

Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaustoffe

Allgemeine Regeln für die Erstellung von Typ III Umweltproduktdeklarationen (Teil 2)

INHALT

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Allgemeines..... | 3 |
| 1.1 | Normative Grundlagen..... | 3 |
| 1.2 | Nachverfolgung der Versionen..... | 3 |
| 1.3 | Gegenstand und Zweck..... | 4 |
| 1.4 | Begriffe / Abkürzungen..... | 4 |
| 2 | Anwendungsbereich und Ziel des UPD-Programms Lehm..... | 6 |
| 3 | Untersuchungsrahmen von Ökobilanzen / PKR / UPD..... | 6 |
| 3.1 | Ziel der Untersuchung..... | 7 |
| 3.2 | Untersuchungsrahmen..... | 7 |
| 3.2.1 | Systembeschreibung..... | 7 |
| 3.2.1.1 | Produktsystem..... | 7 |
| 3.2.1.2 | Funktionale Einheiten..... | 7 |
| 3.2.1.3 | Referenz-Nutzungsdauer..... | 8 |
| 3.2.1.4 | Systemgrenze / UPD-Arten..... | 8 |
| 3.2.1.5 | Lehmbauspezifische Aspekte..... | 10 |
| 3.2.2 | Verfahrensgrundlagen..... | 13 |
| 3.2.3 | Datenanforderungen..... | 13 |
| 4 | Sachbilanz..... | 13 |
| 4.1 | Datenerhebung..... | 14 |
| 4.2 | Allokationen von Stoffflüssen und Emissionen..... | 15 |
| 5 | Wirkungsabschätzung..... | 15 |
| 5.1 | Auswahl der Wirkungskategorien..... | 16 |
| 5.1.1 | Indikatoren der Umweltwirkung..... | 16 |
| 5.1.2 | Indikatoren des Ressourceneinsatzes..... | 19 |
| 5.1.3 | Darstellung der Informationen..... | 20 |
| 5.2 | Klassifizierung und charakteristisches Wirkungspotenzial..... | 20 |
| 5.3 | Normierung und Gewichtung..... | 20 |
| 6 | Interpretation..... | 20 |
| 6.1 | Auswertung..... | 20 |
| 6.2 | Berichterstattung..... | 21 |
| 7 | Zitierte Standards / Literaturhinweise..... | 21 |

1 ALLGEMEINES

1.1 Normative Grundlagen

Dieses Dokument wurde auf der Grundlage folgender Normen erstellt:

DIN EN 15804:2022-03: *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte,*

DIN EN 15942:2022-04: *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Kommunikationsformate zwischen Unternehmen,*

DIN EN ISO 14025:2011-10: *Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen, Grundsätze und Verfahren,*

DIN EN ISO 14040:2021-02: *Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen,*

DIN EN ISO 14044:2021-02: *Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen,*

DIN CEN ISO/TS 14071:2016-06: *Umweltmanagement – Ökobilanz – Prozesse der Kritischen Prüfung und Kompetenzen der Prüfer: Zusätzliche Anforderungen und Anleitungen zu DIN EN ISO 14044:2018-05.*

1.2 Nachverfolgung der Versionen

| Version | Kommentar | Stand |
|----------------|---|--------------|
| Ü3 | <i>Finaler Entwurf des Prüfungsgremiums mit Anmerkungen</i> | 22.02.2018 |
| Ü4 | <i>Durch den Vorsitzenden des Prüfungsgremiums nach Einarbeitung aller Anmerkungen zur Veröffentlichung freigegeben</i> | 10.03.2018 |
| Ü5 | <i>Entwurf des Prüfungsgremiums</i> | Juni 2022 |

Version Ü5

Weimar, Juni 2022

Kontakt:

Dachverband Lehm e. V., Postfach 1172; 99409 Weimar, Deutschland
dvl@dachverband-lehm.de · upd.dachverband-lehm.de

© Dachverband Lehm e. V.

1.3 Gegenstand und Zweck

Das vom Dachverband Lehm e. V. (DVL) getragene Umweltdeklarationsprogramm für Lehmabaustoffe (UPD Lehm) bildet den Rahmen für die Erstellung und den Betrieb von Typ III Umweltproduktdeklarationen gemäß DIN EN ISO 14025 / DIN EN ISO 14040 / DIN EN 15804. Mit Vorlage der Muster-UPD Lehmputzmörtel (LPM) im Oktober 2018 und nach Schaffung der entsprechenden organisatorischen Voraussetzungen tritt der DVL als UPD-Programmbetreiber im Sinne von DIN EN ISO 14025 auf.

Die allgemeinen Regelungen und Programmanleitungen, die für den Betrieb des Umweltdeklarationsprogrammes erforderlich sind, werden in zwei Dokumenten beschrieben:

- in den vorliegenden „Allgemeinen Regeln für die Erstellung von Typ III Umweltproduktdeklarationen (Teil 2)“ [1],
- im Dokument „Allgemeine Programmanleitungen – Basisdokument“ [2].

Zusätzlich sind die Lehmabau Regeln (LR) [3] und die Technischen Merkblätter des DVL [4][5][6] zu beachten. Für die einzelnen Produktkategorien gelten desweiteren die jeweiligen Produktkategorieregeln (PKR) [7][8][9][10], für die entsprechende Muster-UPD (UPD Lehm) entwickelt wurden [11][12][13][14].

Die vorliegenden „Allgemeinen Regeln“ [1] beziehen sich auf den *inhaltlichen Rahmen* für die Erstellung von PKR / UPD für Lehmabaustoffe gemäß DIN EN ISO 14025, Abs. 6.7.1 b, c und h. Sie genügen der in DIN EN ISO 14025, Abs. 6.4 geforderten Zugänglichkeit dieser Regeln für alle interessierten Kreise / Organisationen. Angesichts der Vielzahl der inzwischen existierenden Normen für die Erstellung von Typ III UPD / Ökobilanzen soll das vorliegende Dokument den verschiedenen Anwendergruppen eine Orientierung in Bezug auf Lehmabaustoffe geben.

Die Gültigkeitsdauer beider o. g. Dokumente beträgt fünf Jahre. Danach wird auf Veranlassung des DVL von einem unabhängigen Prüfungsgremium unter Einbeziehung des UPD Fachbeirates entweder eine Verlängerung der Gültigkeitsdauer oder eine Überarbeitung beschlossen. Eine Änderung der zugrundeliegenden Regelwerke kann auch eine frühere Überarbeitung erforderlich machen.

Die Erarbeitung des Umweltdeklarationsprogramms Lehm wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert.

1.4 Begriffe / Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten unter Bezug auf die in *Abs. 1.1* genannten normativen Grundlagen die nachfolgenden Begriffe und Abkürzungen:

Bauprodukte sind Gegenstände, die hergestellt werden, um in ein Bauwerk eingefügt zu werden

Produktkategorie: eine Gruppe von Bauprodukten, die gleichwertige Funktionen erfüllen können

Produktkategorieregeln (PKR) nach DIN EN 15804 enthalten eine Zusammenstellung spezifischer Regeln, Anforderungen oder Leitlinien, um Typ III Umweltproduktdeklarationen für eine oder mehrere Produktkategorien zu erstellen

Typ III Umweltproduktdeklarationen (UPD) nach DIN EN 15804 sind freiwillig und stellen auf der Grundlage festgelegter Parameter quantitative, umweltbezogene Daten und ggf. umweltbezogene Informationen bereit, die den Lebensweg des Bauprodukts vollständig oder in Teilen abbilden

Produktsystem: Anzahl von Prozessen mit Elementar- und Produktflüssen, die eine oder mehrere definierte Funktionen erfüllen und die den Lebenszyklus eines (Bau)produktes modellieren

Ökobilanz (LCA): nach DIN EN 15804 Zusammenstellung und *Beurteilung* der In- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenszyklus

Sachbilanz (LCI): Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und *Quantifizierung* von In- und Outputs eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenszyklus umfasst

Wirkungsabschätzung (LCIA): Bestandteil der Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe von potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf des Lebensweges des Produktes dient

Informationsmodul (IM): Datensatz, der die Grundlage einer Typ III UPD bildet und ein oder mehrere, den Lebenszyklus des Produktes in Teilen beschreibende Prozessmodule umfasst

Prozessmodul: kleinster in der Sachbilanz berücksichtigter Bestandteil, für den In- und Outputdaten quantifiziert werden

Funktionale Einheit: quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit

Deklarierte Einheit: Menge eines Bauproduktes, die als Bezugseinheit in einer UPD für eine Umweltdeklaration dient, die auf einem oder mehreren Informationsmodulen basiert

Abschneidekriterien: Festlegung der Stoffmenge, eines Energieflusses oder des Grades von Umweltrelevanz, die / der mit Prozessmodulen oder Produktsystemen verbunden sind, welche von einer Studie auszuschließen sind

Allokation: Zuordnung der In- oder Outputflüsse eines Prozesses / Produktsystems zum untersuchten Produktsystem und zu einem / mehreren anderen Produktsystemen

Szenario: Erfassung von Annahmen und Angaben, die eine erwartete Abfolge möglicher zukünftiger Ereignisse betreffen

Programmbetreiber sind Einrichtungen / Körperschaften, die ein Programm für Typ III UPD nach DIN EN ISO 14025 betreiben. Dies können Herstellerverbände, Ämter / Behörden oder eine unabhängige wissenschaftliche oder andere Einrichtung sein.

PKR Produktkategorieregeln (engl.: PCR – Product Category Rules)

UPD Umweltproduktdeklaration (engl.: EPD – Environmental Product Declaration)

LCA Ökobilanz (engl.: Life Cycle Assessment)

LCI Sachbilanz (engl.: Life Cycle Inventory analysis)

LCIA Wirkungsabschätzung (engl.: Life Cycle Impact Assessment)

LS Lehmstein

LSM Lehmsteinmauerwerk

LMM Lehmmauermörtel

LPM Lehmputzmörtel

LP Lehmplatte

LR Lehmbauregeln des Dachverbandes Lehm e. V. (DVL) [3]

AVV Europäische Abfallverzeichnis-Verordnung [15]

2 ANWENDUNGSBEREICH UND ZIEL DES UPD-PROGRAMMS LEHM

Typ III UPD dienen insbesondere dem Informationsaustausch innerhalb der Bauwirtschaft (Erzeuger, Planer und Ausführende), wobei ihre Anwendung als Grundlage für den Informationsaustausch zwischen Wirtschaft und Verbrauchern nicht ausgeschlossen sein soll. Zu diesem Zweck stellt der DVL eine Online-Plattform zur Veröffentlichung des UPD-Programms Lehm zur Verfügung: upd.dachverband-lehm.de.

Gemäß DIN EN ISO 14025 ist es das übergeordnete Ziel von UPD, Angebot und Nachfrage von weniger umweltbelastenden Produkten durch normkonform erstellte, quantifizierte Umweltinformationen zu unterstützen. Mit Hilfe von UPD wird einem Anwender die Vergleichbarkeit der Umweltleistung eines Bauprodukts in quantifizierter Form ermöglicht. Herstellern von Bauprodukten zeigen UPD ökologische Defizite auf und geben Anlass zu einer marktorientierten, kontinuierlichen Verbesserung der Umweltqualität dieser Produkte.

Die UPD Lehm gründen auf von unabhängigen Dritten verifizierten Daten aus Ökobilanzen, Sachbilanzen oder Informationsmodulen sowie zusätzlichen umweltbezogenen Angaben, die gemeinsam die wesentlichen Umweltaspekte der jeweiligen Lehmbaustoffkategorien abdecken sollen.

Unter den Begriff „Lehmbaustoffe“ fallen derzeit in vier Produktkategorien zusammengefasste Bauprodukte:

- Lehmsteine LS (DIN 18945),
- Lehmmauermörtel LMM (DIN 18946),
- Lehmputzmörtel LPM (DIN 18947),
- Lehmplatten LP (DIN 18948).

Für diese Lehmbaustoffe liegen Produktkategorieregeln (PKR) vor [7][8][9][10], die auf der Grundlage der o. g. DIN entwickelt wurden. Die spezifischen Begriffe bzw. Konformitätsnachweise dieser Bauprodukte sind in eigenständigen Normen DIN 18942-1 „Lehmbaustoffe – Begriffe“ bzw. DIN 18942-100 „Lehmbaustoffe – Konformitätsnachweis“ geregelt.

Vor der Einführung (April 2023) steht E DIN 18940 „Tragendes Lehmsteinmauerwerk“, die die DIN 18945 – 47 für die Lehmbaustoffe LS, LMM und LPM berühren.

3 UNTERSUCHUNGSRAHMEN VON ÖKOBILANZEN / PKR / UPD

Ökobilanzen (LCA) nach DIN EN 15814 beruhen auf einer Lebenszyklusanalyse eines Bauproduktes, bei der für jede Zyklusstufe die Ressourcenverbräuche den entsprechenden Umweltwirkungen gegenübergestellt und bewertet werden.

Eine UPD kann auch für ein durchschnittliches Produkt aus einem / mehreren Werken *eines* Herstellers angegeben werden. In diesem Fall sind folgende Bedingungen zu erfüllen: Mehrere Produkte derselben Produktkategorie können als Durchschnittsprodukt deklariert werden, wenn die angegebenen Indikatoren der Einzelprodukte im Bereich von $\pm 10\%$ schwanken. Die UPD soll für ein repräsentatives Produkt erstellt und dessen Auswahlkriterien angegeben werden.

Darüber hinaus kann eine UPD auch für ein durchschnittliches Produkt *mehrerer* Hersteller derselben Produktkategorie aufgestellt werden. Desweiteren ist darauf hinzuweisen, wenn sich die deklarierten Werte auf ein durchschnittliches Produkt und durchschnittliche Transportwege beziehen.

3.1 Ziel der Untersuchung

Das Ziel der Untersuchung ist zu beschreiben hinsichtlich:

- der Gründe für die Durchführung der Studie (z. B. Umweltinformation für Planung, Handwerk und Handel),
- der beabsichtigten Anwendung (z. B. Typ III UPD),
- der Zielgruppe (z. B. anbietende Wirtschaft, Planer und Nutzer).

Ziele einer Ökobilanzierung können sein:

- Vergleich von Bauteilkonstruktionen (Variantenvergleich),
- Produkt- und Qualitätskontrolle hinsichtlich des angestrebten Marktsegments,
- Optimierung von Verfahrens- und Produktionsprozessen / Schwachstellenanalysen,
- Identifizierung von Anwendungsgebieten von Baustoffen mittels begleitender Bilanzierung,
- Identifizierung möglicher Recyclingpotenziale,
- Entscheidungsunterstützung beim Marketing.

Zielgruppe einer Ökobilanz sind zumeist Entscheidungsträger, die die Ergebnisse der Studie zur ökologischen Optimierung eines Bauteils / Bauwerks verwenden können.

3.2 Untersuchungsrahmen

Der Untersuchungsrahmen von Ökobilanzen / UPD beinhaltet die Systembeschreibung, die Verfahrensgrundlagen und die Anforderungen an die zu erhebenden Daten.

3.2.1 Systembeschreibung

Die Systembeschreibung umfasst das zu untersuchende Produktsystem mit seinen Funktionen, die funktionale / deklarierte Einheit, die Referenz-Nutzungsdauer (RSL) sowie die Systemgrenze.

3.2.1.1 Produktsystem

Das Produktsystem modelliert den Lebenszyklus eines (Bau)produktes mit seinen dazugehörigen Prozessen mit Elementar- und Produktflüssen, die eine oder mehrere definierte Funktionen erfüllen. Die Modellierung kann durch verbale Beschreibung seiner relevanten technologischen Prozessmodule und Transporte erfolgen, ergänzt durch grafische Darstellungen, z. B. Flussdiagramme.

3.2.1.2 Funktionale Einheiten

Die funktionale Einheit eines zu untersuchenden Systems kann sich auf unterschiedliche Ebenen im Rahmen des Gesamtsystems beziehen. Bei einem Baustoff kann die Funktion des Systems sowohl die Herstellung einer bestimmten Menge des Baustoffes als auch die Bereitstellung eines Bauwerks umfassen. In diesem Fall ist der betrachtete Baustoff mit anderen Baustoffen verknüpft und definiert eine Bauteil- oder Gebäudeebene.

Die funktionalen Einheiten für Lehmbaustoffe sind in den entsprechenden Anhängen der DIN 18945-48 für LS, LMM, LPM und LP sowie in den entsprechenden PKR geregelt. Sie beschreiben den quantifizierten Nutzen des Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit (Tab. 3.1).

Tab. 3.1 Funktionale Einheiten für Lehmbaustoffe nach DIN 18945-48

| Lehmbaustoff | Nutzen des Systems | Einheit | DIN | DIN Anhang |
|---------------------|---|---------|-------|------------|
| Lehmstein LS | Bereitstellung einer definierten Menge Baustoff | kg LS | 18945 | A.2 |
| Lehmmauermörtel LMM | Bereitstellung einer definierten Menge Baustoff | kg LMM | 18946 | A.1 |

| | | | | |
|--------------------|---|-------------------|-------|-----|
| Lehmputzmörtel LPM | Bereitstellung einer definierten Menge Baustoff | kg LPM | 18947 | A.2 |
| Lehmplatte LP | Bereitstellung eines Bauteils | m ³ LP | 18948 | A.3 |

3.2.1.3 Referenz-Nutzungsdauer

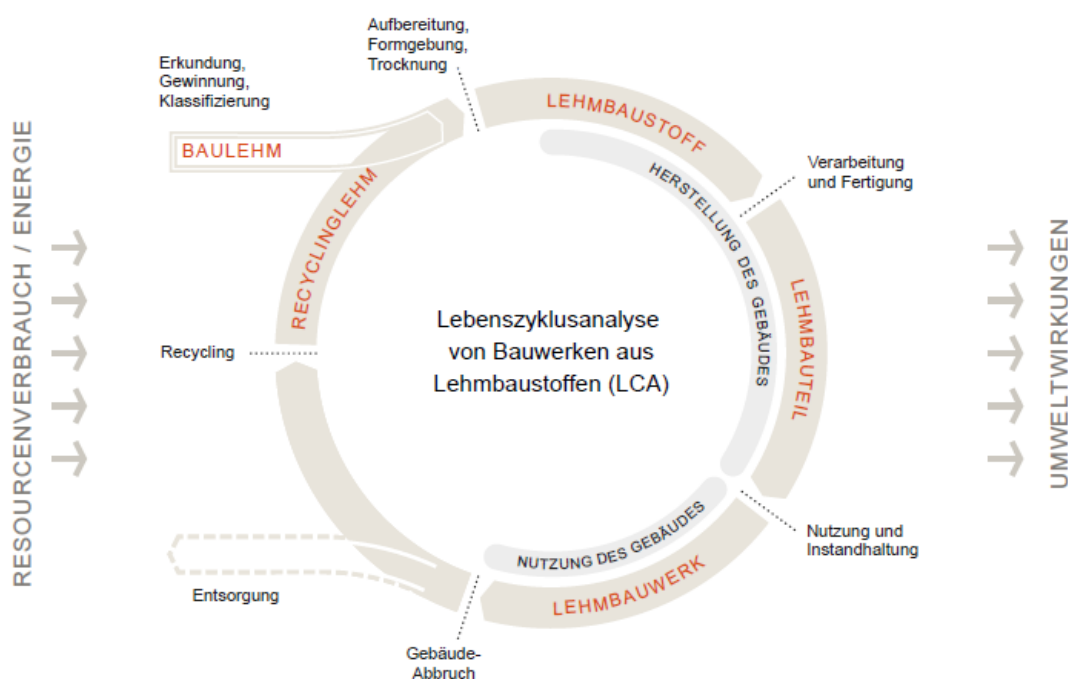
Die Referenz-Nutzungsdauer (RSL – Reference Service Life) ist die Nutzungsdauer, die unter der Annahme bestimmter Nutzungsbedingungen (z. B. Standardnutzungsbedingungen), für ein Bauprodukt zu erwarten ist. Die Angabe einer RSL ist nur für die UPD-Arten „von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen“ und „von der Wiege bis zur Bahre“ erforderlich (*Bild 3.2*). Allgemein wird sie nach DIN EN 15814, Abs. 6.3.3 bestimmt. Für praktische Zwecke des Lehmbaus kann sie auch dem Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD GmbH, Version 2014 [16] entnommen werden (Beispiele: Lehmputz / Lehmputz: 100 Jahre; Lehmsteine: 100 Jahre; Lehmplatten: 50 Jahre). Anforderungen und Leitlinien für die Referenz-Nutzungsdauer sind in DIN EN 15804, Anhang A festgelegt.

3.2.1.4 Systemgrenze / UPD-Arten

Die *Systemgrenze* legt die für das zu untersuchende Produktsystem relevanten Prozessmodule fest. Dabei müssen die entstandenen Aufwendungen und Umwelteinwirkungen in der Produktion, Logistik, Nutzung und Nachnutzung bzgl. der Datenerhebung unter gleichen Randbedingungen und Methoden erfasst werden. Die Prozesse, die die Umweltqualität eines Produkts während seines Lebenszyklus beeinflussen, werden dem Modul der Phasen des Lebenszyklus zugeordnet, in dem sie anfallen („Modularitätsprinzip“).

Für die gesamte Lebenszyklusbetrachtung eines Baustoffs sind die Phasen Rohstoffbereitstellung, Herstellung / Errichtung, Nutzung / Unterhaltung und Gebäudeabbruch / Rückführung in Stoffkreislauf und Restmengenentsorgung zu berücksichtigen. Dieser Zyklus für ein Bauwerk aus Lehmbaumstoffen ist in *Bild 3.1* als Kreislauf dargestellt [17]. Nach Gebäudeabbruch ist zu entscheiden, ob die Abbruchmassen entsorgt werden müssen oder als Recyclinglehm im Baustoffkreislauf gehalten werden können.

Bild 3.1 Lebenszyklus von Bauwerken aus Lehmbaumstoffen



Die Phasen des Lebenszyklus mit ihren einzubeziehenden Informationsmodulen (IM) werden nach dem Schema für die Erstellung von PKR in *Bild 3.2* gemäß DIN EN 15804 normkonform dargestellt:

Bild 3.2 UPD-Arten nach einbezogenen LCA-Phasen und -Modulen für die Bewertung von Bauwerken nach DIN EN 15804

| INFORMATIONEN ZUR BAUWERKSBEURTEILUNG | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-------------|---------------------|--------------------|--------------------------|----------------|-----------|---------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|------------------|---|--|--|
| ANGABEN ZUM LEBENSZYKLUS DES BAUWERKS | | | | | | | | | | | | | | | ERGÄNZENDE INFORMATIONEN AUSSERHALB DES LEBENSZYKLUS DES BAUWERKS | | |
| A1 - A3 HERSTELLUNGSPHASE | | | A4 - A5 BAUPHASE | | B1 - B7 NUTZUNGSPHASE | | | | | | | C1 - C4 ENTSORGUNGSPHASE | | | | D | |
| A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | C1 | C2 | C3 | C4 | D | |
| Rohtorbereitung | Transport | Herstellung | Transport | Bau-/Einbauprozess | Nutzung | Instandhaltung | Reparatur | Ersatz ¹ | Umbau/Erneuerung | betrieblicher Energieeinsatz | betrieblicher Wassereinsatz | Rückbau, Abriss | Transport | Abfallbehandlung | Deponierung | Vorteile und Belastungen ausserhalb der Systemgrenze | |
| | | | Szenario | Szenario | Szenario | Szenario | Szenario | Szenario | Szenario | Szenario | Szenario | Szenario | Szenario | Szenario | Szenario | Szenario | Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recycling-Potenzial |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| von der Wiege bis zum Werkstor mit den Modulen C1-C4 und Modul D | Pflicht | Pflicht | Pflicht | | | | | | | | | | | | | | Pflicht |
| von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen, den Modulen C1-C4 und Modul D | Pflicht | Pflicht | Pflicht | optional | optional | optional | optional | optional | optional | optional | optional | Pflicht | Pflicht | Pflicht | Pflicht | | Pflicht |
| von der Wiege bis zur Bahre und Modul D | Pflicht | Pflicht | Pflicht | Pflicht | Pflicht | Pflicht | Pflicht | Pflicht | Pflicht | Pflicht | Pflicht | Pflicht | Pflicht | Pflicht | Pflicht | | Pflicht |
| von der Wiege bis zum Werkstor ² | Pflicht | Pflicht | Pflicht | | | | | | | | | | | | | | |
| von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen ² | Pflicht | Pflicht | Pflicht | optional | optional | | | | | | | | | | | | |

Aus der Wahl der UPD-Art für eine Bilanzierung ergibt sich, welche IM in *Bild 3.2* deklariert werden müssen (Pflicht), welche „optional“ betrachtet und welche weggelassen (leer) werden können. IM, die nur beschrieben, aber nicht quantifiziert werden, werden als „Szenario“ deklariert.

Hinsichtlich der festzulegenden Systemgrenzen unterscheidet man fünf ökobilanzbasierte *UPD-Arten*:

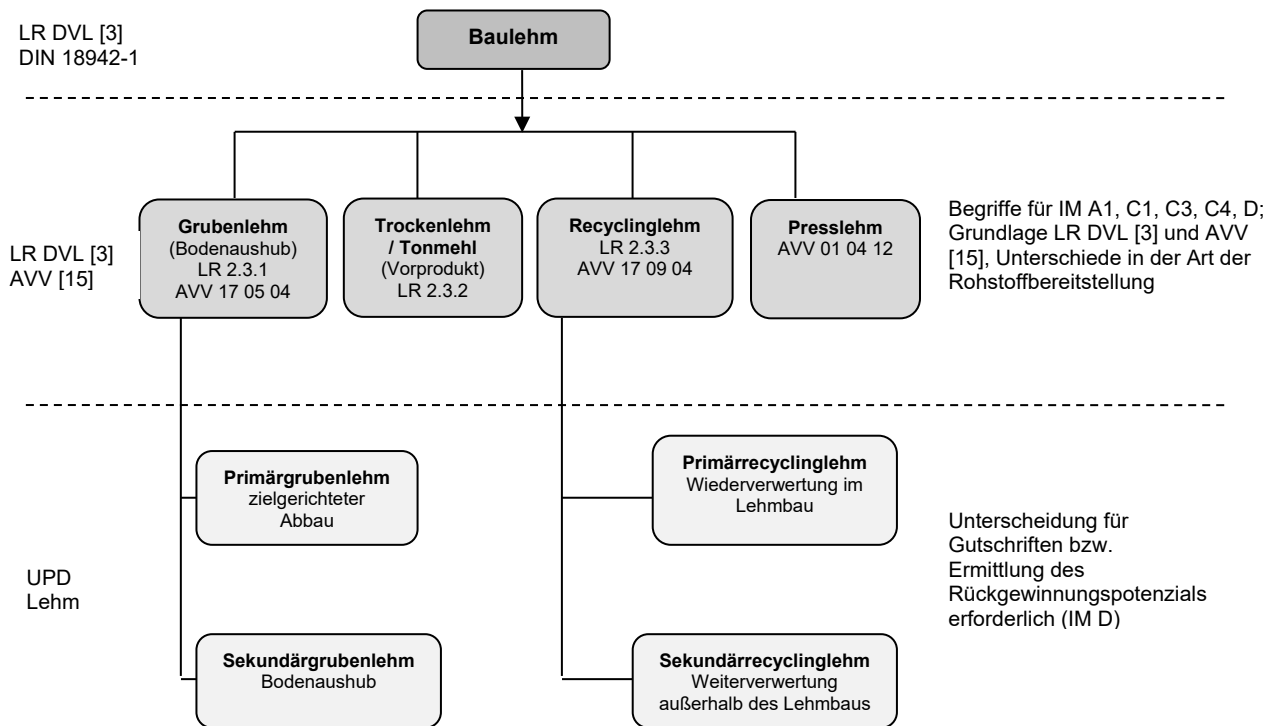
1. von der Wiege bis zum Werkstor (IM A1 – A3) mit den Modulen C1 – C4 und D,
2. von der Wiege bis zum Werkstor (IM A1 – A3) mit den Modulen C1 – C4, D, weitere IM optional,
3. von der Wiege bis zur Bahre (IM A1 – C4) und IM D,
4. von der Wiege bis zum Werkstor (IM A1 – A3, Herstellungsphase),
5. von der Wiege bis zum Werkstor (IM A1 – A3) mit Optionen (IM A4 – A5, Bauphase).

Für die UPD-Arten 1 – 3 ist die Berücksichtigung der Entsorgungsphase (IM C1 – C4) sowie des IM D (Vorteile / Belastungen außerhalb der Systemgrenzen, z. B. Recyclingpotenzial) verpflichtend. Die UPD-Arten 4 und 5 dürfen nur angewendet werden, wenn das Weglassen der IM C1 – C4 und D begründet werden kann, z. B. wenn das Produkt während des Einbaus mit anderen Produkten so verbunden wird, dass es bei der Entsorgung nicht mehr getrennt werden kann oder das Produkt keinen biogenen Kohlenstoff enthält.

3.2.1.5 Lehmstoffspezifische Aspekte

Baulehm ist zur Herstellung von Lehmstoffen geeigneter Lehm, der aus einem Gemisch aus schluffigen, sandigen bis kiesigen Gesteinskörnungen und bindekräftigen Tonmineralien besteht. Für den IM A1 „Rohstoffbereitstellung“ wird Baulehm nach *Bild 3.3* in vier Kategorien klassifiziert: Grubenlehm, Trockenlehm/ Tonmehl, Recyclinglehm und Presslehm.

Bild 3.3 Klassifizierung des Begriffes „Baulehm“ gem. LR DVL [3], AVV [15] und UPD Lehm



Grubenlehm ist erdfeucht dem geologisch „gewachsenen“ Boden entnommener natürlicher Primärrohstoff [2] mit unterschiedlicher granulometrischer und schwankender mineralogischer Zusammensetzung (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaCO_3). Dadurch können sich je nach Lehmvorkommen unterschiedliche plastische Eigenschaften während der Aufbereitung, Verarbeitung und Austrocknung (mager / fett) sowie Farben des Endprodukts ausbilden.

Primärgrubenlehm wird zielgerichtet für die Herstellung von Lehmstoffen abgebaut. Durch Gewinnungstechnik verursachter Aufwand wird dem IM A1 zugerechnet („Verursacherprinzip“).

Sekundärgrubenlehm fällt bei Tiefbauarbeiten als Bodenaushub (AVV Nr. 17 05 04 [15]) an, kann als Sekundärrohstoff weiterverwertet werden und reduziert das Aufkommen an Bauabfällen. Er verliert damit seine Abfalleigenschaft, tritt in ein neues Produktsystem über und erfährt dort eine Aufwertung (Upcycling). Durch Gewinnungstechnik verursachter Aufwand wird deshalb bei der Berechnung der Ökobilanz nicht in Ansatz gebracht (IM A1).

Trockenlehm ist getrockneter, ggf. gemahlener Grubenlehm. *Tonmehl* ist natürlicher, getrockneter, ggf. gemahlener Ton. Tonmehl und Trockenlehm sind Vorprodukte mit einem eigenen generischen Datensatz in der ÖKOBAUDAT [18] (Lehmpulver 1.1.04). Beide Produkte können zur Erhöhung der Bindekraft von mageren Baulehmen verwendet werden.

Presslehm ist ein bei der Kiesgewinnung anfallendes Abfallprodukt, das beim „Aufsuchen, Ausbeuten und Gewinnen sowie bei der chemischen / physikalischen Behandlung von Bodenschätzen“ anfällt und mit einer eigenen AVV-Schlüsselnummer 01 04 12 klassifiziert werden kann [15]. Er wird als Kies-Wasch-Schlamm in Silos oder Becken aufgefangen [19] (*Bild 3.4.1*) und enthält die für die Betonindustrie nicht nutzbaren Feinkörnungen Schluff, Ton und Feinsand. Der nach Entwässerung zurückbleibende Filterkuchen besitzt noch einen hohen Wassergehalt, der mittels Kammer- / Membranfilterpressen auf eine Restfeuchte von 15 – 20 % erheblich reduziert wird [19] (*Bild 3.4.2*). Tensid-haltige Presslehme sollen von einer Weiterverwertung als Baulehm ausgeschlossen werden.

Bild 3.4.1(links) Einleiten des Kies-Wasch-Schlammes

Bild 3.4.2 (rechts) Presslehm nach Behandlung des Schlammes in Kammerfilterpresse [19]



Recyclinglehm ist nach LR [3] aus Abbruchbauteilen trocken zerkleinerter, zurückgewonnener Lehmbaumstoff. Er liegt i. d. R. als Bestandteil von Baumischabfall (Bauschutt / Baustellenabfälle, AVV 17 01 07 / 17 09 04 [15]) vor und muss durch geeignete Trennverfahren für eine Wieder- bzw. Weiterverwertung separiert werden (*Bild 3.5, Materialrecycling*).

Wie Sekundärgrubenlehm den Verbrauch natürlich gewachsener Primärrohstoffe verringert, reduziert Recyclinglehm das Aufkommen an Bauabfällen. Bei der Berechnung der Ökobilanz wird die Verwendung von Recyclinglehm dem Einsatz von Primärgrubenlehm gegenübergestellt und im Modul D ein möglicher „ökologischer Gewinn“ als Rückgewinnungspotenzial ausgewiesen.

Bauabfälle sind alle im Zusammenhang mit der Errichtung, dem Umbau / Renovierung und dem Abbruch von Bauwerken entstehenden Abfälle [20]. Eine eigene Abfallkategorie „Lehm“ besteht im AVV [15] bislang nicht. Lehmhaltige Bauabfälle werden deshalb als Unterarten „Bodenaushub / Bauschutt / Baustellenabfälle“ im AVV klassifiziert (Nr. 17 05 04 / 17 01 07 / 17 09 04).

Recycling ist allgemein definiert als „erneute Verwendung oder Verwertung von Produkten sowie Werkstoffen in Form von Kreisläufen“ [21]. Im Bauwesen unterscheidet man in Produkt- und Materialrecycling, in Abhängigkeit von der Beibehaltung der ursprünglichen Produktgestalt [20] (*Bild 3.5*).

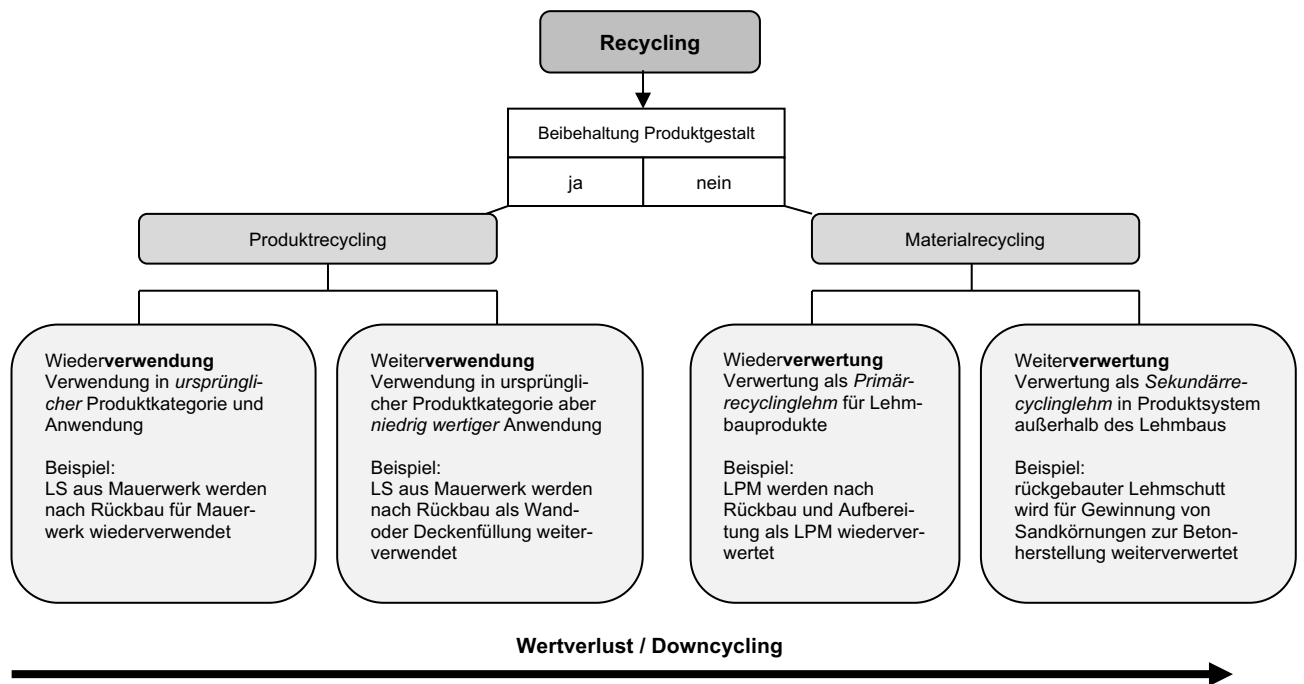
Produktrecycling bedeutet die Wieder- / Weiterverwendung von Baustoffen / Bauteilen in ihrer ursprünglichen Gestalt und i. d. R. für die ursprüngliche Verwendung. Dazu erforderlich ist ein selektiver Rückbau, um sortenreine / unbeschädigte Produkte / Bauteile zu erhalten, gefolgt von den Teilprozessen Zwischenlagerung, Säuberung und ggf. Reparatur.

Materialrecycling ist die Wieder- / Weiterverwertung von Baustoffen / Bauteilen nach Auflösung ihrer ursprünglichen Gestalt. Die Verwertung kann anschließend im ursprünglichen Produktsystem (Primärrecyclinglehm) oder in einem anderen Produktsystem erfolgen (Sekundärrecyclinglehm).

*Primärrecycling*lehm wird zielgerichtet als Baulehm wiederverwertet. *Sekundärrecycling*lehm wird für einen Produktionsprozess außerhalb des Lehmbaus weiterverwertet, z. B. die Separierung von Kies- und Sandfraktionen für eine mögliche Betonproduktion („urban mining“, Bild 3.5).

Die *Wiederverwendung* ist die direkteste Form des Recyclings mit geringstem Aufwand und größtem Werterhalt. Über die vier Recyclingformen Wiederverwendung bis Weiterverwertung tritt ein Wertverlust im Vergleich zum Ausgangsprodukt / -material ein (*Downcycling*) (Bild 3.5).

Bild 3.5 Recycling von Lehmbaumstoffen / Lehmbaumteilen, Begriffe



Die in Bild 3.5 dargestellten lehmbauspezifischen Aspekte haben Auswirkungen auf die Phasen C und D:

Die Entsorgungsphase C wird in Bezug auf zwei Eigenschaften betrachtet: die Recyclingfähigkeit und die Entsorgungseigenschaften des (Bau)produktes. Der bzgl. der Nachhaltigkeit ideale Baustoff ist recyclebar (Bild 3.5, Beispiele). Dies setzt die Separierbarkeit der ursprünglichen Baustoffzusammensetzung (z. B. Sand, Lehm), der verbundenen Bauteilschichten und deren Einbindung in Stoffkreisläufe voraus. Die Separierbarkeit von Bauteilschichten erfordert geeignete Verbindungstechniken bei betriebswirtschaftlich akzeptablem Arbeitsaufwand für die Trennung.

Lehmbaumstoffe, die nicht betriebswirtschaftlich recyclebar sind, können energetisch verwertet (organische Fasern) oder in Deponien eingebaut werden (Entsorgung). Gemäß Kreislaufwirtschafts- u. Abfallgesetz (KrW-/AbfG) [22] besitzt die Verwertung von Abfällen Vorrang vor deren Entsorgung. Der Recyclingfähigkeit von Bauprodukten stehen oft wirtschaftliche / bauphysikalische Anforderungen entgegen. So ist eine sortenreine Trennung von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) durch den unlösbaren (verklebten) Verbund Tragschicht – Dämmstoffschicht – Außenputz mit Armierungsgebe mit vertretbarem Arbeitsaufwand i. d. R. nicht möglich. Die Bilanzierung der Entsorgungsphase ist derzeit wegen der mangelnden Situation der entsprechenden Daten schwierig.

Vor einer Bilanzierung im IM A1 müssen die vier Baulehmkategorien hinsichtlich der Art ihrer Bereitstellung klassifiziert werden (Tab. 3.2). Dabei sind vertragsrechtliche Aspekte bzgl. Bereitstellung / Verwertung / Entsorgung zu beachten, um die weitere Verwertung rechtssicher regeln zu können [15].

Bereitstellung / Verwertung / Entsorgung zu beachten, um die weitere Verwertung rechtssicher regeln zu können [15].

Tab. 3.2 Arten der Ausgangsstoffe für die Herstellung von Lehmbaustoffen

| Art der Ausgangsstoffe | Baulehm | | | | | |
|------------------------|------------|-----------|-----------------------|---------------|-----------|-----------|
| | Grubenlehm | | Trockenlehm / Tonmehl | Recyclinglehm | | Presslehm |
| | Primär~ | Sekundär~ | | Primär~ | Sekundär~ | |
| Rohstoff | X | X | | | | |
| Recyclingmaterial | | | | X | X | |
| Vorprodukt | | | X | | | |
| Bauabfall | | X | | | X | X |

3.2.2 Verfahrensgrundlagen

Die Festlegung und Dokumentation der Verfahrensgrundlagen kann die angestrebte Untersuchung übersichtlicher gestalten und durch den Wegfall nicht relevanter In- und Outputströme (z. B. Errichtung von Produktionsstätten, menschliche Arbeitskraft, Einrichtung und Verhalten der Infrastruktur) komprimieren und dadurch die Bearbeitung erleichtern. Diese *Abschneidekriterien* müssen beschrieben werden.

Werden im betrachteten System mehr als ein Produkt erzeugt, können z. B. die Primärenergiewerte auf Teilprodukte des Systems durch ein *Allokationsverfahren* verteilt werden.

3.2.3 Datenanforderungen

Es müssen aktuelle Daten (letztes update < 10 Jahre) als Grundlage zur Berechnung der Ökobilanz verwendet werden. Die Anforderungen hinsichtlich der Qualität der Daten (Genauigkeit, Vollständigkeit, Repräsentativität, „worst case“) sind in DIN EN ISO 14040 / DIN EN 15804 festgelegt. Die Datenquellen der Bilanz und die Dokumentation der verwendeten Datenbasis in Bezug auf die Vorstufen, wie Vorprodukte (Tab. 3.2) etc. müssen benannt werden. Können Werte oder Daten nicht genau angegeben werden (Abschätzungen, Ersatzwerte), müssen diese als solche ausgewiesen und begründet werden.

4 SACHBILANZ

Die Sachbilanz (LCI) nach DIN EN ISO 14040 / DIN EN 15804 zur Quantifizierung der In- und Outputströme eines Produktsystems umfasst die Datenerhebung und das Berechnungsverfahren. Die Inputs beziehen sich dabei i. d. R. auf die zugehörigen Ressourcen (unverknüpft: Naturstoffe, Naturraum; verknüpft: Vorprodukte, Hilfs- u. Betriebsstoffe, Energieträger, Strom), die Outputs auf die entsprechenden Emissionen des Systems (unverknüpft: Emissionen in Luft, Wasser u. Boden; verknüpft: Nebenprodukte, Abfälle).

Die Erstellung der Sachbilanz ist ein iterativer Prozess. Die verwendeten Datensätze können auch während der Untersuchung verändert werden, wenn sich neue Datenanforderungen oder Einschränkungen ergeben haben. Damit besteht die Möglichkeit, Sachverhalte in die Studie einzubeziehen, die ggf. eine Änderung der Zielsetzung / des Untersuchungsrahmens zur Folge haben.

4.1 Datenerhebung

Vor der Datenaufnahme müssen die erforderlichen Regeln zur Datenverrechnung und Bilanzerstellung definiert werden. Dies betrifft insbesondere Kategorien wie Recyclingbehandlung, Einsatz von Sekundärroh- und Brennstoffen, die Betrachtung von Koppel- und Nebenprodukten sowie die Festlegung entsprechender Verteilungsregeln (Allokation). Diese Kategorien können auf unterschiedliche Weise in die Bilanz eingehen und diese beeinflussen.

Zu unterscheiden sind zwei Arten von Modulen oder Prozessen:

- Module zur Beschreibung produkt- und produktionsspezifischer Prozesse (Vordergrunddaten)
- Basismodule (Hintergrunddaten / generische Daten).

Die Abbildung der zentralen Produktionsprozesse bilanzierter Betriebe durch modulare Gliederung ist aufgrund der aus erster Hand verfügbaren Informationen (Vordergrunddaten) unproblematisch. Schwieriger gestaltet sich die Erhebung der Daten außerhalb bilanzierter Betriebe und wenn sich die Zahl der Vorprodukte aufgrund von vielen Vorketten als kompliziert erweist.

Die erhobenen Daten für die Sachbilanz bilden die Grundlage für die Abschätzung der Umweltwirkungen. Sie werden in Tabellen nach DIN EN 15942 dargestellt, in denen alle In- und Outputs, bezogen auf die funktionale Einheit, in standardisierter Form aufgelistet sind. Bei bestehenden relevanten Datenlücken in den Vorder- und Hintergrunddaten, die einen Indikator nicht zuverlässig ausweisen können, ist dieser in den entsprechenden Tabellen mit „MND“ (Indikator nicht deklariert) auszuweisen. Die Angabe „0“ ist zu unzulässig, wenn es sich nicht um einen berechneten Wert „0“ handelt oder der Wert unter die Abschneidekriterien fällt.

Die Datenerhebung für die Muster-UPD LPM [13] wurde durch den Programmbetreiber DVL in Form von geeigneter Fragebögen zu Input- und Outputfaktoren durchgeführt, die den teilnehmenden Produktherstellern übergeben wurden. Dadurch wurde die Zusammenstellung der Daten zur Sachbilanz erleichtert.

Falls die Daten als nicht bereits erhobene, skalierte und auf die jeweilige Situation angepasste Daten in einer Modellierung oder Datenbank vorliegen (generische / Hintergrunddaten), steigt der Aufwand der Datenerhebung enorm an. Entsprechende Datensätze für Trockenlehm (1.1.04), LPM (1.4.04) und LS / LP (1.3.17) liegen im Softwaresystem ÖKOBAUDAT des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) [18] unter den genannten Schlüsselnummern vor und werden in den jeweiligen PKR Lehm als Beispiele angeführt.

Die Wahl des Entsorgungsverfahrens, z. B. für die Verpackungen, oder eines Entsorgungsszenarios hat sich am aktuellen Stand der Technik zu orientieren. Die bilanzierten Entsorgungsverfahren sind zu dokumentieren.

Bei der Verwendung von Restmaterial in der Herstellung ist die aktuelle werkspezifische Situation anzusetzen. Die Systemgrenze von Restmaterial ist beim Einsammeln zu ziehen. Intern wieder eingesetzte Produktionsabfälle werden als „closed-loop“-Recycling modelliert (Beispiel: Wiederverwendung von erhärtetem LMM / LPM, Lehmsteinbruch).

Parallel dazu kann im Modul D ein Recyclingpotenzial dargestellt werden, das die Funktionalität des Produkts nach einer Aufbereitung (Rezyklat) widerspiegelt und durch den ökonomischen Wert (des Rezyklats) im Vergleich zum Primärmaterial ausgedrückt wird. Der für die aktuelle Sekundärproduktion benötigte Produktanteil ist davor abzuziehen.

Für Lehmbaustoffe werden Wiederverwendungs- bzw. Wiederverwertungsszenarien beschrieben und auf ihre Praxistauglichkeit zumindest im Labormaßstab überprüft [23][24][25]. Es werden

Verwendungs- und Verwertungspotenziale erwartet, die jedoch noch unter Praxisbedingungen technologisch und betriebswirtschaftlich bewertet werden müssen.

4.2 Allokationen von Stoffflüssen und Emissionen

Betriebsabläufe bringen meist mehr als ein Produkt hervor, wobei die Co-Produkte nicht Gegenstand der Betrachtung sind. Die Allokation erfolgt auf der Basis einer physikalischen Zuordnung der Stoffströme. Ggf. werden die Umweltauswirkungen, die mit den Inputs verknüpft sind, entsprechend der Art verteilt, wie sie den folgenden Produktionsprozess beeinflussen.

Die Inputströme, die in Form von Ausgangsstoffen, Vorprodukten, Hilfs- und Betriebsstoffen in die Bilanzierung eingehen, müssen mit den dazugehörigen Vorstufen verknüpft werden. So sind z. B. beim Heizöl nicht nur die infolge des Prozesses entstandenen Emissionen, sondern auch die Emissionen im Zuge der Bereitstellung von Ausgangsstoffen, Aufbereitung und Herstellung zu erfassen. Bei dem Vorprodukt „Trockenlehm“ müssen die erheblichen Energieaufwendungen für Trocknungsprozesse als „Input“ in das betrachtete System berücksichtigt werden.

Bodenaushub ist ein in das betrachtete Produktsystem „importierter“ Abfallstoff aus einem anderen Prozesszyklus, der bei Eintritt in das untersuchte System seine Abfalleigenschaft verliert (Beispiel: Sekundärgrubenlehm, der beim Tonabbau für die Ziegelherstellung anfällt (*Bild 3.3*). Die Verwendung von Bodenaushub als Baulehm entspricht dem Konzept der Wiederverwertung von Abfallstoffen bei der Errichtung von Gebäuden und kann in der Wirkungskategorie „Stoffe zum Recycling MFR“ (*Tab.5.3*) entsprechend berücksichtigt werden.

Die Outputströme müssen ebenfalls mit den darauf folgenden Prozessen, z. B. dem Entsorgungsverfahren, verknüpft werden. Hinzu kommt noch die Erfassung und Verknüpfung von Umwelteinwirkungen auf Input- und Outputströme, die durch den Transport entstehen, sofern sie relevant sind.

Der Gehalt an biogenem Kohlenstoff quantifiziert dessen Menge in einem Bauprodukt, das das Werkstor verlässt. Er ist für das Produkt und die zugehörigen Verpackungen gesondert anzugeben. Wenn die Gesamtmasse der biogenen kohlenstoffhaltigen Materialien weniger als 5 % der Gesamtmasse des Produkts und der zugehörigen Verpackungen beträgt, kann auf die Angabe des biogenen Kohlenstoffgehaltes verzichtet werden. Die Masse der Verpackungen, die Kohlenstoff enthalten, ist immer anzugeben (1 kg biogener Kohlenstoff entspricht 44/12 kg CO₂ Äq., DIN EN 15804, Tab. 9 oder 1 kg C entspricht in der Umweltwirkung 3,67 kg CO₂äquiv.).

Im Modul D (*Bild 3.2*) werden potenzielle Lasten und Gutschriften von Sekundärstoffen deklariert, die das Produktsystem verlassen. Mit Modul D wird das Konzept der Wiederverwertung als Primärrecyclinglehm im Lehm- oder die Weiterverwertung von aus Lehmbaustoffen rückgewonnener Rohstoffe (Sekundärrecyclinglehm) gewürdigt (*Bild 3.3*). Dabei werden die potenziellen Gutschriften für den zukünftig vermiedenen Einsatz von Primärstoffen und –brennstoffen dargestellt. Die Lasten, die durch die Rückgewinnung, Aufbereitung oder Behandlung je nach Verfahrensart jenseits der Systemgrenze verursacht werden, müssen dabei berücksichtigt werden.

5 WIRKUNGSABSCHÄTZUNG

Die Wirkungsabschätzung (LCIA) innerhalb einer Ökobilanz verfolgt das Ziel, die aus der Sachbilanz gewonnenen Ergebnisse hinsichtlich ihrer potenziellen Umwelteinwirkungen zu analysieren. Dabei wird die potenzielle Umwelteinwirkung, wie z. B. die Klimaveränderung oder der Ozonabbau

untersucht, die in einer bestimmten Zeit, meist während des gesamten Lebenszyklus, von den vorliegenden In- und Outputströmen verursacht wird.

Die Bestandteile der Wirkungsabschätzung einer Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040 sind:

- a) Auswahl der Wirkungskategorien / -indikatoren,
- b) Zuordnung der Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung),
- c) Berechnung der Wirkungsindikatorwerte (Charakterisierung),
- d) Normierung (Berechnung des Betrages der Wirkungsindikatorwerte im Verhältnis zu einem oder mehreren Referenzwerten),
- e) Gewichtung,
- f) Analyse der Datenqualität.

Die Aspekte a) bis c) bilden den obligatorischen, d) bis f) den optionalen Teil der Wirkungsabschätzung.

5.1 Auswahl der Wirkungskategorien

Bei der Zusammenstellung der generischen Datensätze nach ÖKOBAUDAT [18] können nur die dort verfügbaren Angaben genutzt werden. Mit Ablauf der Geltungsdauer der aktuell vorliegenden Datensätze sind Anpassungen an den aktuell gültigen normativen Zustand zu erwarten. In das vorliegende Dokument „Teil 2“, *Tab. 5.1* wurden die Kernindikatoren gemäß der aktuellen Fassung DIN EN 15804:2020-03 übernommen.

Die Angabe der Zahlenwerte in den *Tab. 5.1 – 5.4* ist mit drei gültigen Stellen anzugeben und kann ggf. in exponentieller Darstellung erfolgen. Je Wirkungsindikator sollte ein einheitliches Zahlenformat gewählt werden. Werden mehrere IM nicht deklariert bzw. aus der Ergebnistabelle gelöscht, können die Abkürzungen für die Umweltindikatoren durch die vollständigen Namen ersetzt werden. Dabei muss die Lesbarkeit und Übersichtlichkeit gewahrt bleiben.

5.1.1 Indikatoren der Umweltwirkung

Die Parameter zur Beschreibung der Umweltwirkungen werden gemäß DIN EN 15804, *Tab. 3* festgelegt (*Tab. 5.1*). Sie sind aus der Sachbilanz zu errechnen und auf die deklarierte Einheit bezogen darzustellen. „Treibhausgas“ [CO₂-Äq.] steht in *Tab. 5.1* für die Summenformel eines Gasgemisches, das neben CO₂ als dominanter Größe vor allem auch Methan CH₄, Distickstoffmonoxid N₂O (Lachgas), Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW, FKW) und Schwefelhexafluorid SF₆ enthält.

Tab. 5.1 Kernindikatoren zur Beschreibung der Umweltwirkungen nach DIN EN 15804:2020-03

| Nr. | Indikator | Symbol | Einheit | Globale Umweltwirkungen (Wirkungskategorie) |
|-----|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--|
| 1 | Treibhauspotenzial, THP gesamt | GWP-ges. (Global Warming Potential) | kg CO ₂ Äq. | <i>gibt an, wie viel eine festgelegte Menge eines „Treibhausgases“ zum Treibhauseffekt beiträgt. Dieser bewirkt, dass die von der Erde abgestrahlte Infrarotstrahlung reflektiert und teilweise wieder zur Erde zurückgestrahlt wird. Die erhöhte Konzentration an Treibhausgasen führt zu einer verstärkten Reflexion, die eine globale Erwärmung der Erdoberfläche mit sich bringt (Klimawandel). Vergleichsgröße ist CO₂ mit dem Potenzial 1 bezogen auf 20/50/100 Jahre Verweildauer in der Atmosphäre. CO₂ ist selbst ein wesentlicher Verursacher des Treibhauseffekts und somit der Erderwärmung.</i> |
| 1.1 | THP fossil | GWP-fossil | | GWP-ges. = GWP-fossil + GWP-biogen + GWP-luluc. <i>Treibhausgaspotenzial fossiler Energieträger und Stoffe (DIN EN 15804, C.2.3)</i> |
| 1.2 | THP biogen | GWP-biogen | | <i>Treibhauspotenzial biogen (DIN EN 15804, C.2.4)</i> |
| 1.3 | THP luluc | GWP-luluc | | <i>Treibhauspotenzial der Landnutzung u. Landnutzungsänderung (engl.: luluc: land use and land use change); kann entfallen, wenn der Beitrag</i> |

| | | | | |
|-----|---|---|--|---|
| | | | | GWP-luluc < 5 % v. GWP-ges. über die deklarierten Module mit Ausnahme v. IM D ausmacht (DIN EN 15804, C.2.5) |
| 2 | Ozon-schichtabbau potenzial | ODP (Ozone Depletion Potential) | kg CFC-11-Äq. | fasst die Wirkung verschiedener ozonzerstörender Gase zusammen. Bezugsgröße ist das FCKW 11 (Trichlorfluormethan, CCl ₃ F). Der Sauerstoff wird in der Stratosphäre mit aggressivem UV-Licht bestrahlt, wobei als Reaktionsprodukt das Ozon O ₃ entsteht. Durch dieses natürliche Phänomen erreicht nur ein geringer Teil der UV-Strahlung die Erdoberfläche. Ozon ist der Absorber der UV-Strahlung und übernimmt somit eine Schutzfunktion für das Leben auf der Erde. Bei Reduzierung der Ozonschicht (Ozonabbau) kommt es zu einer stärkeren Durchdringung von UV-Strahlung, verbunden mit einer erhöhten Zahl von Erkrankungen an Hautkrebs und grauem Star. Seit 1995 ist deshalb die Produktion und Verwendung von FCKW in der EU verboten. |
| 3 | Versauerungspotenzial | AP (Acidification Potential) | mol H ⁺ -äquiv. (bisher SO ₂ -Äq.) | gibt die Erhöhung der Konzentration von H ⁺ -Ionen in Luft, Wasser und Boden an. S- u. N-Verbindungen aus anthropogen verursachten Emissionen reagieren in der Luft zu H ₂ SO ₄ u. HNO ₃ , die als saurer Regen zur Erde fallen. Durch die Umwandlung dieser Luftschadstoffe zu Säuren sinkt (versauert) der ph-Wert des Niederschlags. Die Folge ist eine Versauerung von Böden und Gewässern . Sekundäre Folgen an Gebäuden sind Korrosion von Stahl, Zersetzung von Naturstein, Beton und Lehm. Das AP setzt alle Substanzen, die zu einer Versauerung führen, in das Verhältnis zur Wirksamkeit von SO ₂ . Mit der Version DIN EN 15804:2020-03 gilt als Bezugseinheit [mol H ⁺ -äquiv.]. |
| 4.1 | Überdüngungs- / Eutrophierungspotenzial | EP-Süßwasser (Eutrophication Potential) | kg PO ₄ ³⁻ -Äq. | fasst die in das Süßwasser gelangende Substanzen (Nährstoffanteile P, N) im Vergleich zur PO ₄ ³⁻ -Wirkung zusammen. Eine Überdüngung kann zur Anreicherung humantoxischer Stoffe im Grund- und Trinkwasser und in Böden führen. Beispiele sind verstärkte Algenbildung in Gewässern und bei Reaktion zu Nitrit schwerwiegende toxische Folgen für die menschliche Gesundheit . |
| 4.2 | Überdüngungs- / Eutrophierungspotenzial | EP-Salzwasser | kg N-Äq. | fasst die in das Salzwasser gelangenden Substanzen (Nährstoffanteile P, N) im Vergleich zur N-Wirkung zusammen. Eine Überdüngung kann zur Anreicherung humantoxischer Stoffe im Salzwasser führen. Beispiele für Auswirkungen der Überdüngung / Pflanzenschutz sind Fischsterben oder bei Reaktion zu Nitrit schwerwiegende toxische Folgen für die menschliche Gesundheit . |
| 4.3 | Überdüngungs- / Eutrophierungspotenzial | EP-Land | mol N-Äq., | fasst in den Boden gelangende Substanzen (Nährstoffanteile N, P) im Vergleich zur N-Wirkung zusammen. Eine Überdüngung kann zur Anreicherung humantoxischer Stoffe in Böden führen. Beispiele für Auswirkungen der Überdüngung / Pflanzenschutz sind bei Reaktion zu Nitrit schwerwiegende toxische Folgen für die menschliche Gesundheit . Angabe als kumulierte Überschreitung. |
| 5 | Photochemisches Ozonbildungspotenzial | POCP (Photochemical Oxidant Creation Potential) | kg NM VOC-Äq. | wird auf die Wirkung von flüchtigen org. Verbindungen ohne Methan (NMVOC= Non-methane Volatile Organic Compounds) bezogen. Durch intensive Sonneneinstrahlung entstehen aus Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen aggressive Reaktionsprodukte, insbesondere Ozon. Photochemische bodennahe Ozonbildung (sog. Sommersmog) kann Vegetations- und Materialschäden hervorrufen. Höhere Konzentrationen von Ozon sind humantoxisch. |
| 6.1 | Verknappung von abiotischen Ressourcen - Mineralien u. Metalle ¹ | ADPE, Stoffe (Abiotic Depletion Potential - Elements) | kg Sb Äq. | Schonung begrenzter Rohstoffvorkommen, Verknappungspotenzial abiot. Stoffe: Mineralien und Metalle, die alle nicht erneuerbaren, abiotischen stofflichen Ressourcen (d. h. außer fossilen ET) umfassen |
| 6.2 | dito - fossile ET ¹ | ADPF, fossile ET | MJ, unterer HW ⁹⁾ | Schonung begrenzter fossiler ET, Verknappungspotenzial abiot. Stoffe: alle fossile ET und Uran; (ADPF: Abiotic Depletion Potential - Elements - Fuels) |
| 7 | Wassernutzung ¹ | WDP | m ³ , Welt-Äq. entzogen | Wasser-Entzugspotenzial (Benutzer), entzugsgewichteter Wasserverbrauch (WDP: Water Deprivation Potential) |

¹Einschränkungshinweis: begrenzte Erfahrungen, Unsicherheiten groß

Tab. 5.2 enthält zusätzliche Umweltwirkungsindikatoren gem. DIN EN 15804, Tab. 4, die bei Relevanz deklariert und in die UPD aufgenommen werden können. Nicht deklarierte Indikatoren werden mit „IND“ bezeichnet.

Tab. 5.2 Zusätzliche Umweltwirkungsindikatoren

| Nr. | Indikator | Symbol | Einheit | Umweltwirkung /Wirkungskategorie |
|-----|---|--------|-----------------|---|
| 1 | Feinstaubemission | PM | Krankheitsfälle | Potenzielles Auftreten von Krankheiten aufgrund v. Feinstaubemissionen (PM: Particulate Matter) |
| 2 | Ionisierende Strahlung, menschliche Gesundheit ² | IRP | kBq U235-Äq. | Potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit U235 (IRP: Ionizing Radiation Potential) |
| 3 | Ökotoxizität (Süßwasser) ¹ | ETP-fw | CTUe | Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für Ökosysteme (CTUe: Comparative Toxic Unit for ecosystems; ETP: Ecological Toxic Potential) |
| 4 | Humantoxizität kanzerogene Wirkungen ¹ | HTP-c | CTUh | Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen (CTUh: Comparative Toxic Unit for humans; HTP-c: Human Toxic Potential-carcinogenic) |
| 5 | Humantoxizität nicht kanzerogene Wirkungen ¹ | HTP-nc | CTUh | Potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen (HTP-nc: Human Toxic Potential-non carcinogenic) |
| 6 | Mit der Landnutzung verbundene Wirkungen / Bodenqualität ¹ | SQP | - | Potenzieller Bodenqualitätsindex (SQP: Soil Quality Index) |

¹ Einschränkungshinweis: begrenzte Erfahrungen, Unsicherheiten groß

² Einschränkungshinweis: Indikator misst die mögliche Wirkung ionisierender Strahlung auf die menschliche Gesundheit im Kernbrennstoffkreislauf, jedoch nicht die vom Boden, Radon und einigen Baustoffen ausgehende Strahlung

Angaben zu sonstigen Umweltinformationen, die verschiedene Abfallkategorien (gefährlicher Abfall, Siedlungsabfall, radioaktiver Abfall) beschreiben, nutzen Daten aus der Sachbilanz und sind gemäß DIN EN 15804, Tab. 7, Angaben zu Output-Stoffflüssen (Recycling / Weiterverwertung) gemäß DIN EN 15804, Tab. 8 vorzunehmen (hier: Tab. 5.3).

Tab. 5.3 Wirkungskategorie Anfallende Abfälle / Output Stoff- und Energieflüsse, Indikatoren zur Beschreibung der Umweltwirkungen nach DIN EN 15804

| Nr. | Indikator | Symbol | Einheit |
|-----|--------------------------------------|-------------------------------------|----------|
| 1 | Gefährliche Abfälle zur Deponierung | HWD (Hazardous waste disposed) | kg |
| 2 | Entsorgung nicht gefährlicher Abfall | NHWD (Non-hazardous waste disposed) | kg |
| 3 | Entsorgung radioaktiver Abfall | RWD (radioactive waste disposed) | kg |
| 4 | Komponenten für die Weiterverwendung | CRU (Components for reuse) | kg |
| 5 | Stoffe zum Recycling | MFR (Materials for recycling) | kg |
| 6 | Stoffe für die Energierückgewinnung | MER (Materials for energy recovery) | kg |
| 7 | Exportierte Energie | EE + Medium (Export energy) | MJ je ET |

Die Parameter in Tab. 5.3 sind Teil der zusätzlichen Informationen zur Entsorgung. Z.4 erfasst die Komponenten / Stoffe für eine Weiterverwendung / Wiederverwendung (Bild 3.5). In Z.5 werden Stoffe für eine Wiederverwertung / Weiterverwertung (Primär- bzw. Sekundärrecycling) erfasst. Stoffe, die das Gebäude als Abfall (z. B. Bauschutt) verlassen, besitzen keine Abfalleigenschaft mehr, wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

- das zurückgewonnene Material wird für bestimmte Zwecke wieder- bzw. weiterverwertet (Beispiel: Verwertung von Primärrecyclinglehm als Baulehm nach LR DVL; Tab. 5.3, Z.5),
- es besteht ein Markt, charakterisiert durch einen positiven ökonomischen Wert, für das zurückgewonnene Material oder eine Nachfrage danach (Beispiel: Verwertung von Bodenaushub als Baulehm nach LR DVL),

- das zurückgewonnene Material erfüllt die technischen Anforderungen für die bestimmten Zwecke und genügt den bestehenden Rechtsvorschriften und Normen für Erzeugnisse (z. B. DIN 18945-48),
- die Verwendung des zurückgewonnenen Materials führt nicht zu insgesamt schädlichen Umwelt- oder Gesundheitsfolgen.

Eine Entscheidungshilfe zur Bestimmung des Endes der Abfalleigenschaft bieten Anhang B, DIN 15804 (informativ).

5.1.2 Indikatoren des Ressourceneinsatzes

Die Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes (Tab. 5.4) werden gemäß DIN EN 15804, Tab. 6 festgelegt. Sie beschreiben den Einsatz erneuerbarer / nicht erneuerbarer Primärenergie (PE) und von Wasser im zu untersuchenden Produktsystem. Sie sind aus der Sachbilanz zu errechnen und auf die deklarierte Einheit bezogen darzustellen.

Tab.5.4 Indikatoren zur Beschreibung der Ressourceneinsatzes nach DIN EN 15804

| Nr. | Indikator | Symbol | Einheit | Bewertung im Hinblick auf |
|-----|---|--|------------------------------|--|
| 1 | Einsatz erneuerbarer PE – ohne die erneuerbaren PET ²⁾ , die als Rohstoffe verwendet werden | PERE (Use of renewable PE excluding renewable PER used as raw materials) | MJ, unterer HW ¹⁾ | |
| 2 | Einsatz der als Rohstoff verwendeten, erneuerbaren PET (stoffliche Nutzung) | PERM (Use of renewable PER used as raw materials) | MJ, unterer HW | |
| 3 | Gesamteinsatz erneuerbarer PE (PE + die als Rohstoff verwendeten PET) (energetische + stoffliche Nutzung) | PERT (Total use of renewable PER) | MJ, unterer HW | Erhöhung der Deckungsrate durch erneuerbare Energien |
| 4 | Einsatz nicht erneuerbarer PE ohne die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbarer PET | PENRE (Use of non-renewable PE excluding non-renewable PER used as raw materials) | MJ, unterer HW | |
| 5 | Einsatz der als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren PET (stoffliche Nutzung) | PENRM (Use of non-renewable PER used as raw materials) | MJ, unterer HW | |
| 6 | Gesamteinsatz nicht erneuerbarer PE (PE + die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbare PET) (energetische + stoffliche Nutzung) | PENRT (Total use of non-renewable PER) | MJ, unterer HW | Schonung begrenzter fossiler ET |
| 7 | Einsatz von Sekundärstoffen | SM (Use of secondary material) | kg | Einsatz wiederverwendbarer / -verwertbarer Bauprodukte |
| 8 | Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen | RSF (Use of renewable secondary fuels) | MJ, unterer HW | |
| 9 | Einsatz von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen | NRSF (Use of non-renewable secondary fuels) | MJ, unterer HW | |
| 10 | Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen | FW (Net use of fresh water) | m ³ | Schutz der Gewässer, Nutzung von Regen- oder ggf. Grauwasser |
| 11 | Flächeninanspruchnahme ³⁾ | | m ² | Minimierung der Bodenversiegelung |

1) HW – Heizwert: Energiemenge, die beim thermischen Recycling (Verbrennen) eines Stoffes frei wird

2) Primärenergieträger / PER – Primary energy resources, 3) nach Leitfaden Nachhaltiges Bauen [26]

5.1.3 Darstellung der Informationen

Die Darstellung der Informationen der Ökobilanz zu den in *Abs. 5.1.1* und *5.1.2* beschriebenen Indikatoren in einer UPD erfolgt in standardisierter Form als Informationstransfermatrix ITM gemäß DIN EN 15942.

5.2 Klassifizierung und charakteristisches Wirkungspotenzial

Nach der Auswahl der Wirkungskategorien erfolgt die *Klassifizierung*, wobei die einzelnen Sachbilanzergebnisse den jeweiligen Wirkungskategorien zugeordnet werden. Dabei muss ggf. ein Stoff mehreren Wirkungskategorien zugeordnet werden, z. B. führen Stickoxide sowohl zur Überdüngung als auch zur Versauerung von Gewässern und Böden.

Für die in *Tab. 5.1* genannten Indikatoren der Umweltwirkung wird nun das *charakteristische Wirkungspotenzial* des betrachteten Stoffes ermittelt und der zugehörigen Wirkungskategorie zugeordnet. So ist das CO₂ die maßgebende Größe des Indikators „Treibhauspotenzial GWP“ aus der Sachbilanz und der Wirkungskategorie „Klimawandel“ zuzuordnen. Die potenzielle Wirkung eines Stoffes wird in dieser Kategorie immer in das Verhältnis zum CO₂ (CO₂-Äquivalent) gesetzt und durch einen Charakterisierungsfaktor nach DIN EN 15804, Anhang C4 ausgedrückt (Beispiel: 1 kg Methan CH₄ entspricht in der Umweltwirkung 25 kg CO₂ bzw. 1 kg CFC-11 (CFCl₃) entsprechend 4.800 kg CO₂).

Die Ergebnisse aus der Klassifizierung und der Charakterisierung bilden den *verbindlichen* Teil der Wirkungsabschätzung und somit das Profil des untersuchten Produkts / -systems. Die Profile können für die Beurteilung von Produktsystemen, z. B. Außenwand oder Gebäude eingesetzt werden, wobei die Profile der Baustoffe als Vorstufe bzw. Vorprodukte dienen.

5.3 Normierung und Gewichtung

Normierung und Gewichtung sind der optionale Teil der Wirkungsabschätzung. Bei der *Normierung* wird der Betrag eines Wertes in das Verhältnis zu einem oder mehreren Referenzwerten gesetzt. Man setzt z. B. die Werte der Treibhausgase eines bestimmten Produkts / -systems ins Verhältnis zum Treibhauseffekt einer größeren Einheit wie Gebäude, Siedlung, Stadt oder Land. Daraus kann man erkennen, welche Wirkungskategorie die größten Einwirkungen auf die Umwelt ausübt. Man kann die einzelnen Wirkungskategorien auch in Gruppen (lokal, regional, global) zusammenfassen oder sie nach ihrer Relevanz innerhalb einer Studie zusammenfassen.

Bei der *Gewichtung* können einzelne Kategorien zu einer aggregiert (summiert) werden, wobei durch die Aggregation der Wert der Aussagekraft der Einzelkategorie nicht verloren gehen darf.

6 INTERPRETATION

6.1 Auswertung

Die Auswertung nach DIN EN ISO 14040, Abs. 6 fasst die Ergebnisse der Sachbilanz und die Wirkungsabschätzung zusammen. Wird nur eine Sachbilanzstudie erstellt, werden auch nur die Ergebnisse dieser Studie bewertet. Basierend auf der Zielsetzung und dem Untersuchungsrahmen, soll die Auswertung zur Erarbeitung von Schlussfolgerungen, Erläuterung von Einschränkungen und zu Empfehlungen dienen.

Die Auswertung soll den relativen Charakter einer Ökobilanz aufzeigen. Die Ergebnisse der Auswertungen haben Empfehlungscharakter.

Die Auswertung beinhaltet weiterhin eine schlüssige, übersichtliche Darstellung einer Ökobilanzstudie, die auf einzelne Prozesse, Lebensabschnitte oder den gesamten Lebenszyklus ausgerichtet sein kann.

6.2 Berichterstattung

Der *Projektbericht* nach DIN EN 15804, Abs. 8 umfasst neben allgemeinen Informationen (Auftraggeber, Berichtsdatum, Übereinstimmungserklärung) Angaben zu allen baustoffspezifischen Lebenszyklusphasen entsprechend der gewählten Art der UPD. Er muss dokumentieren, dass die auf einer Ökobilanz beruhenden Informationen, sowie die zusätzlichen Informationen einer UPD für Lehmbaumstoffe den Anforderungen der DIN EN 15804 / DIN EN ISO 14040 und den DIN zu Lehmbaumstoffen und Lehmprodukten entsprechen. Er ist nicht Teil der öffentlichen Kommunikation. Er muss dem Verifizierer unter den Bedingungen der Vertraulichkeit zugänglich sein und unterstützt die Prüfung der UPD.

7 ZITIERTE STANDARDS / LITERATURHINWEISE

E DIN 18940:2023-03: *Tragendes Lehmsteinmauerwerk – Konstruktion, Bemessung und Ausführung*

DIN 18942-1:2018-12: *Lehmbaumstoffe – Teil 1: Begriffe*

DIN 18942-100 :2018-12: *Lehmbaumstoffe – Teil 100: Konformitätsnachweis*

DIN 18945:2018-12: *Lehmsteine – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

DIN 18946:2018-12: *Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

DIN 18947:2018-12: *Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

DIN 18948:2018-12: *Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung*

DIN EN 15804:2022-03: *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte*

DIN EN 15942:2022-04: *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Kommunikationsformate zwischen den Unternehmen*

DIN EN ISO 14025:2011-10: *Umweltkennzeichnungen u. -deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen; Grundsätze u. Verfahren*

DIN EN ISO 14040:2021-02: *Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze u. Rahmenbedingungen*

DIN EN ISO 14044: 2021-02: *Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen*

DIN CEN ISO / TS 14071 (DIN SPEC 35803):2016-06: *Umweltmanagement – Ökobilanz – Prozesse der kritischen Prüfung und Kompetenzen der Prüfer: Zusätzliche Anforderungen und Anleitungen zu ISO 14044:2006*

- 1 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Allgemeine Regeln für die Erstellung von Typ III Umweltproduktdeklarationen (Teil 2)*. Weimar: 2018-03
- 2 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Allgemeine Programmanleitungen (Basisdokument)*. Weimar: 2018-03
- 3 Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.): *Lehmbau Regeln - Begriffe, Baustoffe, Bauteile*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner | GWV Fachverlage, 3., überarbeitete Aufl., 2009
- 4 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Anforderungen an Lehmputz als Bauteil*. Technische Merkblätter Lehmbau, TM 01. Weimar:2014-06, 2. Aufl.

- 5 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Qualitätsüberwachung von Baulehm als Ausgangsstoff für industriell hergestellte Lehmbaumstoffe – Richtlinie*. Technische Merkblätter Lehm bau, TM 05. Weimar:2011-06
- 6 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Lehmdünnlagenbeschichtungen – Begriffe, Anforderungen, Prüfverfahren, Deklaration*. Technische Merkblätter Lehm bau, TM 06, Weimar:2015-06
- 7 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Grundregeln für die Baustoffkategorie Lehmsteine (PKR LS)*. Weimar: 2018-03
- 8 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Grundregeln für die Baustoffkategorie Lehmmauermörtel (PKR LMM)*. Weimar: 2018-03
- 9 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Grundregeln für die Baustoffkategorie Lehmputzmörtel (PKR LPM)*. Weimar: 2018-03
- 10 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Grundregeln für die Baustoffkategorie Lehmplatten (PKR LP)*. Weimar: 2018-03
- 11 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Muster-UPD für die Baustoffkategorie Lehmsteine (UPD LS) nach DIN EN 15804*. Weimar: 2022-04
- 12 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Muster-UPD für die Baustoffkategorie Lehmmauermörtel (UPD LMM) nach DIN EN 15804*. Weimar: 2022-04
- 13 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Muster-UPD für die Baustoffkategorie Lehmputzmörtel (UPD LPM) nach DIN EN 15804*. Weimar: 2018-10
- 14 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Lehmbaumstoffe – Muster-UPD für die Baustoffkategorie Lehmplatten (UPD LP) nach DIN EN 15804*. Weimar: 2022-yy
- 15 Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung AVV) v. 10.12.2001 (BGBl. I, S.3379) letzte Fassung v. 30.06.2020 (BGBl. I, S. 1533)
- 16 Bau-EPD (Hrsg.): *Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD für die Erstellung von UPDs*. Bau-EPD GmbH, Wien 2014
- 17 Dachverband Lehm e. V. (Hrsg.): *Lehm bau Verbraucherinformation*. Dachverband Lehm e. V. Weimar 2014, 2. Aufl.
- 18 Bundesinstitut f. Bau-, Stadt- u. Raumforschung (BBSR) (Hrsg.): *ÖKOBAUDAT – Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung*. SR Zukunft Bauen | Forschung für die Praxis | Band 09, Bonn 2017, www.oekobaudat.de
- 19 Krakow, L.: *Waschschlamm als Deponiebaustoff – Ein intelligenter Beitrag zur Rohstoffeffizienz und Ressourcenschonung*. Aggregates International 03/2008, S.29 – 37
- 20 Müller, A.: *Baustoffrecycling. Entstehung – Aufbereitung – Verwertung*. Springer Vieweg: Wiesbaden 2018
- 21 Verein Deutscher Ingenieure VDI (Hrsg.): *Recyclingorientierte Produktentwicklung*. VDI-20Richtlinie 2243, Berlin: Beuth Verlag, 2002. 1. korr. Nachdruck
- 22 Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) (letzte Neufassung 24.02.2012, letzte Änderung 29.10.2020)
- 23 Sommerfeld, M.: *Umweltproduktdeklaration von Lehmbaumstoffen – Ermittlung des Rückgewinnungspotenzials*. Unveröff. Diplomarbeit, FB Bauingenieurwesen, FH Potsdam 2019
- 24 Dietzschkau, A.: *Zielgruppen für mögliche Lehmprodukte aus der Kiesgewinnung – eine praktische Marketingkonzeption*. Unveröff. Diplomarbeit, FB Wirtschaftswissenschaften / Allg. BWL, Westsächsische Hochschule Zwickau (FH), Zwickau 1998
- 25 FH Potsdam: Symposium Baustoffrecycling & Lehmbaumstoffe – Perspektiven für eine Kreislaufwirtschaft im Bauwesen, Potsdam August 2022

- 26 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMVBS) (Hrsg.): *Leitfaden Nachhaltiges Bauen*. Berlin: BMVBS, 2016, 2. aktual. Aufl.