
Teil 2

Handlungsanweisung zur Berechnung der Ökobilanz und zur Erstellung des Hintergrundberichtes für Lehmbaustoffe

Generelles

Es ist eine *Ökobilanz* nach DIN EN ISO 14040 / DIN EN 15804 für das jeweilige Produkt einzureichen, die auf plausiblen, transparent nachvollziehbaren Basisdaten beruht. Alle das Ergebnis entscheidend beeinflussenden Modellannahmen sind klar zu benennen. Die Berichtsstruktur richtet sich in Anlehnung an DIN EN 14040 nach der Struktur dieses Regeldokuments. Die Ökobilanz muss für die in der Deklaration dargestellten Produkte und den angegebenen Bezugsraum repräsentativ sein (Wardak 2015).

Der *Hintergrundbericht* ist eine systematische und umfassende Dokumentation zur Unterstützung der Prüfung der Umweltproduktdeklaration (UPD / EPD). Er muss dokumentieren, dass die auf einer Ökobilanz beruhenden Informationen, sowie die zusätzlichen Informationen einer EPD den Anforderungen der DIN EN 15804 / DIN EN ISO 14040 entsprechen.

Der Hintergrundbericht umfasst alle baustoffspezifischen Lebenszyklusphasen entsprechend der gewählten Art der EPD nach DIN EN 15804. Er ist nicht Teil der öffentlichen Kommunikation. Er muss dem Verifizierer unter den Bedingungen der Vertraulichkeit zugänglich sein.

Der Hintergrundbericht enthält neben allgemeinen Informationen (Auftraggeber, Berichtsdatum, Übereinstimmungserklärung) Angaben zu den nachfolgenden Aspekten:

1 ZIEL UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN

1.1 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 Umweltproduktdeklaration),
- der Zielgruppe (z. B. anbietende Wirtschaft, Planer und Nutzer).

Ziele einer Ökobilanzierung können sein:

- Vergleich von Bauteilkonstruktionen (Variantenvergleich),
- Produkt- u. Qualitätskontrolle hinsichtlich des angestrebten Marktsegments,
- Optimierung von Verfahrens- u. Produktionsprozessen / Schwachstellenanalysen,
- Identifizierung von Anwendungsgebieten von Baustoffen,
- begleitende Bilanzierung bei der Entwicklung neuer Baustoffe,
- Entscheidungsunterstützung beim Marketing.

Zielgruppe einer Ökobilanz sind zumeist Entscheidungsträger, die die Ergebnisse der Studie zur Optimierung eines Produkts / Prozesse verwenden können.

1.2 Untersuchungsrahmen

Der Untersuchungsrahmen beinhaltet die Systembeschreibung, die Verfahrensgrundlagen und die Anforderungen an die zu erhebenden Daten.

Systembeschreibung

Die Systembeschreibung umfasst

- das zu untersuchende Produktsystem mit seinen Funktionen,
- die funktionelle (deklarierte) Einheit,
- die Referenz-Nutzungsdauer (RSL),
- die Systemgrenze.

Die *Systembeschreibung* kann z.B. durch Flussdiagramme erfolgen, z. B. Herstellung von LS für die Baustoffindustrie.

Die *funktionelle Einheit* des vorliegenden Systems kann sich auf unterschiedliche Ebenen im Rahmen des Gesamtsystems beziehen. Handelt es sich bei dem betrachteten Produkt um einen Baustoff, kann die Funktion des Systems sowohl die Herstellung einer bestimmten Menge des Baustoffes als auch die Bereitstellung eines Bauwerks sein. In diesem Fall ist der betrachtete Baustoff mit anderen Baustoffen verknüpft und definiert eine Bauteil- oder Gebäudeebene.

Die funktionellen Einheiten für Lehmabaustoffe sind in den entsprechenden Anhängen der DIN 18945-47 für Lehmsteine, Lehmmauer- und –putzmörtel und im Technischen Merkblatt 07 des Dachverbandes Lehm e. V. (TM 07 DVL) für Lehmplatten geregelt.

Tab. 1 Funktionelle Einheiten für Lehmabaustoffe nach DIN 18945-47 und TM 07 DVL Lehmplatten

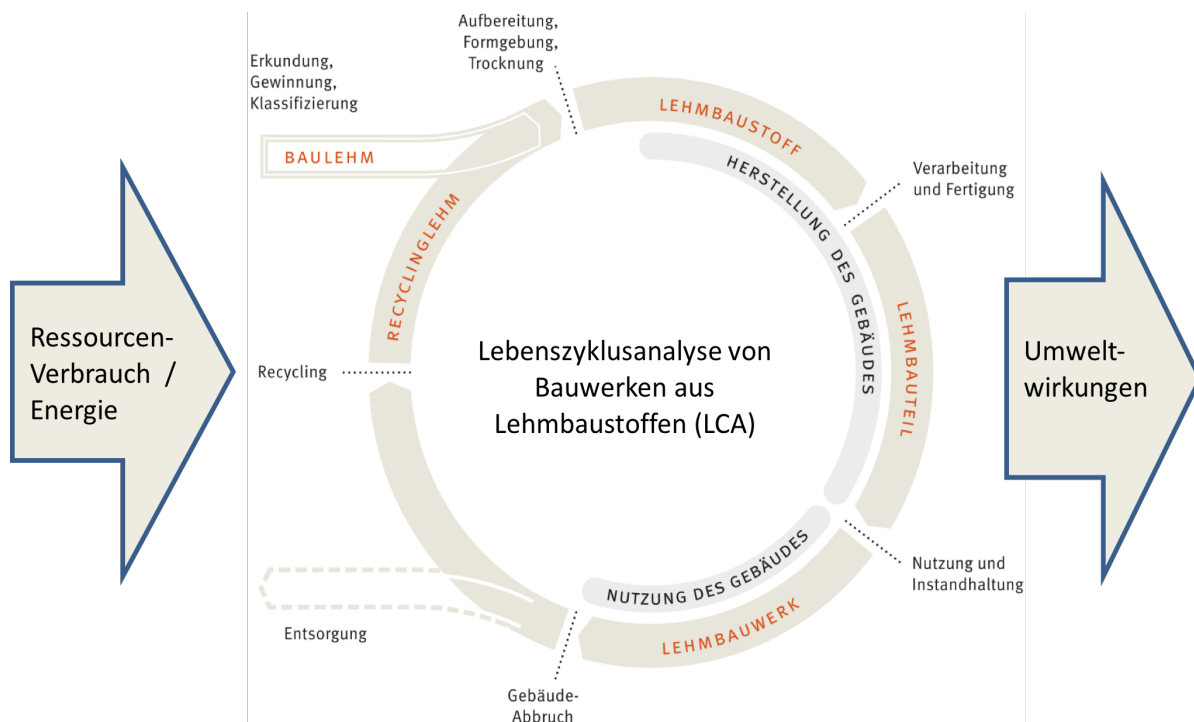
Lehmabaustoff	Funktion des Systems	Einheit	DIN / TM DVL	Anhang
Lehmstein LS	Bereitstellung einer definierten Menge Baustoff	kg LS	18945	A.2
Lehmmauermörtel LMM	Bereitstellung einer definierten Menge Baustoff	kg LMM	18946	A.1
Lehmputzmörtel LPM	Bereitstellung einer definierten Menge Baustoff	kg LPM	18947	A.3
Lehmplatte LP	Bereitstellung eines Bauteils	m ³ LP	07	A.3

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 EPD-Arten „von der Wiege bis zur Bahre mit Optionen“ und „von der Wiege bis zur Bahre“ erforderlich. Sie können dem Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD GmbH, Version 2014 entnommen werden (Beispiele: Lehmmörtel / Lehmputz: 100 Jahre; Lehmsteine: 100 Jahre; Lehmplatten: 50 Jahre). Anforderungen und Leitlinien für die Referenz-Nutzungsdauer sind in DIN 15804, Anhang A festgelegt.

Die *Systemgrenze* legt Prozessmodule fest, die die wichtigsten Elemente physischer Systeme beschreiben. So ist vorher festzulegen, ob man z. B. den Lehmstein von der Herstellung bis zur Entsorgung untersucht oder nur die Nutzungsphase betrachtet. Dabei müssen die entstandenen Aufwendungen und Einwirkungen in der Umwelt, Produktion, Logistik, Nutzung und Nachnutzung bzgl. der Datenerhebung unter gleichen Randbedingungen und Methoden erfasst werden.

Für die gesamte Lebenszyklusbetrachtung eines Baustoffs sind die Phasen Herstellung / Errichtung, Nutzung und „End of Life“ zu berücksichtigen. Der gesamte Lebenszyklus für ein Bauwerk aus Lehmabaustoffen ist in Bild 1 dargestellt (Lehmbau Verbraucherinfo DVL 2014).

Bild 1 Lebenszyklus von Bauwerken aus Lehmbaustoffen



Die Phase „End of Life“ (nach Gebäudeabbruch) wird in Bezug auf zwei Eigenschaften betrachtet: die Recyclingfähigkeit und die Entsorgungseigenschaften. Der hinsichtlich der Nachhaltigkeit ideale Baustoff ist recyclebar im Sinne einer stofflichen Wieder- / Weiterverwendung bzw. - / -verwertung. Dies setzt die Separierbarkeit der ursprünglichen Baustoffzusammensetzung (z. B. Sand, Lehm), der verbundenen Bauteilschichten, und deren Einbindung in Stoffkreisläufe voraus. Gemäß Kreislaufwirtschafts- u. Abfallgesetz (KrW-/AbfG) besitzt die Verwertung von Abfällen Vorrang vor deren Entsorgung.

Stoffe, die nicht recyclebar sind, können energetisch verwertet oder in Deponien eingebaut werden (Entsorgung). Die Separierbarkeit von Bauteilschichten setzt geeignete Verbindungstechniken bei akzeptablem Arbeitsaufwand für die Trennung voraus. Der Recyclingfähigkeit von Produktsystemen stehen oft wirtschaftliche / bauphysikalische Anforderungen entgegen. So ist eine sortenreine Trennung von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) durch den unlösbaren (verklebten) Verbund Trag-schicht – Dämmstoffschicht – Außenputz mit Armierungsgewebe mit vertretbarem Arbeitsaufwand i. d. R. nicht möglich. Die Bilanzierung der „End of Life“ - Phase ist derzeit wegen der mangelnden Situation der entsprechenden Daten sehr schwierig und bleibt deshalb innerhalb der Ökobilanzierung oft unberücksichtigt, sind aber für Lehmbaustoffe relevant und zumindest qualitativ darzulegen.

Die Phasen des Lebenszyklus mit ihren einzubeziehenden Informationsmodulen (IM) werden nach dem Schema für die Erstellung von PKR in Bild 2 gemäß DIN EN 15804 einheitlich dargestellt. Hinsichtlich der festgelegten Systemgrenzen unterscheidet man drei Arten von ökobilanzbasierten EPD:

- von der Wiege bis zum Werkstor (IM A1 – A3), keine Angabe zur Referenz-Nutzungsdauer RSL erforderlich,

- von der Wiege bis zum Werkstor mit weiteren Optionen (IM A1 – A3, weitere IM optional), Angabe zur RSL, wenn alle Szenarien gegeben sind,

- von der Wiege bis zur Bahre (IM A1 – C4) mit Angabe einer RSL des Gebäudes.

Die optionalen IM werden als Szenarien mit zusätzlichen technischen Informationen beschrieben (Beispiel: thermischer Komfort / Innenraumluft: Wasserdampfadsorption / -desorption Lehmputz, IM B1). Die Einbeziehung des IM D (Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen) ist optional.

Bild 2 Bilanzierungsschema für PKR nach DIN EN 15804

HERSTELLUNGS- PHASE			ERRICH- TUNGS- PHASE		NUTZUNGSPHASE							ENTSORGUNGS- PHASE				GUT- SCHRIFTEN UND LASTEN
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Bau / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau, Erneuerung	betrieblicher Energieeinsatz	betrieblicher Wassereinsatz	Abbruch	Transport	Abfallbewirtschaftung	Entsorgung	Wiederverwendungs- Rückgewinnungs- Recyclingpotential
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Verfahrensgrundlagen

Die richtige 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.

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) 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 etc. müssen benannt werden. Können Werte oder Daten nicht genau angegeben werden (Abschätzungen, Ersatzwerte), müssen diese als solche ausgewiesen und begründet werden.

2. SACHBILANZ

Die Sachbilanz 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) (Bild 1).

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.

2.1 Datenerhebung

Die erhobenen Daten für die Sachbilanz bilden die Grundlage für die Wirkungsabschätzung. Sie werden in Form umfangreicher Tabellen dargestellt, in denen alle Inputs und Outputs, bezogen auf die funktionelle Einheit, aufgelistet sind (Beispiel: Anhang 1, PCR Werkmörtel).

Vor der Datenaufnahme müssen die erforderlichen Regeln zur Datenverrechnung und Bilanzierung 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).

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. Falls die Daten als nicht bereits erhobene, skalierte und auf die jeweilige Situation angepasste Daten in einer Modellierung oder Datenbank vorliegen (Hintergrunddaten), steigt der Aufwand der Datenerhebung enorm an.

Nun müssen die Inputströme, die in Form von Vorprodukten, Hilfs- und Betriebsstoffen in die Bilanzierung eingehen, mit den dazugehörigen Vorstufen verknüpft werden. So müssen z.B. beim Heizöl nicht nur die infolge des Prozesses entstandenen Emissionen, sondern auch die Emissionen im Zuge der Rohstoffgewinnung, Aufbereitung und Herstellung erfasst werden.

Die Outputströme müssen ebenfalls mit den darauf folgenden Prozessen, z. B. das 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.

Die Wahl des Entsorgungsverfahrens, z.B. für die Verpackungen, oder als „End of Life“-Szenario hat sich am aktuellen Stand der Technik zu orientieren. Die bilanzierten Entsorgungsverfahren sind zu dokumentieren.

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

Parallel dazu kann ein Recyclingpotenzial dargestellt werden. Das Recyclingpotenzial widerspiegelt die Funktionalität des Produkts nach einer Aufbereitung (Rezyklat), ausgedrückt durch den ökonomischen Wert des Rezyklats im Vergleich zum Primärmaterial. Der für die aktuelle Sekundärproduktion benötigte Produktanteil ist davor abzuziehen (Beispiel: Wiederverwertung von Recyclinglehm).

2.2 Allokationen von Flüssen 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 Stoff-

ströme. Ggf. werden die Umweltauswirkungen, die mit den Inputs verknüpft sind, entsprechend der Art verteilt, wie sie den folgenden Produktionsprozess beeinflussen.

Im informativen Modul D (Bild 2) werden potenzielle Lasten und Gutschriften von Sekundärstoffen deklariert, die das Produktsystem verlassen. Mit Modul D wird das Konzept der Verwendung von Recyclingstoffen bei der Errichtung von Gebäuden gewürdigt. Dabei werden die potenziellen Gutschriften für den zukünftig vermiedenen Einsatz von Primärstoffen und -brennstoffen dargestellt (Beispiel: Recyclinglehm nach LR DVL). Die Lasten, die durch die Recycling- und Rückgewinnungsprozesse jenseits der Systemgrenze verursacht werden, müssen dabei berücksichtigt werden.

Bodenaushub ist ein in das Produktsystem „importierter“ Abfallstoff aus einem anderen Prozess (Beispiel: Tonabbau für Ziegelherstellung), der bei Eintritt in das untersuchte System seine Abfalleigenschaft verliert. Die Verwendung von Bodenaushub entspricht dem Konzept der Wiederverwertung von Recyclingstoffen bei der Errichtung von Gebäuden und kann in der Wirkungskategorie „Verknappung abiotischer Rohstoffe - Stoffe“ (Tab. 2) entsprechend berücksichtigt werden.

3 WIRKUNGSABSCHÄTZUNG

Die Wirkungsabschätzung innerhalb einer Ökobilanz verfolgt das Ziel, die aus der Sachbilanz gewonnenen Ergebnisse hinsichtlich ihrer potenziellen Umwelteinwirkungen zu untersuchen. 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 Wirkungsabschätzung kann eine iterative Prüfung des Untersuchungsrahmens beinhalten.

3.1 Bestandteile der Wirkungsabschätzung

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

- a) Auswahl der Wirkungskategorien,
- b) Klassifizierung (Zuordnung der Sachbilanzergebnisse),
- c) Charakterisierung (Berechnung der Wirkungsindikatorwerte),
- 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.

3.2 Auswahl der Wirkungskategorien

Die Parameter zur Beschreibung der Umweltwirkungen (Tab. 2) werden gemäß DIN EN 15804, Tab. 3 festgelegt. Sie sind aus der Sachbilanz (Anhang 1) zu errechnen und auf die deklarierte Einheit bezogen darzustellen. Die Abschätzung der Umweltwirkung der einzelnen Parameter der Wirkungskategorien wird durch die Anwendung von Charakterisierungsfaktoren gem. DIN EN 15804, Anhang C ausgedrückt.

Tab. 2 Parameter zur Beschreibung der Umweltwirkungen

Wirkungskategorie	Parameter	Einheit (ausgedrückt als funktionale / deklarierte Einheit)	Charakterisierungsfaktor, DIN EN 15804, Anhang C, Tabellennr.	Symbol

Verknappung von abiotischen Ressourcen – Stoffe	Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – nicht fossile Ressourcen	kg Sb äquiv.	C.2	ADP, Stoffe
Dito – fossile Energieträger	Dito – fossile Energieträger	MJ, unterer Heizwert	C.1	ADP, fossile ET
Versauerung von Boden u. Wasser	Versauerungspotenzial v. Boden u. Wasser	kg SO ₂ äquiv.	C.3	AP
Ozonabbau	Potenzial des Abbaus der stratosphärischen Ozonschicht	kg CFC-11 äquiv.	C.4	ODP
Globale Erwärmung	Treibhauspotenzial	kg CO ₂ äquiv.	C.5	GWP
Eutrophierung	Eutrophierungs- / Überdüngungspotenzial	(kg PO ₄) ³⁻ äquiv.	C.6	EP
Photochemische Ozonbildung	Troposphärisches Ozonbildungspotenzial	kg C ₂ H ₄ äquiv	C.7	POCP

Die Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes (Tab. 3) werden gemäß DIN EN 15804, Tab. 4 festgelegt. Sie beschreiben den Einsatz erneuerbarer / nicht erneuerbarer PE und von Wasser. Sie sind aus der Sachbilanz (Anhang 1) zu errechnen und auf die deklarierte Einheit bezogen darzustellen.

Tab. 4 Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes

Parameter	Einheit (ausgedrückt als funktionale / deklarierte Einheit)
Einsatz erneuerbarer PE – ohne die erneuerbaren PET, die als Rohstoffe verwendet werden	MJ, unterer Heizwert
Einsatz der als Rohstoff verwendeten, erneuerbaren PET (stoffliche Nutzung)	MJ, unterer Heizwert
Gesamteinsatz erneuerbarer PE (PE + die als Rohstoff verwendeten PET) (energetische + stoffliche Nutzung)	MJ, unterer Heizwert
Einsatz nicht erneuerbarer PE ohne die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbarer PET	MJ, unterer Heizwert
Einsatz der als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren PET (stoffliche Nutzung)	MJ, unterer Heizwert
Gesamteinsatz nicht erneuerbarer PE (PE + die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbare PET) (energetische + stoffliche Nutzung)	MJ, unterer Heizwert
Einsatz von Sekundärstoffen	kg
Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen	MJ, unterer Heizwert
Einsatz von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen	MJ, unterer Heizwert
Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen	m ³

Primärenergie PE [MJ]. Die Primärenergie ist die Energiemenge, die aufgewendet werden muss, um ein Produkt herzustellen und dieses anschließend zu verwenden. Die Energie wird dabei in einen erneuerbaren und einen nicht erneuerbaren Anteil aufgeteilt.

Um den Anteil der erneuerbaren / nicht erneuerbaren PE am Input in das Produktsystem zu bestimmen, der nicht als ET und nicht als Rohstoff eingesetzt wird, wird der Parameter „Einsatz erneuerbarer / nicht erneuerbarer PE ohne die als Rohstoff verwendeten erneuerbaren / nicht erneuerbaren Primärenergieträger PET“ betrachtet und kann als die Differenz zwischen dem Gesamteinsatz der PE und dem Einsatz der als Rohstoff verwendeten PET berechnet werden.

Abiotische Ressourcen ADP. Die wachsende Weltwirtschaft erfordert einen stetig steigenden Bedarf an abiotischen Rohstoffen, die zu Rohmaterialien aufbereitet und verarbeitet werden. Dieser Trend verschärft die globalen Umweltprobleme wie den Klimawandel, die Bodendegradation oder den Verlust an biologischer Vielfalt in ökologisch sensiblen Gebieten. Ziel ist deshalb, die Umweltbelastung bei der Gewinnung von Rohstoffen auf ein verträgliches Maß zu reduzieren.

Abiotische Ressourcen sind alle Rohstoffe, die nicht aus oder von Lebewesen stammen. Zu ihnen gehören fossile Energieträger (ET), Erze und sonstige mineralische Rohstoffe, Baumineralien wie Sand, Kies, Lehm, Steine sowie Industriemineralien wie Quarzsand und Kalisalze.

Abiotische Rohstoffe sind alle nicht erneuerbaren Materialien, die primär aus der Natur gewonnen werden, nicht weiter bearbeitet wurden und in einen Produktionsprozess eingehen können. Sie werden in der Einheit [kg Sb äquiv] angegeben.

Fossile ET bilden einen Sonderfall: Sie sind zwar aus Biomasse entstanden, die jedoch ihre heutige Beschaffenheit durch sehr langsam ablaufende geologische Prozesse erlangt haben. Sie werden deshalb zu den abiotischen Rohstoffen gezählt und als Heizwert in der Einheit [MJ] angegeben (nach UBA 2014).

Treibhauspotenzial GWP 100 [kg CO₂-Äquivalent]. Der Treibhauseffekt bewirkt, dass die von der Erde abgestrahlte Infrarotstrahlung reflektiert und teilweise auch wieder zur Erde zurückstrahlt. Die erhöhte Konzentration an Treibhausgasen führt zu einer verstärkten Reflexion, die eine globale Erwärmung der Erdoberfläche mit sich bringt. Das Treibhauspotenzial fasst die Gase im Verhältnis zur Wirksamkeit von CO₂ zusammen. Das Treibhauspotenzial kann für die Zeitabschnitte 20, 100 oder 500 Jahre bestimmt werden.

Ozonzerstörungspotenzial ODP [kg CCl₃F-Äquivalent]. Der Sauerstoff wird in der Stratosphäre (10 – 50 km Höhenbereich) mit dem aggressiven UV-Licht bestrahlt, wobei als Reaktionsprodukt das Ozon O₃ 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 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. Das „ODP“ fasst alle Gase zusammen, die zu einer Zerstörung der Ozonschicht führen. Dabei gilt der Wert für FCKW 11 (Trichlorfluormethan, CCl₃F) als Bezugswert.

Versauerungspotenzial AP [kg SO₂-Äquivalent]. Durch die Umwandlung von Luftschadstoffen zu Säuren sinkt (versauert) der pH-Wert des Niederschlags. Das „AP“ setzt alle Substanzen, die zu einer Versauerung führen in das Verhältnis zur Wirksamkeit von SO₂. Beispiele für entstandene Schäden sind die erhöhte Korrosion von Metallen und die Zerstörung von Bausteinen.

Überdüngungs- / Eutrophierungspotenzial EP [kg (PO₄)³⁻-Äquivalent]. Die Anreicherung eines Mediums (Gewässer, Böden) mit Nährstoffen bezeichnet man als Überdüngung / Eutrophierung. Beispiele für Auswirkungen der Überdüngung sind Fischsterben, geschwächtes Pflanzenwachstum oder bei Reaktion zu Nitrit schwerwiegende toxische Folgen für die menschliche Gesundheit. Das „EP“ fasst alle Substanzen im Vergleich zur Wirkung von PO₄³⁻-Äquivalent zusammen.

Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial POCP [kg C₂H₄-Äquivalent]. Durch die Sonneneinstrahlung entstehen Reaktionsprodukte aus Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen, darunter Ozon, das in der Troposphäre im Gegensatz zu seiner Funktion in der Atmosphäre, als schädliches Spurengas wirkt. Das POCP wird auch Sommersmog genannt und kann beim Menschen Gesundheitsschäden verursachen. Das „POCP“ wird in der Wirkungsabschätzung auf die Wirkung von Ethen C₂H₄ bezogen.

Heizwert [MJ]. Durch den Heizwert wird die beim Verbrennen eines Produkts freigesetzte Energiemenge beschrieben. Die in der Luft gebunden latente Wärme bleibt dabei unberücksichtigt. 1 m³ Holz besitzt z. B. einen Heizwert von H_u = 8.000 – 13.000 MJ.

Recyclingpotenzial. Das Recyclingpotenzial beschreibt, wie viele Umweltlasten durch das Recyceln im Vergleich zur Neuerzeugung eingespart werden können. Dabei geht man von einer maximalen Sammelquote von 95 % aus. Setzt man eine Komplettschöpfung des Potenzials voraus, müssen die Herstellungswerte um die Werte für das Recyclingpotenzial gemindert werden. Innerhalb der Gruppe der Baustoffe weisen vor allem die Metalle einen hohen Recyclinganteil auf (Baustoff Atlas, 2005).

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. 5 vorzunehmen.

Angaben zu Output-Stoffflüssen (Recycling / Weiterverwertung) nutzen entsprechende Daten aus der Sachbilanz und sind gemäß DIN EN 15804, Tab. 6 vorzunehmen (hier: Tab. 5).

Tab. 5 Sonstige Umweltinformationen, die Output-Stoffflüsse beschreiben

Parameter	Einheit (ausgedrückt als funktionale / deklarierte Einheit)
Komponenten für die Weiterverwendung	Kg
Stoffe zum Recycling	Kg
Stoffe für die Energierückgewinnung	Kg
Exportierte Energie	MJ je Energieträger

Die Parameter in Tab. 5 sind Teil der zusätzlichen Informationen zur Entsorgung. Die Komponenten / Stoffe für die Weiterverwendung / Recycling (IM C1-C4 nach Bild 2), 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 verwendet (Beispiel: Verwendung von Recyclinglehm als Baulehm nach LR DVL),
- es besteht ein Markt, charakterisiert durch einen positiven ökonomischen Wert, für das zurückgewonnene Material oder eine Nachfrage danach (Beispiel: Verwendung 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 (Beispiel: DIN 18945-47, TM 07 DVL),
- 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).

3.3 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 meh-

renen Wirkungskategorien zugeordnet werden, z. B. führen Stickoxide sowohl zur Überdüngung als auch zur Versauerung von Gewässern und Böden.

Für die ausgewählten Sachbilanzdaten wird nun das *charakteristische Wirkungspotenzial* des betrachteten Stoffes ermittelt und der zugehörigen Wirkungskategorie zugeordnet. So ist das CO₂ die maßgebende Größe in der Wirkungskategorie „Treibhauspotenzial GWP“. 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 C 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.

3.4 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 Referenz-werten 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.

4 INTERPRETATION

4.1 Auswertung

Die Auswertung nach DIN EN ISO 14040 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. Eine plausible Prüfung hinsichtlich der Ziele und des Untersuchungsrahmens ist unabdingbar.

4.2 Berichterstattung

Die Berichterstattung nach DIN EN ISO 14040 ist integraler Bestandteil einer Ökobilanz. Dabei müssen die verwendeten Daten, das Verfahren und die Annahmen aufgeführt und die Ergebnisse der Ökobilanz der adressierten Zielgruppe entsprechen.

4.3 Kritische Prüfung

Im Rahmen der „kritischen Prüfung“ wird die Übereinstimmung der Ökobilanz mit den Grundsätzen / Anforderungen bewertet.

Anhang 1 Beispiele für Indikatoren der Sachbilanz (nach PCR Werkmörtel)

INPUT

1. Ressourcen	[]	Herstellung je funkt. Einheit	Bemerkung
<i>1.1 Energetische Ressourcen</i>			
1.1.1 Braunkohle	MJ		
1.1.2 Steinkohle ¹	MJ		
1.1.3 Erdöl ¹	MJ		
1.1.4 Erdgas ¹	MJ		
1.1.5 Uran (natürlich) ¹	MJ		
1.1.6 Wasserkraft ²	MJ		
1.1.7 Windkraft ²	MJ		
1.1.8 Solarenergie ²	MJ		
1.1.9 Biomasse (Energieinhalt) ²	MJ		
<i>1.2 Stoffliche Ressourcen</i>			
1.2.1 Deckschicht (Boden)	kg		
1.2.2 Taubes Gestein	kg		
1.2.3 Kohlendioxid CO ₂ aus Luft	kg		
<i>1.3 Mineralische Rohstoffe</i>			
1.3.1 Kies / Sand	kg		
1.3.2 Kalkstein CaCO ₃	kg		
1.3.3 Gips CaSO ₄ •2H ₂ O	kg		
1.3.4 Ton	kg		
<i>1.4 Erze</i>			
1.4.1 Bariterz und Bentonit	kg		
1.4.2 Bauxit Al ₂ O ₃ •H ₂ O	kg		
1.4.3 Eisenerz	kg		
1.4.4 Zinkerz	kg		
1.4.5 Kupfererz	kg		
1.4.6 Manganerz	kg		
<i>1.5 Wasser</i>			
1.5.1 Grundwasser	m ³		
1.5.2 Oberflächenwasser	m ³		
2. Sekundärrohstoffe			

	kg		
--	----	--	--

¹ Primärenergie PE nicht erneuerbar

² PE erneuerbar

OUTPUT

Produkt:	kg	Herstellung	Spezifikation
----------	----	-------------	---------------

<i>1 Emissionen in Luft</i>		<i>Herstellung</i>	<i>Bemerkung</i>
<i>1.1 Anorganisch</i>			
1.1.1 Kohlendioxid CO ₂ (Global Warming Potential)	kg		Treibhauspotenzial GWP
1.1.2 Kohlenmonoxid CO	kg		TOPP
1.1.3 Staub (Summenwert)	kg		
1.1.4 Stickoxide NO _x	kg		TOPP
1.1.5 Lachgas N ₂ O	kg		
1.1.6 Ammoniak NH ₃	kg		
1.1.7 Schwefeldioxid SO ₂ (Acidification Potential)	kg		Versauerungspotenzial AP
1.1.8 Schwefelwasserstoff H ₂ S	kg		
1.1.9 Chlorwasserstoff HCl	kg		(OPD CCl ₃ F)
1.1.10 Fluorwasserstoff HF	kg		(ODP CCl ₃ F)
1.1.11 Wasserdampf H ₂ O	kg		
1.1.12 Bor B	kg		
<i>1.2 Organisch</i>			
1.2.1 NMVOC (Nicht-Methan VOC, Summenwert)	kg		Troposphärisches Ozonvorläufer-Äquivalent TOPP + 1.1.2+1.1.4+1.2.2
1.2.2 Methan CH ₄	kg		TOPP
1.2.3 Benzol C ₆ H ₆	kg		
1.2.4 Phenol C ₆ H ₅ OH	kg		
1.2.5 Ethen C ₂ H ₄ (POCP)	kg		Photochem. Oxidantienpotenzial
1.2.6 Formaldehyd COOH	kg		
1.2.7 PAK (polyzykl. aromat. KW)	kg		
1.2.8 Benzo(a)pyren C ₂₀ H ₁₂	kg		
1.2.9 Dioxine (TCDD, TE)	kg		

<i>1.3 Metalle</i>			
1.3.1 Arsen As	kg		
1.3.2 Blei Pb	kg		
1.3.3 Cadmium Cd	kg		
1.3.4 Chrom Cr	kg		
1.3.5 Kobalt Co	kg		
1.3.6 Kupfer Cu	kg		
1.3.7 Mangan Mn	kg		
1.3.8 Nickel Ni	kg		
1.3.9 Quecksilber Hg	kg		
1.3.10 Thallium Tl	kg		
1.3.11 Vanadium V	kg		
1.3.12 Zink Zn	kg		
2 Emissionen in Wasser			
<i>2.1 anorganisch</i>			
2.1.1 Ammonium NH_4^{2-}	kg		
2.1.2 Chlorid Cl^-	kg		
2.1.3 Fluorid F^-	kg		
2.1.4 Nitrat NO_3^-	kg		
2.1.5 Phosphat PO_4^{3-} (Eutrophierung)	kg		Überdüngungspotenzial
2.1.6 Sulfat SO_4^{2-}	kg		
<i>2.2 organisch</i>			
2.2.1 HC (Kohlenwasserstoffe KW)	kg		
2.2.2 PAK (polyzykl. aromat. KW)	kg		
<i>2.3 metallisch</i>			
2.3.1 Blei Pb	kg		
2.3.2 Cadmium Cd	kg		
2.3.3 Chrom Cr^{3+}			
2.3.4 Kupfer Cu	kg		
2.3.5 Nickel Ni	kg		
2.3.6 Quecksilber Hg	kg		
2.3.7 Zink Zn	kg		
<i>2.4 Kennwerte</i>			

2.4.1 AOX (adsorbierbare organ. gebund. Halogene)	kg		
2.4.2 BSB (biolog. O ₂ -bedarf)	kg		
2.4.3 (chem. O ₂ -bedarf)	kg		
2.4.4 TOC (ges. organ. gebund. Kohlenstoff)	kg		
2.5 Abwasser	m ³		
3 Emissionen in Boden			
<i>3.1 organisch</i>			
3.1.1 Kohlenwasserstoffe	kg		
3.1.2 PAK (polyzykl. aromat. KW)	kg		
3.1.3 Benzo(a)pyren	kg		
3.1.4 Dioxine (TCCD, TE)	kg		
<i>3.2 metallisch</i>			
3.2.1 Blei Pb	kg		
3.2.2 Cadmium Cd	kg		
3.2.3 Chrom Cr ³⁺	kg		
3.2.4 Kupfer Cu	kg		
3.2.5 Nickel Ni	kg		
3.2.6 Quecksilber Hg	kg		
3.2.7 Zink Zn	kg		
4 Auswertung Abfälle		Herstellung	Bemerkung
4.1.1 Abraum	kg		
4.1.2 Rückstände Erzaufbereitung	kg		
4.1.3 Hausmüll	kg		
4.1.4 Sondermüll / davon radioaktiv	kg		
5 Auswertung Rohstoffe			
5.1.1 Gips	kg		
5.1.2 Altöl	kg		
5.1.3 Filterstaub	kg		
5.1.4 Hochofenschlacke	kg		
5.1.5 Polyethylenfolie	kg		
5.1.5 Stahlschrott	kg		

5.1.6 Holzreststoff	kg		
5.1.7 Schlamm (Feinsand)	kg		

ZITIERTE STANDARDS / LITERATURHINWEISE

- DIN EN 15804 DIN EN 15804:2014-07: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte
- DIN EN ISO 14040 DIN EN ISO 14040:2009-11: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen
- DIN 18945 DIN 18945:2013-08, Lehmsteine – Begriffe, Baustoffe, Anforderungen, Prüfverfahren
- DIN 18946 DIN 18946:2013-08, Lehmmauermörtel – Begriffe, Baustoffe, Anforderungen, Prüfverfahren
- DIN 18947 DIN 18947:2013-08, Lehmputzmörtel – Begriffe, Baustoffe, Anforderungen, Prüfverfahren
- TM 07 DVL Lehmplatten – Begriffe, Anforderungen, Prüfverfahren. Technische Merkblätter Lehmbau TM 07, Weimar: Dachverband Lehm e. V., 2017
- LR DVL Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.): *Lehmbau Regeln - Begriffe, Baustoffe, Bauteile*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner | GWV Fachverlage, 3., überarbeitete Aufl., 2009
- Lehmbau Verbraucherinfo: Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.). *Lehmbau Verbraucherinformation*. Weimar: Dachverband Lehm e.V. 2014
- PCR Werkmörtel Regeln für Umwelt-Produktdeklaration – Mineralische Werkmörtel – Institut Bauen und Umwelt e. V., Version Juli 2006
- Nutzungsdauerkatalog Bau-EPD: Bau EPD (Hrsg.). *Nutzungsdauerkatalog der Bau-EPD für die Erstellung von EPDs*. Bau EPD GmbH: Wien 2014
- UBA 2014 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/ressourcenschonung-in-produktion-und-konsum/abiotische-rohstoffe-schonend-gewinnen>. 04.08.2014
- Hegger, M.; Auch-Schwelk, V.; Fuchs, M.; Rosenkranz, T.: *Baustoff Atlas*. Birkhäuser – Verlag für Architektur: Basel, Boston, Berlin, Edition Detail München 2005
- Wardak, A.: Lebenszyklusanalyse von Gebäuden – Ganzheitliche Bilanzierung (GABI) von Außenwänden aus Lehm im Vergleich zu anderen Baustoffen. AV Akademiker Verlag, Saarbrücken 2015