lkw etwa gleichwertig, schlechter als Bahn/Schiff	Umfangreichere Datenrecherche notwendig
Verbrauch mineralischer Rohstoffe	Sehr eingeschränkt	Rangfolge (abnehmende Relevanz): 1.Schiff 2.Diesel-Lkw 3. Bahn 4. O-Lkw	Umfangreichere Datenrecherche notwendig
Naturraumbeanspruchung	Sehr eingeschränkt		Umfangreichere Datenrecherche notwendig; Methodische Probleme (direkte Flächeninanspruchnahme vs. Flächenumnutzungen)
Stör-/Unfälle	Möglich	Lkw und O-Lkw etwa gleichwertig, schlechter als Bahn/Schiff	Allokation Güterverkehr/Personenverkehr