

Ökoindikatoren-Bau

Neue Indikatoren zur Bewertung der Umweltwirkung von Bauprodukten und Bauweisen

November 2014

Dokumentname	Neue Indikatoren zur Bewertung der Umweltwirkung von Bauprodukten und Bauweisen
Datum	27.11.2014
Revision	Version 01
Projekt	Ökoindikatoren–Bau
Projektnummer	4431561
Förderungstitel	Basisprogramm
Autoren	<p>Dipl.-Ing. Gernot Fischer Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie Technische Universität Graz gernot.fischer@tugraz.at</p> <p>Dipl.-Ing. Dr.techn. Danilo Schuster Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie Technische Universität Graz danilo.schuster@tugraz.at</p> <p>Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Maydl Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie Technische Universität Graz peter.maydl@tugraz.at</p>

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Motivation.....	5
2. Ziel und Untersuchungsrahmen	6
3. Überblick – angewandte Indikatoren in den Regelwerken des CEN/TC350	7
4. Vorgehensweise bei der Feststellung der Bedeutung von Umweltwirkungen für ein Produktsystem.....	9
5. Life Cycle Assessment (Ökobilanz).....	10
5.1 Festlegen des Ziel- und Untersuchungsrahmens	11
5.2 Sachbilanz.....	12
5.3 Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment – LCIA).....	14
5.3.1 Charakterisierung.....	15
5.3.2 Normalisierung	16
5.4 Auswertung und Ergebnisinterpretation	17
6. Identifikation der relativen Bedeutung unterschiedlicher Wirkungsindikatoren für den Bausektor	18
6.1 Festlegen von geeigneten LCIA-Methoden	21
6.2 Beschreibung der gewählten LCIA-Methoden	22
6.2.1 Teilaggregierende Methoden	23
6.2.2 Vollaggregierende Methoden.....	24
6.3 LCIA-Methoden zur Anwendung in Europa	25
6.3.1 CML.....	25
6.3.2 Eco-indicator 99	32
6.3.3 EDIP 2003.....	35
6.3.4 Impact 2002+	37
6.3.5 ReCiPe.....	39
6.4 LCIA–Methoden zur Anwendung in Nordamerika	43
6.4.1 BEES+	43
6.4.2 TRACI 2.1	44
6.5 Zuordnung der Umweltwirkungen in übergeordnete und untergeordnete Kategorien	45
7. Analyse und Auswertung	47
7.1 Festlegen eines geeigneten Bewertungsobjektes	47

7.2 Identifikation der relativen Bedeutung von Wirkungsindikatoren je übergeordneter Wirkungskategorie.....	48
7.2.1 Identifikation der relativen Bedeutung der Ökoindikatoren am Beispiel CML 2 baseline 2000 V2.05	49
7.2.2 Zusammenfassung der relativen Bedeutung der Wirkungskategorien für sämtliche LCIA-Methoden am Beispiel Ziegelbauweise.....	50
7.2.3 Zusammenfassen der relativen Bedeutung der übergeordneten Wirkungskategorien für sämtliche Bauweisen.....	54
7.2.4 Relative Bedeutung der übergeordneten Wirkungskategorien für den Bausektor	56
7.2.5 Relative Bedeutung der untergeordneten Wirkungskategorien für den Bausektor	57
8. Qualitätsanalyse der für den Bausektor relevanten Wirkungsindikatoren	59
8.1 Erheben der Datenqualität der LCIA- Methoden anhand ILCD	59
8.2 Erheben der Umweltrelevanz der jeweiligen Wirkungsindikatoren.....	62
9. Zusammenfassung und Ausblick	66
10. Literaturverzeichnis	67
11. Abbildungsverzeichnis	69
12. Tabellenverzeichnis	71
13. Begriffsdefinitionen.....	73
14. Abkürzungsverzeichnis	75
15. Anhang	76

Kurzfassung

Die Bauwirtschaft ist einer der ressourcen-, abfall- und energieintensivsten Sektoren. 50% des gesamten Ressourcenverbrauchs und des Abfallaufkommens (einschließlich Aushub) und 40% des Energieverbrauchs (von Gebäuden) werden in der Europäischen Union durch den Bausektor verursacht. [1]

Das europäische Regelwerk für nachhaltiges Bauen umfasst in der EN 15804 bzw. der EN 15978 derzeit 22 ökologische Indikatoren zur Quantifizierung der Umweltwirkungen von Bauprodukten. Diese sollen die Grundlage für eine verständliche, nachvollziehbare und treffsichere Bewertung auf Gebäudeebene mittels eines harmonisierten Bewertungsrahmens darstellen.

Zwar existieren unzählige Studien, die sich mit der Bewertung von Basisdaten und Methoden zu Erfassung und Bewertung von Umweltwirkungen auseinandersetzen, diese sind jedoch nicht auf den Bausektor bezogen. Fokus des vorliegenden Forschungsprojekts ist daher die Ermittlung der relativen Bedeutung von Wirkungsindikatoren zur Bewertung der Umweltrelevanz von Bauprodukten, Gebäuden und Bauwerken. Explizit sind keine Studien bekannt, welche die relative Bedeutung von „Ökoindikatoren“ für den Bausektor untersuchen bzw. auf die Besonderheiten des Bauwesens eingehen.

Erster Schritt war eine umfassende Literaturstudie zu bestehenden Life Cycle Impact Assessment-Methoden (LCIA-Methoden). Dabei wurde im Speziellen die Relevanz dieser Methoden sowie der zugrunde gelegten Wirkungsindikatoren und deren Anwendbarkeit im Bausektor untersucht. In weiterer Folge wurde die ökologische Qualität für ein definiertes Referenzgebäude, ausgeführt in vier unterschiedlichen Bauweisen, quantifiziert. Dies erfolgte durch Charakterisierung von Sachbilanzdaten unter Verwendung unterschiedlicher LCIA-Methoden. Die relative Bedeutung der Wirkungsindikatoren wurde mittels Analysen der normalisierten Ökobilanz-Ergebnisse aufgezeigt. Eine Betrachtung erfolgte dabei sowohl auf wirkungsorientierter Midpoint-Ebene als auch auf schadensbasierter Endpoint-Ebene.

Die Ergebnisse der Analyse der relativen Bedeutung der jeweiligen Wirkungsindikatoren der untersuchten LCIA-Methoden anhand eines Referenzgebäudes zeigen, dass derzeit zahlreiche Wirkungsindikatoren mit hoher Priorität (Ressourcen, Humantoxizität, Ökotoxizität) existieren, die in der Normung noch keine Berücksichtigung finden. Aus einer Qualitätsanalyse nach dem International Reference Life Cycle Data System (ILCD-System) geht hervor, dass für die als prioritär identifizierten Wirkungsindikatoren bereits Methoden mit ausreichender Datenqualität empfohlen werden. Des Weiteren wurde im Zuge einer Untersuchung bezüglich der Umweltrelevanz gezeigt, dass jene Wirkungsindikatoren mit hoher Priorität auch eine hohe relative Bedeutung bezüglich der verschiedenen Schutzgüter (menschliche Gesundheit, Ökosystem und Ressourcen) aufweisen. Aus diesen Ergebnissen ist abzuleiten, dass eine Adaptierung der derzeit in der EN 15804 [2] bzw. der EN 15978 [3] angewandten Wirkungsindikatoren bzw. eine Implementierung von zusätzlichen Wirkungsindikatoren angezeigt erscheint.

1. Einleitung und Motivation

Eine richtungssichere und nachvollziehbare Bewertung und Quantifizierung der Umweltwirkungen von Bauprodukten stellt die Basis für die Optimierung der Bewertungsqualität auf Gebäudeebene dar, welche bereits in der Planungsphase beginnen muss und wesentliche Prozessschritte – von der Auswahl der Baustoffe/Bauprodukte, über Konstruktionsarten bis zur Festlegung der Nutzungsarten – umfasst. Zudem ist die Bewertung der Umweltwirkungen von Bauprodukten ein wichtiges Instrument zur Umsetzung und Evaluierung von Optimierungsprozessen in der Baustoffherzeugung, um den aktuellen und künftigen Anforderungen des Nachhaltigen Bauens gerecht zu werden.

Bedenkt man den im Bauwesen vorhandenen Bedarf an stofflichen und energetischen Ressourcen sowie die damit verbundenen Emissionen, so wird rasch klar, dass dieser Sektor einen beträchtlichen Multiplikationseffekt zur Verringerung von Umweltwirkungen aufweist.

Die 22 ökologischen Indikatoren der EN 15804 bzw. der EN 15978 zeugen von dem Bestreben, von Bauprodukten verursachte Umweltwirkungen möglichst umfassend abzubilden. Fraglich ist, wie diese große Zahl an Kennwerten bei der Auswahl von Bauprodukten im Planungsprozess berücksichtigt werden kann. Dazu kommt, dass einzelne Umweltwirkungen durch verschiedene Indikatoren mehrfach abgebildet werden wie z.B. Verbrennungsprozesse fossiler Energieträger (Global Warming Potential GWP, Acidification AP, etc. ...). Darüber hinaus ist eine verbreitete Unsicherheit zu beobachten, ob mit den bisherigen 22 Indikatoren die „richtigen“ gewählt wurden, d.h., ob damit alle wesentlichen Umweltwirkungen berücksichtigt werden. Dieses Thema wurde daher in mehreren Workshops im Rahmen der vom Comité Européen de Normalisation/Technical Committee 350 (CEN/TC 350) ins Leben gerufenen Joint Working Group „Additional Indicators“ eingehend diskutiert. Die Erkenntnisse werden in einem TR (Technical Report) [4] zusammengefasst, der Mitte 2015 fertiggestellt sein soll. Zu den möglichen „neuen“ Indikatoren zählen etwa Landverbrauch, Human- und Ökotoxizität, Feinstaubpartikel, Wasserknappheit oder ionisierende Strahlung.

Das vom CEN/TC 350 erstellte Regelwerk geht auf ein von der Europäischen Kommission im Wege der Generaldirektion Umwelt (GD Umwelt) erteilten Mandat (M 350) zurück. Die GD Umwelt hat mit dem PEF (Product Environmental Footprint) ein nicht mit CEN abgestimmtes Bewertungskonzept für Produkte (nicht nur Bauprodukte) vorgestellt. Derzeit wird versucht, diese beiden Konzepte aneinander anzunähern.

Das vorliegende Projekt soll daher einen Überblick geben, welche Modelle und Methoden zur Bewertung der Umweltwirkungen von Bauprodukten verfügbar sind, bzw. welche Ansätze existieren, um ökologische Indikatoren nach ihrer relativen Bedeutung zu bewerten/reihen und wie belastbar die zugehörigen Datengrundlagen einzuschätzen sind. Damit sollen Anhaltspunkte aufgezeigt werden, welche Wirkungsindikatoren im europäischen Regelwerk (z.B. EN 15804) nach dem aktuellen Wissensstand fehlen, welche gestrichen oder zurückgereiht werden könnten und nach welchen Kriterien eine kleine Anzahl an richtungssicheren „Kernindikatoren“ definiert werden kann, damit eine vereinfachte Bewertung ermöglicht wird, wie dies auch seitens der Europäischen Kommission angeregt wurde.

2. Ziel und Untersuchungsrahmen

Ein Vergleich des CEN/TC 350 Systems mit dem Product Environmental Footprint (PEF) zeigt, dass die derzeitige Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit nicht vollständig ist. Daher zielt das Projekt auf eine vergleichende Bewertung von bestehenden und allfälligen „neuen“ Indikatoren ab. Bei dieser Untersuchung der Ökoindikatoren werden insbesondere auch Aspekte wie Richtungssicherheit und Relevanz für den Bewertungsgegenstand, Vergleichbarkeit der Bewertungsergebnisse, Belastbarkeit und Verfügbarkeit der Daten betrachtet.

Die als prioritär eingestuften „zusätzlichen Indikatoren“ sollen in weiterer Folge auch in die Normung – insbesondere in das Regelwerk des CEN/TC 350 – eingebracht werden. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die ausgewählten Wirkungsindikatoren, Berechnungsmethoden, Wirkungszusammenhänge und Datengrundlagen so abgesichert sind, dass daraus wissenschaftlich fundierte Beiträge für die anstehenden Überarbeitungen der einschlägigen europäischen Normen abgeleitet werden können. Diesen Fragestellungen geht auch der Technical Report [4] nach, der voraussichtlich bis Sommer 2015 fertiggestellt sein sollte und dem CEN/TC 350 Entscheidungsgrundlagen betreffend den künftigen Umfang der Wirkungsindikatoren im europäischen Regelwerk liefern soll. Damit besteht auch die Möglichkeit, die Erkenntnisse aus dem vorliegenden Bericht in die europäische Diskussion einfließen zu lassen.

Ein wesentliches Problem stellt die derzeit existierende Vielzahl an Methoden, aber auch an Datenbanken auf dem Sektor der Bewertung der ökologischen Qualität von Bauprodukten und Gebäuden dar. Aufgrund der unterschiedlichen Charakterisierungsmethoden sowie der schwankenden Qualität von Sachbilanzdaten besteht das Risiko, dass die Bewertungsergebnisse große Streuungen aufweisen und diese teilweise mit hohen Unsicherheiten – vor allem hinsichtlich Allokation und Definition von Systemgrenzen – behaftet sind.

Primäres Ziel des vorliegenden Projekts ist es, die Relevanz von Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen von Bauprodukten, Bauteilen und Gebäuden aufzuzeigen. In weiterer Folge werden Empfehlungen für eine eventuelle Ergänzung bzw. Reduktion von Wirkungsindikatoren im europäischen Regelwerk des CEN/TC 350 gegeben. Gleichzeitig wird im Rahmen von „AP4–Indikatorenvergleich“ evaluiert, ob mit den neuen Indikatoren eine objektive Bewertung der Umweltwirkungen von Bauprodukten erreicht werden kann.

Übergeordnetes Ziel des gegenständlichen Forschungsvorhabens ist es, die Bewertung der Umweltwirkungen von Bauprodukten und Bauweisen qualitativ zu verbessern, richtungssicher zu gestalten und den Aufwand dennoch in vertretbaren Grenzen zu halten. Dies soll über die Feststellung der relativen Bedeutung der unterschiedlichen Wirkungskategorien anhand eines Referenzgebäudes aufgezeigt werden. Damit soll der österreichischen – und europäischen – Bauwirtschaft eine Grundlage für ökologisch optimierte Produktentwicklungen geliefert werden.

3. Überblick – angewandte Indikatoren in den Regelwerken des CEN/TC350

Mit dem seit etwa zwei Jahren vorliegenden, aber noch keineswegs abgeschlossenen Regelwerk des CEN/TC 350 ist ein harmonisierter Rahmen zur Nachhaltigkeitsbewertung („integrated performance of buildings“) festgelegt, wobei auch zwischen der Produkt- und Gebäudeebene unterschieden wird. Dabei wurden auch Indikatoren zur quantitativen Erfassung der Auswirkungen von Baumaßnahmen auf ökologischer, ökonomischer und sozialer Ebene definiert. Für das gegenständliche Projekt sind jene ökologischen Indikatoren maßgebend, welche in EN 15804 [2] sowie EN 15978 [3] aufgelistet sind, die sich nur durch 2 zusätzliche (kumulierte) Indikatoren (Gesamteinsatz erneuerbarer Primärenergie und Gesamteinsatz nicht erneuerbarer Primärenergie) unterscheiden.

Folgende Indikatoren werden in den Regelwerken des CEN/TC350 berücksichtigt.

Umweltwirkungen:

- Treibhauspotential
- Versauerungspotential von Wasser und Boden
- Stratosphärisches Ozonabbaupotential
- Eutrophierungspotential
- Ozonentstehungspotential
- Verknappung abiotischer Ressourcen – nicht fossil
- Verknappung abiotischer Ressourcen – fossile Energieträger

Ressourceneinsatz:

- Erneuerbare Primärenergie ohne Energieträger als Rohstoffe
- Erneuerbare Energieträger als Rohstoffe
- Gesamteinsatz erneuerbarer Primärenergie
- Nicht erneuerbare Primärenergie ohne Energieträger als Rohstoffe
- Nicht erneuerbare Energieträger als Rohstoffe
- Gesamteinsatz nicht erneuerbarer Primärenergie
- Einsatz von Sekundärstoffen
- Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen
- Einsatz von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen
- Einsatz von Süßwasserressourcen

div. Umweltinformationen:

- Gefährlicher Abfall zur Deponierung
- Entsorgter nicht gefährlicher Abfall
- Entsorgter radioaktiver Abfall
- Komponenten für die Weiterverwendung
- Stoffe zum Recycling
- Stoffe für die Energierückgewinnung
- Exportierte Energie

Diese Kennwerte sind von Bauprodukte-Erzeugern im Rahmen von (grundsätzlich freiwilligen) EPDs (Umweltproduktdeklarationen) offenzulegen. Jedenfalls werden diese Daten für Gebäudezertifizierungen benötigt, wie sie im Rahmen von Gebäudebewertungssystemen wie TQB- Total Quality Building, DGNB/ÖGNI, klima:aktiv Gebäudestandard, BREEAM etc. durchgeführt werden.

4. Vorgehensweise bei der Feststellung der Bedeutung von Umweltwirkungen für ein Produktsystem

Im gegenständlichen Forschungsvorhaben wird der Wissensstand zu den hochkomplexen Wirkungen zwischen den mit den einzelnen Indikatoren erfassten Umweltwirkungen analysiert und bewertet. Anhand dieser Studie wird die relative Bedeutung der unterschiedlichen Wirkungsindikatoren, welche zur Abbildung der ökologischen Qualität dienen, speziell für den Bausektor untersucht und analysiert. So kann zum Beispiel die Implementierung eines Wirkungsindikators für die Bewertung der Biodiversität, welcher die vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen einzelnen Arten innerhalb eines Habitats bzw. entlang der Nahrungskette berücksichtigt, ein Kriterium für die Baustoffproduktion sein, bzw. in weiterer Folge ein Entscheidungskriterium für die Baustoffwahl selbst.

Erster Schritt war eine umfassende Sichtung der publizierten Forschungsberichte (z.B. ILCD-Handbook, Product Environmental Footprint), Veröffentlichungen und industrieangeborener Studien, um eine Übersicht über jene Wirkungsindikatoren zu erlangen, welche in gängigen LCIA-Methoden Anwendung finden. Schwerpunkt ist die Identifikation bereits bestehender Wirkungsindikatoren von publizierten Bewertungs- und Rechenmodellen zur Abbildung bisher nicht berücksichtigter Umweltwirkungen für den Bausektor.

Aufbauend auf der Analyse und Auswertung der erhobenen Unterlagen wurden im Zuge eines Workshops mit den Fachverbandsmitgliedern der zugängliche Stand des Wissens sowie Fragen und Probleme im Zusammenhang mit der Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Bauprodukten, Gebäuden und Bauwerken diskutiert. Im Zuge des Workshops wurde eine Auswahl an „Ökoindikatoren“ festgelegt, die für den Indikatorenvergleich herangezogen werden. Dieser Indikatorenvergleich samt Dominanzanalyse wurde anhand eines Referenzgebäudes in unterschiedlichen Ausführungsvarianten (Beton, Ziegel, Holz) durchgeführt.

Im Zuge der Projektabwicklung wurden die Forschungsergebnisse mit anerkannten Experten (z.B. von ETH, KIT, JRC, PE International) diskutiert und abgestimmt. Das Einfließen der Projektergebnisse in die europäische Normung (insbesondere in die zu überarbeitende EN 15804 [2]) ist die Voraussetzung für die Anwendung in der Praxis, da diese Norm doch die Grundlage für die Erstellung von Umweltproduktdeklarationen ist.

Erste Schritte in Richtung einer Implementierung der Forschungsergebnisse des vorliegenden Projektes in die europäische Normung wurden im Zuge von Meetings des CEN/TC 350 (Joint Working Group 1+3) in Brüssel und London gesetzt.



Abbildung 1 Vereinfachter Verfahrensablauf zur Feststellung der relativen Bedeutung von Wirkungsindikatoren für den Bausektor

5. Life Cycle Assessment (Ökobilanz)

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Bestandteile der Ökobilanz (LCA – Life Cycle Assessment) erläutert, um eine einheitliche Beschreibung der ausgewählten LCIA-Methoden zu ermöglichen. Im Speziellen wird auf die Arbeitsschritte Charakterisierung und Normalisierung eingegangen. Durch diese Schritte wird eine Reihung bzw. Feststellung der „relativen Bedeutung“ eines Indikators erst ermöglicht.

Die vorliegende Beschreibung bezüglich der Erstellung einer Ökobilanz wurde in Anlehnung an die ÖNORM EN ISO 14044 [5] durchgeführt.

Eine Ökobilanz ist im Wesentlichen eine Quantifizierung und Darstellung von Umweltwirkungen anhand unterschiedlicher Wirkungsindikatoren (z.B. Treibhauspotential, Versauerungspotential etc.). Die Ökobilanz legt die Umweltwirkungen von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen offen und bewertet diese. Dadurch wird sie neben technischer Funktionalität und Wirtschaftlichkeit ein zusätzliches Entscheidungsinstrument, insbesondere in der Produktentwicklung. Eine Betrachtung der Umweltwirkungen eines Produktes oder Prozesses erfolgt dabei über den gesamten Lebenszyklus und dient als Grundlage für das Setzen von Verbesserungsmaßnahmen im Produktionsprozess selbst, oder für die Wahl von Produktalternativen. [5]

Die Ergebnisse einer Ökobilanz können für folgende Punkte genutzt werden:

- Verbesserungspotentiale bzw. -maßnahmen in Hinblick auf Umweltwirkungen im Zusammenhang mit einem Produkt oder Prozess in den einzelnen Lebenszyklusphasen erkennen und optimieren
- Grundlageinformationen bezüglich der Umweltwirkungen generieren, welche als Entscheidungsgrundlage herangezogen werden können
- Umweltbezogene Marketingstrategien entwickeln (z.B. Kennzeichnung von Produkten mit Umweltlabels)

Durch eine Ökobilanz werden die potentiellen Umweltwirkungen, auf Basis einer funktionalen Einheit (Vergleichseinheit mit definiertem Nutzen) quantitativ dargestellt. In Abbildung 2 sind die vier Bestandteile (Festlegen des Ziel und Untersuchungsrahmen, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung) einer Ökobilanz gemäß ÖNORM EN ISO 14044 [5] dargestellt, die in weiterer Folge kurz beschrieben werden.

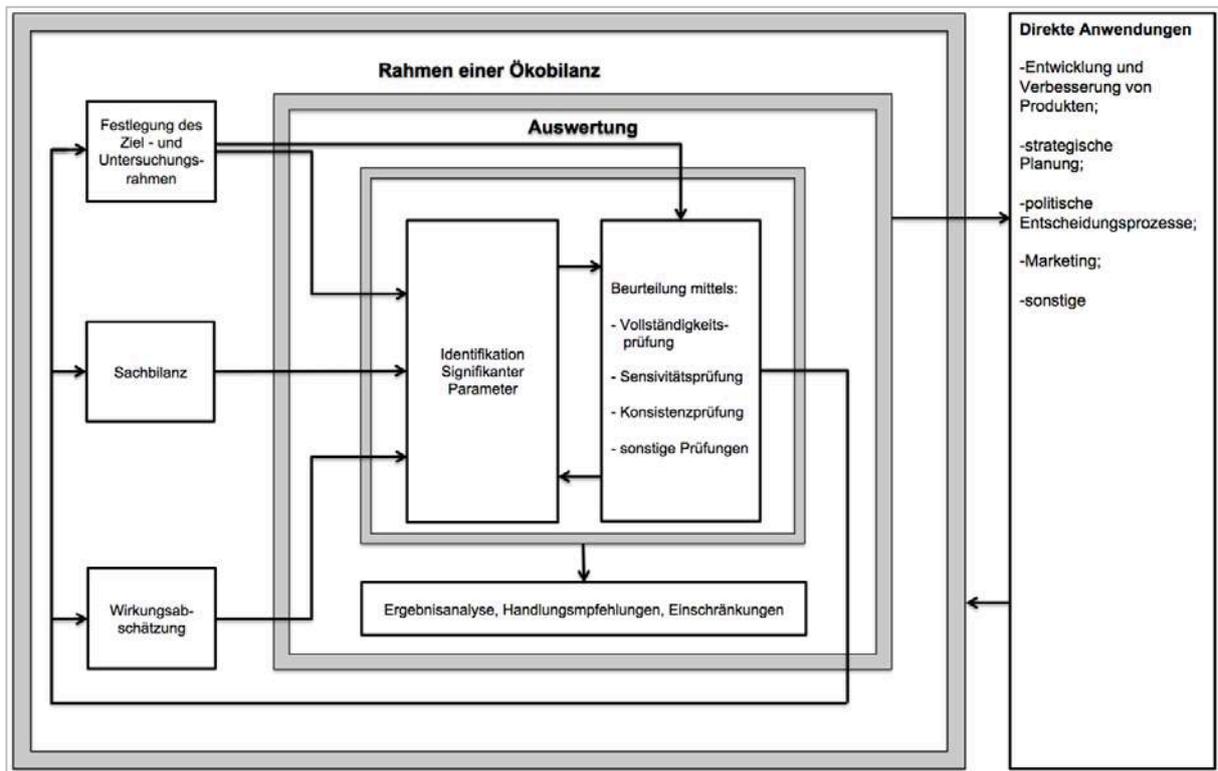


Abbildung 2 Bestandteile einer Ökobilanz (Quelle: Abbildung in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 14044 [5])

5.1 Festlegen des Ziel- und Untersuchungsrahmens

Die Definition des Ziel- und Untersuchungsrahmens im Zuge einer Ökobilanzstudie ist eindeutig auf die beabsichtigte Anwendung abzustimmen. Bei der Erstellung einer Ökobilanz ist eine iterative Anpassung an die vorgegebenen Zieldefinitionen und festgelegten Rahmenbedingungen vorzunehmen.

Die Zieldefinition dient dazu, eine Basis für die spätere Ökobilanz zu schaffen, indem der Anwendungszweck, die Zielgruppe, der Grund der Durchführung und die Ergebnisverbreitung geregelt und abgestimmt werden. [5]

Zuerst werden folgende Punkte im Zusammenhang mit der **Zieldefinition** einer Ökobilanzstudie nach ÖNORM EN ISO 14044 [5] festlegt:

- Anwendungszweck der Ökobilanz
- Durchführungsgründe für die Studie
- Definition der Zielgruppe
- Mögliche Veröffentlichung der Ergebnisse

Anschließend werden im Untersuchungsrahmen einer Ökobilanzstudie sämtliche mit einem Produkt, Produktsystem, Prozessen und Dienstleistungen zusammenhängende Rahmenbedingungen festgelegt.

Folgende Punkte sind bei der Festlegung des **Untersuchungsrahmens** nach ÖNORM EN ISO 14044 [5] zu berücksichtigen:

- Definition des zu untersuchenden Produktsystems (z.B. Stoff- und Energieströme für die Herstellung von 1m³ Beton)
- Beschreiben der Funktionen eines Produktsystems bzw. bei Vergleichsstudien von mehreren Produktsystemen
- Festlegen der funktionalen Einheit
- Festlegen der Systemgrenze
- Definieren des anzuwendenden Allokationsverfahrens
- Festlegen der anzuwendenden Methode zur Wirkungsabschätzung sowie der zu betrachtenden Wirkungskategorien
- Festlegen der Auswertungsmethode
- Definition der Anforderung in Zusammenhang mit den notwendigen Datentypen und Datenquellen
- Angaben zu Annahmen, welche für die Durchführung der Ökobilanzstudie getroffen wurden
- Beschreibung der Werterhaltung, sowie der optionalen Bestandteile
- Beschreibung möglicher Einschränkungen
- Definition der Anforderungen an die notwendige Datenqualität
- Festlegen der Anforderungen zur Durchführung einer kritischen Prüfung
- Festlegen der Berichtsform

5.2 Sachbilanz

Die Sachbilanzdatenaufnahme wird auf Basis der Rahmenbedingungen, aus der Phase des Ziel- und Untersuchungsrahmens durchgeführt. In dieser Phase erfolgt eine Zusammenstellung und Quantifizierung sämtlicher In- und Outputs über den Lebenszyklus eines Betrachtungsobjektes, welche Informationen und Daten aus Technosphäre (Materialien, Hilfsstoffe, Energie etc.) und der Biosphäre (z.B. Ressourcen) enthalten. Eine Sammlung der Daten beginnt auf der Ebene der Einheitsprozesse (einzelne Prozesse) welche innerhalb der Systemgrenzen enthalten sind. Handelt es sich bei dem Betrachtungsobjekt um ein Multiproduktsystem, so ist eine geeignete Allokationsmethode festzulegen, um eine Zuordnung der potentiellen Umweltwirkungen auf die einzelnen Koppelprodukte umrechnen zu können. [5]

Bei einer Sachbilanz handelt es sich um eine Stoffstromanalyse für ein definiertes Produktsystem. In Abbildung 3 ist ein stark vereinfachtes Schema für die Durchführung einer Sachbilanzdatenaufnahme dargestellt.

Im gegenständlichen Forschungsprojekt wurden die Untersuchungen auf Basis der Datenbank Ecolivent V2.2 [6] (Sachbilanzdaten) durchgeführt.

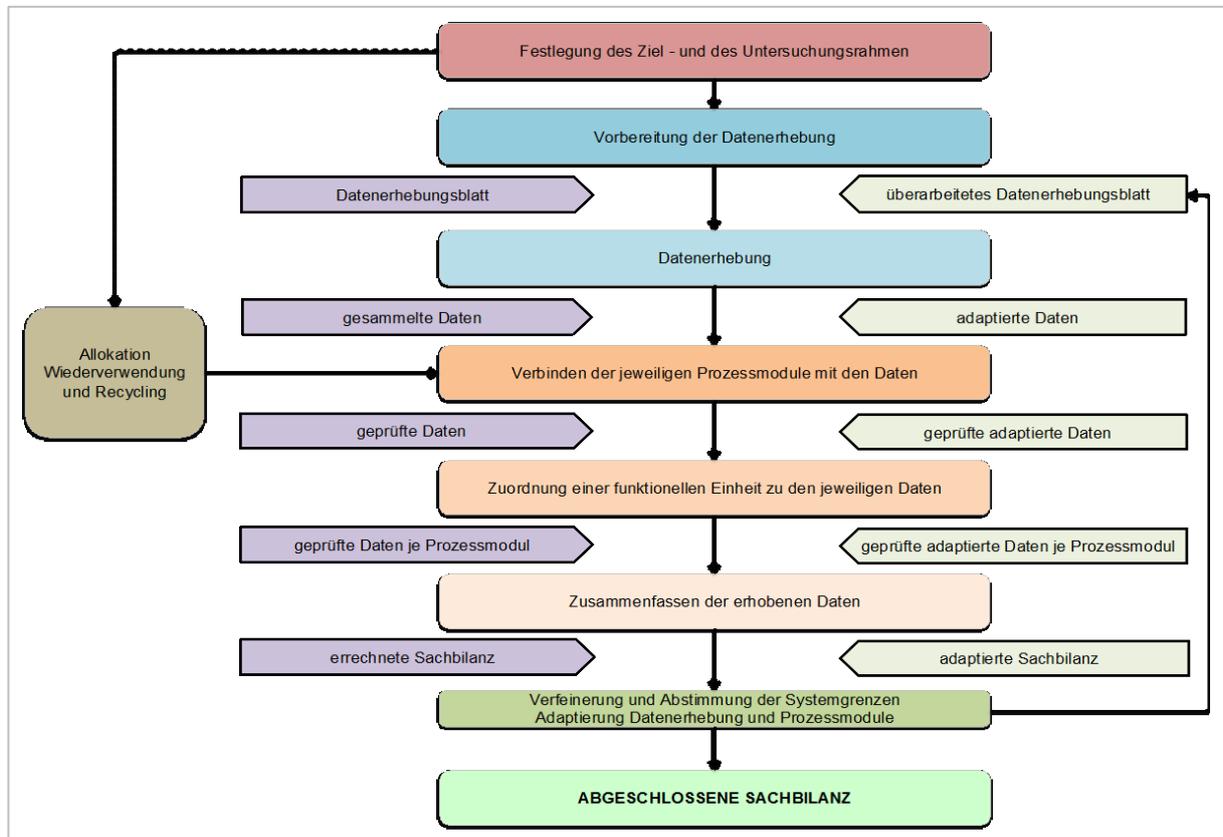


Abbildung 3 Vereinfachtes Verfahrensschema für die Sachbilanzdatenerhebung (Quelle: Abbildung in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 14044 [5])

Folgende Informationen und Daten sind im Zuge der Sachbilanzaufnahme zu erheben:

- Transporte
- Verwendete Rohstoffe
- Hilfsstoffe und Betriebsmittel
- Energieverbrauchsdaten
- Informationen zu einzelnen Prozessschritten (z.B. chemische Reaktionen, prozessbedingte Emissionen)
- Abfallströme
- Emissionsdaten
- Informationen zum Endprodukt

Die Sachbilanz stellt die zeitaufwendigste Phase bei der Durchführung einer Ökobilanz dar.

5.3 Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment – LCIA)

In dieser Phase erfolgt eine Zuordnung der Sachbilanzdaten zu den unterschiedlichen Wirkungskategorien. Mittels der Charakterisierungsfaktoren erfolgt eine Quantifizierung bzw. Umrechnung und Kumulierung der Sachbilanzdaten, um die potentiellen Umweltwirkungen anhand von einigen wenigen Indikatoren (z.B. Treibhauspotential – kg CO₂ äquiv.) darstellen zu können. Ebenfalls kann durch eine Gewichtung der einzelnen Indikatorergebnisse auf ein Einzelergebnis aggregiert werden. [7]

Bei einer Wirkungsabschätzung nach ÖNORM EN ISO 14044 [5] sind mehrere Phasen (siehe Abbildung 4) zu durchlaufen.

Eine wesentliche Grundvoraussetzung für eine Übereinstimmung der Wirkungsabschätzungsergebnissen mit den Rahmenbedingungen aus der Zieldefinition und dem Untersuchungsrahmen ist eine sorgfältige Planung der verschiedenen Elemente der Wirkungsabschätzung. [5]

Folgende Daten und Informationen sind sorgfältig zu prüfen, um für die Phase der Wirkungsabschätzung angewendet werden zu können:

- Sachbilanzdaten (Prüfen der Vollständigkeit der Charakterisierungsfaktoren für die erhobenen Stoff- und Energieflüsse)
- Prüfen der Einhaltung der Rahmenbedingungen
- Wahl der Charakterisierungsmodelle

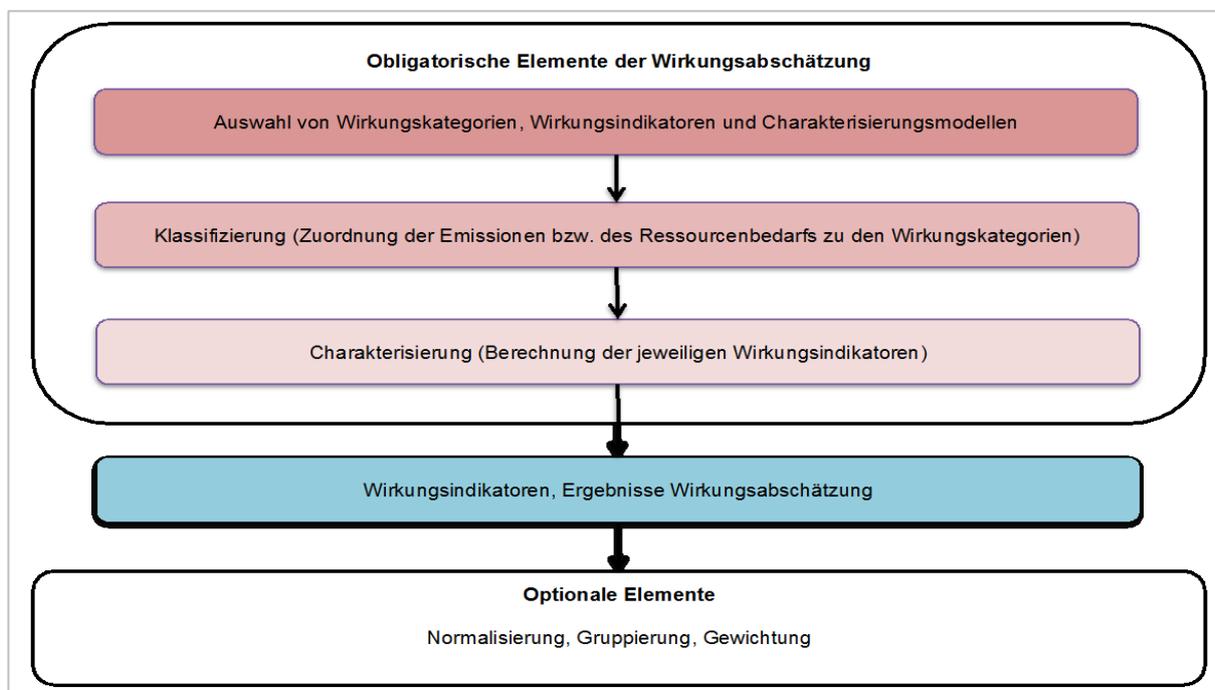


Abbildung 4 Bestandteile der Wirkungsabschätzung (Quelle: Abbildung in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 14044 [5])

5.3.1 Charakterisierung

Durch die Charakterisierung wird die Beziehung zwischen Sachbilanzergebnissen und Wirkungsindikatoren beschrieben. Anhand dieser Modelle wird der Umweltwirkungsmechanismus wiedergegeben. Aufbauend auf den Charakterisierungsmodellen werden die Umrechnungsfaktoren für die jeweiligen Stoffströme und Emissionen abgeleitet. Diese Faktoren dienen zur Berechnung der potentiellen Umweltwirkungen für die verschiedenen Wirkungsindikatoren (siehe Abbildung 5).

Ein Charakterisierungsmodell ist zur Berechnung der Charakterisierungsfaktoren notwendig. Die Charakterisierungsfaktoren einer Wirkungskategorie dienen für die Umwandlung der zugeordneten Sachbilanzergebnisse zu einem gemeinsamen Wirkungsindikator. Die umgewandelten Sachbilanzergebnisse werden in weiterer Folge zu einem Wirkungsindikatorergebnis aufsummiert. Das Wirkungsabschätzungsprofil für ein Produktsystem wird durch eine Zusammenstellung der Indikatorergebnisse zu den jeweiligen Wirkungskategorien erstellt. [8]

Bei der Wahl eines Charakterisierungsmodells ist darauf zu achten, dass hinter jedem darin enthaltenen Wirkungsindikator ein wissenschaftlich begründetes und technisch gültiges Modell steht. Dieses muss auf einem eindeutig identifizierbaren Umweltwirkungsmechanismus, sowie einer vergleichbaren empirischen Beobachtung beruhen. [5]

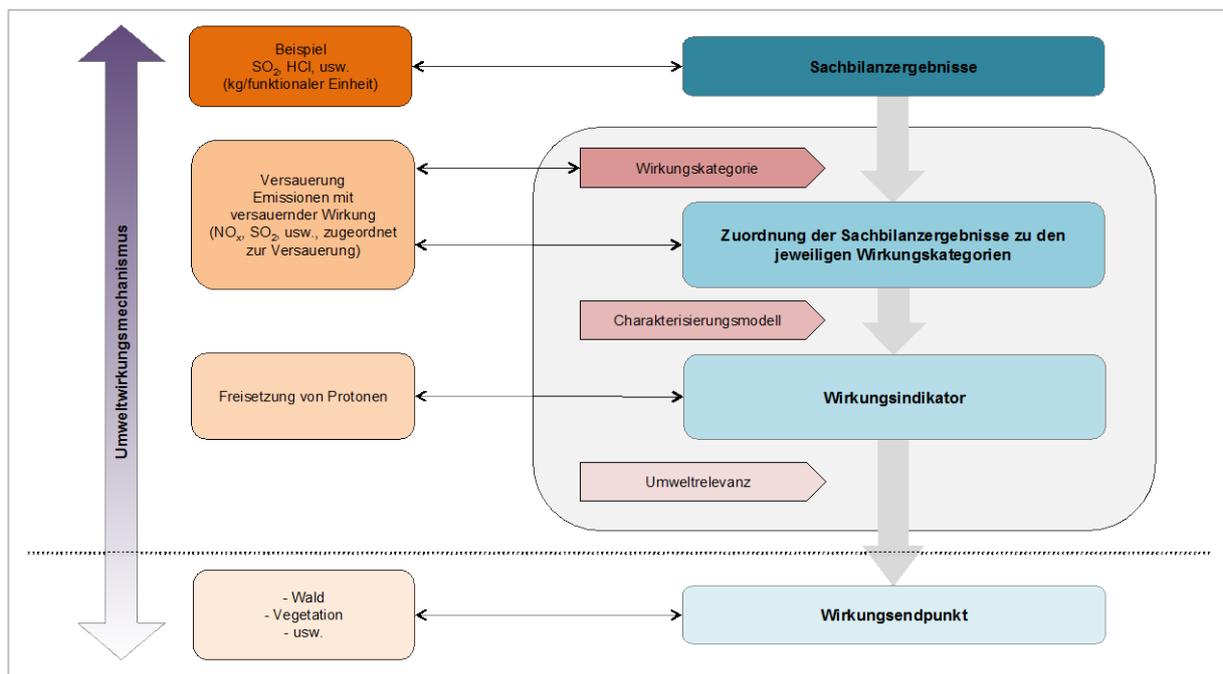


Abbildung 5 Verfahrensablauf zur Feststellung der Umweltwirkungen (Quelle: In Anlehnung an ÖNORM EN ISO 14044 [5])

5.3.2 Normalisierung

Normalisierung ist die Herstellung eines Bezugs der Umweltwirkungen eines Systems (z.B. eines Gebäudes) auf ein Referenzsystem (z.B. Umweltwirkungen pro Jahr im europäischen Raum). Es handelt sich also um die Berechnung der Größenordnung eines Wirkungsindikatorwertes in Bezug auf Referenzdaten. Die Normierung soll dazu dienen, die relative Bedeutung eines Wirkungsindikators für ein Produkt oder ein Produktsystem abzubilden. Dies erfolgt durch den Bezug des jeweiligen Indikatorergebnisses auf einen festgelegten Referenzwert (geografischer und zeitlicher Bezugsrahmen). [5]

Folgende Punkte können durch die Anwendung einer Normalisierung identifiziert und untersucht werden:

- Konsistenzprüfung, um eventuelle Datenredundanzen bzw. fehlerhafte Daten identifizieren zu können
- Feststellung der relativen Bedeutung eines Produktes oder eines Produktsystems anhand der ermittelten Wirkungsindikatorwerte

Referenzwerte für den Prozess der Normierung werden beispielsweise durch folgende Parameter festgelegt:

- Geografisch; Berechnung des Referenzwertes anhand der Stoffströme in einem bestimmten Gebiet (lokal, regional, national oder global)
- Zeitlich; Stoffströme für einen bestimmten Zeitraum (z.B. 1995)

Laut ISO 14042 [8] wird unter Normalisierung die Darstellung der Größenordnung des Wirkungsindikatorwertes einer Wirkungskategorie in Relation zu einem Referenzwert (z.B. gesamte Umweltwirkungen in Europa für ein bestimmtes Bezugsjahr) verstanden.

5.4 Auswertung und Ergebnisinterpretation

In der Auswertungsphase erfolgt eine Interpretation der einzelnen Ergebnisse aus der Sachbilanzdatenaufnahme und der Wirkungsabschätzung. Es werden Stärken und Schwächen, sowie mögliche Verbesserungspotentiale des untersuchten Produktsystems aufgezeigt und diskutiert. [5]

Folgende Bestandteile sind in der Interpretations- bzw. Auswertungsphase einer Ökobilanzstudie enthalten:

- Identifikation von signifikanten Parametern für die Phasen der Sachbilanzabschätzung und der Wirkungsabschätzung (Dominanzanalyse)
- Vollständigkeitsanalyse und Überprüfung der Konsistenz
- Sensitivitätsprüfung
- Beurteilung der Ergebnisse der Ökobilanzstudie und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Die Phase der Interpretation einer Ökobilanzstudie stellt den letzten Schritt bei der Durchführung einer Ökobilanz dar. Nach ÖNORM EN ISO 14044 [5] erfolgt die Interpretation durch die Kombination der Sachbilanz- und der Wirkungsbilanzergebnisse, um Schlussfolgerungen und Empfehlungen ableiten zu können, sowie mögliche Nichtkonformitäten bzw. Lücken in der Studie aufzuzeigen und damit auch einen Rückschluss auf die Zuverlässigkeit der Ökobilanzstudie zu erhalten. [5]

6. Identifikation der relativen Bedeutung unterschiedlicher Wirkungsindikatoren für den Bausektor

Die Priorität unterschiedlicher Wirkungsindikatoren für den Bausektor wird anhand eines Bewertungsobjekts (Einfamilienhaus in unterschiedlichen Ausführungsvarianten) aufgezeigt. Dieses Bewertungsobjekt dient zugleich als funktionale Einheit bzw. funktionales Äquivalent. Auf Basis dieses Bewertungsobjekts wurden mehrere Ökobilanzen für unterschiedliche Ausführungsvarianten (Holzbauweise, Ziegelbauweise, Betonbauweise, Holzspanbetonbauweise) für die Energieklasse Niedrigenergiehaus ($\text{HWB}_{\text{ref}} = 40 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) erstellt. Die Wirkungsindikatorergebnisse werden für die Feststellung der relativen Bedeutung der verschiedenen Umweltindikatoren herangezogen.

Für dieses Forschungsprojekt wurde eine Bewertungsstrategie entwickelt, um eine Identifikation der relativen Bedeutung bzw. der Priorität von Wirkungsindikatoren durchführen zu können. Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde eine Vielzahl unterschiedlicher LCIA-Methoden, anhand eines genau definierten Bewertungsobjektes (Einfamilienhaus in verschiedenen Ausführungsvarianten) angewandt und ein Bewertungsmodell zur Feststellung der relativen Bedeutung der unterschiedlichen Indikatoren entwickelt. In Abbildung 6 ist schematisch der Verfahrensablauf für die Feststellung der relativen Bedeutung der unterschiedlichen Wirkungsindikatoren bezogen auf ein definiertes Bewertungsobjekt (Bauprojekt–Einfamilienhaus) dargestellt. Neben dem Bewertungsobjekt ist es unumgänglich, geographische und zeitliche Systemgrenzen (z.B. Europa 1995) festzulegen, welche als Referenzsysteme für die Bewertung der relativen Bedeutung dienen. Wichtig hierfür ist eine zuverlässige und aussagekräftige Datengrundlage.

Folgende Schritte sind für die Ermittlung der relativen Bedeutung der unterschiedlichen Wirkungsindikatoren zu durchlaufen:

- Festlegen von gängigen, publizierten LCIA-Methoden
- Strukturierung und Zuordnung der einzelnen Wirkungsindikatoren in übergeordnete Wirkungskategorien
- Definition der Referenzsysteme (z.B. Europa 1995)
- Festlegen eines geeigneten Bewertungsobjektes (Einfamilienhaus in unterschiedlichen Ausführungsvarianten)
- Ermitteln der potentiellen Umweltwirkungen (Charakterisierung)
- Normalisierung der potentiellen Umweltwirkungen mittels der ausgewählten LCIA-Methoden
- Identifikation der relativen Bedeutung der Wirkungsindikatoren anhand der Normalisierungsergebnisse für die betrachteten LCIA-Methoden (je Methode und Bauweise)
- Dominanzanalyse und Reihung der Wirkungsindikatoren nach deren Relevanz für den Bausektor (je Methode und Bauweise)

- Zusammenfassen und Gegenüberstellen der Ergebnisse zufolge der Dominanzanalyse für sämtliche Methoden (Gegenüberstellung der Methoden)
- Identifikation jener Wirkungsindikatoren, welche in Bezug auf das Bewertungsobjekt in sämtlichen LCIA-Methoden einen Schwerpunkt aufweisen (Gegenüberstellung der Methoden)
- Analyse der Qualität der LCIA-Methoden für die jeweiligen Wirkungsindikatoren (ILCD)
- Erheben der Umweltrelevanz der jeweiligen Wirkungsindikatoren

Anhand dieses Analyseverfahrens kann ein möglichst breites Spektrum an gängigen LCIA- Methoden für die Bewertung der relativen Bedeutung von unterschiedlichen Wirkungsindikatoren betrachtet werden. Durch die Analyse bzw. Untersuchung mittels einer großen Anzahl von unterschiedlichen LCIA-Methoden, soll eine möglichst umfassende und objektive Beurteilung der relativen Bedeutung unterschiedlicher Wirkungsindikatoren gewährleistet werden. Eine Bewertung auf Basis einer breit gefächerten Grundlagendatensammlung, sowie der Auswertung (Charakterisierung und Normalisierung) unter der Anwendung von verschiedenen LCIA-Methoden stellt eine wesentliche Rahmenbedingung dar, um zu einem möglichst objektiven und „belastbarem“ Ergebnis zu gelangen. Diese Vorgehensweise ermöglicht es, die relative Bedeutung der einzelnen Wirkungsindikatoren für den Bausektor festzustellen und aufzuzeigen. Eine transparente und nachvollziehbare Auswertung sowie Analyse der relativen Bedeutung soll durch die einzelnen Arbeitsschritte gewährleistet werden.

Sämtliche Berechnungen der LCA-Kennzahlen wurden auf Basis der Datenbank EcoInvent V2.2 [6] mittels der Ökobilanzierungssoftware SimaPro [9] berechnet.

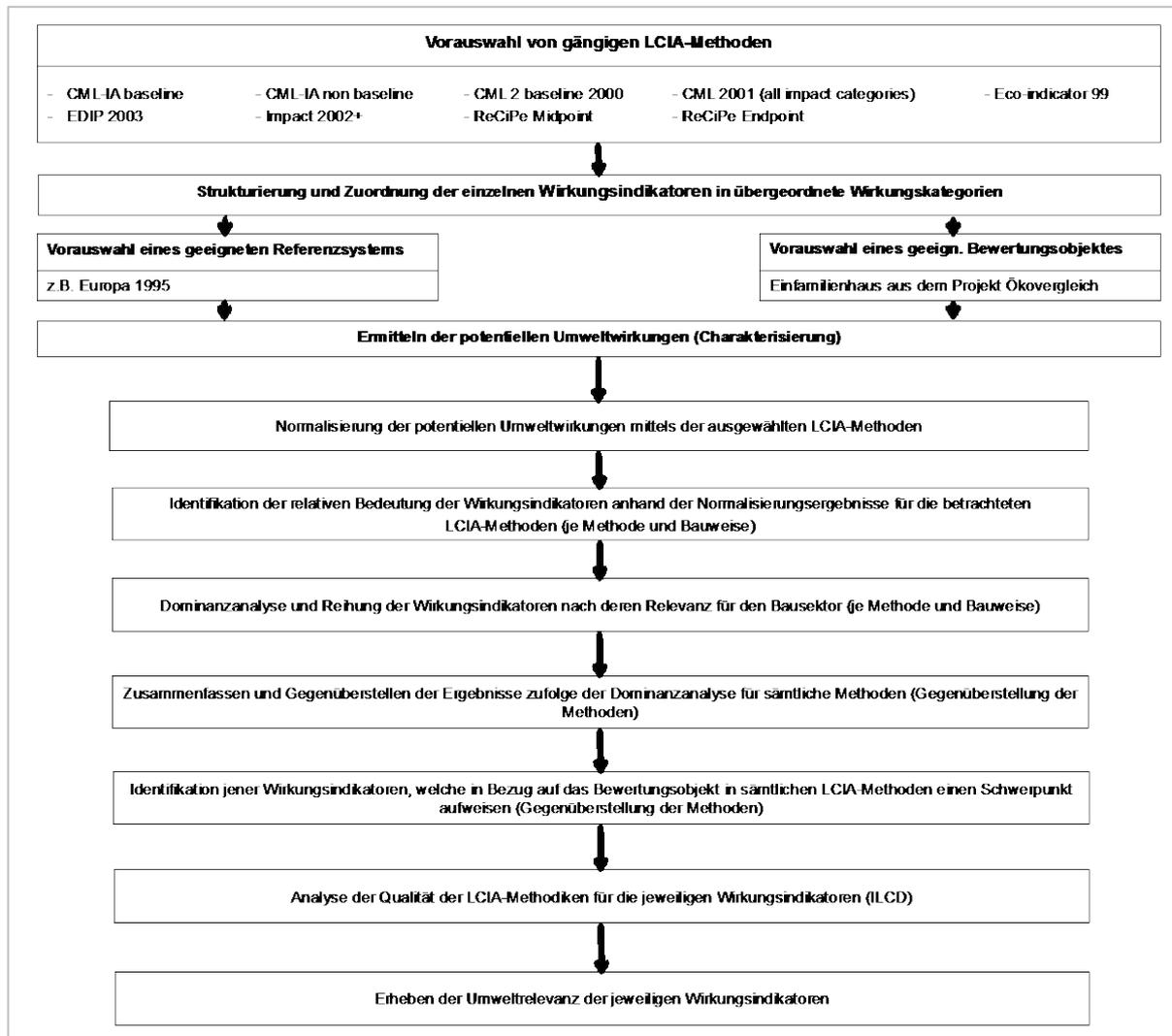


Abbildung 6 Vorgehensweise zur Feststellung der relativen Bedeutung von Wirkungsindikatoren für den Bausektor

In den nachfolgenden Abschnitten werden die verschiedenen Arbeitsschritte und die zugrunde gelegten Rahmenbedingungen und Kriterien zur Analyse der relativen Bedeutung von Wirkungsindikatoren beschrieben.

6.1 Festlegen von geeigneten LCIA-Methoden

Life Cycle Impact Assessment (LCIA)-Methoden werden in der Phase der Wirkungsabschätzung im Zuge der Durchführung einer Ökobilanz angewandt (siehe Kapitel 5). In dieser Phase erfolgt die Charakterisierung bzw. die Aggregation der Stoff- und Energieströme aus der Sachbilanz (Inputs und Outputs). Anhand der LCA-Ergebnisse kann eine Beurteilung für die potentiellen Umweltwirkungen durchgeführt werden. [5]

Um für das vorliegende Projekt eine möglichst umfangreiche Bewertungsbasis zu schaffen ist es notwendig, eine Auswahl an gängigen LCIA-Methoden zu treffen, welche dem derzeitigen Stand der Technik, sowie dem Stand der Wissenschaft entsprechen und in der Praxis angewendet werden. Eine weitere Voraussetzung, ist die Durchführung einer Normalisierung mit den jeweiligen LCIA-Methoden, um die Erhebung der relativen Bedeutung der unterschiedlichen Wirkungsindikatoren durchführen zu können.

Für die Anwendung einer LCIA-Methode im vorliegenden Forschungsprojekt sind folgende Kriterien zu erfüllen:

- Aktualität (Stand der Technik & der Wissenschaft, Anwendbarkeit)
- Transparenz und Nachvollziehbarkeit (Sachbilanzdaten, Bewertungsmethode)
- Dokumentation und Reproduzierbarkeit
- Robustheit der jeweiligen Methode (aussagekräftige & zuverlässige Bewertungsergebnisse)

Folgende Methoden zur Wirkungsabschätzung der potentiellen Umweltwirkungen wurden im vorliegenden Forschungsprojekt berücksichtigt bzw. untersucht:

LCIA-Methoden Europa:

- CML-IA baseline (Version 3.01, April 2014)
- CML-IA non baseline (Version 3.01, Oktober 2012)
- CML 2 baseline 2000 (Version 2.05, Dezember 2007)
- CML 2001 all impact categories (Version 2.05, Dezember 2007)
- Eco-indicator 99 (H) (Version 2.09, Juli 2012)
- EDIP 2003 (Version 1.04, Oktober 2013)
- Impact 2002+ (Version 2.11, Oktober 2013)
- ReCiPe Midpoint (H) (Version 1.10, Mai 2014)
- ReCiPe Endpoint (H) (Version 1.10, Mai 2014)

LCIA-Methoden Nordamerika:

- BEES+ (Version 4.04, Februar 2008)
- TRACI 2.1 (Version 1.01, November 2009)

6.2 Beschreibung der gewählten LCIA-Methoden

In diesem Abschnitt werden die anhand des Kriterienkataloges ausgewählten LCIA-Methoden kurz beschrieben und auf die jeweilige Berechnungsmethode für die unterschiedlichen Wirkungsindikatoren eingegangen.

Eine Unterteilung der LCIA–Methoden erfolgt dabei in folgende Kategorien:

- LCIA–Methoden Europa
 - Teilaggregierende Methoden
 - Vollaggregierende Methoden
- LCIA–Methoden Nordamerika
 - Teilaggregierende Methoden
 - Vollaggregierende Methoden

Eine Untersuchung von LCIA-Methoden für den nordamerikanischen Raum wurde für Vergleichszwecke mit jenem für den europäischen Raum durchgeführt.

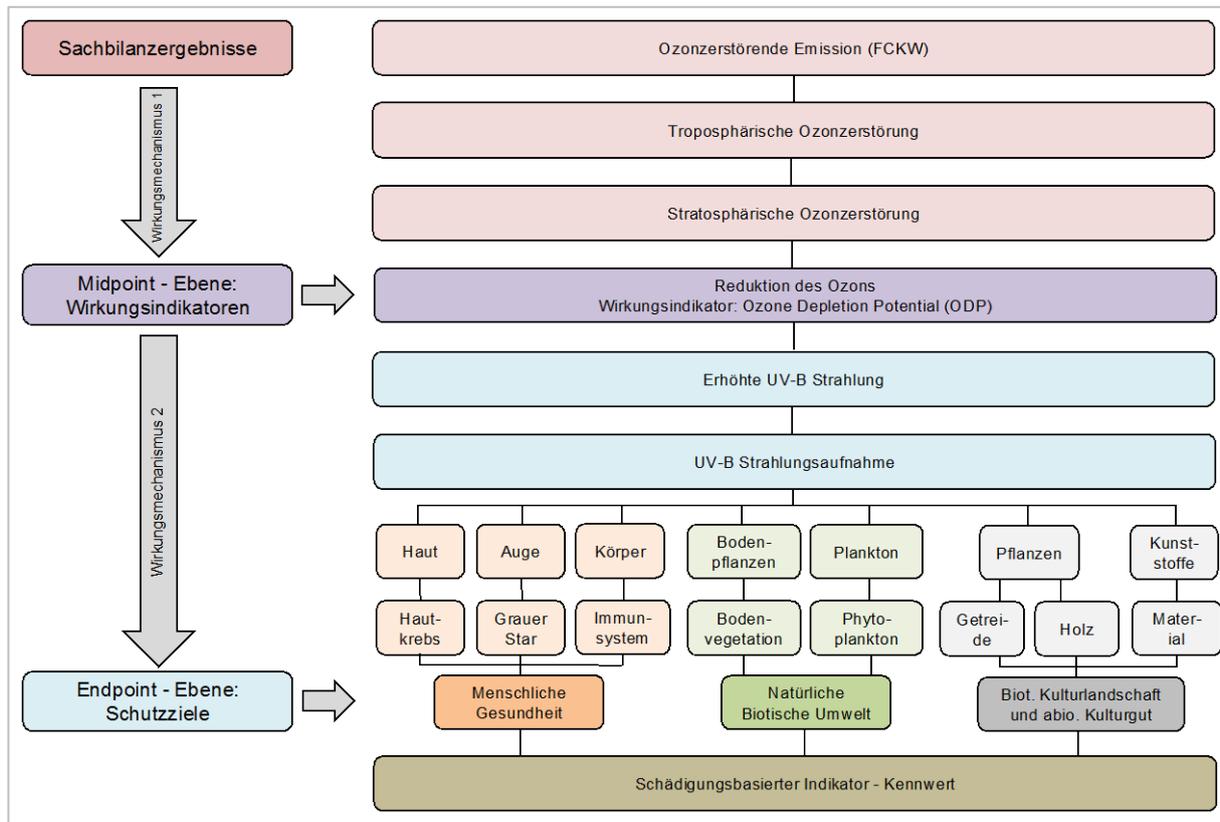


Abbildung 7 Darstellung der Wirkungsmechanismen am Beispiel ODP (Quelle: Abbildung in Anlehnung an [10])

6.2.1 Teilaggrierende Methoden

Bei „Teilaggrierenden Methoden“ handelt es sich um LCIA–Methoden, bei denen eine Ergebnisauswertung und Darstellung für jeden ausgewählten Wirkungsindikator getrennt auf der sogenannten „Midpoint-Ebene“ durchgeführt wird. Dies bedeutet, dass nur eine Charakterisierung der Sachbilanzdaten für den jeweiligen Wirkungsindikator auf Ebene „Midpoint“ durchgeführt wird. Folglich wird keine weitere Auswertung der Umweltwirkungen auf einzelne Schutzgüter durchgeführt. [10]

Folgende teilaggrierende LCIA–Methoden wurden für das vorliegende Forschungsprojekt verwendet:

LCIA-Methoden Europa:

- CML-IA baseline (Version 3.01, April 2014)
- CML-IA non baseline (Version 3.01, Oktober 2012)
- CML 2 baseline 2000 (Version 2.05, Dezember 2007)
- CML 2001 all impact categories (Version 2.05, Dezember 2007)
- ReCiPe Midpoint (Version 1.10, Mai 2014)

LCIA-Methoden Nordamerika:

- BEES+ (Version 4.04, Februar 2008)
- TRACI 2.1 (Version 1.01, November 2009)

Eine nähere Beschreibung der angeführten Methoden erfolgt in den Kapiteln 6.3 und 6.4.

In Abbildung 8 ist die Überführung der Sachbilanzdaten in die unterschiedlichen Wirkungskategorien bzw. Wirkungsklassen vereinfacht dargestellt. In der Abbildung wird beispielhaft aufgezeigt, wie eine Zuordnung von Sachbilanzdaten in die jeweilige Wirkungskategorie erfolgt. Beispielsweise wird NO_x in mehreren Wirkungskategorien wie Überdüngung, Versauerung, Humantoxizität und der Bildung von Sommersmog berücksichtigt. Für jede Wirkungskategorie sind die Charakterisierungsfaktoren für die einzelnen Stoffe vorhanden, um eine Umrechnung von Sachbilanzdaten auf einen gemeinsamen Äquivalenzwert zu ermöglichen.

Da eine Berechnung der potentiellen Umweltwirkungen mit „teilaggregierenden Methoden“ nur für den Bereich der Wirkungskategorien auf „Midpoint–Ebene“ durchgeführt wird, kann anhand dieser LCIA-Methoden keine Bewertung bzw. Zuordnung der relativen Bedeutung zu den einzelnen Schutzgütern durchgeführt werden.

- Midpoint-Ebene: Wirkungsmechanismus einer Wirkungskategorie zwischen Sachbilanz und den Wirkungskategorie-Endpunkten (z.B. Konzentration von toxischen Substanzen, Meeresspiegel etc.).
- Endpoint-Ebene: Diese Variablen zielen direkt auf jeweiligen Schutzgüter ab, wie z.B. menschliche Gesundheit oder Häufigkeit von Erkrankungen, Ressourcenbedarf etc.. Anhand dieser Methoden werden die Schäden an Schutzgütern wie menschliche Gesundheit, Ökosystem und Ressourcen dargestellt.
- Schutzgüter: Schutzgüter sind laut Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) Kategorien, die aus gesellschaftlicher Sicht einen hohen Stellenwert haben (z.B. menschliche Gesundheit). Die hier erwähnten Schutzziele stimmen im Wesentlichen mit den in der ÖNORM EN ISO 14040 genannten Wirkungsendpunkten überein. [12]

6.2.2 Vollaggregierende Methoden

Vollaggregierende LCIA-Methoden fassen die mit teilaggregierenden Methoden ermittelten Berechnungsergebnisse zu einem einzigen Kennwert zusammen. Dazu werden die Wirkungsfaktor-Ergebnisse (Midpoint) zuerst Schadenskategorien (Endpoint) zugeordnet und in weiterer Folge das Schädigungspotential ermittelt. Anschließend erfolgt die Vollaggregation der schädigungs-basierten Indikatorergebnisse auf einen einzigen Kennwert.

Der Eco-indicator 99 (Goedkoop and Sprinsma 2000) war die erste Methode, mit der eine schädigungs-basierte Berechnung der Umweltwirkungen auf ein Schutzgut durchgeführt wurde. Durch diese Methode war es möglich die Auswirkungen auf die Schutzziele menschliche Gesundheit, Wirkungen auf das Ökosystem und den Verbrauch von natürlichen Ressourcen abzubilden. Diese „Endpoint-Berechnungsmethode“ wird häufig für schadensbasierte LCIA-Methoden zur Erhebung der direkten Wirkung auf die verschiedenen Schutzgüter verwendet. [10]

Die Aggregation der mittels teilaggregierenden Methoden ermittelten Indikator-Ergebnisse von Midpoint auf Endpoint-Ebene dient zur Erstellung einer Bewertungsgrundlage hinsichtlich der relativen Bedeutung der jeweiligen Wirkungsindikatoren (Dominanzanalysen).

Neben der Durchführung der Charakterisierung der einzelnen Stoffe ist es auch möglich, eine Normalisierung und eine Gewichtung für die unterschiedlichen Wirkungskategorien durchzuführen.

Folgende vollaggregierende LCIA-Methoden werden im vorliegenden Forschungsprojekt untersucht:

LCIA-Methoden Europa:

- Eco-indicator 99 (H) (Version 2.09, Juli 2012)
- EDIP 2003 (Version 1.04, Oktober 2013)
- Impact 2002+ (Version 2.11, Oktober 2013)
- ReCiPe Endpoint (H) (Version 1.10, Mai 2014)

6.3 LCIA-Methoden zur Anwendung in Europa

6.3.1 CML

Die CML-Methode wurde an der Universität Leiden in den Niederlanden am Centrum voor Milieukunde (CML) für die Erstellung von Ökobilanzen nach ISO 14040 entwickelt. Bei der CML-Methode werden Umweltwirkungen auf Midpoint-Ebene je Wirkungsindikator berechnet. Dies bedeutet, dass lebenszyklusweite Stoff- und Energieströme durch Teil-Aggregation von Umweltindikatoren (z.B. Treibhauspotential kg CO₂ äquiv.) dargestellt werden. [13]

In Abbildung 8 ist der Zusammenhang zwischen Sachbilanzebenen (Intervention) und den Wirkungsklassen dargestellt. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass für einige chemische Stoffe (z.B. Emissionen; NO_x) eine Berücksichtigung in mehreren Wirkungsklassen (Wirkungsindikatoren) erfolgt.

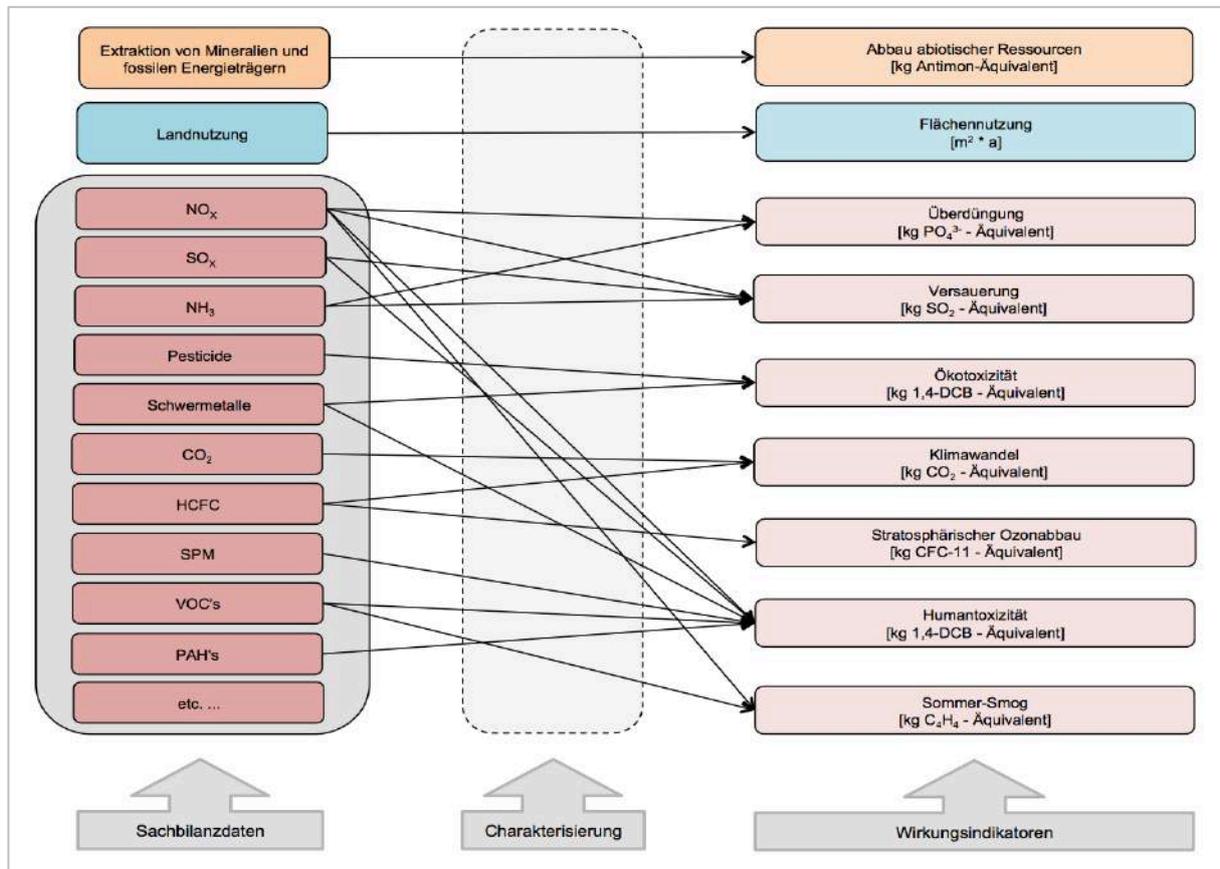


Abbildung 8 Überführung von Sachbilanzdaten auf Wirkungsebene am Beispiel CML (Quelle: Abbildung in Anlehnung an [13])

CML 2 baseline 2000

In der CML 2 baseline 2000 wird ein problemorientierter Ansatz angewendet, also eine Auswertung der Umweltwirkungen auf Midpoint-Ebene. [9]

Folgende Indikatoren werden zur Darstellung der Umweltwirkungen in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 1 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA-Methode CML 2 baseline 2000

Wirkungsindikator	Einheit
Abiotic depletion	kg Sb eq
Acidification	kg SO_2 eq
Eutrophication	kg PO_4^{3-} eq
Global warming (GWP100)	kg CO_2 eq
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq
Human toxicity	kg 1,4-DB eq
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Photochemical oxidation	kg C_2H_4 eq

Folgende Referenzsysteme werden für die Berechnung der Normalisierung in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 2 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA-Methode CML 2 baseline 2000

West Europe	1995
World	1990
World	1995

In der Spalte 1 ist der geographische und in der Spalte 2 der zeitliche Bezugsrahmen angegeben. Beispielsweise bedeutet die Bezeichnung „World, 1995“ für den Wirkungsindikator GWP die weltweit emittierten CO₂-Emissionen für das Bezugsjahr 1995 als Referenz für die Normalisierung.

CML 2001 (all impact categories)

Bei dieser Methode handelt es sich um eine Erweiterung der CML 2001 baseline, die zusätzliche Wirkungsindikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen auf Midpoint-Ebene enthält. [9]

Folgende Wirkungsindikatoren werden zur Darstellung der Umweltwirkungen in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 3 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA-Methode CML 2001 (all impact categories)

Wirkungsindikator	Einheit
Abiotic depletion	kg Sb eq
Acidification	kg SO ₂ eq
Eutrophication	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq
Global warming 20a	kg CO ₂ eq
Global warming 100a	kg CO ₂ eq
Global warming 500a	kg CO ₂ eq
Upper limit of net global warming	kg CO ₂ eq
Lower limit of net global warming	kg CO ₂ eq
Ozone layer depletion 5a	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion 10a	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion 15a	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion 20a	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion 25a	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion 30a	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion 40a	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion steady state	kg CFC-11 eq
Human toxicity 20a	kg 1,4-DB eq
Human toxicity 100a	kg 1,4-DB eq
Human toxicity 500a	kg 1,4-DB eq
Human toxicity infinite	kg 1,4-DB eq
Freshwater aquatic ecotox. 20a	kg 1,4-DB eq

Freshwater aquatic ecotox. 100a	kg 1,4-DB eq
Freshwater aquatic ecotox. 500a	kg 1,4-DB eq
Fresh water aquatic ecotox. infinite	kg 1,4-DB eq
Marine aquatic ecotox. 20a	kg 1,4-DB eq
Marine aquatic ecotox. 100a	kg 1,4-DB eq
Marine aquatic ecotox. 500a	kg 1,4-DB eq
Marine aquatic ecotoxicity infinite	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity 20a	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity 100a	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity 500a	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity infinite	kg 1,4-DB eq
Marine sediment ecotox. 20a	kg 1,4-DB eq
Marine sediment ecotox. 100a	kg 1,4-DB eq
Marine sediment ecotox. 500a	kg 1,4-DB eq
Marine sediment ecotox. infinite	kg 1,4-DB eq
Freshwater sediment ecotox. 20a	kg 1,4-DB eq
Freshwater sediment ecotox. 100a	kg 1,4-DB eq
Freshwater sediment ecotox. 500a	kg 1,4-DB eq
Freshwater sediment ecotox. infinite	kg 1,4-DB eq
Average European (kg NO _x eq)	kg NO _x eq
Average European (kg SO ₂ -Eq)	kg SO ₂ eq
Land competition	m ² a
Ionising radiation	DALYs
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq
Photochemical oxidation (low NO _x)	kg C ₂ H ₄ eq
Malodours air	m ³ air
Equal benefit incremental reactivity	kg formed O ₃
Max. incremental reactivity	kg formed O ₃
Max. ozone incremental reactivity	kg formed O ₃

Folgende Referenzsysteme stehen für die Normalisierung in dieser Methode zur Auswahl:

Tabelle 4 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA-Methode CML 2001 (all impact categories)

West Europe	1995
World	1990
World	1995

CML-IA baseline

CML-IA baseline ist eine aktualisierte Version der CML 2 baseline 2000. Diese wurde im April 2013 von CML veröffentlicht. Die meisten Charakterisierungsfaktoren wurden im Vergleich zur Vorgängerversion überarbeitet bzw. ergänzt. Einzig für die Kategorie „Photochemische Oxidation“ wurden keine Änderungen vorgenommen. [9]

Folgende Wirkungsindikatoren werden zur Darstellung der Umweltwirkungen in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 5 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA-Methode CML-IA baseline

Wirkungsindikator	Einheit
Abiotic depletion	kg Sb eq
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ
Global warming (GWP100a)	kg CO ₂ eq
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq
Human toxicity	kg 1,4-DB eq
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄ eq
Acidification	kg SO ₂ eq
Eutrophication	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq

Folgende Referenzsysteme werden für die Normalisierung in der CML-IA baseline betrachtet:

Tabelle 6 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA-Methode CML-IA baseline

EU25	2000
EU25+3	2000
the Netherlands	1997
West Europe	1995
World	2000
World	1990
World	1995

CML-IA non baseline

Bei CML-IA non baseline handelt es sich um eine Erweiterung der CML-IA baseline Methode. In dieser LCIA-Methode sind zusätzliche Wirkungsindikatoren enthalten. Des Weiteren basiert diese Methode auf der CML 2001 (all impact categories). Einige Wirkungskategorien wurden im Vergleich zur Vorgängerversion überarbeitet bzw. umbenannt. [9]

Folgende Indikatoren werden zur Darstellung der Umweltwirkungen in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 7 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA-Methode CML-IA non baseline

Wirkungskategorien	Einheit
Abiotic depletion (elem., reserve base)	kg Sb eq
Abiotic depletion (elem., econ. reserve)	kg Sb eq
Land competition	m ² a
Lower limit of net global warming	kg CO ₂ eq
Upper limit of net global warming	kg CO ₂ eq
Global warming 20a	kg CO ₂ eq
Global warming 500a	kg CO ₂ eq
Ozone layer depletion 5a	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion 10a	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion 15a	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion 20a	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion 25a	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion 30a	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion 40a	kg CFC-11 eq
Freshwater sediment ecotox. infinite	kg 1,4-DB eq
Marine sediment ecotox. infinite	kg 1,4-DB eq
Human toxicity 20a	kg 1,4-DB eq
Freshwater aquatic ecotox. 20a	kg 1,4-DB eq
Marine aquatic ecotox. 20a	kg 1,4-DB eq
Freshwater sediment ecotox. 20a	kg 1,4-DB eq
Marine sediment ecotox. 20a	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity 20a	kg 1,4-DB eq
Human toxicity 100a	kg 1,4-DB eq
Freshwater aquatic ecotox. 100a	kg 1,4-DB eq
Marine aquatic ecotox. 100a	kg 1,4-DB eq
Freshwater sediment ecotox. 100a	kg 1,4-DB eq
Marine sediment ecotox. 100a	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity 100a	kg 1,4-DB eq
Human toxicity 500a	kg 1,4-DB eq
Freshwater aquatic ecotox. 500a	kg 1,4-DB eq
Marine aquatic ecotox. 500a	kg 1,4-DB eq
Freshwater sediment ecotox. 500a	kg 1,4-DB eq

Marine sediment ecotox. 500a	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity 500a	kg 1,4-DB eq
Photochemical oxidation (low NOx)	kg C ₂ H ₄ eq
Photochem. oxid. (MIR; very high NOx)	kg C ₂ H ₄ eq
Photochemical oxidation (MOIR; high NOx)	kg C ₂ H ₄ eq
Photochemical oxidation (EBIR; low NOx)	kg C ₂ H ₄ eq
Acidification (fate not incl.)	kg SO ₂ eq
Eutrophication (incl. fate)	kg PO ₄ --- eq
Ionising radiation	DALYs
Malodorous air	m ³ air
Photochem. oxid. (incl. NOx & NMVOC av.)	kg C ₂ H ₄ eq
Photochem. oxid. (incl. NMVOC av.)	kg C ₂ H ₄ eq
Human tox. (incl. PAH, Xylene & NMVOC av)	kg 1,4-DB eq
Fw. aq. ecot. (PAH, Xylene & NMVOC av.)	kg 1,4-DB eq
Mar. aq. ecotox. (PAH, Xylene & NMVOC av)	kg 1,4-DB eq
Terr. ecotox. (PAH, Xylene & NMVOC av.)	kg 1,4-DB eq
Global warming 100a (incl. NMVOC av.)	kg CO ₂ eq
Ozone layer depletion (incl. NMVOC av.)	kg CFC-11 eq

Folgende Referenzsysteme werden für die Normalisierung in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 8 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA-Methode CML-IA non baseline

EU25	2000
EU25+3	2000
the Netherlands	1997
West Europe	1995
World	2000
World	1990
World	1995

Weitere Informationen unter: <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>

6.3.2 Eco-indicator 99

Entwickelt wurde die Eco-indicator 99 Methode von PRé Consultants. Auftraggeber war das niederländische Ministerium für Wohnungsbau, Raumordnung und Umwelt (VROM). Ziel bei der Entwicklung der Methode Eco-Indicator 99 war es, die Interpretation durch Vollaggregation der Wirkungsindikatoren auf einen einzelnen Kennwert zu vereinfachen. Eine Bewertung erfolgt dabei anhand eines „Single Point Eco-Indicator“ Werts. Diese sollen den Anwender durch eine einfache Ergebnisdarstellung bei der Entscheidungsfindung unterstützen. Die LCIA-Methoden EPS (Environmental Priority Strategy) und Eco-Indicator 95 bilden die Grundlage für die Eco-indicator 99 Methode, wobei diese später als Ausgangsbasis für die Entwicklung von LIME (amerikanische LCIA-Methode) und der Impact 2002 Methode diente. In dieser Methode wird ein schadensorientierter Ansatz zugrunde gelegt. Das heißt, dass die potentiellen Umweltwirkungen mittels Schädigungsmodellen auf „Endpoint Level“ (Schutzgüter) berechnet werden. Folglich wird das Schädigungspotential der potentiellen Umweltwirkungen bezogen auf die drei Schutzgüter aufgezeigt. [14]

Folgende Indikatoren werden zur Darstellung der Umweltwirkungen in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 9 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA-Methode Eco-indicator 99

Wirkungsindikator	Einheit
Carcinogens	DALY
Respiratory organics	DALY
Respiratory inorganics	DALY
Climate change	DALY
Radiation	DALY
Ozone layer	DALY
Ecotoxicity	PAF*m ² yr
Acidification/ Eutrophication	PDF*m ² yr
Land use	PDF*m ² yr
Minerals	MJ surplus
Fossil fuels	MJ surplus

Folgende Referenzsysteme werden für die Normalisierung in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 10 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA-Methode Eco-indicator 99

West Europe	1995
World	1990

In Abbildung 9 sind die Zusammenhänge zwischen Sachbilanzdaten, Wirkungskategorien und Schadenskategorien für die LCIA-Methode Eco-indicator 99 dargestellt. Diese Zuordnung wird für die Analyse hinsichtlich der Bewertung der Umweltrelevanz für die verschiedenen Wirkungskategorien zugrunde gelegt (siehe Kapitel 8.2). Des Weiteren ist die Zusammenführung der Indikator-Ergebnisse in dieser Methode auf einen einzelnen Kennwert möglich. Folglich wird das Schädigungspotential von potentiellen Umweltwirkungen für ein definiertes Referenz-System ermittelt (siehe Abbildung 9).

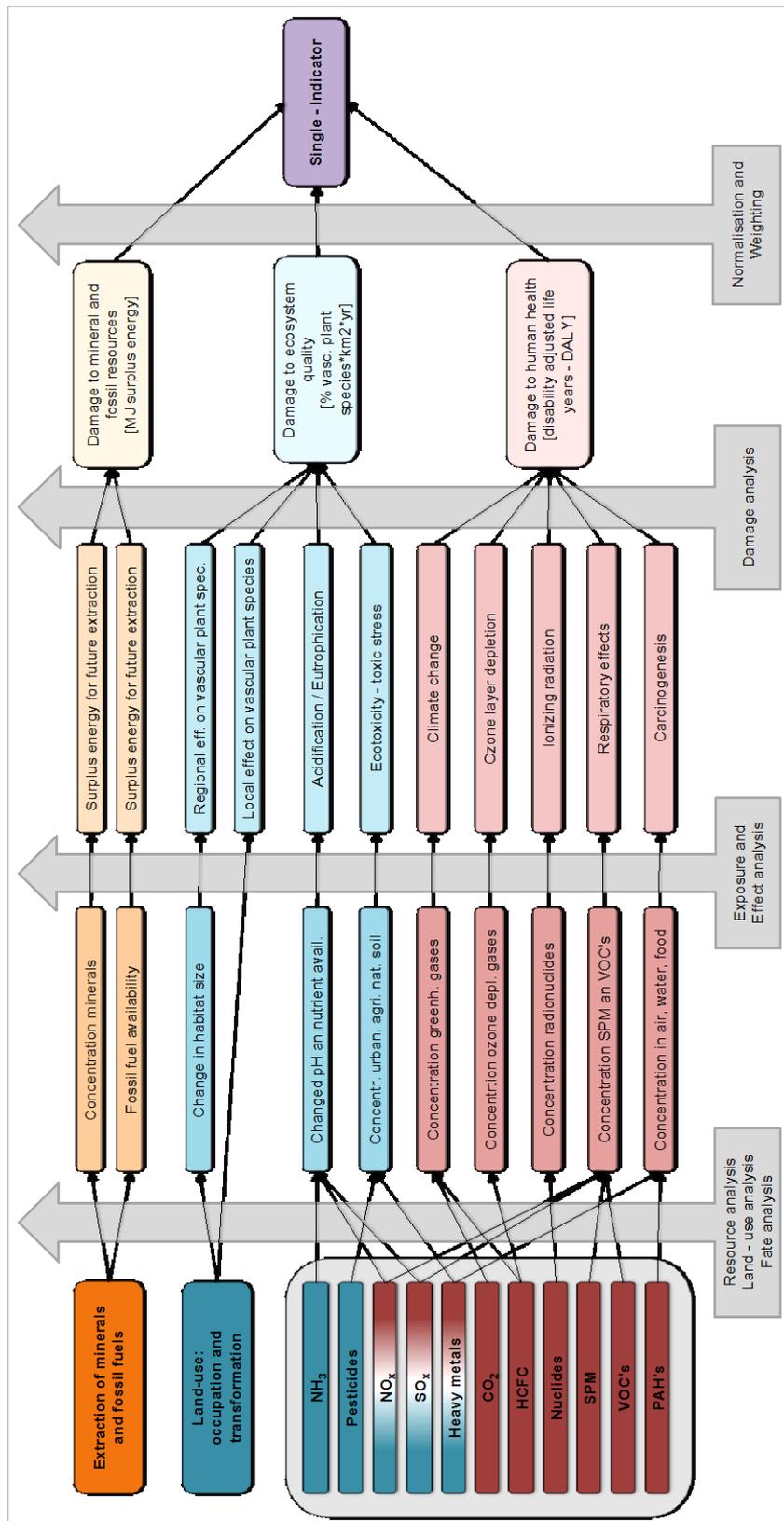


Abbildung 9 Darstellung der Zusammenhänge zwischen Sachbilanzdaten, Wirkungskategorien und Schadenskategorien (Quelle: Abbildung in Anlehnung [14])

In Tabelle 11 ist bereits eine Zuordnung der jeweiligen Wirkungsindikatoren zu den einzelnen Schutzgütern aufgelistet. Diese wird als Grundlage für die Analysen zur Feststellung der Umweltrelevanz verwendet (Kapitel 8.2).

Tabelle 11 Zuordnung der Wirkungsindikatoren zu den einzelnen Schutzgütern für Eco-indicator 99

Menschliche Gesundheit	Ökosystem	Ressourcen
- Climate change	- Ecotoxicity	- Depletion of reserves
- Ionizing radiation	- Acidification	- Concentration minerals
- Ozone layer depletion	- Eutrophication	- Fossil fuel availability
- Cancerogenic effects	- Land use	
- Respiratory (organic)	- Local effect on vascular plant species	
- Respiratory (inorganic)	- Regional effect on vascular plant species	
	- Change in habitat size	

Weitere Informationen unter: <http://www.pre-sustainability.com/eco-indicator-99-manuals>

6.3.3 EDIP 2003

EDIP 2003 ist eine am Institut für Produktentwicklung an der Technischen Universität von Dänemark (DTU) entwickelte Methode, welche vom Dänischen Ministerium für Umwelt in Auftrag gegeben wurde. Diese LCIA-Methode ist eine Nachfolgemethode von EDIP 97. In dieser Methode erfolgt die Darstellung der Umweltwirkungen mittels emissionsbasierter Wirkungsindikatoren auf „Midpoint Level“ sowie mit einem Indikator für den Ressourcenverbrauch. Die in der Methode enthaltenen Normalisierungs- und Gewichtungsfaktoren basieren auf politischen Zielvorgaben, welche lokale Gegebenheiten berücksichtigen. Dies bedeutet, dass eine Betrachtung der Umweltwirkungen auf regionaler Ebene erfolgt. Es stehen Charakterisierungsfaktoren wie Ökotoxizität, Humantoxizität, Lärm etc. sowohl auf Midpoint-als auch auf Endpoint-Level zur Verfügung. [15]

Folgende Indikatoren werden zur Darstellung der Umweltwirkungen in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 12 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA-Methode EDIP 2003

Wirkungsindikator	Einheit
Global warming 100a	kg CO ₂ eq
Ozone depletion	kg CFC-11 eq
Ozone formation (Vegetation)	m ² .ppm.h
Ozone formation (Human)	person.ppm.h
Acidification	m ²
Terrestrial eutrophication	m ²
Aquatic eutrophication EP(N)	kg N
Aquatic eutrophication EP(P)	kg P
Human toxicity air	person
Human toxicity water	m ³
Human toxicity soil	m ³
Ecotoxicity water chronic	m ³
Ecotoxicity water acute	m ³
Ecotoxicity soil chronic	m ³
Hazardous waste	kg
Slags/ashes	kg
Bulk waste	kg
Radioactive waste	kg
Resources (all)	PR2004

Folgendes Referenzsystem wird für die Normalisierung in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 13 Referenzsystem zur Normalisierung für die LCIA-Methode EDIP 2003

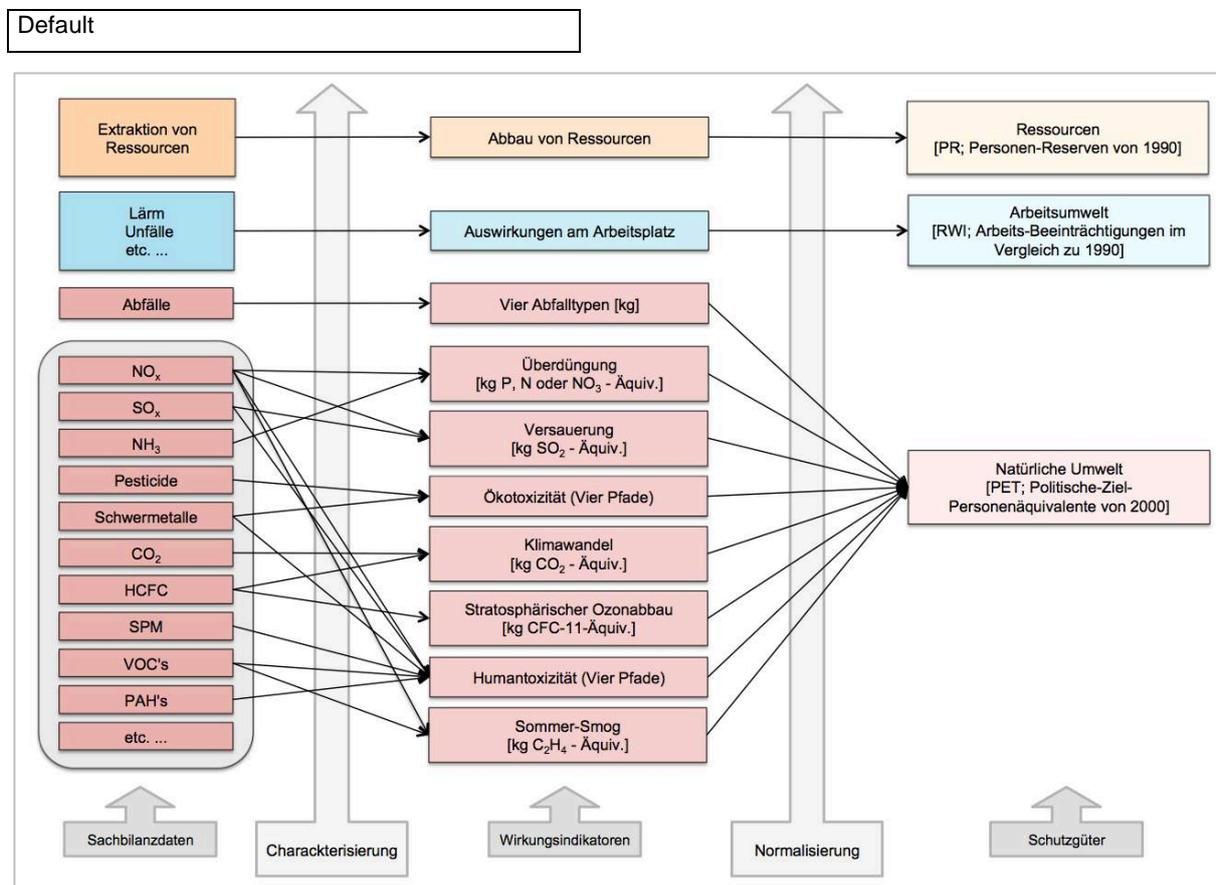


Abbildung 10 Schematische Darstellung des Zusammenhangs der Umweltwirkungen auf „Midpoint-Ebene“ und „Endpoint-Ebene“ für EDIP 2003 (Quelle: Abbildung in Anlehnung an [15])

Abbildung 10 zeigt eine Zuordnung der Umweltwirkungen zwischen „Midpoint-Ebene“ und „Endpoint-Ebene“. In der LCIA-Methode EDIP 2003 erfolgt eine Zuordnung der Wirkungskategorien zu den einzelnen Schadenskategorien. Diese Form der Zuordnung wird auch im vorliegenden Projekt (siehe Kapitel 8.2) für die Bewertung der Umweltrelevanz der jeweiligen Wirkungsindikatoren zugrunde gelegt.

In Tabelle 14 ist bereits eine Zuordnung der unterschiedlichen Wirkungsindikatoren zu den einzelnen Schutzgütern aufgelistet. Diese wird als Grundlage für die Analysen zur Feststellung der Umweltrelevanz herangezogen (siehe Kapitel 8.2). Für die LCIA-Methode EDIP 2003 ist eine separate Kategorie für Abfall angeführt.

Tabelle 14 Zuordnung der Wirkungsindikatoren zu den einzelnen Schutzgütern für EDIP 2003

Menschliche Gesundheit	Ökosystem	Ressourcen	Abfall
- Global Warming	- Ozone depletion	- Depletion of reserves	- Hazardous waste
- Ozone depletion	- Ozone formation (Vegetation)		- Slag ashes
- Ozone formation (Human)	- Acidification		- Bulk waste
- Human toxicity (air/water/soil)	- Terrestrial eutrophication		- Radioactive waste
	- Aquatic eutrophication		
	- Ecotoxicity (water chronic/water acute/soil chronic)		

Weitere Informationen unter: <http://www.earthshift.com/software/simapro/EDIP2003>

6.3.4 Impact 2002+

Impact 2002+ wurde ursprünglich an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) entwickelt. Eine Weiterentwicklung dieser Bewertungsmethode wurde vom selben Wissenschaftsteam unter dem Namen „eointesys-life cycle systems“ (Lausanne) durchgeführt. Die Umweltwirkungen in der aktuellen Version werden durch einen kombinierten Midpoint / Damage-Ansatz berechnet. Eine Charakterisierung der Sachbilanzdaten zur Abschätzung der potentiellen Umweltwirkungen erfolgt durch schadensbasierte Faktoren. Die charakterisierten Werte werden 14 Wirkungsindikatoren zugeordnet. Diese 14 Wirkungsindikatoren werden in weiterer Folge zu 4 Schadenskategorien zugeteilt. [16]

Folgende Indikatoren werden zur Darstellung der Umweltwirkungen in der Impact 2002+ Methode berücksichtigt:

Tabelle 15 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA-Methode Impact 2002+

Wirkungsindikator	Einheit
Carcinogens	kg C ₂ H ₃ Cl eq
Non-carcinogens	kg C ₂ H ₃ Cl eq
Respiratory inorganics	kg PM _{2.5} eq
Ionizing radiation	Bq C-14 eq
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq
Respiratory organics	kg C ₂ H ₄ eq
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil
Terrestrial acid/nutri	kg SO ₂ eq
Land occupation	m ² org.arable
Aquatic acidification	kg SO ₂ eq
Aquatic eutrophication	kg PO ₄ P-lim

Global warming	kg CO ₂ eq
Non-renewable energy	MJ primary
Mineral extraction	MJ surplus

Folgendes Referenzsystem wird für die Normalisierung in dieser Methode betrachtet:

Tabelle 16 Referenzsystem zur Normalisierung für die LCIA-Methode Impact 2002+

IMPACT 2002+

In Abbildung 11 sind die Zusammenhänge zwischen Sachbilanzdaten, Wirkungskategorien und Schadenskategorien für die LCIA-Methode Impact 2002+ dargestellt.

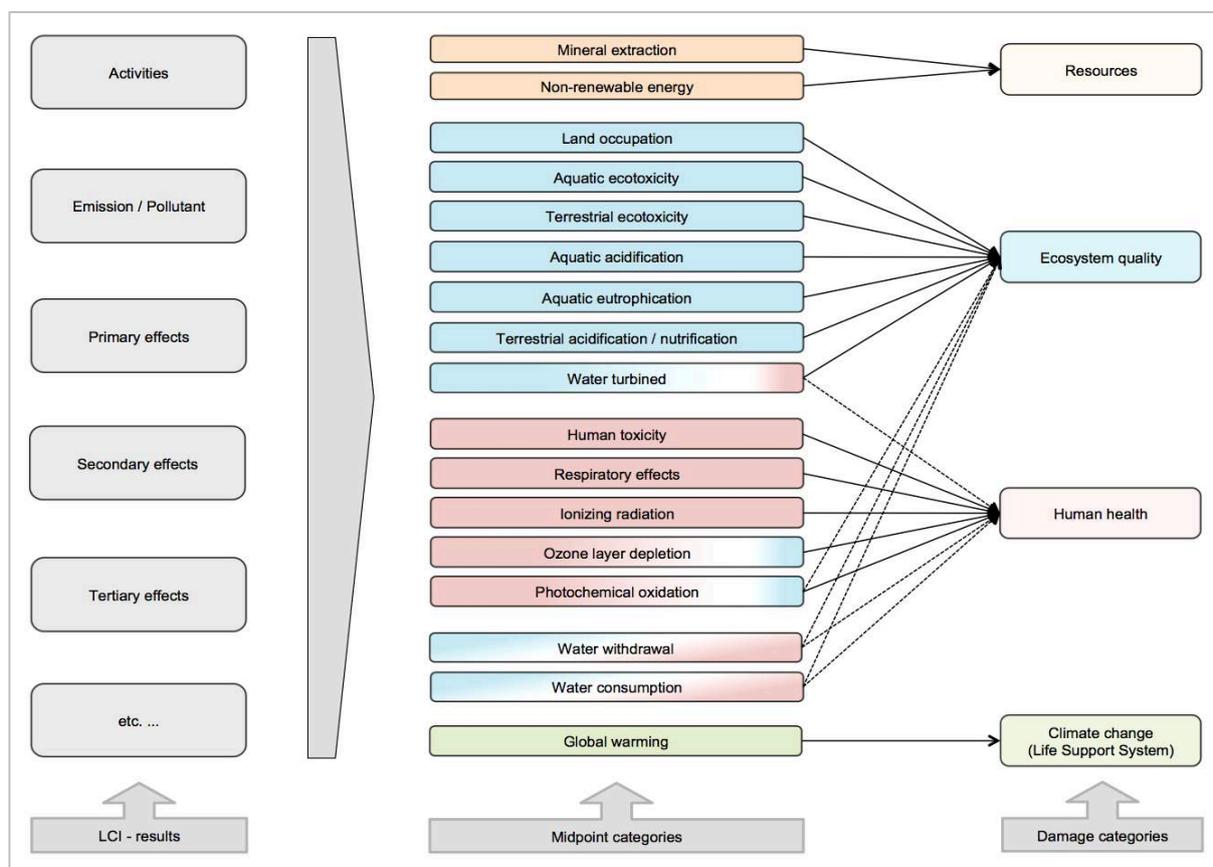


Abbildung 11 Darstellung der Zusammenhänge zwischen Sachbilanzdaten, Wirkungskategorien und Schadenskategorien für Impact 2002+ (Quelle: Abbildung in Anlehnung an [16])

In Tabelle 17 ist bereits eine Zuordnung der unterschiedlichen Wirkungsindikatoren zu den einzelnen Schutzgütern aufgelistet. Diese dient als Grundlage für die Analysen, welche in Kapitel 8.2 zur Feststellung der Umweltrelevanz durchgeführt werden. Für Impact 2002+ ist im Vergleich zu den anderen untersuchten LCIA-Methoden eine separate Kategorie für Klimawandel angeführt.

Tabelle 17 Zuordnung der Wirkungsindikatoren zu den einzelnen Schutzgütern für Impact 2002+

Menschliche Gesundheit	Ökosystem	Ressourcen	Klimawandel
- Carcinogens	- Aquatic ecotoxicity	- Depletion of reserves	- Global warming
- Non-carcinogens	- Terrestrial ecotoxicity	- Non-renewable energy	
- Respiratory inorganics	- Terrestrial acid/nutri	- Mineral extraction	
- Ionizing radiation	- Land occupation		
- Ozone layer depletion			
- Respiratory organics			

Weitere Informationen unter: <http://www.quantis-intl.com/impact2002.php>

6.3.5 ReCiPe

ReCiPe ist ein Akronym und setzt sich aus den Initialen jener Institute zusammen, die diese Methode entwickelt haben (RIVM and Radboud University, CML und PRé). Diese LCIA-Methode wurde auf Basis der Methoden Eco-Indicator 99 und CML 2002 aufgebaut. Darin wird sowohl der Midpoint- als auch der Endpoint-Ansatz in einem zusammenhängenden Regelwerk integriert und harmonisiert. Obwohl diese Methode auf anderen basiert, wurden sämtliche Wirkungsindikatoren (mit Ausnahme von ionisierender Strahlung) neu entwickelt bzw. überarbeitet. [17]

Abbildung 12 zeigt eine schematische Darstellung der Zusammenhänge der Umweltwirkungen zwischen „Midpoint-Ebene“ und „Endpoint-Ebene“. Dies erfolgt durch eine Zuordnung der Wirkungsindikatoren zu den einzelnen Schadenskategorien für die LCIA-Methode ReCiPe. Diese Zuordnung erfolgt im Zuge der Bewertung der Umweltrelevanz für die verschiedenen Wirkungsindikatoren (siehe Kapitel 8.2). Des Weiteren geht aus der Abbildung hervor, dass eine Zusammenführung sämtlicher Umweltwirkungen auf einen einzigen Indikator (Single score) durchgeführt werden kann (Vollaggregation). Durch eine Überführung der Wirkungen auf einen gemeinsamen Bezugspunkt ist eine vereinfachte Gegenüberstellung bzw. ein Vergleich von verschiedenen Varianten möglich.

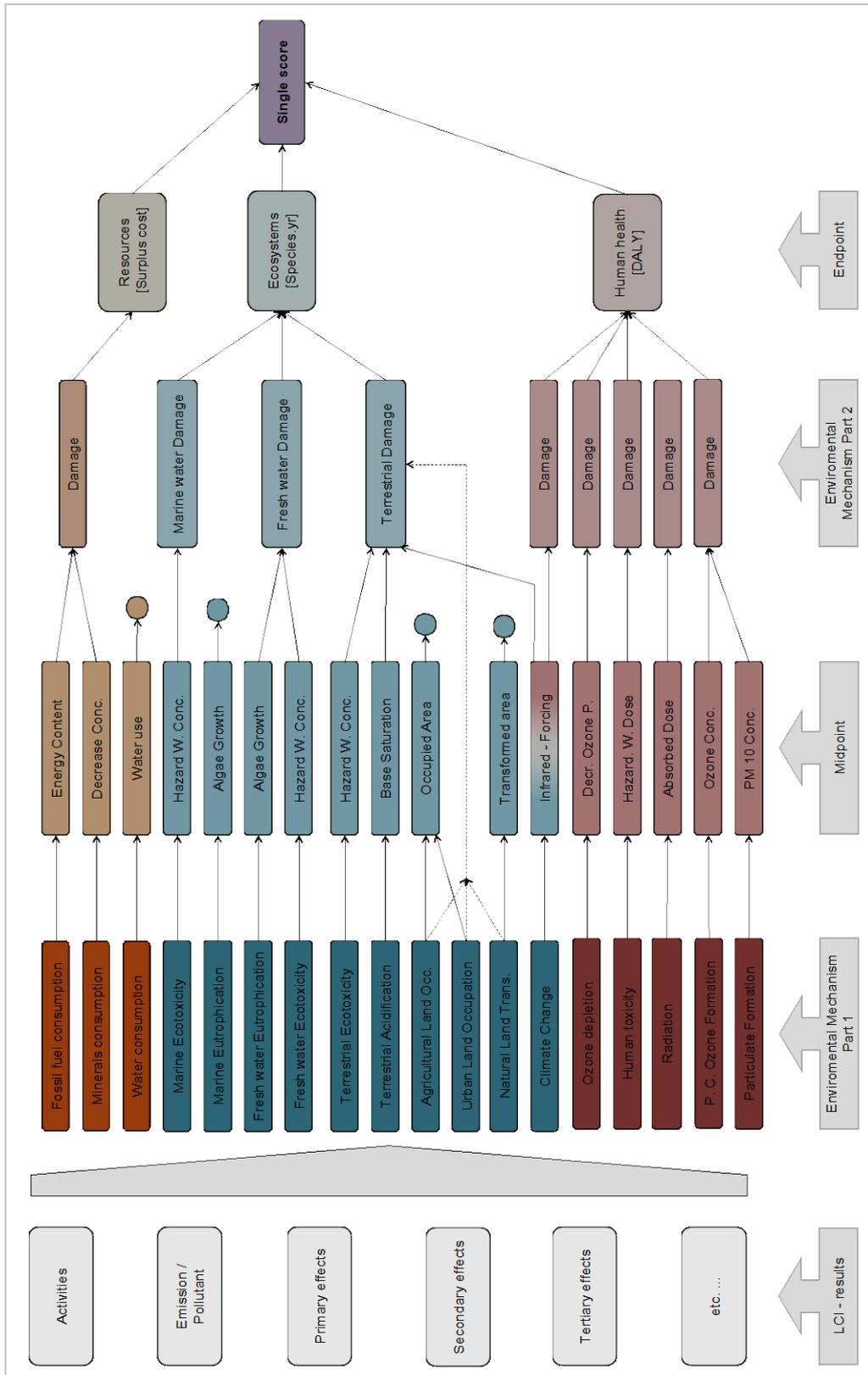


Abbildung 12 Schematische Darstellung des Zusammenhangs der Umweltwirkungen auf „Midpoint-Ebene“ und „Endpoint-Ebene“ für die LCIA-Methode ReCiPe (Quelle: Abbildung in Anlehnung an [17])

ReCiPe - Midpoint

Folgende Indikatoren werden zur Darstellung der Umweltwirkungen in der ReCiPe-Methode berücksichtigt:

Tabelle 18 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA-Methode ReCiPe Midpoint

Wirkungsindikator	Einheit
Climate change	kg CO ₂ eq
Ozone depletion	kg CFC-11 eq
Human toxicity	kg 1,4-DB eq
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC
Particulate matter formation	kg PM ₁₀ eq
Ionising radiation	kg U235 eq
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq
Freshwater eutrophication	kg P eq
Marine eutrophication	kg N eq
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Agricultural land occupation	m ² a
Urban land occupation	m ² a
Natural land transformation	m ²
Water depletion	m ³
Metal depletion	kg Fe eq
Fossil depletion	kg oil eq

Folgende Referenzsysteme werden für die Berechnung der Normalisierung in dieser Methode auf Midpoint-Ebene berücksichtigt:

Tabelle 19 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA-Methode ReCiPe Midpoint

Europe Recipe H (H = the hierarchist perspective)
World Recipe H ((H = the hierarchist perspective)

ReCiPe - Endpoint

Folgende Indikatoren werden zur Darstellung der Umweltwirkungen in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 20 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA-Methode ReCiPe Endpoint

Wirkungsindikator	Einheit
Climate change Human Health	DALY
Ozone depletion	DALY
Human toxicity	DALY
Photochemical oxidant formation	DALY
Particulate matter formation	DALY

Ionising radiation	DALY
Climate change Ecosystems	species.yr
Terrestrial acidification	species.yr
Freshwater eutrophication	species.yr
Terrestrial ecotoxicity	species.yr
Freshwater ecotoxicity	species.yr
Marine ecotoxicity	species.yr
Agricultural land occupation	species.yr
Urban land occupation	species.yr
Natural land transformation	species.yr
Metal depletion	\$
Fossil depletion	\$

Folgende Referenzsysteme werden für die Berechnung der Normalisierung in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 21 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA-Methode ReCiPe Endpoint

Europe Recipe HA (HA = the hierarchist average perspective)
Europe Recipe HH (HH = the hierarchist perspective)
World Recipe HA (HA = the hierarchist average perspective)
World Recipe HH (HH = the hierarchist perspective)

In Tabelle 22 ist eine Zuordnung der unterschiedlichen Wirkungsindikatoren zu den einzelnen Schutzgütern für die Methode ReCiPe-Endpoint dargestellt. Diese bildet die Grundlage für die Analysen, welche in Kapitel 8.2 zur Feststellung der Umweltrelevanz durchgeführt werden.

Tabelle 22 Zuordnung der Wirkungsindikatoren zu den einzelnen Schutzgütern für ReCiPe-Endpoint

Menschliche Gesundheit	Ökosystem	Ressourcen
- Climate change Human Health	- Climate change Ecosystems	- Depletion of reserves
- Ozone depletion	- Terrestrial acidification	- Metal depletion
- Human toxicity	- Freshwater eutrophication	- Fossil depletion
- Photochemical oxidant formation	- Terrestrial ecotoxicity	
- Particulate matter formation	- Freshwater ecotoxicity	
- Ionising radiation	- Marine ecotoxicity	
	- Agricultural land occupation	
	- Urban land occupation	
	- Natural land transformation	

Weitere Informationen unter: <http://www.lcia-recipe.net>

6.4 LCIA–Methoden zur Anwendung in Nordamerika

6.4.1 BEES+

BEES ist ein Akronym für „Building for Environmental and Economic Sustainability“ und beschreibt ein vom National Institute of Technology (USA) entwickeltes Software-Tool. In dieser Methode wird die Ökobilanzierung, sowie die Lebenszykluskostenrechnung in einem Programm kombiniert. Die Bewertung der potentiellen Umweltwirkungen wird mittels Wirkungsindikatoren beschrieben. Die Lebenszykluskosten werden durch Angabe eines monetären Wertes abgebildet. Weiters besteht die Möglichkeit durch eine Kombination von LCA- und LCC– Ergebnissen einen einzelnen Kennwert bzw. Indikator zu generieren. Die Anwendung von BEES soll eine ökologische und ökonomische Produktauswahl erleichtern. [18]

Folgende Indikatoren werden zur Darstellung der Umweltwirkungen in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 23 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA–Methode BEES+

Wirkungsindikator	Einheit
Global warming	g CO ₂ eq
Acidification	H+ mmole eq
Human Health cancer	g C ₆ H ₆ eq
Human Health noncancer	g C ₇ H ₇ eq
Human Health criteria air pollutants	micro DALYs
Eutrophication	g N eq
Ecotoxicity	g 2,4-D eq
Smog	g NO _x eq
Natural resource depletion	MJ surplus
Indoor air quality	g TVOC eq
Habitat alteration	T&E count
Water intake	liters
Ozone depletion	g CFC-11 eq

Folgende Referenzsysteme werden für die Berechnung der Normalisierung in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 24 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA–Methode BEES+

USA per cap97 EPA Weighting
USA per cap97 Eq. Weighting
USA per cap97 Harvard Weighting
USA per cap97 Stakeholder Weighting

6.4.2 TRACI 2.1

Diese Methode wurde von der US Environmental Protection Agency speziell für die USA entwickelt. Die Eingangswerte stammen von Standorten in den Vereinigten Staaten, bzw. einem gemittelten Landeswert aus den USA. „The Tool for the Reduction of Chemical and other environmental Impacts“ (TRACI) berücksichtigt Wirkungsindikatoren wie Global Warming, Ecotoxicity, acidification, eutrophication, human health criteria related effects, human health cancer/non cancer effects sowie land-use effects. Ursprünglich wurde das Programm für die Ökobilanzierung entwickelt, jedoch sollten die Funktionen in den nächsten Jahren noch ausgeweitet werden. [19]

Folgende Indikatoren werden zur Darstellung der Umweltwirkungen in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 25 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA-Methode TRACI

Wirkungsindikator	Einheit
Ozone depletion	kg CFC-11 eq
Global warming	kg CO ₂ eq
Smog	kg O ₃ eq
Acidification	kg SO ₂ eq
Eutrophication	kg N eq
Carcinogenics	CTUh
Non carcinogenics	CTUh
Respiratory effects	kg PM _{2.5} eq
Ecotoxicity	CTUe
Fossil fuel depletion	MJ surplus

Folgende Referenzsysteme werden für die Berechnung der Normalisierung in dieser Methode berücksichtigt:

Tabelle 26 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA-Methode TRACI

Canada	2005
US – Canada	2008
US	2008

6.5 Zuordnung der Umweltwirkungen in übergeordnete und untergeordnete Kategorien

Um ein übersichtlicheres Ergebnis zu erhalten, erfolgt eine Zuordnung der Wirkungsindikatoren in übergeordnete und untergeordnete Kategorien. Dies beruht auf der Tatsache, dass in den unterschiedlichen LCIA-Methoden Aufsplitterungen der Wirkungskategorien in Untergruppen angewandt werden (siehe Tabelle 27). Zunächst erfolgt die Definition der übergeordneten Kategorien um eine komprimierte Darstellung der Umweltwirkungen zu erhalten. Durch eine komprimierte Darstellung ist eine einfachere und verständlichere Ergebnisaufbereitung möglich.

Folgende übergeordnete Kategorien wurden zur Darstellung der relativen Bedeutung der unterschiedlichen Wirkungsindikatoren festgelegt:

- Climate change
- Ozone layer depletion
- Acidification
- Eutrophication
- Photochemical oxidation
- Human toxicity
- Ecotoxicity
- Resources
- Waste

Tabelle 27 Beispiele für untergeordnete Kategorien

Ecotoxicity	Human toxicity	Resource
Fresh water aquatic ecotoxicity	Human toxicity air	Land competition
Marine aquatic ecotoxicity	Human toxicity water	Land use
Terrestrial ecotoxicity	Human toxicity soil	Land occupation
Marine sediment ecotoxicity	Radiation	Agricultural land occupation
Freshwater sediment ecotoxicity	Ionising radiation	Urban land occupation
Ecotoxicity water chronic	Carcinogens	Natural land transformation
Ecotoxicity water acute	Non-carcinogens	
Ecotoxicity soil chronic	Particulate matter formation	
Aquatic ecotoxicity	Respiratory organics	
Terrestrial ecotoxicity	Respiratory inorganics	
Freshwater ecotoxicity	Ozone formation (Human)	
Marine ecotoxicity		
Ozone formation (Vegetation)		

Die Wirkungsindikatoren der unterschiedlichen LCIA–Methoden werden den übergeordneten Wirkungskategorien zugeteilt (siehe Tabelle 28). Aus der Tabelle geht klar hervor, dass für die Wirkungskategorie Human toxicity für alle drei dargestellten LCIA–Methoden mehrere unterschiedliche Wirkungsindikatoren vorhanden sind (z.B. Human toxicity -> Human toxicity air; Human toxicity water and Human toxicity soil).

Tabelle 28 Übergeordnete und untergeordnete Kategorien in den unterschiedlichen LCIA–Methoden

	Eco-indicator 99 (H) V2.08 Europe EI 99 H/A	EDIP 2003 V1.03 Default	IMPACT 2002+ V2.10 IMPACT 2002+
Climate change	X	X	X
Global warming (GWP100)		X	X
Climate change	X		
Climate change Human Health			
Climate change Ecosystems			
Ozone layer depletion	X	X	X
Acidification		X	X
Acidification		X	
Terrestrial acidification			
Aquatic acidification			X
Average European (kg SO ₂ -Eq)			
Eutrophication		X	X
Eutrophication			
Aquatic eutrophication EP(N)		X	
Aquatic eutrophication EP(P)		X	
Aquatic eutrophication			X
Freshwater eutrophication			
Marine eutrophication			
Terrestrial eutrophication		X	
Average European (kg NO _x eq)			
Acidification / Eutrophication	X		X
Acidification / Eutrophication	X		
Terrestrial acidification / nitrification			X
Photochemical oxidation			
Resource depletion	X		X
Abiotic depletion			
Water depletion			
Metal depletion			
Fossil depletion			
Minerals	X		
Mineral extraction			X
Fossil fuels	X		
Human toxicity	X	X	X
Human toxicity air		X	
Human toxicity water		X	
Human toxicity soil		X	
Radiation	X		
Ionising radiation			X
Carcinogens	X		X
Non-carcinogens			X
Particulate matter formation			
Respiratory organics	X		X
Respiratory inorganics	X		X
Ozone formation (Human)		X	

Eine Übersicht über die Zuordnung sämtlicher Wirkungsindikatoren der betrachteten LCIA-Methoden in die übergeordneten Wirkungskategorien befindet sich im Anhang.

7. Analyse und Auswertung

In diesem Kapitel wird das zugrunde gelegte Bewertungsobjekt näher beschrieben, mit dem die relative Bedeutung der jeweiligen Wirkungsindikatoren anhand von Ökobilanz-Ergebnissen ermittelt wird. Aufbauend auf diesen Ergebnissen werden durch eine Dominanzanalyse jene Wirkungsindikatoren identifiziert, die für den Bausektor wesentlich sind.

7.1 Festlegen eines geeigneten Bewertungsobjektes

Für die Identifikation der relativen Bedeutung der jeweiligen Indikatoren wird ein geeignetes Bewertungsobjekt definiert und als Berechnungsgrundlage für die Ökobilanzen herangezogen. Dem vorliegenden Forschungsprojekt liegt ein Bewertungsobjekt aus einem vorangegangenen „Haus der Zukunft“-Projekt (Innovative Gebäudekonzepte im ökologischen und ökonomischen Vergleich über den Lebenszyklus, kurz Ökovergleich) zugrunde. Dieses Objekt wurde ausgewählt, da im Rahmen des genannten Forschungsprojektes umfassende Daten zur Verfügung standen:

- Massenermittlung und Leistungsverzeichnisse
- Ökobilanz
- Hochbaukonstruktive Durchbildung für vier unterschiedlichen Bauweisen

Bei dem Bewertungsobjekt handelt es sich um ein zweistöckiges, vollunterkellertes Einfamilienhaus mit einem Pultdach. Es wurde eine einfache quadratische Grundrissform, mit den Außenabmessungen von 8,50 mal 13 Meter gewählt. Anschließend wurden die erforderlichen Massen für die jeweilige Bauweise (Ziegel-, Beton-, Holzmassiv- und Holzrahmenbauweise) ermittelt.

Als wesentliche Rahmenbedingung bei der Modellierung wurde festgelegt, dass bei den verschiedenen Bauweisen die gleiche Nettoraumfläche gegeben ist. Des Weiteren muss für alle untersuchten Varianten der Niedrigenergiehausstandard mit einem $HWB_{ref} = 40 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ eingehalten werden. Diese Vorgaben dienen als funktionales Äquivalent und sollen sicherstellen, dass eine vergleichbare Bewertungsgrundlage gegeben ist.

Folgende Parameter wurden für das zu untersuchende Modellgebäude festgelegt:

- Einfamilienhaus (ca. 170 m² Nutzfläche)
- Grundrissabmessung ca. 8,50*13,00 m
- Zu untersuchende Bauweisen
 - Ziegelbauweise
 - Betonbauweise
 - Holzmassivbauweise
 - Holzrahmenbauweise

- Niedrigenergiehausstandard $HWB_{ref} = 40 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Eine Untersuchung von mehreren Ausführungsvarianten unter der Verwendung von verschiedenen Baustoffen und Materialien ist notwendig, um eine Übersicht über die relative Bedeutung der Wirkungsindikatoren zu bekommen. Dadurch kann ein möglichst großer Bereich der in der Baupraxis häufig zur Anwendung kommenden Materialien abgedeckt werden, wodurch ein aussagekräftiges Ergebnis aggregiert wird.

7.2 Identifikation der relativen Bedeutung von Wirkungsindikatoren je übergeordneter Wirkungskategorie

Für das Bewertungsobjekt wurden mit den festgelegten LCIA-Methoden die Wirkungsindikator-Ergebnisse berechnet. Dies erfolgte durch eine Charakterisierung der Sachbilanzdaten bezogen auf die festgelegten Bewertungsobjekte. Aus diesen Berechnungen erhält man Wirkungsindikator-Ergebnisse mit unterschiedlichen Einheiten (z.B. CO₂-Äquivalente). Da diese Ergebnisse nicht für einen direkten Vergleich der Wirkungsindikatoren der jeweiligen LCIA-Methoden anwendbar sind, muss eine Normalisierung (siehe Kapitel 5.3.2) der Ergebnisse durchgeführt werden. Dadurch kann innerhalb einer LCIA-Methode der Stellenwert einer Wirkungsindikatoren bezogen auf die Bewertungsobjekte eruiert werden. Bei der Normierung werden die berechneten Wirkungsindikator-Ergebnisse einem Referenzsystem (z.B. West Europa; Jahr 1995) in Verhältnis gesetzt, wodurch die relative Bedeutung der unterschiedlichen Wirkungsindikatoren festgestellt werden kann.

7.2.1 Identifikation der relativen Bedeutung der Ökoindikatoren am Beispiel CML 2 baseline 2000 V2.05

In Abbildung 13 werden die mit der „CML 2 baseline 2000 V2.05“ – Methode „normalisierten“ Ergebnisse dargestellt. Die durchgeführten Arbeitsschritte werden anhand des Bewertungsobjektes „Ziegelmassivbauweise“ erklärt.

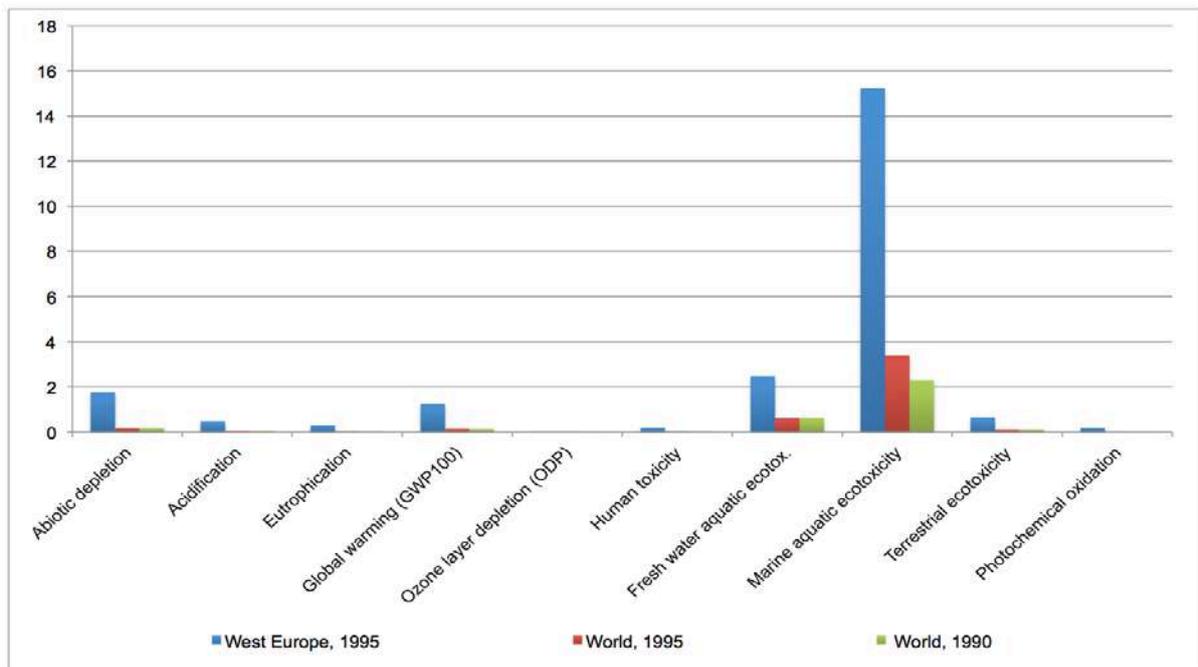


Abbildung 13 Normalisierte Ergebnisse am Beispiel CML 2 baseline 2000 V2.05 für die Ziegelbauweise

In Abbildung 13 werden des Weiteren die unterschiedlichen Normalisierungsergebnisse für die Referenzsysteme West Europe 1995, World 1995 und World 1990 dargestellt. Zuzufolge aller drei Normalisierungsergebnisse kann ein hoher Stellenwert des Wirkungsindikators „Marine aquatic ecotoxicity“ abgeleitet werden. Folglich besitzt dieser Wirkungsindikator eine hohe relative Bedeutung innerhalb der „CML 2 baseline 2000 V2.05“-Methode.

Zur Feststellung der relativen Bedeutung der Wirkungsindikatoren für sämtliche LCIA-Methoden ist ein weiterer Normierungsschritt notwendig. Dazu wird jenem normalisierten Wirkungsindikator, welcher innerhalb einer LCIA-Methode ein Maximum aufweist, der Wert 1 bzw. 100% zugewiesen. Dieser Wert dient als Referenzwert zur Feststellung der relativen Bedeutung der Wirkungsindikatoren innerhalb einer LCIA-Methode. Für die „CML 2 baseline 2000 V2.05“-Methode (siehe Abbildung 13) stellt das Ergebnis des normierten Wirkungsindikators-„Marine aquatic ecotoxicity“ (maximaler Wert) den Referenzwert dar. Die übrigen normalisierten Wirkungsindikator-Ergebnisse werden mit diesem Referenzwert normiert. Daraus kann die relative Bedeutung der jeweiligen Wirkungsindikatoren abgeleitet werden (siehe Abbildung 14).

In weiterer Folge wird diese Vorgangsweise (Normierung) zur Feststellung der relativen Bedeutung der jeweiligen Wirkungsindikatoren innerhalb einer ausgewählten LCIA-Methode angewendet (Zusammenführung siehe Kapitel 7.2.2).

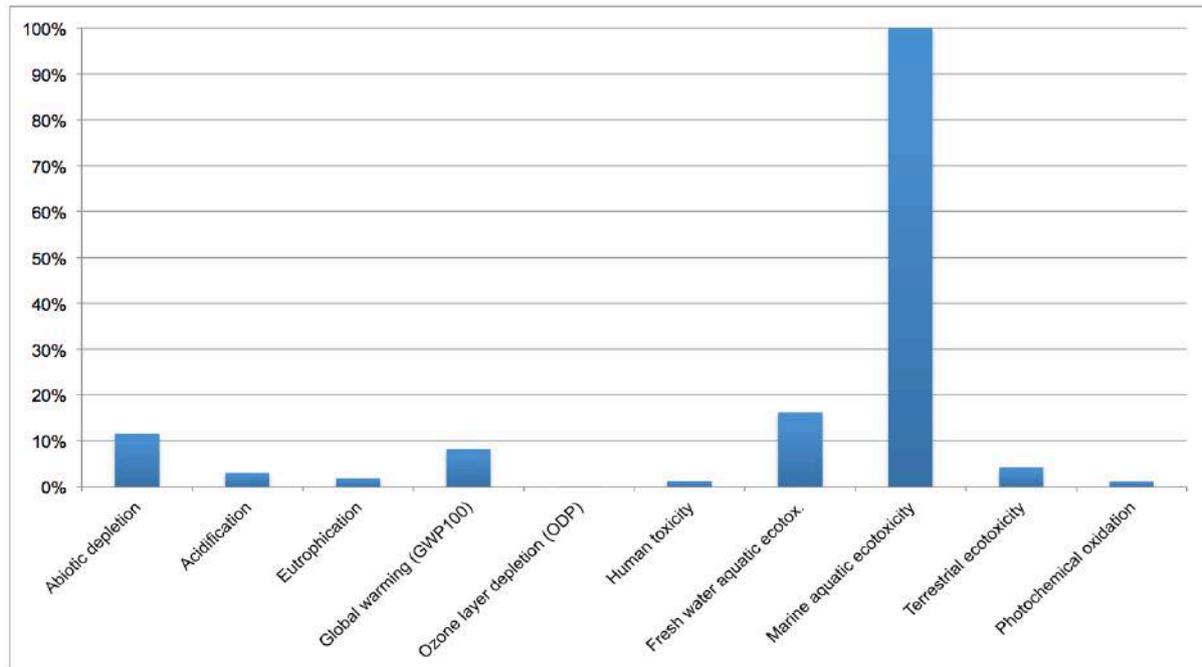


Abbildung 14 Indikatoren – Priorität am Beispiel CML 2 baseline 2000 V2.05; West Europe, 1995 für die Ziegelbauweise

Die Ermittlung der Priorität der jeweiligen Wirkungsindikatoren mittels Normalisierung wurde für sämtliche Bauweisen (Ziegelbauweise, Betonbauweise, Holzmassivbauweise, Holzrahmenbauweise) mit den in Kapitel 6.1 beschriebenen LCIA-Methoden durchgeführt. In den nachfolgenden Kapiteln werden die normalisierten Ergebnisse der ausgewählten LCIA-Methoden gegenübergestellt und die relative Bedeutung aufgezeigt.

7.2.2 Zusammenfassung der relativen Bedeutung der Wirkungskategorien für sämtliche LCIA-Methoden am Beispiel Ziegelbauweise

Zur Feststellung der relativen Bedeutung der unterschiedlichen Wirkungskategorien für die ausgewählten LCIA-Methoden erfolgt eine Zusammenführung und Gegenüberstellung der Normalisierungsergebnisse aus dem vorangegangenen Kapitel. Dies bedeutet, dass zunächst die normierten Wirkungsindikator-Ergebnisse in übergeordnete Wirkungskategorien (siehe Kapitel 6) zusammengeführt werden. Zunächst wird eine Berechnung der relativen Bedeutung für die unterschiedlichen Bauweisen separat durchgeführt.

In Abbildung 15 wird die Normalisierungsergebnisse für die übergeordneten Wirkungskategorien je LCIA-Methode, am Beispiel Ziegelbauweise dargestellt.

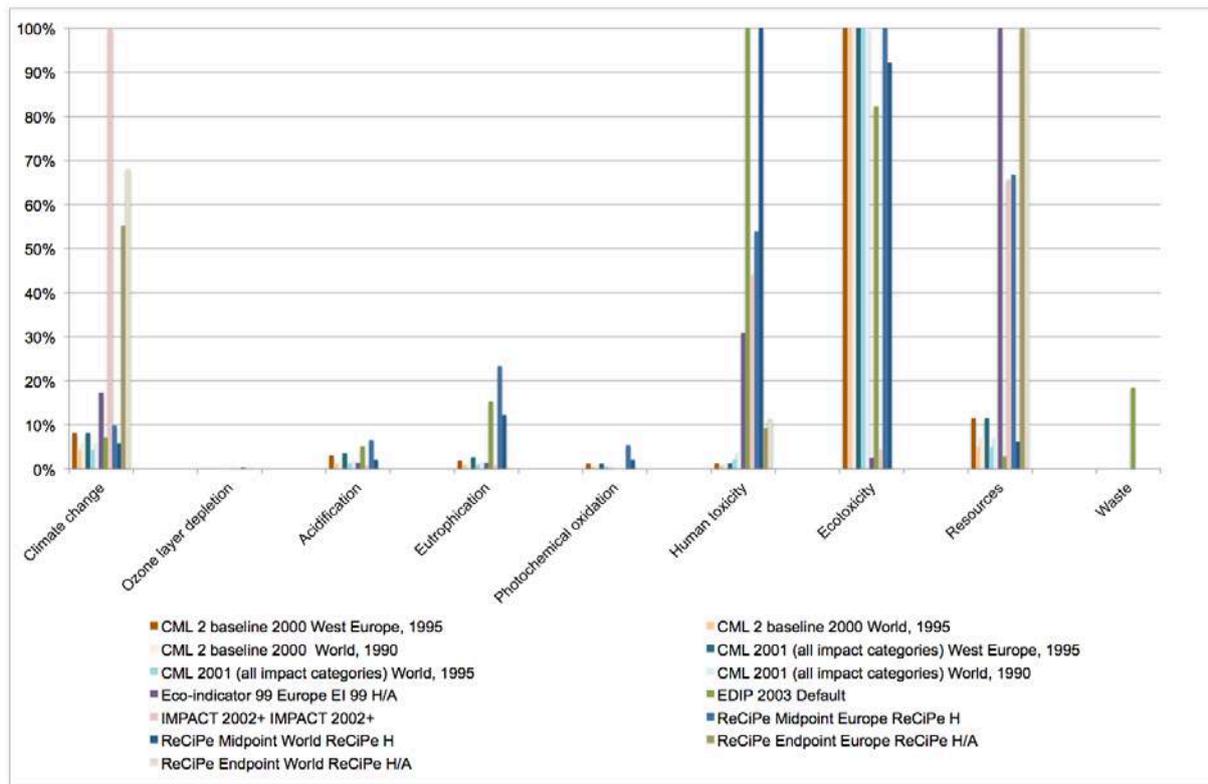


Abbildung 15 Normalisierungsergebnisse für die übergeordneten Wirkungskategorien je LCIA-Methode für die Ziegelbauweise

Da mit einigen LCIA-Methoden mehrere normalisierte Wirkungsindikator-Ergebnisse ermittelt werden können, wird zur Vermeidung einer Übergewichtung eine Mittelwertbildung der normalisierten Wirkungsindikator-Ergebnisse innerhalb einer LCIA-Methode durchgeführt (siehe Abbildung 16).

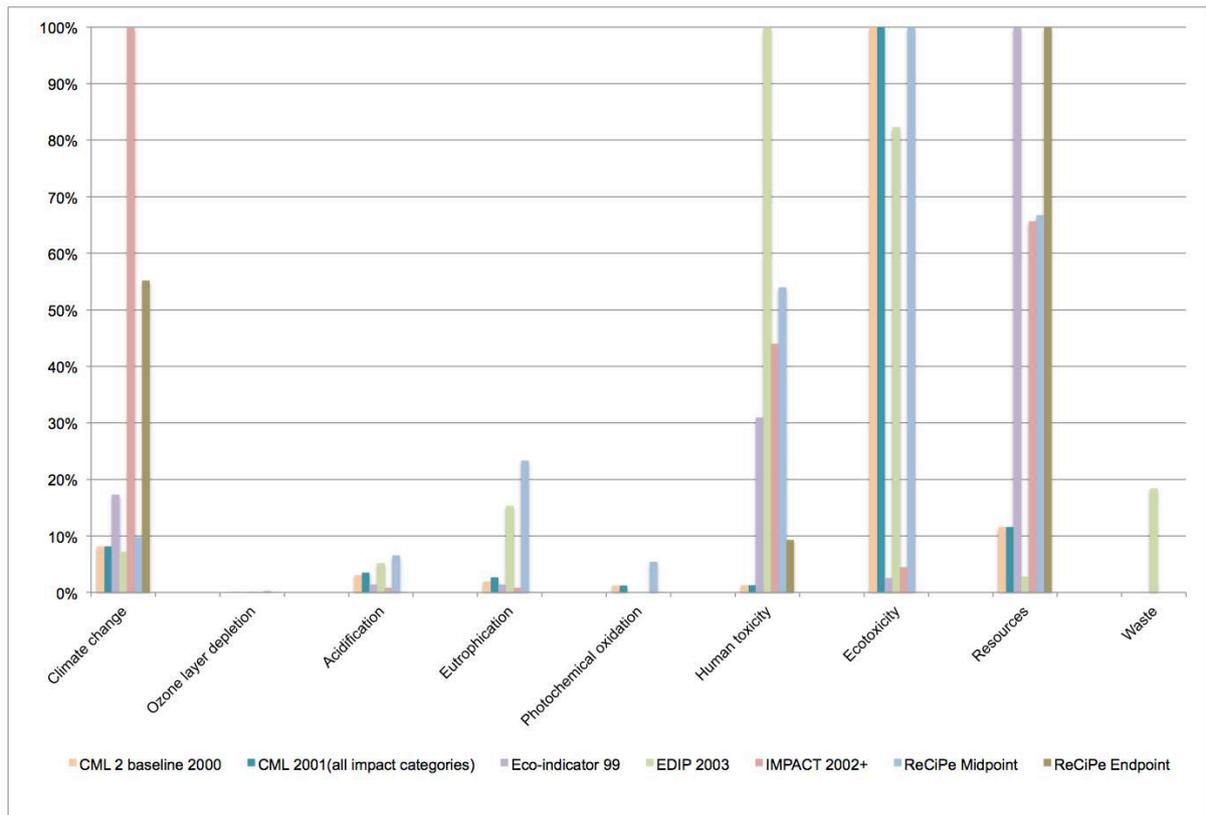


Abbildung 16 Gemittelte Normalisierungsergebnisse für die übergeordneten Wirkungskategorien je LCIA-Methode für die Ziegelbauweise

Abbildung 18 zeigt die relative Bedeutung der übergeordneten Wirkungskategorien anhand des Mittelwertes für die ausgewählte LCIA-Methoden am Beispiel Ziegelbauweise. Diese Werte wurden mittels der Wirkungskategorie-Ergebnisse, die in Abbildung 16 dargestellt sind, berechnet.

In einem weiteren Schritt wird die relative Bedeutung für die verschiedenen Kategorien erhoben. Dabei stellt jener Wert 100% dar, welcher ein Maximum aufweist (Ecotoxicity, Abbildung 17). Dieser Maximalwert dient als Referenz zur Berechnung der relativen Bedeutung der übrigen Wirkungskategorien (siehe Abbildung 18).

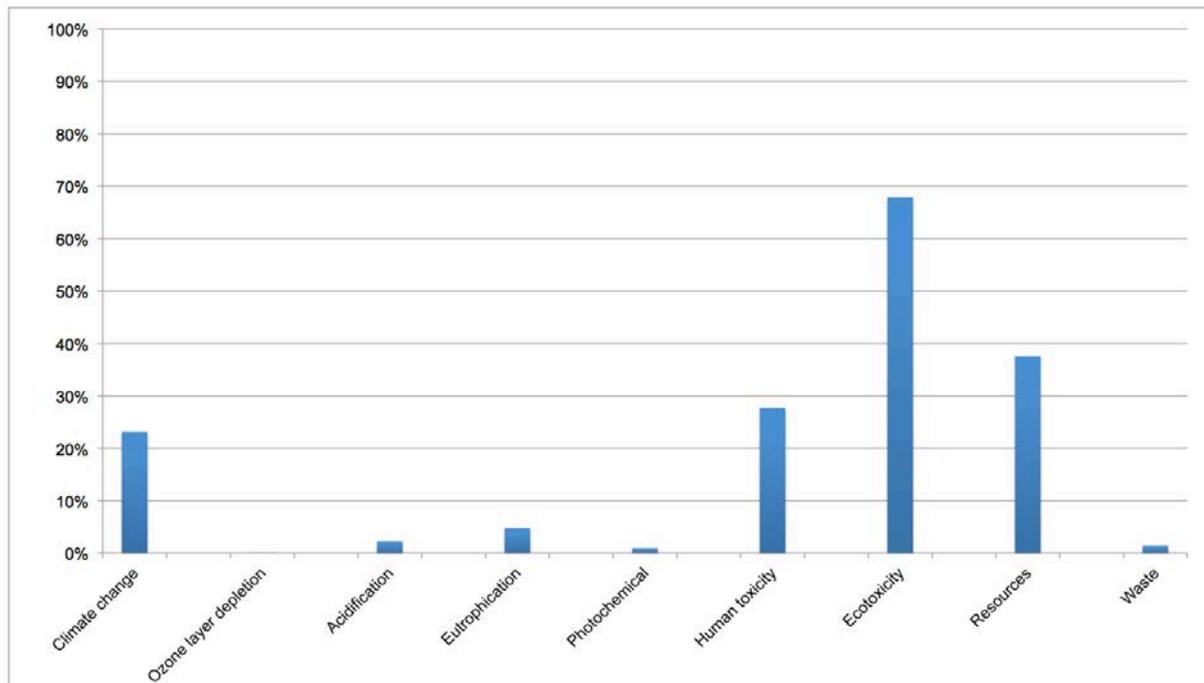


Abbildung 17 Ergebnisse der Mittelwertbildung der relativen Bedeutung für die jeweiligen Wirkungskategorien am Beispiel Ziegelbauweise

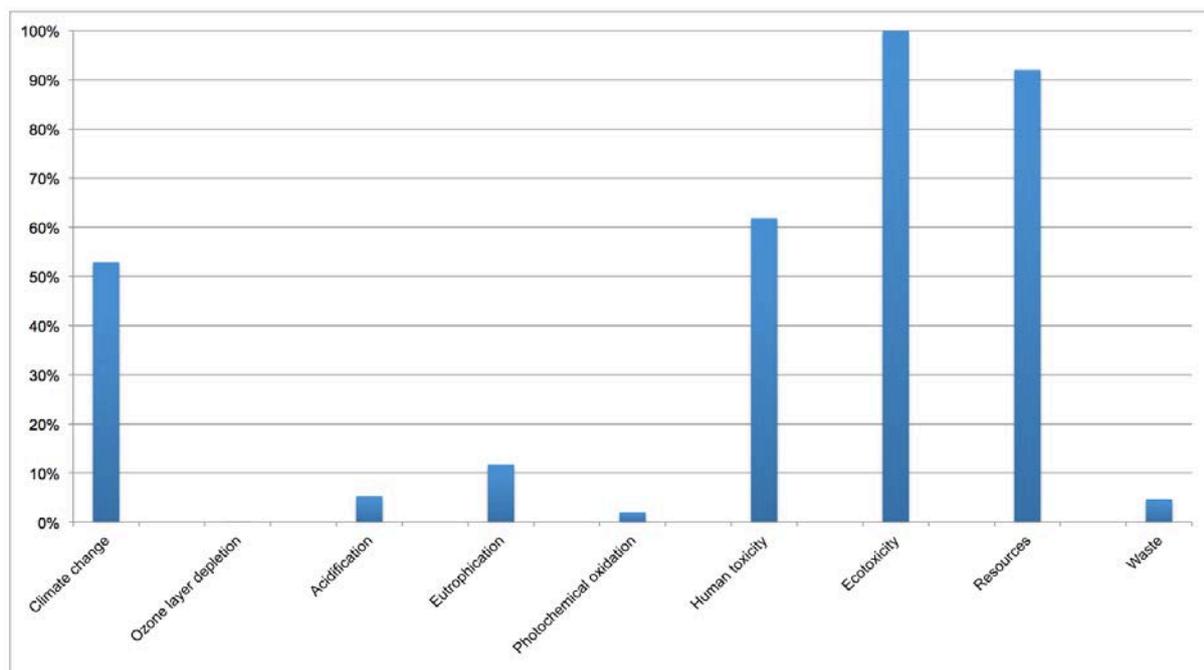


Abbildung 18 Darstellung der relativen Bedeutung der unterschiedlichen Wirkungskategorien am Beispiel Ziegelbauweise

Für das Beispiel Ziegelbauweise geht aus der Beurteilung der relativen Bedeutung hervor, dass für die Wirkungskategorien Ökotoxizität, Ressourcen und Humantoxizität ein dominanter Einfluss gegeben ist.

Die Analyse der relativen Bedeutung der übergeordneten Wirkungskategorien wurde für die festgelegten Bauweisen (Ziegelbauweise, Betonbauweise, Holzmassivbauweise, Holzrahmenbauweise) mit den in Kapitel 6.1 ausgewählten LCIA-Methoden durchgeführt. Im nachfolgenden Kapitel wird auf die Zusammenführung der relativen Bedeutung der Wirkungskategorien der verschiedenen Bauweisen eingegangen.

7.2.3 Zusammenfassen der relativen Bedeutung der übergeordneten Wirkungskategorien für sämtliche Bauweisen

In diesem Abschnitt wird auf die Zusammenführung der Auswertungsergebnisse der unterschiedlichen Bauweisen eingegangen. Die Überlagerung der relativen Bedeutung der Wirkungsindikatoren für die unterschiedlichen Bauweisen erfolgt analog zu der zuvor beschriebenen Vorgehensweise.

In Abbildung 19 werden die Ergebnisse der relativen Bedeutung der übergeordneten Wirkungskategorien für die untersuchten Bauweisen dargestellt. In der Abbildung sind die Schwerpunkte bezüglich der übergeordneten Wirkungskategorien für die unterschiedlichen Bauweisen sehr gut zu erkennen (z.B. Betonbauweise weist eine hohe relative Bedeutung im Bereich Ökotoxizität auf).

Um eine Aussage bezüglich der relativen Bedeutung der übergeordneten Wirkungskategorien über sämtliche Bauweisen treffen zu können, ist es notwendig diese zusammenzufassen. Dies geschieht durch eine Durchschnittsbildung der Einzelergebnisse der relativen Bedeutung sämtlicher Bauweisen.

Die Darstellung in Abbildung 20 zeigt die relative Bedeutung der übergeordneten Wirkungskategorien bezogen auf die gemittelten Indikator - Ergebnisse über alle vier analysierten Bauweisen. Die Resultate sind bereits normiert und wurden wie zuvor auf den maximalen Indikatorwert bezogen.

Die Abbildung zeigt eindeutig die Dominanz der Wirkungskategorien Ressourcen, Ökotoxizität und Humantoxizität für den Bausektor. Klimawandel ist bezogen auf die Kategorie Ressourcen nur „halb“ so wichtig. Die Kategorien Ozonabbaupotential, Versauerung, Eutrophierung, Photochemische Ozonbildung und Abfall erscheinen aufgrund der Analyseergebnisse als relativ vernachlässigbar.

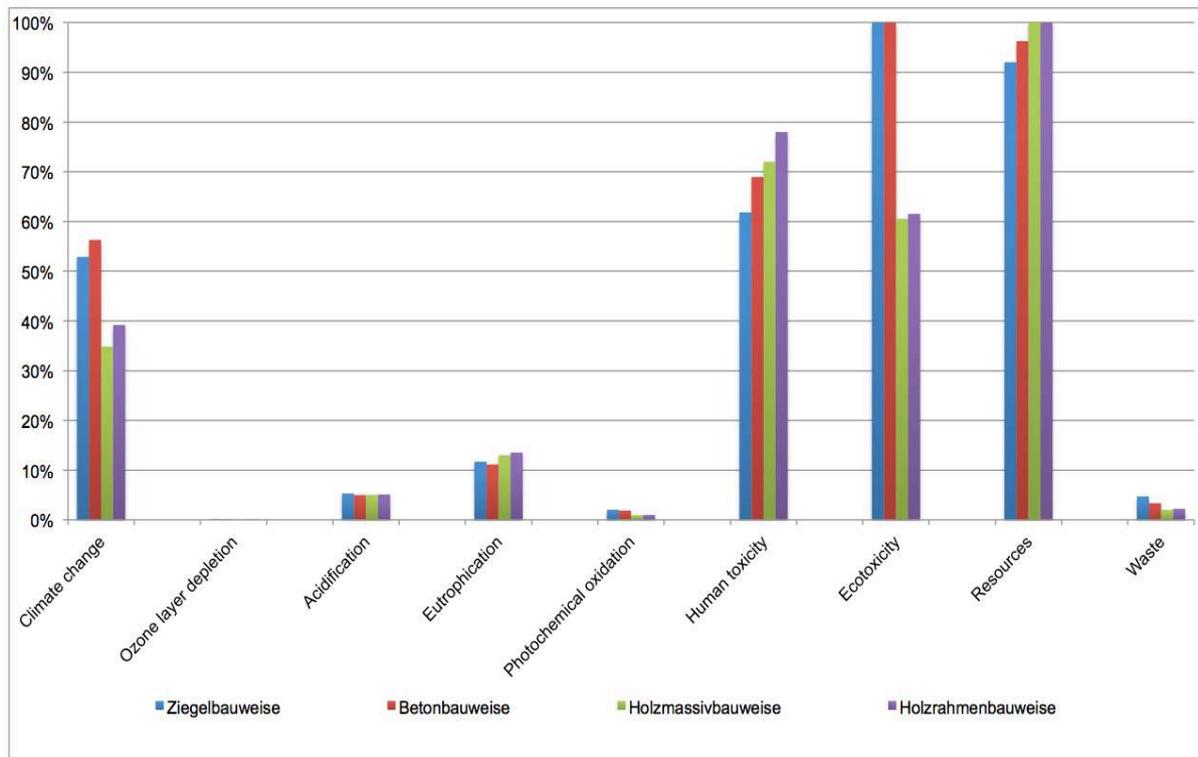


Abbildung 19 Darstellung der relativen Bedeutung der übergeordneten Wirkungskategorien für die unterschiedlichen Bauweisen

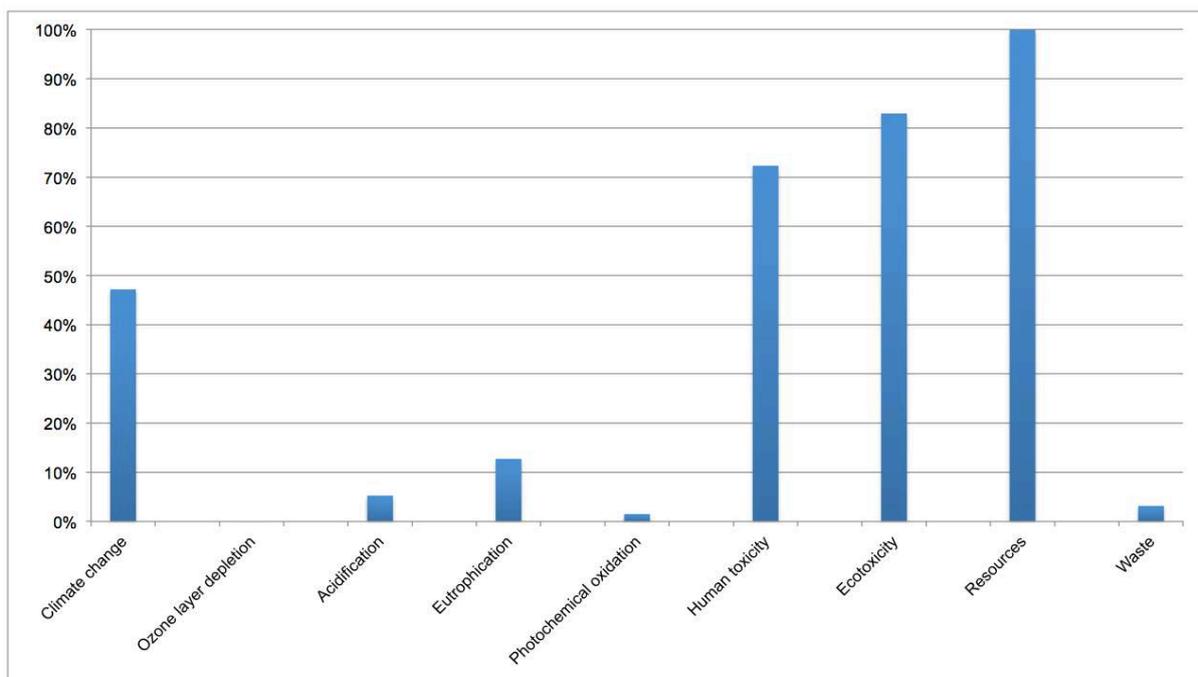


Abbildung 20 Darstellung der durchschnittlichen relativen Bedeutung der übergeordneten Wirkungskategorien für die unterschiedlichen Bauweisen (normiertes Ergebnis)

7.2.4 Relative Bedeutung der übergeordneten Wirkungskategorien für den Bausektor

In diesem Abschnitt wird auf die Auswertungsergebnisse hinsichtlich der relativen Bedeutungen der Wirkungsindikatoren für den Bausektor eingegangen. Dies geschieht auf Basis der zuvor beschriebenen Auswertungen und Analysen, deren Durchführung in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurde. Die Bewertung der relativen Bedeutung erfolgt in diesem Kapitel für die übergeordneten Wirkungskategorien.

Zum besseren Verständnis wurde eine Unterteilung der relative Bedeutung der jeweiligen Wirkungskategorien in drei Gruppen (Priorität: hoch; mittel; niedrig) vorgenommen.

Folgende prozentuelle Bandbreiten wurden für die Prioritätenreihung der relativen Bedeutung festgelegt:

- „relative Bedeutung – hoch“ bei einem Wert zwischen 65% und 100%
- „relative Bedeutung – mittel“ bei einem Wert zwischen 35% und 64%
- „relative Bedeutung – niedrig“ bei einem Wert zwischen 0% und 34%

Die Prozentwerte beziehen sich auf die Skalierung bzw. auf die normalisierten Wirkungskategorie-Ergebnisse, welche in Abbildung 20 dargestellt sind. Eine Zuordnung der Wirkungskategorien hinsichtlich ihrer Priorität ist in Tabelle 29 ersichtlich.

Tabelle 29 Ergebnis für die relative Bedeutung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (übergeordnete Wirkungskategorien)

Klassifizierung	Wirkungskategorie	Relative Bedeutung (%-Wert)
„relative Bedeutung – hoch“ (65% - 100%)	- Resources	100 %
	- Ecotoxicity	84 %
	- Human toxicity	72 %
„relative Bedeutung – mittel“ (35% - 64%)	- Climate change	48 %
„relative Bedeutung – niedrig“ (0% - 34%)	- Eutrophication	12 %
	- Acidification	5 %
	- Waste	2 %
	- Photochemical oxidation	1 %
	- Ozone layer depletion	0 %

Da in dem vorliegenden Projekt primär das Ziel verfolgt wurde, eine grundlegende Identifikation von Wirkungskategorien, welche für den Bausektor wichtig sind, vorzunehmen, erfolgt nur eine grobe Einteilung der relativen Bedeutung.

Die Auswertungsergebnisse in Tabelle 29 zeigen, dass für die übergeordneten Wirkungskategorien Ressourcen, Ökotoxizität und Humantoxizität eine „relative Bedeutung – hoch“ gegeben ist. Die bisher

in der Normung (z.B. EN 15804 [2]) als wichtig eingestuften Wirkungsindikatoren wie Eutrophierung (EP), Versauerung (AP), Photochemische Ozonbildung (POCP) und Ozonabbaupotential (ODP) hingegen haben zufolge der Untersuchungsergebnisse eine untergeordnete Bedeutung für den Bausektor.

Aufgrund dieser Ergebnisse lässt sich ein Handlungsbedarf hinsichtlich einer Adaptierung und Erweiterung von Wirkungsindikatoren in Normen wie der EN 15804 [2] ableiten.

7.2.5 Relative Bedeutung der untergeordneten Wirkungskategorien für den Bausektor

In diesem Abschnitt wird auf die relative Bedeutung der Wirkungsindikatoren der untersuchten LCIA-Methoden eingegangen. Das bedeutet es erfolgt eine Identifikation jener Indikatoren, welche den übergeordneten Kategorien zugrunde liegen. Eine Auswertung und Analyse der relativen Bedeutung der Wirkungsindikatoren erfolgt analog zur im voran gegangenen Kapitel beschriebenen Bewertungsmethode (d.h. Normierung der Wirkungsindikatorenergebnisse auf den Maximalwert in der jeweiligen Kategorie).

Eine Analyse und Auswertung hinsichtlich der relativen Bedeutung der Wirkungsindikatoren wurde für die Prioritätenklassen „relative Bedeutung – hoch“ und „relative Bedeutung – mittel“ durchgeführt (Ressourcen, Ökotoxizität, Humantoxizität und Klimawandel). Die Resultate der durchgeführten Analysen sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 30 Ergebnis für die relative Bedeutung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Ressourcen)

Relative Bedeutung für die untergeordnete Wirkungskategorie - Ressourcen	
Klassifizierung	Wirkungsindikator
„relative Bedeutung – hoch“ (65% - 100%)	<ul style="list-style-type: none"> - Fossil fuels (Eco-indicator 99) - Fossil depletion (ReCiPe Endpoint) - Natural land transformation (ReCiPe Midpoint) - Non – renewable energy (IMPACT 2002+)
„relative Bedeutung – mittel“ (35% - 64%)	<ul style="list-style-type: none"> - Agricultural land occupation (ReCiPe Endpoint)
„relative Bedeutung – niedrig“ (0% - 34%)	<ul style="list-style-type: none"> - Land use (Eco-indicator 99) - Land occupation (IMPACT 2002+) - Abiotic depletion (CML)

Tabelle 31 Ergebnis für die relative Bedeutung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Ökotoxizität)

Relative Bedeutung für die untergeordnete Wirkungskategorie - Ökotoxizität	
Klassifizierung	Wirkungsindikator
„relative Bedeutung – hoch“ (65% - 100%)	- Marine aquatic ecotoxicity (CML) - Marine sediment ecotoxicity (CML) - Freshwater sediment ecotoxicity (CML)
„relative Bedeutung – mittel“ (35% - 64%)	- Freshwater ecotoxicity (ReCiPe Midpoint) - Marine ecotoxicity (ReCiPe Midpoint) - Ecotoxicity water acute (EDIP 2003)
„relative Bedeutung – niedrig“ (0% - 34%)	- Freshwater aquatic ecotoxicity (CML) - Ecotoxicity water chronic (EDIP 2003) - Terrestrial ecotoxicity (IMPACT 2002+)

Tabelle 32 Ergebnis für die relative Bedeutung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Humantoxizität)

Relative Bedeutung für die untergeordnete Wirkungskategorie - Humantoxizität	
Klassifizierung	Wirkungsindikator
„relative Bedeutung – hoch“ (65% - 100%)	- Human toxicity water (EDIP 2003) - Respiratory inorganics (IMPACT 2002+)
„relative Bedeutung – mittel“ (35% - 64%)	- Human toxicity (ReCiPe Midpoint)
„relative Bedeutung – niedrig“ (0% - 34%)	- Human toxicity air (EDIP 2003) - Carcinogens (IMPACT 2002+, Eco-indicator 99) - Non-carcinogens (IMPACT 2002+) - Particular matter formation (ReCiPe Midpoint, ReCiPe Endpoint) - Ozone formation (EDIP 2003)

Tabelle 33 Ergebnis für die relative Bedeutung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Klimawandel)

Relative Bedeutung für die untergeordnete Wirkungskategorie - Klimawandel	
Klassifizierung	Wirkungsindikator
„relative Bedeutung – hoch“ (65% - 100%)	- Global warming (GWP 100) (IMPACT 2002+)
„relative Bedeutung – mittel“ (35% - 64%)	- Climate change Human Health (ReCiPe Endpoint) [1]
„relative Bedeutung – niedrig“ (0% - 34%)	- Climate change Ecosystems (ReCiPe Endpoint)

Die Analysen der unterschiedlichen untergeordneten Wirkungskategorien hinsichtlich der „relativen Bedeutung“ für den Bausektor zeigt deutlich, dass für ungefähr ein Drittel aller betrachteten Wirkungsindikatoren eine „relative Bedeutung – hoch“ für den Bausektor gegeben ist. Fakt ist jedoch, dass eine Vielzahl der als wichtig identifizierten Wirkungsindikatoren (z.B. Humantoxizität, Ökotoxizität etc.) in aktuellen Regelwerken (Normen) noch nicht berücksichtigt werden.

8. Qualitätsanalyse der für den Bausektor relevanten Wirkungsindikatoren

Eine wesentliche Grundanforderung für die Implementierung von zusätzlichen bzw. neuen Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen von Bauprodukten in bestehenden Richtlinien (ÖNORM, EN etc.) setzt voraus, dass eine geeignete LCIA-Methode mit qualitativ hochwertigen Sachbilanzdaten (EcolInvent V2.2.) [6] für die Berechnung vorhanden sind.

Um Informationen über die Qualität der unterschiedlichen LCIA-Methoden zu erhalten, wird dieser Aspekt nachfolgend genauer betrachtet. Dies bedeutet, dass die jeweiligen methodenspezifischen Berechnungsschritte“ auf ihre qualitativen Eigenschaften hin untersucht werden.

Im vorliegenden Forschungsprojekt erfolgte eine Untersuchung, Auswertung und Darstellung der qualitativen Eigenschaften der unterschiedlichen LCIA-Methoden anhand von Forschungsprojekten bzw. Literaturangaben. Insbesondere wird im Bereich der qualitativen Eigenschaften von LCIA-Methoden auf das Handbuch des ILCD „International Reference Life Cycle Data System“ [20] verwiesen. Die in diesem Buch empfohlenen LCIA-Methoden zur Feststellung der Umweltwirkungen in den unterschiedlichen Wirkungskategorien wurden vom „Institute for Environment and Sustainability“ des Joint Research Centre (JRC) von der Europäischen Kommission abgegeben. Diese Empfehlungen finden werden bereits heute in einschlägigen Normenwerken für den Bereich Nachhaltigkeit eine Berücksichtigung.

8.1 Erheben der Datenqualität der LCIA- Methoden anhand ILCD

Die Feststellung der Qualität der unterschiedlichen LCIA-Methoden erfolgte anhand des ILCD-Handbuches. Das ILCD Handbuch wurde vom Institut für Umwelt und Nachhaltigkeit des JRC (European Commission Joint Research Centre) herausgegeben. Im Wesentlichen enthält das Handbuch Empfehlungen zu bestehenden LCIA-Methoden. In diesem Zusammenhang wurde für einen Großteil der am Markt verfügbaren LCIA-Methoden eine Qualitätsuntersuchung durchgeführt. Ergebnis daraus ist eine Darstellung der vorhandenen Qualität von unterschiedlichen Wirkungsindikatoren bezüglich der angewendeten Berechnungsmethode. [20]

Eine Bewertung der einzelnen Berechnungsmethoden erfolgt anhand folgender Klassifizierung in vier Stufen: [20]

Level “I”: Empfohlen und zufriedenstellende Datenqualität vorhanden
(recommended and satisfactory)

Level “II”: Empfohlen, Verbesserungen bei der Datenqualität sind notwendig
(recommended but in need of some improvements)

Level “III”: Empfohlen, allerdings sind die empfohlenen LCIA-Modelle mit äußerster Vorsicht zu nutzen (recommended, but to be applied with caution)

Interim: Für die mit „interim“ gekennzeichneten Indikatoren wurde eine Untersuchung der zur Verfügung stehenden LCIA-Methoden durchgeführt, jedoch konnte keine der Methoden empfohlen werden.

In den nachfolgenden Tabellen werden jene LCIA-Methoden dargestellt, für die eine Empfehlung nach dem ILCD-System für die unterschiedlichen Wirkungskategorien vorhanden ist. Eine Auswertung wurde für die untergeordneten Wirkungsindikatoren der Prioritätenklassen „relative Bedeutung – hoch“ und „relative Bedeutung – mittel“ durchgeführt (Ressourcen, Ökotoxizität, Humantoxizität und Klimawandel).

Durch diese Auswertung bzw. Darstellung wird ersichtlich, ob bereits vom ILCD-System empfohlene, qualitativ hochwertige LCIA-Methoden zur Berechnung von Wirkungsindikatoren, die für den Bausektor eine relative Bedeutung aufweisen, vorhanden sind. Folglich sollte eine Anwendung dieser prioritär hoch einzustufenden Wirkungsindikatoren in der Normung (z.B. EN 15804 [2]) erfolgen.

Tabelle 34 Qualitätsbeurteilung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Ressourcen)

Relative Bedeutung für die untergeordnete Wirkungskategorie - Ressourcen			
Relative Bedeutung	Wirkungsindikator	Empfohlene Methode	ILCD-Klassifizierung
hoch (65% - 100%)	- Fossil fuels	CML 2002 (Guinée et al., 2002)	II
	- Fossil depletion	CML 2002 (Guinée et al., 2002)	II
	- Natural land transformation	Model based on Soil Organic Matter (SOM) (Milà i Canals et al, 2007b)	III
	- Non – renewable energy	CML 2002 (Guinée et al., 2002)	II
mittel (35% - 64%)	- Agricultural land occupation	Model based on Soil Organic Matter (SOM) (Milà i Canals et al, 2007b) [2]	III
niedrig (0% - 34%)	- Land use	Model based on Soil Organic Matter (SOM) (Milà i Canals et al, 2007b)	III
	- Land occupation	Model based on Soil Organic Matter (SOM) (Milà i Canals et al, 2007b)	III
	- Abiotic depletion	CML 2002 (Guinée et al., 2002)	III

Tabelle 35 Qualitätsbeurteilung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Ökotoxizität)

Relative Bedeutung für die untergeordnete Wirkungskategorie - Ökotoxizität			
Relative Bedeutung	Wirkungsindikator	Empfohlene Methode	ILCD-Klassifizierung
hoch (65% - 100%)	- Marine aquatic ecotoxicity - Marine sediment ecotoxicity - Freshwater sediment ecotoxicity	No methods recommended No methods recommended USEtox model, (Rosenbaum et al, 2008) [3]	- - II/III
mittel (35% - 64%)	- Freshwater ecotoxicity - Marine ecotoxicity - Freshwater water acute	USEtox model, (Rosenbaum et al, 2008) No methods recommended USEtox model, (Rosenbaum et al, 2008) [4]	II/III - II/III
niedrig (0% - 34%)	- Freshwater aquatic ecotoxicity - Ecotoxicity water chronic - Terrestrial ecotoxicity	USEtox model, (Rosenbaum et al, 2008) No methods recommended No methods recommended [5]	II/III - -

Tabelle 36 Qualitätsbeurteilung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Humantoxizität)

Relative Bedeutung für die untergeordnete Wirkungskategorie - Humantoxizität			
Relative Bedeutung	Wirkungsindikator	Empfohlene Methode	ILCD-Klassifizierung
hoch (65% - 100%)	- Human toxicity water - Respiratory inorganics	USEtox model, (Rosenbaum et al, 2008) RiskPoll model (Rabl and Spadaro, 2004) and Greco et al 2007) [6]	II/III I
mittel (35% - 64%)	- Human toxicity	USEtox model, (Rosenbaum et al, 2008) [7]	II/III
niedrig (0% - 34%)	- Human toxicity air - Carcinogens - Non-carcinogens - Particular matter formation - Ozone formation	USEtox model, (Rosenbaum et al, 2008) USEtox model, (Rosenbaum et al, 2008) USEtox model, (Rosenbaum et al, 2008) RiskPoll model (Rabl and Spadaro, 2004) and Greco et al 2007) LOTOS-EUROS (Van Zelm et al, 2008) as applied in ReCiPe) [8]	II/III II/III II/III I II

Tabelle 37 Qualitätsbeurteilung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Klimawandel)

Relative Bedeutung für die untergeordnete Wirkungskategorie - Klimawandel			
Relative Bedeutung	Wirkungsindikator	Empfohlene Methode	ILCD-Klassifizierung
hoch (65% - 100%)	- Global warming (GWP 100)	Baseline model of 100 years of the IPCC [9]	I
mittel (35% - 64%)	- Climate change Human Health	No methods recommended	-
niedrig (0% - 34%)	- Climate change Ecosystems	No methods recommended	-

Die Zuordnung der unterschiedlichen LCIA-Methoden für jene Wirkungsindikatoren der Prioritätenklassen „relative Bedeutung – hoch“ und „relative Bedeutung – mittel“ zeigt, dass bereits für einige Wirkungsindikatoren geeignete Verfahren zur Verfügung stehen. Bei der vorhandenen Qualität besteht bei einigen LCIA-Methoden allerdings noch Verbesserungsbedarf.

8.2 Erheben der Umweltrelevanz der jeweiligen Wirkungsindikatoren

Die Kenntnis über die Umweltrelevanz von schädigungs-basierten Wirkungsindikatoren, stellt ein weiteres grundlegendes Kriterium dar. Eine Untersuchung der Umweltrelevanz wurde im vorliegenden Forschungsprojekt auf Grundlage sämtlicher LCIA-Methoden durchgeführt, welche für die Feststellung der relativen Bedeutung der einzelnen Indikatoren herangezogen wurden.

Eine Bewertung der Umweltrelevanz erfolgte im vorliegenden Projekt mittels einer Untersuchung der Zuordnung der einzelnen Wirkungsindikatoren zu den drei Schutzgütern (siehe Abbildung 21). Bei den Schutzgütern handelt es sich um übergeordnete Kategorien, anhand derer Schäden für die menschliche Gesundheit, am Ökosystem, sowie der Ressourcenbedarf abgebildet werden. Ein weiterer Vorteil der Komprimierung der Einzelergebnisse ist die verständlichere Darstellung der Ergebnisse einer Ökobilanz (verständlichere und vereinfachte Entscheidungsgrundlage).

Folgende drei Schutzgüter werden bei der Untersuchung der Umweltrelevanz betrachtet:

- Ressourcenknappheit (Resources)
- Menschliche Gesundheit (Human health)
- Ökosystem (Ecosystems)

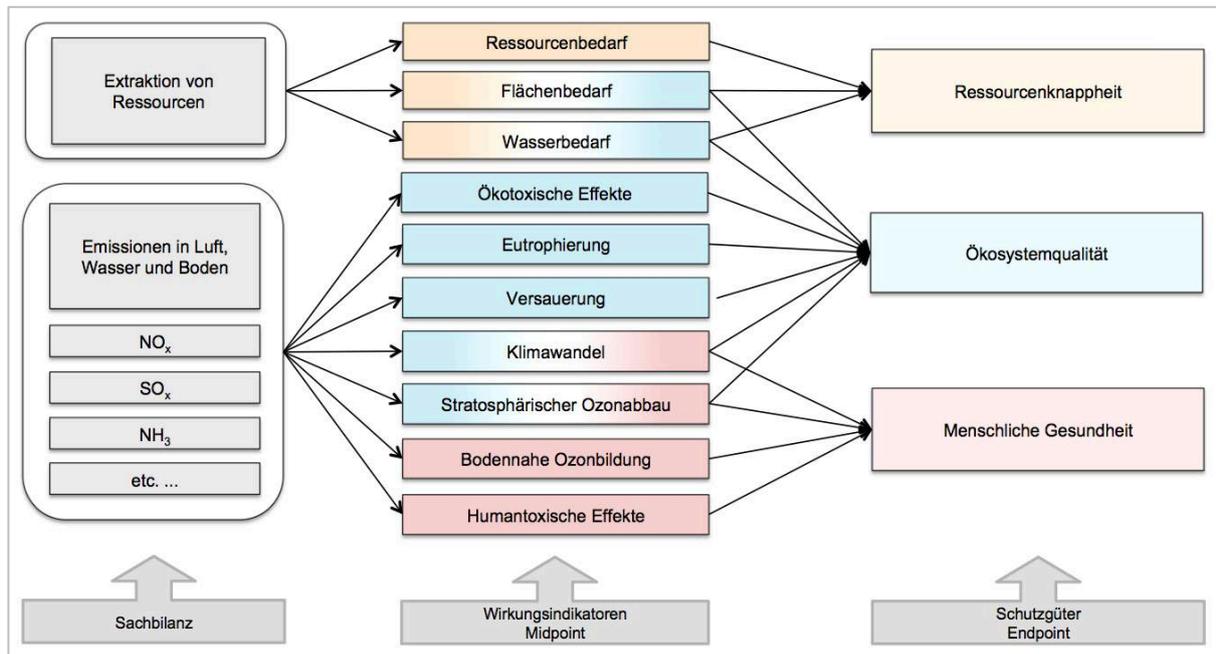


Abbildung 21 Darstellung der Wirkungskette von Sachbilanz–Ebene bis zur Ebene der Schutzgüter (Quelle: Abbildung in Anlehnung an [20])

Zur Feststellung der Umweltrelevanz können nur jene Methoden angewendet werden, welche eine Zuordnung zu den verschiedenen Schutzgütern aufweisen. Folglich können nur vollaggregierende Methoden angewendet werden (siehe Kapitel 6.2.2). Durch den Anteil des Einflusses einer Wirkungskategorie auf die Gesamtwirkung eines Schutzgutes ist es möglich, die „relative Relevanz“ für die unterschiedlichen Kategorien festzustellen. Anhand einer Überlagerung der „relativen Relevanz“ der unterschiedlichen Indikatoren für die verschiedenen Schutzgüter kann eine Bewertung durchgeführt werden.

Im gegenständlichen Forschungsprojekt erfolgte eine vereinfachte Auswertung in Bezug auf die Umweltrelevanz der schädigungs-basierten Wirkungsindikatoren. Es wurde eine Untersuchung der Berücksichtigung der verschiedenen Wirkungsindikatoren für die untergeordneten Wirkungsindikatoren der Prioritätenklassen „relative Bedeutung – hoch“ und „relative Bedeutung – mittel“ durchgeführt (Ressourcen, Ökotoxizität, Humantoxizität und Klimawandel). Die Ergebnisse in den nachfolgenden Tabellen stellen dar, in welchen Schadens-kategorien für die vier betrachteten LCIA-Methoden (Eco – Indicator 99, EDIP 2003, Impact 2002+, ReCiPe Endpoint) eine Berücksichtigung der Wirkungsindikatoren erfolgt.

Tabelle 38 Auswertung der Relevanz der Wirkungsindikatoren für die Kategorie Ressourcenknappheit (Resources)

Wirkungskategorie	LCIA-Methoden	Berücksichtigung
Resource depletion	Eco-indicator 99; EDIP 2003; Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	In allen 4 Methoden
➤ Depletion of reserves	Eco-indicator 99; EDIP 2003; Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	4
- Minerals	Eco-indicator 99; Impact 2002+	2
- Fossil fuels	Eco-indicator 99; ReCiPe Endpoint	2
- Ressources all	EDIP 2003	1
- Non-renewable energy	Impact 2002+	1
- Metal depletion	ReCiPe Endpoint	1

Aus Tabelle 38 ist ersichtlich, dass eine Berücksichtigung des Schutzgutes Ressourcen in allen vier untersuchten LCIA-Methoden gegeben ist (siehe Spalte mit der Bezeichnung „Berücksichtigung“). In den vier LCIA-Methoden werden dabei unterschiedliche Wirkungsindikatoren (siehe Spalte mit der Bezeichnung „Wirkungskategorie“; z.B. Fossil fuels) für den Bereich Ressourcen betrachtet.

Die Auswertung in Tabelle 38 zeigt, dass eine Umweltrelevanz für die untersuchten Wirkungsindikatoren für das Schutzgut Ressourcen gegeben ist.

Tabelle 39 Auswertung der Relevanz der Wirkungsindikatoren für die Kategorie Menschliche Gesundheit (Human health)

Wirkungskategorie	LCIA Methoden	Berücksichtigung
Human health	Eco-indicator 99; EDIP 2003; Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	In allen 4 Methoden
➤ Climate change	Eco-indicator 99; EDIP 2003; Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	4
- Ionizing radiation	Eco-indicator 99; Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	3
➤ Ozone layer depletion	Eco-indicator 99; EDIP 2003; Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	4
➤ Photochemical ozone formation	EDIP 2003; ReCiPe Endpoint	2
➤ Humantoxicity	Eco-indicator 99; EDIP 2003; Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	4
- Respiratory (organic)	Eco-indicator 99; Impact 2002+;	2
- Respiratory (inorganic)	Eco-indicator 99; Impact 2002+;	2
- Cancerogenic effects	Eco-indicator 99; Impact 2002+;	2
- Particulate matter formation	ReCiPe Endpoint	1

In Tabelle 39 ist klar zu erkennen, dass das Schutzgut „Menschliche Gesundheit“ in allen vier untersuchten LCIA-Methoden miteinbezogen wird. In dieser Kategorie ist gut zu erkennen, dass nicht alle betrachteten Wirkungsindikatoren in sämtlichen LCIA-Methoden berücksichtigt werden (siehe Spalte mit der Bezeichnung „Berücksichtigung“). Es zeigt sich, dass eine Umweltrelevanz für den Bereich Humantoxizität gegeben ist, da diese Kategorie in sämtlichen LCIA-Methoden berücksichtigt wird.

Tabelle 40 Auswertung der Relevanz der Wirkungsindikatoren für die Kategorie Ökosystem (Ecosystems)

Wirkungskategorie	LCIA - Methoden	Berücksichtigung
Ecosystems	Eco-indicator 99; EDIP 2003; Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	In allen 4 Methoden
➤ Climate change	EDIP 2003; Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	3
➤ Ecotoxicity	Eco-indicator 99; EDIP 2003; Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	4
- aquatic ecotoxicity	Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	2
- Terrestrial ecotoxicity	Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	2
- Freshwater ecotoxicity	ReCiPe Endpoint	1
- Marine ecotoxicity	ReCiPe Endpoint	1
➤ Ozone depletion	Impact 2002+	1
➤ Ozone formation	EDIP 2003; Impact 2002+	2
➤ Acidification	Eco-indicator 99; EDIP 2003; Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	4
➤ Eutrophication	Eco-indicator 99; EDIP 2003; Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	4
➤ Land use	Eco-indicator 99; Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	3
- Land occupation	Eco-indicator 99; Impact 2002+; ReCiPe Endpoint	3
- Land transformation	Eco-indicator 99; ReCiPe Endpoint	2

In Tabelle 40 sind die Untersuchungsergebnisse für das Schutzgut Ökosystem gelistet. In dieser Kategorie wird eine Vielzahl an Wirkungsindikatoren mitberücksichtigt. Der Indikator Ökotoxizität wird für die Bewertung der Umweltrelevanz in dieser Kategorie bei allen vier LCIA-Methoden berücksichtigt.

Die Untersuchung anhand eines vereinfachten Verfahrens bezüglich der Umweltrelevanz hat für jene Wirkungsindikatoren, die in der Prioritätenklasse eine „relative Bedeutung – hoch“ (siehe Kapitel 7.2.5) aufweisen, auch eine hohe relative Bedeutung bezüglich der untersuchten Schadenskategorien ergeben.

9. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Erkenntnisse aus den durchgeführten Analysen bezogen auf die „relative Bedeutung“, Qualität der LCIA-Methoden und Umweltrelevanz der Wirkungsindikatoren erläutert. Weiters werden Handlungsempfehlungen formuliert, anhand derer eine Überarbeitung der derzeit in Regelwerken (z.B. EN 15804 [2]) angewandten Wirkungsindikatoren ermöglicht werden soll.

Die Auswertungsergebnisse hinsichtlich der „relativen Bedeutung“ der unterschiedlichen Wirkungsindikatoren je Bauweisen (siehe Kapitel 7) zeigen, dass eine Adaptierung der Wirkungsindikatoren nach ihrer Priorität für den Bausektor anzudenken ist. Des Weiteren ist aus den zusätzlichen Untersuchungen wie „Qualitätsanalyse der vorhandenen LCIA-Methoden“ (ILCD- System, siehe Kapitel 8.1) und der „Betrachtung der Umweltrelevanz“ (siehe Kapitel 8.2) anhand eines vereinfachten Analyseverfahrens ersichtlich, dass eine Implementierung von bisher nicht betrachteten Wirkungsindikatoren für den Bausektor bereits möglich ist. Nur durch eine Fokussierung auf Wirkungsindikatoren, welche für den Bausektor eine „relative Bedeutung“ aufweisen, ist eine ganzheitliche und nachhaltige Betrachtung möglich.

Zusammenfassend lassen sich folgende Argumente für eine Adaptierung von Wirkungsindikatoren für den Bausektor anführen:

- Die Analyse der relativen Bedeutung von Wirkungsindikatoren der untersuchten LCIA-Methoden anhand eines Referenzgebäudes zeigt, dass derzeit zahlreiche Wirkungsindikatoren (z.B. Ressourcen, Humantoxizität, etc.) existieren, die in der Normung noch keine Berücksichtigung finden. Erst durch eine Adaptierung des aktuell angewandten Sets an Wirkungsindikatoren kann ein repräsentatives Ökobilanz-Ergebnis aggregiert werden.
- Aus der Qualitätsanalyse nach dem ILCD-System geht hervor, dass für die prioritär identifizierten Wirkungsindikatoren bereits Methoden mit ausreichender Datenqualität empfohlen werden.
- Die Untersuchung bezüglich der Umweltrelevanz hat gezeigt, dass jene Wirkungsindikatoren mit hoher Priorität (siehe Kapitel 7.2.5) auch eine hohe Bedeutung bezüglich der untersuchten Schadenskategorien (menschliche Gesundheit, Ökosystem und Ressourcen) aufweisen.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass eine Adaptierung von derzeit angewandten Wirkungsindikatoren bzw. eine Implementierung von zusätzlichen Wirkungsindikatoren in gängigen Regelwerken erforderlich ist. Diese Empfehlung wird bereits in bestehenden Bewertungs-Systemen, wie dem Product Environmental Footprint (PEF) teilweise umgesetzt. Darin werden bereits Wirkungsindikatoren (z.B. Humantoxizität, Ökotoxizität, etc.) berücksichtigt, welche in gängigen Regelwerken (z.B. EN 15804 [2]) noch keine Anwendung finden.

10. Literaturverzeichnis

- [1] United Nations Environmental Programme (UNEP): Industry and Environment - Sustainable building and construction, Vol.26 No.2-3, 2003, ISBN Nr.: 1004-0315
- [2] European Committee for Standardization(CEN), Sustainability of construction works - Environmental product declarations — Core rules for the product category of construction products, EN 15804:2012
- [3] European Committee for Standardization (CEN), Sustainability of construction works — Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method, EN 15978:2012
- [4] European Committee for Standardization (CEN/TC 350),Sustainability of construction works – Additional environmental impact categories and indicators – Background information and possibilities, Evaluation of the possibility of adding environmental impact categories and related indicators and calculation methods for the assessment of the environmental performance of buildings (EN 15978 and EN 15804), 2014
- [5] International Organisation for Standardization (ISO), Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen, ÖNORM EN ISO 14044:2006
- [6] ecoinvent Centre: life cycle inventory (LCI) data, database ecoinvent data V 2.2.
<http://www.ecoinvent.org/database/>
- [7] Frischknecht R: Umweltverträgliche Technologien - Analyse und Beurteilung. Teil 2: Ökobilanzen (Life cycle assessment, LCA), 2006
http://www.lue.ethz.ch/education/Bachelor/SS/Umwelt/ABM_Teil_2.pdf
- [8] International Organisation for Standardization (ISO), Umweltmanagement – Ökobilanz – Wirkungsabschätzung, ÖNORM EN ISO 14042:2000
- [9] SimaPro, Software für Ökobilanzierung: <http://www.simapro.de/SimaPro-Software.67.0.html>, [Zugriff Juni 2014]
- [10] Jolliet O. et al.: UNEP/SETAC Life Cycle Initiative – The LCIA Midpoint – damage Framework of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, International Journal of LCA 9 (6), 2004
- [11] Frischknecht R. et al.: Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit – Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, 2013
- [12] SETAC-Europe: Second Working Group on LCIA (WIA-2); Best Available Practice Regarding Impact Category and Category Indicators in Life Cycle Impact Assessment. 1999
- [13] Guinee J. et al.: Life cycle assessment – An operational guide to the ISO standards, May 2001
- [14] Goedkoop M et al.: The Eco-indicator 99 – A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report nr. 1999/36A, Netherlands, June 2000
- [15] Hauschild M., Potting J.: Spatial differentiation in Life Cycle impact assessment – The EDIP2003 methodology, Environmental News No. 80, Denmark, 2005

- [16] Jolliet O. et al.: IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology, The International Journal of Life Cycle Assessment Volume 8, 2003, pp 324-330
- [17] Goedkoop M. et al.: ReCiPe 2008 – A life cycle impact assessment method which comprises harmonised indicators at the midpoint and endpoint level, Netherlands, 2013
- [18] Lippiatt B.: BEES 4.0 – Building for Environmental and Economic Sustainability, Technical Manual and User Guide, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7423, 2007
- [19] Bare J.: Development of the Method and U.S. Normalization Database for Life Cycle Impact Assessment and Sustainability Metrics, Environ Sci Technol 40 (16), 2006, pp 5108-5115
- [20] European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: ILCD Handbook: International Reference Life Cycle Data System – Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment, Italy, 2010
- [21] ÖNORM EN 15643-4 / 2012-03-15: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden, Teil 4: Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität; Österreichisches Normungsinstitut 2012
- [22] ÖNORM EN 15221-6 / 2011-12-01: *Facility Management, Teil 6: Flächenbemessung im Facility Management*, Österreichisches Normungsinstitut 2011
- [23] ÖNORM B 1800 / 2011-12-01: *Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken*; Österreichisches Normungsinstitut 2011
- [24] ÖNORM B 1801 – 1 / 2009-06-01: *Bauprojekt und Objektmanagement, Teil 1: Objekterrichtung*; Österreichisches Normungsinstitut 2009

11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Vereinfachter Verfahrensablauf zur Feststellung der relativen Bedeutung von Wirkungsindikatoren für den Bausektor	9
Abbildung 2 Bestandteile einer Ökobilanz (Quelle: Abbildung in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 14044 [5]).....	11
Abbildung 3 Vereinfachtes Verfahrensschema für die Sachbilanzdatenerhebung (Quelle: Abbildung in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 14044 [5])	13
Abbildung 4 Bestandteile der Wirkungsabschätzung (Quelle: Abbildung in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 14044 [5])	14
Abbildung 5 Verfahrensablauf zur Feststellung der Umweltwirkungen (Quelle: In Anlehnung an ÖNORM EN ISO 14044 [5])	15
Abbildung 6 Vorgehensweise zur Feststellung der relativen Bedeutung von Wirkungsindikatoren für den Bausektor	20
Abbildung 7 Darstellung der Wirkungsmechanismen am Beispiel ODP (Quelle: Abbildung in Anlehnung an [10])	23
Abbildung 8 Überführung von Sachbilanzdaten auf Wirkungsebene am Beispiel CML (Quelle: Abbildung in Anlehnung an [13])	26
Abbildung 9 Darstellung der Zusammenhänge zwischen Sachbilanzdaten, Wirkungskategorien und Schadenskategorien (Quelle: Abbildung in Anlehnung [14]).....	33
Abbildung 10 Schematische Darstellung des Zusammenhangs der Umweltwirkungen auf „Midpoint-Ebene“ und „Endpoint-Ebene“ für EDIP 2003 (Quelle: Abbildung in Anlehnung an [15]).....	36
Abbildung 11 Darstellung der Zusammenhänge zwischen Sachbilanzdaten, Wirkungskategorien und Schadenskategorien für Impact 2002+ (Quelle: Abbildung in Anlehnung an [16])	38
Abbildung 12 Schematische Darstellung des Zusammenhangs der Umweltwirkungen auf „Midpoint-Ebene“ und „Endpoint-Ebene“ für die LCIA-Methode ReCiPe (Quelle: Abbildung in Anlehnung an [17]).....	40
Abbildung 13 Normalisierte Ergebnisse am Beispiel CML 2 baseline 2000 V2.05 für die Ziegelbauweise.....	49
Abbildung 14 Indikatoren – Priorität am Beispiel CML 2 baseline 2000 V2.05; West Europe, 1995 für die Ziegelbauweise	50
Abbildung 15 Normalisierungsergebnisse für die übergeordneten Wirkungskategorien je LCIA-Methode für die Ziegelbauweise	51

Abbildung 16 Gemittelte Normalisierungsergebnisse für die übergeordneten Wirkungskategorien je LCIA-Methode für die Ziegelbauweise	52
Abbildung 17 Ergebnisse der Mittelwertbildung der relativen Bedeutung für die jeweiligen Wirkungskategorien am Beispiel Ziegelbauweise	53
Abbildung 18 Darstellung der relativen Bedeutung der unterschiedlichen Wirkungskategorien am Beispiel Ziegelbauweise	53
Abbildung 19 Darstellung der relativen Bedeutung der übergeordneten Wirkungskategorien für die unterschiedlichen Bauweisen	55
Abbildung 20 Darstellung der durchschnittlichen relativen Bedeutung der übergeordneten Wirkungskategorien für die unterschiedlichen Bauweisen (normiertes Ergebnis)	55
Abbildung 21 Darstellung der Wirkungskette von Sachbilanz–Ebene bis zur Ebene der Schutzgüter (Quelle: Abbildung in Anlehnung an [20])	63

12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA–Methode CML 2 baseline 2000.....	26
Tabelle 2 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA–Methode CML 2 baseline 2000.....	27
Tabelle 3 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA-Methode CML 2001 (all impact categories)	27
Tabelle 4 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA–Methode CML 2001 (all impact categories).....	28
Tabelle 5 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA–Methode CML–IA baseline	29
Tabelle 6 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA–Methode CML–IA baseline	29
Tabelle 7 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA–Methode CML–IA non baseline	30
Tabelle 8 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA–Methode CML–IA non baseline	31
Tabelle 9 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA–Methode Eco-indicator 99	32
Tabelle 10 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA–Methode Eco-indicator 99.....	32
Tabelle 11 Zuordnung der Wirkungsindikatoren zu den einzelnen Schutzgütern für Eco-indicator 99	34
Tabelle 12 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA–Methode EDIP 2003.....	35
Tabelle 13 Referenzsystem zur Normalisierung für die LCIA–Methode EDIP 2003.....	36
Tabelle 14 Zuordnung der Wirkungsindikatoren zu den einzelnen Schutzgütern für EDIP 2003.....	37
Tabelle 15 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA–Methode Impact 2002+ ..	37
Tabelle 16 Referenzsystem zur Normalisierung für die LCIA–Methode Impact 2002+	38
Tabelle 17 Zuordnung der Wirkungsindikatoren zu den einzelnen Schutzgütern für Impact 2002+	39
Tabelle 18 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA–Methode ReCiPe Midpoint	41
Tabelle 19 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA–Methode ReCiPe Midpoint.....	41
Tabelle 20 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA–Methode ReCiPe Endpoint	41
Tabelle 21 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA–Methode ReCiPe Endpoint	42
Tabelle 22 Zuordnung der Wirkungsindikatoren zu den einzelnen Schutzgütern für ReCiPe-Endpoint	42

Tabelle 23 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA-Methode BEES+.....	43
Tabelle 24 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA-Methode BEES+	43
Tabelle 25 Indikatoren zur Darstellung der Umweltwirkungen für die LCIA-Methode TRACI.....	44
Tabelle 26 Referenzsysteme zur Normalisierung für die LCIA-Methode TRACI	44
Tabelle 27 Beispiele für untergeordnete Kategorien.....	45
Tabelle 28 Übergeordnete und untergeordnete Kategorien in den unterschiedlichen LCIA-Methoden	46
Tabelle 29 Ergebnis für die relative Bedeutung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (übergeordnete Wirkungskategorien).....	56
Tabelle 30 Ergebnis für die relative Bedeutung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Ressourcen).....	57
Tabelle 31 Ergebnis für die relative Bedeutung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Ökotoxizität)	58
Tabelle 32 Ergebnis für die relative Bedeutung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Humantoxizität)	58
Tabelle 33 Ergebnis für die relative Bedeutung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Klimawandel).....	58
Tabelle 34 Qualitätsbeurteilung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Ressourcen)	60
Tabelle 35 Qualitätsbeurteilung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Ökotoxizität).....	61
Tabelle 36 Qualitätsbeurteilung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Humantoxizität).....	61
Tabelle 37 Qualitätsbeurteilung der Wirkungsindikatoren für den Bausektor (Klimawandel)	62
Tabelle 38 Auswertung der Relevanz der Wirkungsindikatoren für die Kategorie Ressourcenknappheit (Resources)	64
Tabelle 39 Auswertung der Relevanz der Wirkungsindikatoren für die Kategorie Menschliche Gesundheit (Human health)	64
Tabelle 40 Auswertung der Relevanz der Wirkungsindikatoren für die Kategorie Ökosystem (Ecosystems).....	65
Tabelle 41 Klassifizierung der Umweltindikatoren für „midpoint“ anhand ihrer Qualität nach ILCD (Quelle: Tabelle in Anlehnung an [20])	92
Tabelle 42 Klassifizierung der Umweltindikatoren für „endpoint“ anhand ihrer Qualität nach ILCD (Quelle: Tabelle in Anlehnung an [20])	93

13. Begriffsdefinitionen

1. **Aufgabenstellung:** *schriftlich abgefasstes Dokument im Sinne eines Lastenheftes, in dem die Anforderungen des Auftraggebers an ein Bauprojekt festgelegt sind [21]*
2. **Auftraggeber:** *Person oder Organisation, die die Bereitstellung, Änderung oder Erweiterung eines Gebäudes anfordert und die Erstellung und Bewilligung der Aufgabenstellung im Sinne eines Lastenheftes verantwortet [21]*
3. **Bauprodukt:** *Ware, die hergestellt oder bearbeitet / veredelt wurde, um in ein Bauwerk eingefügt zu werden [2]*
4. **Bautätigkeit:** *Aktivitäten zur Erstellung eines Bauwerkes [2]*
5. **Bauwerk:** *alles was gebaut ist oder aus baulicher Tätigkeit resultiert [2]*
6. **Daten:** *Zusammenfassung von Informationen*
7. **Datenbank:** *System für die Verwaltung von Daten*
8. **Ecoinvent V2.2:** *Life Cycle Inventory (LCI) Datenbank (Sachbilanzdatenbank); Herausgeber: Swiss Centre for Life Cycle Inventories; Link: <http://www.ecoinvent.ch>, Stand 21.11.2013 [6]*
9. **erneuerbare Ressource:** *Ressource, die angebaut oder in menschlichem Zeithorizont auf natürliche Weise erneuert oder gereinigt wird [2]*
10. **Fläche:** *numerischer Wert einer zweidimensionalen Fläche, meist berechnet als das Produkt aus zwei Abstandsmaßen [22]*
11. **funktionale Anforderung:** *Art und Grad der Funktionalität eines Bauwerkes oder zusammengesetzten Bauteils, die vom Bauherrn und/oder von den Nutzern und/oder vom Gesetzgeber gefordert werden [2]*
12. **funktionales Äquivalent:** *quantifizierte funktionale Anforderungen und/oder technische Anforderungen an ein Gebäude oder ein zusammengesetztes Bauteil (Bauwerksteil), die als Grundlage für Vergleiche dient [2]*
13. **Funktionalität:** *Eignung oder Nützlichkeit hinsichtlich eines bestimmten Zwecks oder einer bestimmten Aktivität [2]*
14. **Gebäude:** *Konstruktion, zu deren Hauptzweck u. a. gehört, als Schutzvorrichtung für Bewohner oder Inhalte zu dienen, gewöhnlich von geschlossener Bauart und entwickelt, um dauerhaft an einem Standort zu verbleiben [2]*
15. **Indikator:** *quantifizierbarer Wert in Bezug auf Umweltauswirkungen/-aspekte [2]*
16. **Komponente:** *Bauprodukt, als selbstständige Einheit hergestellt, um einer oder mehreren bestimmten Funktion(en) zu dienen [2]*
17. **Konsistenzprüfung:** *Vor der Ableitung von Schlussfolgerungen durchgeführtes Verfahren zur Überprüfung, ob die Annahmen, Methoden und Daten in der Studie einheitlich angewendet wurden und sich in Übereinstimmung mit der Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens befinden [5]*
18. **Lebenszyklus:** *alle aufeinander folgenden und miteinander verbundenen Phasen im Leben des betrachteten Gegenstandes [2]*
19. **Lebenszykluskosten (LCC):** *Kosten, die durch ein Gebäude oder Bauwerksteil über dessen gesamten Lebenszyklus durch die Erfüllung der technischen Anforderungen und der funktionalen Anforderungen entstehen [21]*
20. **Nachhaltigkeit:** *Fähigkeit eines Systems, für gegenwärtige und zukünftige Generationen erhaltbar zu sein [21]*
21. **Nettoraumfläche:** *Die Netto-Raumfläche NRF gemäß ÖNORM EN 15221-6:2011 entspricht der ehemaligen Netto- Grundfläche NGF gemäß ÖNORM B 1800:2002. [23]*
22. **Nutzer:** *Person oder Organisation, für die ein Gebäude entworfen ist (einschließlich Gebäudebesitzer, -manager und Bewohner) [2]*

23. **Ökobilanz (LCA):** *Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenszyklus [2]*
24. **Planung:** *Ermittlung, Vorgabe und Festlegung von Daten und Informationen [24]*
25. **Primary effects:** *Dadurch wird beschrieben, ob eine direkte Wirkung durch Substanzen bzw. Emissionen gegeben ist. Am Beispiel der Treibhausgasemissionen (GWP) wäre der primary effect (Primäreffekt) z.B. die Erderwärmung. [12]*
26. **Qualität:** *Größe, die das Ausmaß eines bestimmten Aspektes des betrachteten Gegenstandes zu festgelegten Anforderungen, Richtwerten und/oder Zielgrößen in Bezug setzt [21]*
27. **Recycling:** *jeder Rückgewinnungsprozess, durch den Materialien aufbereitet und in Produkte, Materialien oder Stoffe für die ursprüngliche oder eine andere Nutzung umgewandelt werden [2]*
28. **Rückgewinnung:** *Behandlung von Abfall, die den Zweck hat, andere Ressourcen zu ersetzen oder Abfall für diesen Zweck auf- zubereiten [2]*
29. **Sachbilanz (LCI):** *Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines gegebenen Produktsystems im Verlauf seines Lebenszyklus umfasst [2]*
30. **Secondary effects:** *Dadurch wird beschrieben, ob eine indirekte Wirkung durch Substanzen bzw. Emissionen gegeben ist. Am Beispiel der Treibhausgasemissionen (GWP) wäre der secondary effect (Sekundäreffekt) z.B. der Meeresspiegelanstieg aufgrund von thermischer Expansion und des Schmelzens von Gletschereis. [12]*
31. **System:** *Gesamtheit von Bestandteilen, die in funktionalen Beziehungen zueinander stehen und auf Einwirkungen von außerhalb des Systems reagieren (kybernetische Systeme) [24]*
32. **Systemgrenze:** *Schnittstelle in der Bewertung zwischen einem Gebäude und der Umwelt oder weiteren Produktsystemen [2]*
33. **technische Anforderung:** *Art und Maß der technischen Eigenschaften eines Bauwerks oder eines zusammengesetzten Bauteils (Bauwerksteils) , die gefordert sind und/oder eine Folge der vom Bauherrn und/oder von den Nutzern und/oder vom Gesetzgeber gestellten Anforderungen sind [2]*
34. **Tertiary effects:** *Dadurch wird beschrieben ob durch Sekundäreffekte weitere indirekte Wirkungen gegeben sind. Ein Beispiel hierfür wäre die Störung regionaler Ökosysteme aufgrund von Treibhausgasemissionen (GWP) und dem damit verbundenen Meeresspiegelanstieg. [12]*
35. **Transparenz:** *offene, umfassende und verständliche Informationen und Darstellung [2]*
36. **Umweltaspekt:** *Aspekt von Bauwerken, zusammengesetzten Bauteilen bzw. Bauwerksteilen, Prozessen oder Dienstleistungen, die im Verlauf ihres Lebenszyklus eine Veränderung der Umwelt herbeiführen können [2]*
37. **Umweltauswirkung:** *Veränderung der Umwelt, unabhängig davon, ob sie sich günstig oder schädlich auswirkt, die ganz oder teil- weise von Umweltaspekten herrührt [2]*
38. **Umweltbezogene Qualität:** *Qualität hinsichtlich der Umweltauswirkungen und Umweltaspekte [2]*
39. **USEtox model:** *Model zur Berechnung der Wirkungsindikatoren Humantoxizität und Ökotoxizität der UNEP-SETAC (United Nations Environmental Programme-Second Working Group on LCIA). [20]*
40. **Wirkungsabschätzung (LCIA):** *Bestandteil der Ökobilanz, der dem Verständnis und der Bewertung des Ausmaßes und der Bedeutung der potenziellen Umweltauswirkungen eines Produktsystems über den Lebenszyklus des Produktes dient [21]*
41. **zusammengesetztes Bauteil (Bauwerksteil):** *eine oder mehrere in das Bauwerk eingefügte Komponente(n) [2]*

14. Abkürzungsverzeichnis

1. **AP:** Acidification Potential (Versauerungspotential)
2. **BREEAM:** BRE Environmental Assessment Method (Zertifizierungssystem für Gebäude)
3. **CEN/TC 350:** European Committee for Standardization / Technical Committee 350 (Nachhaltigkeit von Bauwerken)
4. **DALY:** Disability Adjusted Life Years; Indikatoren Einheit zur Darstellung der verlorenen Lebensjahre
5. **DGNB:** Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
6. **EP:** Eutrophication Potential (Eutrophierungspotential)
7. **EPD:** Environmental Product Declaration (Umweltproduktdeklaration) gemäß ÖNORM EN ISO 14025
8. **EPS:** Environmental Priority Strategy, LCIA-Methode aus Schweden
9. **ETH:** Eidgenössische Technische Hochschule
10. **GWP:** Treibhauspotential (Global Warming Potential)
11. **HWB:** Heizwärmebedarf
12. **ILCD:** International Reference Life Cycle Data System
13. **KIT:** Karlsruher Institut für Technologie
14. **LCA:** Ökobilanz (Life Cycle Assessment)
15. **LCC:** Lebenszykluskosten (Life Cycle Costing)
16. **LCI:** Lebenszyklusinventur (Life Cycle Inventory)
17. **LCIA:** Bewertung der Lebenszyklusauswirkungen (Life Cycle Impact Assessment)
18. **LIME:** Life-cycle impact assessment Method based on Endpoint modelling
19. **ODP:** Potential in Bezug auf die Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht (Depletion Potential of stratospheric Ozone layer)
20. **ÖGNI:** Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft
21. **PAF:** Potentially Affected Fraction; Indikatoren Einheit zur Darstellung der Umweltwirkungen durch Emissionen von ökotoxischen Substanzen
22. **PDF:** Potentially Disappeared Fraction; Indikatoren Einheit zur Darstellung der Umwandlung von Flächen (Flächenbelegung und Flächenumwandlung)
23. **PEF:** Product Environmental Footprint
24. **PEI n.e.:** Primärenergiebedarf nicht erneuerbar
25. **POCP:** Potential zur Bildung von bodennahem Ozon, ausgedrückt als fotochemisches Oxidans (Formation Potential of tropospheric Ozone Photochemical oxidants)
26. **SETAC:** Society of Environmental Toxicology and Chemistry
27. **TQB:** Total Quality Building
28. **JRC:** European Commission Joint Research Centre

15. Anhang

Auswertungsergebnisse Ziegelbauweise

CML-IA baseline V3.01				
Wirkungsindikator	EU25	EU25+3, 2000	Netherlands, 1997	
Abiotic depletion	0,09%	0,49%	1,23%	
Abiotic depletion (fossil fuels)	4,66%	1,59%	1,13%	
Global warming (GWP100a)	3,46%	1,27%	1,84%	
Ozone layer depletion (ODP)	0,01%	0,03%	0,02%	
Human toxicity	0,34%	1,99%	0,38%	
Fresh water aquatic ecotox.	4,01%	3,79%	7,55%	
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%	100,00%	100,00%	
Terrestrial ecotoxicity	0,13%	0,02%	0,18%	
Photochemical oxidation	0,52%	0,97%	0,66%	
Acidification	1,34%	0,85%	1,53%	
Eutrophication	0,84%	0,23%	0,58%	

CML-IA baseline V3.01				
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World 2000	World, 1990	
Abiotic depletion	0,09%	0,06%	0,17%	
Abiotic depletion (fossil fuels)	4,66%	0,64%	2,89%	
Global warming (GWP100a)	3,46%	0,69%	2,51%	
Ozone layer depletion (ODP)	0,01%	0,01%	0,00%	
Human toxicity	0,34%	1,68%	0,28%	
Fresh water aquatic ecotox.	4,00%	1,46%	6,52%	
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%	100,00%	100,00%	
Terrestrial ecotoxicity	0,13%	0,01%	0,15%	
Photochemical oxidation	0,52%	0,20%	0,27%	
Acidification	1,34%	0,26%	0,76%	
Eutrophication	0,84%	0,12%	0,53%	

CML-IA baseline V3.01				
Wirkungsindikator	World, 1995			
Abiotic depletion	0,10%			
Abiotic depletion (fossil fuels)	1,98%			
Global warming (GWP100a)	1,80%			
Ozone layer depletion (ODP)	0,01%			
Human toxicity	0,20%			
Fresh water aquatic ecotox.	4,48%			
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%			
Terrestrial ecotoxicity	0,10%			
Photochemical oxidation	0,20%			
Acidification	0,52%			
Eutrophication	0,36%			

CML-IA non-baseline V3.01				
Wirkungsindikator	EU25	EU25+3, 2000	Netherlands, 1997	
Abiotic depletion (elem., reserve base)	0,07%	0,37%	0,66%	
Abiotic depletion (elem., econ. reserve)	0,08%	0,48%	0,62%	
Acidification	3,23%	0,90%	1,42%	
Eutrophication	2,66%	0,93%	0,75%	
Global warming 100a (incl. NMVOC av.)	0,00%	0,00%	0,00%	
Ozone layer depletion steady state	0,00%	0,04%	0,03%	
Human toxicity infinite	0,00%	1,73%	0,42%	
Fresh water aquatic ecotox. infinite	0,00%	3,79%	7,09%	
Marine aquatic ecotoxicity infinite	0,00%	100,00%	100,00%	
Terrestrial ecotoxicity infinite	0,00%	0,02%	0,18%	
Marine sediment ecotox. infinite	100,00%	42,35%	42,35%	
Freshwater sediment ecotox. infinite	20,39%	7,75%	12,32%	
Land competition	0,58%	0,10%	0,74%	
Ionising radiation	1,85%	0,24%	7,45%	
Photochemical oxidation	0,00%	0,26%	0,33%	

CML-IA non-baseline V3.01			
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World, 1990	World, 1995
Abiotic depletion (elem., reserve base)	0,03%	0,08%	0,06%
Abiotic depletion (elem., econ. reserve)	0,03%	0,15%	0,10%
Acidification	1,37%	0,82%	0,54%
Eutrophication	1,13%	0,68%	0,42%
Global warming 100a (incl. NMVOC av.)	0,01%	0,01%	0,00%
Ozone layer depletion steady state	0,01%	0,01%	0,01%
Human toxicity infinite	0,37%	0,31%	0,22%
Fresh water aquatic ecotox. infinite	3,92%	6,49%	4,45%
Marine aquatic ecotoxicity infinite	100,00%	100,00%	100,00%
Terrestrial ecotoxicity infinite	0,13%	0,15%	0,10%
Marine sediment ecotox. infinite	42,35%	42,35%	42,35%
Freshwater sediment ecotox. infinite	8,62%	11,78%	8,20%
Land competition	0,25%	0,04%	0,03%
Ionising radiation	0,78%	2,28%	1,29%
Photochemical oxidation	0,24%	0,12%	0,09%

CML 2 baseline 2000 V2.05			
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World, 1995	World, 1990
Abiotic depletion	11,56%	4,95%	7,23%
Acidification	3,07%	1,18%	1,73%
Eutrophication	1,91%	0,81%	1,20%
Global warming (GWP100)	8,18%	4,28%	5,96%
Ozone layer depletion (ODP)	0,03%	0,02%	0,01%
Human toxicity	1,31%	0,78%	1,11%
Fresh water aquatic ecotox.	16,22%	18,14%	26,42%
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%	100,00%	100,00%
Terrestrial ecotoxicity	4,24%	3,36%	5,06%
Photochemical oxidation	1,23%	0,48%	0,65%

CML 2001 (all impact categories) V2.05			
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World, 1995	World, 1990
Abiotic depletion	11,56%	4,95%	7,23%
Acidification	3,52%	1,35%	1,98%
Eutrophication	1,91%	0,81%	1,20%
Global warming 100a	8,18%	4,28%	5,96%
Ozone layer depletion steady state	0,03%	0,02%	0,01%
Human toxicity infinite	1,31%	0,78%	1,11%
Fresh water aquatic ecotox. infinite	16,22%	18,14%	26,42%
Marine aquatic ecotoxicity infinite	100,00%	100,00%	100,00%
Terrestrial ecotoxicity infinite	4,24%	3,36%	5,06%
Marine sediment ecotox. infinite	80,52%	80,54%	82,12%
Freshwater sediment ecotox. infinite	35,75%	34,06%	48,84%
Average European (kg NOx eq)	2,66%	0,99%	1,60%
Average European (kg SO2-Eq)	3,06%	1,18%	1,73%
Land competition	0,01%	0,08%	0,11%
Ionising radiation	1,30%	2,13%	3,76%
Photochemical oxidation	1,23%	0,48%	0,65%

Eco-indicator 99 (H) V2.08			
Wirkungsindikator	Europe EI 99 H/A		
Carcinogens	15,65%		
Resp. organics	0,08%		
Resp. inorganics	30,95%		
Climate change	17,33%		
Radiation	0,13%		
Ozone layer	0,00%		
Ecotoxicity	2,56%		
Acidification/ Eutrophication	1,44%		
Land use	1,51%		
Minerals	1,07%		
Fossil fuels	100,00%		

EDIP 2003 V1.03		
Wirkungsindikator	Default	
Global warming 100a	7,21%	
Ozone depletion	0,15%	
Ozone formation (Vegetation)	4,20%	
Ozone formation (Human)	6,22%	
Acidification	5,20%	
Terrestrial eutrophication	1,88%	
Aquatic eutrophication EP(N)	1,21%	
Aquatic eutrophication EP(P)	15,36%	
Human toxicity air	20,14%	
Human toxicity water	100,00%	
Human toxicity soil	0,91%	
Ecotoxicity water chronic	18,61%	
Ecotoxicity water acute	82,32%	
Ecotoxicity soil chronic	1,03%	
Hazardous waste	0,02%	
Slags/ashes	0,18%	
Bulk waste	18,39%	
Radioactive waste	3,66%	
Resources (all)	2,81%	

IMPACT 2002+ V2.10		
Wirkungsindikator	IMPACT 2002+	
Carcinogens	8,60%	
Non-carcinogens	5,40%	
Respiratory inorganics	43,98%	
Ionizing radiation	0,24%	
Ozone layer depletion	0,01%	
Respiratory organics	0,14%	
Aquatic ecotoxicity	0,10%	
Terrestrial ecotoxicity	4,45%	
Terrestrial acid/nutri	0,84%	
Land occupation	0,63%	
Aquatic acidification	0,00%	
Aquatic eutrophication	0,00%	
Global warming	100,00%	
Non-renewable energy	65,70%	
Mineral extraction	0,04%	

ReCiPe Midpoint (H) V1.06			
Wirkungsindikator	Europe ReCiPe H	World ReCiPe H	
Climate change	9,77%	5,84%	
Ozone depletion	0,28%	0,06%	
Human toxicity	53,95%	100,00%	
Photochemical oxidant formation	5,42%	2,16%	
Particulate matter formation	6,66%	2,59%	
Ionising radiation	1,34%	2,33%	
Terrestrial acidification	6,53%	2,16%	
Freshwater eutrophication	23,32%	12,25%	
Marine eutrophication	0,98%	0,50%	
Terrestrial ecotoxicity	2,02%	0,94%	
Freshwater ecotoxicity	100,00%	92,19%	
Marine ecotoxicity	68,99%	89,20%	
Agricultural land occupation	1,15%	0,35%	
Urban land occupation	1,60%	0,31%	
Natural land transformation	66,76%	0,33%	
Water depletion	0,00%	0,00%	
Metal depletion	3,16%	1,86%	
Fossil depletion	13,81%	6,14%	

ReCiPe Endpoint (H) V1.06			
Wirkungsindikator	Europe ReCiPe H/A	World ReCiPe H/A	
Climate change Human Health	55,21%	68,06%	
Ozone depletion	0,01%	0,01%	
Human toxicity	8,05%	9,92%	
Photochemical oxidant formation	0,00%	0,00%	
Particulate matter formation	9,29%	11,45%	
Ionising radiation	0,05%	0,06%	
Climate change Ecosystems	36,10%	6,05%	
Terrestrial acidification	0,05%	0,01%	
Freshwater eutrophication	0,02%	0,00%	
Terrestrial ecotoxicity	0,09%	0,01%	
Freshwater ecotoxicity	0,01%	0,00%	
Marine ecotoxicity	0,00%	0,00%	
Agricultural land occupation	2,42%	0,41%	
Urban land occupation	0,52%	0,09%	
Natural land transformation	0,67%	0,11%	
Metal depletion	0,04%	0,04%	
Fossil depletion	100,00%	100,00%	

BEES+ V4.04				
Wirkungsindikator	USA per cap '97-EPA Weighting	USA per cap '97-Eq Weighting	USA per cap '97-Harvard Weighting	
Global warming	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Acidification	0,04%	0,04%	0,04%	0,04%
HH cancer	0,23%	0,23%	0,23%	0,23%
HH noncancer	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
HH criteria air pollutants	8,48%	8,48%	8,48%	8,48%
Eutrophication	71,16%	71,16%	71,16%	71,16%
Ecotoxicity	3,65%	3,65%	3,65%	3,65%
Smog	39,34%	39,34%	39,34%	39,34%
Natural resource depletion	72,23%	72,23%	72,23%	72,23%
Indoor air quality	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Habitat alteration	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Ozone depletion	0,21%	0,21%	0,21%	0,21%

BEES+ V4.04			
Wirkungsindikator	USA per cap '97-Stakeholder Weighting		
Global warming	100,00%		
Acidification	0,04%		
HH cancer	0,23%		
HH noncancer	0,09%		
HH criteria air pollutants	8,48%		
Eutrophication	71,16%		
Ecotoxicity	3,65%		
Smog	39,34%		
Natural resource depletion	72,23%		
Indoor air quality	0,00%		
Habitat alteration	0,00%		
Ozone depletion	0,21%		

TRACI 2.1 V1.01				
Wirkungsindikator	Canada 2005	US-Canadian 2008	US 2008	
Ozone depletion	0,52%	0,03%	0,03%	0,03%
Global warming	1,46%	2,90%	3,04%	3,04%
Smog	0,78%	2,06%	2,26%	2,26%
Acidification	0,60%	1,73%	1,90%	1,90%
Eutrophication	2,82%	3,65%	3,71%	3,71%
Carcinogenics	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Non carcinogenics	4,56%	8,18%	8,51%	8,51%
Respiratory effects	0,11%	0,61%	0,78%	0,78%
Ecotoxicity	9,22%	18,11%	18,98%	18,98%
Fossil fuel depletion	0,92%	3,27%	3,89%	3,89%

Auswertungsergebnisse Betonbauweise

CML-IA baseline V3.01				
Wirkungsindikator	EU25		EU25+3, 2000	Netherlands, 1997
Abiotic depletion	0,15%		0,82%	2,05%
Abiotic depletion (fossil fuels)	7,77%		2,65%	1,88%
Global warming (GWP100a)	5,26%		1,93%	2,80%
Ozone layer depletion (ODP)	0,01%		0,04%	0,03%
Human toxicity	0,50%		2,95%	0,58%
Fresh water aquatic ecotox.	8,79%		8,31%	16,53%
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%		100,00%	100,00%
Terrestrial ecotoxicity	0,20%		0,03%	0,29%
Photochemical oxidation	0,99%		1,84%	1,26%
Acidification	2,26%		1,44%	2,59%
Eutrophication	1,53%		0,41%	1,06%

CML-IA baseline V3.01				
Wirkungsindikator	West Europe, 1995		World 2000	World, 1990
Abiotic depletion	0,15%		0,10%	0,28%
Abiotic depletion (fossil fuels)	7,77%		1,07%	4,82%
Global warming (GWP100a)	5,27%		1,05%	3,82%
Ozone layer depletion (ODP)	0,01%		0,01%	0,01%
Human toxicity	0,50%		2,50%	0,42%
Fresh water aquatic ecotox.	8,77%		3,20%	14,28%
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%		100,00%	100,00%
Terrestrial ecotoxicity	0,20%		0,01%	0,24%
Photochemical oxidation	0,99%		0,38%	0,52%
Acidification	2,26%		0,44%	1,28%
Eutrophication	1,53%		0,21%	0,96%

CML-IA baseline V3.01				
Wirkungsindikator	World, 1995			
Abiotic depletion	0,16%			
Abiotic depletion (fossil fuels)	3,31%			
Global warming (GWP100a)	2,74%			
Ozone layer depletion (ODP)	0,01%			
Human toxicity	0,30%			
Fresh water aquatic ecotox.	9,81%			
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%			
Terrestrial ecotoxicity	0,16%			
Photochemical oxidation	0,38%			
Acidification	0,87%			
Eutrophication	0,65%			

CML-IA non-baseline V3.01				
Wirkungsindikator	EU25		EU25+3, 2000	Netherlands, 1997
Abiotic depletion (elem., reserve base)	0,09%		0,57%	1,02%
Abiotic depletion (elem., econ. reserve)	0,10%		0,77%	1,00%
Acidification	4,21%		1,47%	2,33%
Eutrophication	3,33%		1,46%	1,19%
Global warming 100a (incl. NMVOC av.)	0,00%		0,00%	0,01%
Ozone layer depletion steady state	0,00%		0,05%	0,04%
Human toxicity infinite	0,00%		2,67%	0,64%
Fresh water aquatic ecotox. infinite	0,00%		8,29%	15,54%
Marine aquatic ecotoxicity infinite	0,00%		100,00%	100,00%
Terrestrial ecotoxicity infinite	0,00%		0,03%	0,29%
Marine sediment ecotox. infinite	100,00%		53,36%	53,36%
Freshwater sediment ecotox. infinite	36,02%		17,25%	27,43%
Land competition	0,58%		0,12%	0,94%
Ionising radiation	2,32%		0,39%	11,77%
Photochemical oxidation	0,00%		0,51%	0,64%

CML-IA non-baseline V3.01			
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World, 1990	World, 1995
Abiotic depletion (elem., reserve base)	0,05%	0,13%	0,09%
Abiotic depletion (elem., econ. reserve)	0,06%	0,24%	0,16%
Acidification	2,24%	1,34%	0,89%
Eutrophication	1,78%	1,07%	0,66%
Global warming 100a (incl. NMVOC av.)	0,01%	0,01%	0,01%
Ozone layer depletion steady state	0,02%	0,01%	0,01%
Human toxicity infinite	0,57%	0,48%	0,34%
Fresh water aquatic ecotox. infinite	8,59%	14,22%	9,75%
Marine aquatic ecotoxicity infinite	100,00%	100,00%	100,00%
Terrestrial ecotoxicity infinite	0,20%	0,24%	0,16%
Marine sediment ecotox. infinite	53,36%	53,36%	53,36%
Freshwater sediment ecotox. infinite	19,20%	26,22%	18,24%
Land competition	0,31%	0,05%	0,04%
Ionising radiation	1,24%	3,60%	2,03%
Photochemical oxidation	0,46%	0,23%	0,17%

CML 2 baseline 2000 V2.05			
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World, 1995	World, 1990
Abiotic depletion	9,20%	3,94%	5,76%
Acidification	2,66%	1,02%	1,50%
Eutrophication	1,62%	0,69%	1,02%
Global warming (GWP100)	6,67%	3,49%	4,86%
Ozone layer depletion (ODP)	0,02%	0,01%	0,01%
Human toxicity	1,31%	0,78%	1,10%
Fresh water aquatic ecotox.	17,20%	19,23%	28,00%
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%	100,00%	100,00%
Terrestrial ecotoxicity	7,22%	5,73%	8,62%
Photochemical oxidation	1,15%	0,45%	0,61%

CML 2001 (all impact categories) V2.05			
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World, 1995	World, 1990
Abiotic depletion	9,20%	3,94%	5,76%
Acidification	2,91%	1,12%	1,64%
Eutrophication	1,62%	0,69%	1,02%
Global warming 100a	6,67%	3,49%	4,86%
Ozone layer depletion steady state	0,02%	0,01%	0,01%
Human toxicity infinite	1,31%	0,78%	1,10%
Fresh water aquatic ecotox. infinite	17,20%	19,23%	28,00%
Marine aquatic ecotoxicity infinite	100,00%	100,00%	100,00%
Terrestrial ecotoxicity infinite	7,22%	5,73%	8,62%
Marine sediment ecotox. infinite	84,07%	84,10%	85,74%
Freshwater sediment ecotox. infinite	84,07%	84,10%	85,74%
Average European (kg NOx eq)	2,15%	0,80%	1,30%
Average European (kg SO2-Eq)	2,66%	1,02%	1,50%
Land competition	0,00%	0,05%	0,08%
Ionising radiation	1,28%	2,10%	3,72%
Photochemical oxidation	1,15%	0,45%	0,61%

Eco-indicator 99 (H) V2.08			
Wirkungsindikator	Europe EI 99 H/A		
Carcinogens	16,56%		
Resp. organics	0,09%		
Resp. inorganics	32,46%		
Climate change	18,26%		
Radiation	0,17%		
Ozone layer	0,00%		
Ecotoxicity	4,07%		
Acidification/ Eutrophication	1,52%		
Land use	1,39%		
Minerals	1,21%		
Fossil fuels	100,00%		

EDIP 2003 V1.03			
Wirkungsindikator	Default		
Global warming 100a		6,01%	
Ozone depletion		0,11%	
Ozone formation (Vegetation)		3,54%	
Ozone formation (Human)		5,27%	
Acidification		4,39%	
Terrestrial eutrophication		1,56%	
Aquatic eutrophication EP(N)		1,00%	
Aquatic eutrophication EP(F)		13,73%	
Human toxicity air		11,78%	
Human toxicity water		100,00%	
Human toxicity soil		0,64%	
Ecotoxicity water chronic		12,78%	
Ecotoxicity water acute		48,97%	
Ecotoxicity soil chronic		0,27%	
Hazardous waste		0,01%	
Slags/ashes		0,16%	
Bulk waste		12,04%	
Radioactive waste		3,68%	
Resources (all)		2,40%	

IMPACT 2002+ V2.10			
Wirkungsindikator	IMPACT 2002+		
Carcinogens		17,62%	
Non-carcinogens		8,73%	
Respiratory inorganics		45,27%	
Ionizing radiation		0,29%	
Ozone layer depletion		0,01%	
Respiratory organics		0,14%	
Aquatic ecotoxicity		0,13%	
Terrestrial ecotoxicity		6,15%	
Terrestrial acid/nutri		0,84%	
Land occupation		0,57%	
Aquatic acidification		0,00%	
Aquatic eutrophication		0,00%	
Global warming		100,00%	
Non-renewable energy		65,09%	
Mineral extraction		0,04%	

ReCiPe Midpoint (H) V1.06			
Wirkungsindikator	Europe ReCiPe H	World ReCiPe H	
Climate change	7,89%	4,49%	
Ozone depletion	0,20%	0,04%	
Human toxicity	56,61%	100,00%	
Photochemical oxidant formation	4,39%	1,67%	
Particulate matter formation	5,36%	1,99%	
Ionising radiation	1,31%	2,17%	
Terrestrial acidification	5,56%	1,75%	
Freshwater eutrophication	20,17%	10,10%	
Marine eutrophication	0,79%	0,38%	
Terrestrial ecotoxicity	2,27%	1,00%	
Freshwater ecotoxicity	100,00%	87,85%	
Marine ecotoxicity	67,94%	83,73%	
Agricultural land occupation	0,77%	0,22%	
Urban land occupation	1,33%	0,25%	
Natural land transformation	60,00%	0,28%	
Water depletion	0,00%	0,00%	
Metal depletion	2,70%	1,51%	
Fossil depletion	10,84%	4,59%	

ReCiPe Endpoint (H) V1.06			
Wirkungsindikator	Europe ReCiPe H/A	World ReCiPe H/A	
Climate change Human Health	56,78%	69,99%	
Ozone depletion	0,01%	0,01%	
Human toxicity	10,77%	13,27%	
Photochemical oxidant formation	0,00%	0,01%	
Particulate matter formation	9,52%	11,74%	
Ionising radiation	0,06%	0,08%	
Climate change Ecosystems	37,13%	6,23%	
Terrestrial acidification	0,06%	0,01%	
Freshwater eutrophication	0,02%	0,00%	
Terrestrial ecotoxicity	0,13%	0,02%	
Freshwater ecotoxicity	0,01%	0,00%	
Marine ecotoxicity	0,00%	0,00%	
Agricultural land occupation	2,06%	0,34%	
Urban land occupation	0,55%	0,09%	
Natural land transformation	0,82%	0,14%	
Metal depletion	0,05%	0,05%	
Fossil depletion	100,00%	100,00%	

BEES+ V4.04			
Wirkungsindikator	USA per cap '97-EPA Weighting	USA per cap '97-Eq Weighting	USA per cap '97-Harvard Weighting
Global warming	100,00%	100,00%	100,00%
Acidification	0,05%	0,05%	0,05%
HH cancer	0,31%	0,31%	0,31%
HH noncancer	0,13%	0,13%	0,13%
HH criteria air pollutants	12,69%	12,69%	12,69%
Eutrophication	89,98%	89,98%	89,98%
Ecotoxicity	7,14%	7,14%	7,14%
Smog	40,85%	40,85%	40,85%
Natural resource depletion	68,20%	68,20%	68,20%
Indoor air quality	0,00%	0,00%	0,00%
Habitat alteration	0,00%	0,00%	0,00%
Ozone depletion	0,23%	0,23%	0,23%

BEES+ V4.04			
Wirkungsindikator	USA per cap '97-Stakeholder Weighting		
Global warming	100,00%		
Acidification	0,05%		
HH cancer	0,31%		
HH noncancer	0,13%		
HH criteria air pollutants	12,69%		
Eutrophication	89,98%		
Ecotoxicity	7,14%		
Smog	40,85%		
Natural resource depletion	68,20%		
Indoor air quality	0,00%		
Habitat alteration	0,00%		
Ozone depletion	0,23%		

TRACI 2.1 V1.01			
Wirkungsindikator	Canada 2005	US-Canadian 2008	US 2008
Ozone depletion	0,20%	0,01%	0,01%
Global warming	0,63%	1,25%	1,31%
Smog	0,34%	0,91%	1,00%
Acidification	0,28%	0,81%	0,89%
Eutrophication	1,54%	1,98%	2,02%
Carcinogenics	100,00%	100,00%	100,00%
Non carcinogenics	3,12%	5,60%	5,83%
Respiratory effects	0,06%	0,36%	0,46%
Ecotoxicity	6,15%	12,08%	12,66%
Fossil fuel depletion	0,38%	1,35%	1,61%

Auswertungsergebnisse Holzmassivbauweise

CML-IA baseline V3.01				
Wirkungsindikator	EU25	EU25+3, 2000	Netherlands, 1997	
Abiotic depletion	0,32%	1,71%	4,25%	
Abiotic depletion (fossil fuels)	7,90%	2,70%	1,91%	
Global warming (GWP100a)	3,76%	1,38%	2,00%	
Ozone layer depletion (ODP)	0,02%	0,05%	0,04%	
Human toxicity	0,70%	4,12%	0,78%	
Fresh water aquatic ecotox.	9,45%	8,94%	17,78%	
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%	100,00%	100,00%	
Terrestrial ecotoxicity	0,45%	0,07%	0,65%	
Photochemical oxidation	0,70%	1,30%	0,88%	
Acidification	2,73%	1,74%	3,12%	
Eutrophication	2,47%	0,67%	1,71%	

CML-IA baseline V3.01				
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World 2000	World, 1990	
Abiotic depletion	0,32%	0,21%	0,58%	
Abiotic depletion (fossil fuels)	7,91%	1,09%	4,91%	
Global warming (GWP100a)	3,77%	0,75%	2,74%	
Ozone layer depletion (ODP)	0,02%	0,01%	0,01%	
Human toxicity	0,69%	3,48%	0,59%	
Fresh water aquatic ecotox.	9,43%	3,44%	15,36%	
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%	100,00%	100,00%	
Terrestrial ecotoxicity	0,45%	0,03%	0,54%	
Photochemical oxidation	0,69%	0,27%	0,37%	
Acidification	2,73%	0,53%	1,54%	
Eutrophication	2,47%	0,34%	1,56%	

CML-IA baseline V3.01				
Wirkungsindikator	World, 1995			
Abiotic depletion	0,33%			
Abiotic depletion (fossil fuels)	3,36%			
Global warming (GWP100a)	1,96%			
Ozone layer depletion (ODP)	0,01%			
Human toxicity	0,42%			
Fresh water aquatic ecotox.	10,55%			
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%			
Terrestrial ecotoxicity	0,36%			
Photochemical oxidation	0,27%			
Acidification	1,05%			
Eutrophication	1,06%			

CML-IA non-baseline V3.01				
Wirkungsindikator	EU25	EU25+3, 2000	Netherlands, 1997	
Abiotic depletion (elem., reserve base)	0,15%	0,99%	1,60%	
Abiotic depletion (elem., econ. reserve)	0,18%	1,37%	1,60%	
Acidification	5,09%	1,82%	2,58%	
Eutrophication	4,81%	2,16%	1,57%	
Global warming 100a (incl. NMVOC av.)	0,00%	0,02%	0,03%	
Ozone layer depletion steady state	0,00%	0,07%	0,04%	
Human toxicity infinite	0,00%	3,77%	0,82%	
Fresh water aquatic ecotox. infinite	0,00%	8,92%	15,03%	
Marine aquatic ecotoxicity infinite	0,00%	100,00%	89,94%	
Terrestrial ecotoxicity infinite	0,00%	0,07%	0,59%	
Marine sediment ecotox. infinite	100,00%	54,33%	48,87%	
Freshwater sediment ecotox. infinite	36,54%	17,82%	25,48%	
Land competition	67,69%	14,43%	100,00%	
Ionising radiation	3,59%	0,61%	16,67%	
Photochemical oxidation	0,00%	0,15%	0,17%	

CML-IA non-baseline V3.01			
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World, 1990	World, 1995
Abiotic depletion (elem., reserve base)	0,08%	0,22%	0,15%
Abiotic depletion (elem., econ. reserve)	0,10%	0,43%	0,28%
Acidification	2,76%	1,65%	1,10%
Eutrophication	2,62%	1,58%	0,97%
Global warming 100a (incl. NMVOC av.)	0,05%	0,04%	0,03%
Ozone layer depletion steady state	0,02%	0,01%	0,01%
Human toxicity infinite	0,80%	0,68%	0,48%
Fresh water aquatic ecotox. infinite	9,24%	15,30%	10,48%
Marine aquatic ecotoxicity infinite	100,00%	100,00%	100,00%
Terrestrial ecotoxicity infinite	0,45%	0,54%	0,36%
Marine sediment ecotox. infinite	54,33%	54,33%	54,33%
Freshwater sediment ecotox. infinite	19,83%	27,08%	18,84%
Land competition	36,86%	6,48%	4,39%
Ionising radiation	1,95%	5,67%	3,20%
Photochemical oxidation	0,14%	0,07%	0,05%

CML 2 baseline 2000 V2.05			
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World, 1995	World, 1990
Abiotic depletion	11,00%	4,71%	6,89%
Acidification	3,63%	1,39%	2,04%
Eutrophication	2,83%	1,21%	1,78%
Global warming (GWP100)	5,21%	2,73%	3,79%
Ozone layer depletion (ODP)	0,02%	0,02%	0,01%
Human toxicity	1,60%	0,96%	1,35%
Fresh water aquatic ecotox.	13,53%	15,12%	22,02%
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%	100,00%	100,00%
Terrestrial ecotoxicity	4,06%	3,22%	4,85%
Photochemical oxidation	0,87%	0,34%	0,46%

CML 2001 (all impact categories) V2.05			
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World, 1995	World, 1990
Abiotic depletion	11,00%	4,71%	6,89%
Acidification	3,69%	1,42%	2,08%
Eutrophication	2,83%	1,21%	1,78%
Global warming 100a	5,21%	2,73%	3,79%
Ozone layer depletion steady state	0,02%	0,02%	0,01%
Human toxicity infinite	1,60%	0,96%	1,35%
Fresh water aquatic ecotox. infinite	13,53%	15,12%	22,02%
Marine aquatic ecotoxicity infinite	100,00%	100,00%	100,00%
Terrestrial ecotoxicity infinite	4,06%	3,22%	4,85%
Marine sediment ecotox. infinite	74,39%	74,42%	75,87%
Freshwater sediment ecotox. infinite	74,39%	74,42%	75,87%
Average European (kg NOx eq)	3,38%	1,26%	2,04%
Average European (kg SO2-Eq)	3,62%	1,39%	2,04%
Land competition	0,35%	4,20%	6,20%
Ionising radiation	1,89%	3,09%	5,47%
Photochemical oxidation	0,87%	0,34%	0,46%

Eco-indicator 99 (H) V2.08			
Wirkungsindikator	Europe EI 99 H/A		
Carcinogens	13,26%		
Resp. organics	0,12%		
Resp. inorganics	65,74%		
Climate change	12,97%		
Radiation	0,23%		
Ozone layer	0,01%		
Ecotoxicity	3,52%		
Acidification/ Eutrophication	2,07%		
Land use	53,64%		
Minerals	2,06%		
Fossil fuels	100,00%		

EDIP 2003 V1.03			
Wirkungsindikator	Default		
Global warming 100a		5,73%	
Ozone depletion		0,19%	
Ozone formation (Vegetation)		5,60%	
Ozone formation (Human)		8,21%	
Acidification		7,20%	
Terrestrial eutrophication		3,01%	
Aquatic eutrophication EP(N)		2,00%	
Aquatic eutrophication EP(P)		30,86%	
Human toxicity air		12,13%	
Human toxicity water		100,00%	
Human toxicity soil		2,16%	
Ecotoxicity water chronic		9,95%	
Ecotoxicity water acute		13,32%	
Ecotoxicity soil chronic		2,13%	
Hazardous waste		0,04%	
Slags/ashes		0,40%	
Bulk waste		8,35%	
Radioactive waste		6,74%	
Resources (all)		5,03%	

IMPA CT 2002+ V2.10			
Wirkungsindikator	IMPA CT 2002+		
Carcinogens		11,82%	
Non-carcinogens		17,74%	
Respiratory inorganics		100,00%	
Ionizing radiation		0,49%	
Ozone layer depletion		0,01%	
Respiratory organics		0,23%	
Aquatic ecotoxicity		0,28%	
Terrestrial ecotoxicity		15,19%	
Terrestrial acid/nutri		1,45%	
Land occupation		36,76%	
Aquatic acidification		0,00%	
Aquatic eutrophication		0,00%	
Global warming		89,73%	
Non-renewable energy		88,82%	
Mineral extraction		0,10%	

ReCiPe Midpoint (H) V1.06			
Wirkungsindikator	Europe ReCiPe H	World ReCiPe H	
Climate change	2,19%	3,62%	
Ozone depletion	0,10%	0,06%	
Human toxicity	19,57%	100,00%	
Photochemical oxidant formation	2,22%	2,44%	
Particulate matter formation	3,98%	4,27%	
Ionising radiation	0,69%	3,31%	
Terrestrial acidification	2,80%	2,55%	
Freshwater eutrophication	13,44%	19,48%	
Marine eutrophication	0,56%	0,79%	
Terrestrial ecotoxicity	2,18%	2,79%	
Freshwater ecotoxicity	17,49%	44,46%	
Marine ecotoxicity	19,50%	69,53%	
Agricultural land occupation	24,77%	20,90%	
Urban land occupation	3,46%	1,84%	
Natural land transformation	100,00%	1,36%	
Water depletion	0,00%	0,00%	
Metal depletion	1,57%	2,54%	
Fossil depletion	4,50%	5,52%	

ReCiPe Endpoint (H) V1.06			
Wirkungsindikator	Europe ReCiPe H/A	World ReCiPe H/A	
Climate change Human Health	23,78%	46,92%	
Ozone depletion	0,00%	0,01%	
Human toxicity	5,60%	11,05%	
Photochemical oxidant formation	0,00%	0,01%	
Particulate matter formation	10,64%	20,99%	
Ionising radiation	0,05%	0,10%	
Climate change Ecosystems	15,55%	4,17%	
Terrestrial acidification	0,04%	0,01%	
Freshwater eutrophication	0,02%	0,01%	
Terrestrial ecotoxicity	0,18%	0,05%	
Freshwater ecotoxicity	0,00%	0,00%	
Marine ecotoxicity	0,00%	0,00%	
Agricultural land occupation	100,00%	26,83%	
Urban land occupation	2,16%	0,58%	
Natural land transformation	2,28%	0,61%	
Metal depletion	0,04%	0,07%	
Fossil depletion	62,49%	100,00%	

BEES+ V4.04			
Wirkungsindikator	USA per cap '97-EPA Weighting	USA per cap '97-Eq Weighting	USA per cap '97-Harvard Weighting
Global warming	48,01%	48,01%	48,01%
Acidification	0,04%	0,04%	0,04%
HH cancer	0,45%	0,45%	0,45%
HH noncancer	0,13%	0,13%	0,13%
HH criteria air pollutants	11,73%	11,73%	11,73%
Eutrophication	100,00%	100,00%	100,00%
Ecotoxicity	2,11%	2,11%	2,11%
Smog	34,89%	34,89%	34,89%
Natural resource depletion	51,23%	51,23%	51,23%
Indoor air quality	0,00%	0,00%	0,00%
Habitat alteration	0,00%	0,00%	0,00%
Ozone depletion	0,13%	0,13%	0,13%

BEES+ V4.04		
Wirkungsindikator	USA per cap '97-Stakeholder Weighting	
Global warming	48,01%	
Acidification	0,04%	
HH cancer	0,45%	
HH noncancer	0,13%	
HH criteria air pollutants	11,73%	
Eutrophication	100,00%	
Ecotoxicity	2,11%	
Smog	34,89%	
Natural resource depletion	51,23%	
Indoor air quality	0,00%	
Habitat alteration	0,00%	
Ozone depletion	0,13%	

TRACI 2.1 V1.01			
Wirkungsindikator	Canada 2005	US-Canadian 2008	US 2008
Ozone depletion	0,59%	0,03%	0,03%
Global warming	1,06%	2,09%	2,20%
Smog	1,03%	2,73%	3,00%
Acidification	0,81%	2,36%	2,59%
Eutrophication	5,96%	7,69%	7,82%
Carcinogenics	100,00%	100,00%	100,00%
Non carcinogenics	9,27%	16,63%	17,30%
Respiratory effects	0,25%	1,41%	1,82%
Ecotoxicity	13,50%	26,52%	27,81%
Fossil fuel depletion	0,96%	3,39%	4,04%

Auswertungsergebnisse Holzrahmenbauweise

CML-IA baseline V3.01			
Wirkungsindikator	EU25	EU25+3, 2000	Netherlands, 1997
Abiotic depletion	0,32%	1,71%	4,25%
Abiotic depletion (fossil fuels)	7,90%	2,70%	1,91%
Global warming (GWP100a)	3,76%	1,38%	2,00%
Ozone layer depletion (ODP)	0,02%	0,05%	0,04%
Human toxicity	0,70%	4,12%	0,78%
Fresh water aquatic ecotox.	9,45%	8,94%	17,78%
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%	100,00%	100,00%
Terrestrial ecotoxicity	0,45%	0,07%	0,65%
Photochemical oxidation	0,70%	1,30%	0,88%
Acidification	2,73%	1,74%	3,12%
Eutrophication	2,47%	0,67%	1,71%

CML-IA baseline V3.01			
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World 2000	World, 1990
Abiotic depletion	0,32%	0,21%	0,58%
Abiotic depletion (fossil fuels)	7,91%	1,09%	4,91%
Global warming (GWP100a)	3,77%	0,75%	2,74%
Ozone layer depletion (ODP)	0,02%	0,01%	0,01%
Human toxicity	0,69%	3,48%	0,59%
Fresh water aquatic ecotox.	9,43%	3,44%	15,36%
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%	100,00%	100,00%
Terrestrial ecotoxicity	0,45%	0,03%	0,54%
Photochemical oxidation	0,69%	0,27%	0,37%
Acidification	2,73%	0,53%	1,54%
Eutrophication	2,47%	0,34%	1,56%

CML-IA baseline V3.01			
Wirkungsindikator	World, 1995		
Abiotic depletion	0,33%		
Abiotic depletion (fossil fuels)	3,36%		
Global warming (GWP100a)	1,96%		
Ozone layer depletion (ODP)	0,01%		
Human toxicity	0,42%		
Fresh water aquatic ecotox.	10,55%		
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%		
Terrestrial ecotoxicity	0,36%		
Photochemical oxidation	0,27%		
Acidification	1,05%		
Eutrophication	1,06%		

CML-IA non-baseline V3.01			
Wirkungsindikator	EU25	EU25+3, 2000	Netherlands, 1997
Abiotic depletion (elem., reserve base)	0,15%	0,99%	1,60%
Abiotic depletion (elem., econ. reserve)	0,18%	1,37%	1,60%
Acidification	5,09%	1,82%	2,58%
Eutrophication	4,81%	2,16%	1,57%
Global warming 100a (incl. NMVOC av.)	0,00%	0,02%	0,03%
Ozone layer depletion steady state	0,00%	0,07%	0,04%
Human toxicity infinite	0,00%	3,77%	0,82%
Fresh water aquatic ecotox. infinite	0,00%	8,92%	15,03%
Marine aquatic ecotoxicity infinite	0,00%	100,00%	89,94%
Terrestrial ecotoxicity infinite	0,00%	0,07%	0,59%
Marine sediment ecotox. infinite	100,00%	54,33%	48,87%
Freshwater sediment ecotox. infinite	36,54%	17,82%	25,48%
Land competition	67,69%	14,43%	100,00%
Ionising radiation	3,59%	0,61%	16,67%
Photochemical oxidation	0,00%	0,15%	0,17%

CML-IA non-baseline V3.01				
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World, 1990	World, 1995	
Abiotic depletion (elem., reserve base)	0,08%	0,22%	0,15%	
Abiotic depletion (elem., econ. reserve)	0,10%	0,43%	0,28%	
Acidification	2,76%	1,65%	1,10%	
Eutrophication	2,62%	1,58%	0,97%	
Global warming 100a (incl. NMVOC av.)	0,05%	0,04%	0,03%	
Ozone layer depletion steady state	0,02%	0,01%	0,01%	
Human toxicity infinite	0,80%	0,68%	0,48%	
Fresh water aquatic ecotox. infinite	9,24%	15,30%	10,48%	
Marine aquatic ecotoxicity infinite	100,00%	100,00%	100,00%	
Terrestrial ecotoxicity infinite	0,45%	0,54%	0,36%	
Marine sediment ecotox. infinite	54,33%	54,33%	54,33%	
Freshwater sediment ecotox. infinite	19,83%	27,08%	18,84%	
Land competition	36,86%	6,48%	4,39%	
Ionising radiation	1,95%	5,67%	3,20%	
Photochemical oxidation	0,14%	0,07%	0,05%	

CML 2 baseline 2000 V2.05				
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World, 1995	World, 1990	
Abiotic depletion	10,15%	4,35%	6,35%	
Acidification	3,60%	1,38%	2,03%	
Eutrophication	2,67%	1,14%	1,67%	
Global warming (GWP100)	5,04%	2,64%	3,67%	
Ozone layer depletion (ODP)	0,02%	0,02%	0,01%	
Human toxicity	1,47%	0,88%	1,24%	
Fresh water aquatic ecotox.	13,63%	15,24%	22,20%	
Marine aquatic ecotoxicity	100,00%	100,00%	100,00%	
Terrestrial ecotoxicity	3,93%	3,11%	4,69%	
Photochemical oxidation	0,80%	0,31%	0,42%	

CML 2001 (all impact categories) V2.05				
Wirkungsindikator	West Europe, 1995	World, 1995	World, 1990	
Abiotic depletion	10,15%	4,35%	6,35%	
Acidification	3,66%	1,41%	2,06%	
Eutrophication	2,67%	1,14%	1,67%	
Global warming 100a	5,04%	2,64%	3,67%	
Ozone layer depletion steady state	0,02%	0,02%	0,01%	
Human toxicity infinite	1,47%	0,88%	1,24%	
Fresh water aquatic ecotox. infinite	13,63%	15,24%	22,20%	
Marine aquatic ecotoxicity infinite	100,00%	100,00%	100,00%	
Terrestrial ecotoxicity infinite	3,93%	3,11%	4,69%	
Marine sediment ecotox. infinite	74,16%	74,19%	75,64%	
Freshwater sediment ecotox. infinite	74,16%	74,19%	75,64%	
Average European (kg NOx eq)	2,99%	1,11%	1,80%	
Average European (kg SO2-Eq)	3,59%	1,38%	2,03%	
Land competition	0,23%	2,73%	4,03%	
Ionising radiation	1,94%	3,17%	5,61%	
Photochemical oxidation	0,80%	0,31%	0,42%	

Eco-indicator 99 (H) V2.08				
Wirkungsindikator	Europe EI 99 H/A			
Carcinogens	13,90%			
Resp. organics	0,11%			
Resp. inorganics	78,43%			
Climate change	14,23%			
Radiation	0,26%			
Ozone layer	0,01%			
Ecotoxicity	3,73%			
Acidification/ Eutrophication	2,11%			
Land use	39,98%			
Minerals	2,29%			
Fossil fuels	100,00%			

EDIP 2003 V1.03			
Wirkungsindikator	Default		
Global warming 100a	5,20%		
Ozone depletion	0,15%		
Ozone formation (Vegetation)	4,55%		
Ozone formation (Human)	6,68%		
Acidification	6,65%		
Terrestrial eutrophication	2,50%		
Aquatic eutrophication EP(N)	1,67%		
Aquatic eutrophication EP(F)	29,18%		
Human toxicity air	15,76%		
Human toxicity water	100,00%		
Human toxicity soil	2,24%		
Ecotoxicity water chronic	9,80%		
Ecotoxicity water acute	12,85%		
Ecotoxicity soil chronic	1,33%		
Hazardous waste	0,04%		
Slags/ashes	0,28%		
Bulk waste	9,13%		
Radioactive waste	6,48%		
Resources (all)	4,16%		

IMPACT 2002+ V2.10			
Wirkungsindikator	IMPACT 2002+		
Carcinogens	11,97%		
Non-carcinogens	14,23%		
Respiratory inorganics	100,00%		
Ionizing radiation	0,55%		
Ozone layer depletion	0,01%		
Respiratory organics	0,20%		
Aquatic ecotoxicity	0,23%		
Terrestrial ecotoxicity	12,45%		
Terrestrial acid/nutrn	1,42%		
Land occupation	25,98%		
Aquatic acidification	0,00%		
Aquatic eutrophication	0,00%		
Global warming	94,22%		
Non-renewable energy	88,93%		
Mineral extraction	0,11%		

ReCiPe Midpoint (H) V1.06			
Wirkungsindikator	Europe ReCiPe H	World ReCiPe H	
Climate change	2,77%	3,92%	
Ozone depletion	0,11%	0,06%	
Human toxicity	22,76%	100,00%	
Photochemical oxidant formation	2,46%	2,33%	
Particulate matter formation	5,61%	5,18%	
Ionising radiation	0,92%	3,79%	
Terrestrial acidification	3,56%	2,79%	
Freshwater eutrophication	17,48%	21,78%	
Marine eutrophication	0,67%	0,80%	
Terrestrial ecotoxicity	1,52%	1,67%	
Freshwater ecotoxicity	22,90%	50,04%	
Marine ecotoxicity	25,14%	77,04%	
Agricultural land occupation	20,90%	15,16%	
Urban land occupation	3,09%	1,41%	
Natural land transformation	100,00%	1,17%	
Water depletion	0,00%	0,00%	
Metal depletion	1,81%	2,53%	
Fossil depletion	5,35%	5,64%	

ReCiPe Endpoint (H) V1.06			
Wirkungsindikator	Europe ReCiPe H/A	World ReCiPe H/A	
Climate change Human Health	35,51%	49,76%	
Ozone depletion	0,01%	0,01%	
Human toxicity	7,72%	10,82%	
Photochemical oxidant formation	0,00%	0,01%	
Particulate matter formation	17,78%	24,92%	
Ionising radiation	0,08%	0,11%	
Climate change Ecosystems	23,22%	4,43%	
Terrestrial acidification	0,07%	0,01%	
Freshwater eutrophication	0,03%	0,01%	
Terrestrial ecotoxicity	0,15%	0,03%	
Freshwater ecotoxicity	0,01%	0,00%	
Marine ecotoxicity	0,00%	0,00%	
Agricultural land occupation	100,00%	19,06%	
Urban land occupation	2,29%	0,44%	
Natural land transformation	2,73%	0,52%	
Metal depletion	0,06%	0,06%	
Fossil depletion	87,96%	100,00%	

BEES+ V4.04			
Wirkungsindikator	USA per cap '97-EPA Weighting	USA per cap '97-Eq Weighting	USA per cap '97-Harvard Weighting
Global warming	48,01%	48,01%	48,01%
Acidification	0,04%	0,04%	0,04%
HH cancer	0,45%	0,45%	0,45%
HH noncancer	0,13%	0,13%	0,13%
HH criteria air pollutants	11,73%	11,73%	11,73%
Eutrophication	100,00%	100,00%	100,00%
Ecotoxicity	2,11%	2,11%	2,11%
Smog	34,89%	34,89%	34,89%
Natural resource depletion	51,23%	51,23%	51,23%
Indoor air quality	0,00%	0,00%	0,00%
Habitat alteration	0,00%	0,00%	0,00%
Ozone depletion	0,13%	0,13%	0,13%

BEES+ V4.04			
Wirkungsindikator	USA per cap '97-Stakeholder Weighting		
Global warming	48,01%		
Acidification	0,04%		
HH cancer	0,45%		
HH noncancer	0,13%		
HH criteria air pollutants	11,73%		
Eutrophication	100,00%		
Ecotoxicity	2,11%		
Smog	34,89%		
Natural resource depletion	51,23%		
Indoor air quality	0,00%		
Habitat alteration	0,00%		
Ozone depletion	0,13%		

TRACI 2.1 V1.01			
Wirkungsindikator	Canada 2005	US-Canadian 2008	US 2008
Ozone depletion	0,59%	0,03%	0,03%
Global warming	1,06%	2,09%	2,20%
Smog	1,03%	2,73%	3,00%
Acidification	0,81%	2,36%	2,59%
Eutrophication	5,96%	7,69%	7,82%
Carcinogenics	100,00%	100,00%	100,00%
Non carcinogenics	9,27%	16,63%	17,30%
Respiratory effects	0,25%	1,41%	1,82%
Ecotoxicity	13,50%	26,52%	27,81%
Fossil fuel depletion	0,96%	3,39%	4,04%

Klassifizierung der Wirkungsindikatoren nach ILCD-System

Tabelle 41 Klassifizierung der Umweltindikatoren für „midpoint“ anhand ihrer Qualität nach ILCD (Quelle: Tabelle in Anlehnung an [20])

|

city

|

Tabelle 42 Klassifizierung der Umweltindikatoren für „endpoint“ anhand ihrer Qualität nach ILCD (Quelle: Tabelle in Anlehnung an [20])

|

methods recommended