



Schlussbericht, Januar 2016

Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich"

Projekt QualiBOB

Schlussbericht

Mantelbericht und Teilberichte A bis M für die Marktsituation
von Baustoffen, Baugrubensicherung, spezifische Bauteile
und Baustoffgruppen

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Hochbauten Stadt Zürich
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Auftragnehmer:

Projektteam QualiBOB

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

Ueli Kasser, büro für umweltchemie, u.kasser@umweltchemie.ch (Projektleitung)
Rolf Frischknecht, treeze Ltd., frischknecht@treeze.ch
Matthias Klingler, büro für umweltchemie, m.klingler@umweltchemie.ch
Daniel Savi, büro für umweltchemie, d.savi@umweltchemie.ch
Philippe Stolz, treeze Ltd., stolz@treeze.ch
Laura Tschümperlin, treeze Ltd., tschuemperlin@treeze.ch
Franziska Wyss, treeze Ltd.
René Itten, treeze Ltd.

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG
Peter Gerber, BAFU, Fachbereich Ökobilanzen
Norbert Egli, Vertretung BAFU Sektion Konsum und Produkte, Tridee GmbH
Michael Pöll, AHB Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500996-01

BAFU-Vertrags- und Projektnummer: 10.0041.PJ / N043-0527, O022-2110

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhalt

Mantelbericht

INHALT.....	III
Mantelbericht	III
Teilberichte	IV
1 ABSTRACT	1
2 VORBEMERKUNGEN	4
2.1 Struktur und Aufbau	4
2.2 Umweltkennzahlen.....	4
2.3 Vorbehalt Endergebnisse.....	4
2.4 Relevanzbeurteilung	5
3 METHODISCHE GRUNDLAGEN.....	7
3.1 Einführung.....	7
3.2 Datengrundlage Hintergrunddaten.....	7
3.3 Vorgehen Marktmixe	7
3.4 Datenrepräsentativität und -Qualität	8
3.5 Allokation und Recycling	8
3.6 Bewertung mineralischer Primärressourcen	8
3.7 Strommix.....	9
3.8 Entsorgung.....	9
4 ZUSAMMENFASSENDE ERGEBNISSE	10
4.1 Übersicht Teilberichte und Datensätze	10
4.2 A: Marktsituation ausgewählter Baustoffe	11
4.3 B: Tiefbauarbeiten bei Hochbauten.....	13
4.4 C: Dämmbeton mit Leichtzuschlag	15
4.5 D: Gipswerkstoffe.....	16
4.6 E: Putze	17
4.7 F: Unterlagsböden	18
4.8 G: Verglasungen	20
4.9 H: Fensterprofile	21
4.10 I: Sonnenschutz	22
4.11 J: Fassadenbekleidungen	23
4.12 K: Putzträgerplatten	24
4.13 L: Aerogel-Vliese.....	25
4.14 M: Kücheneinbauten und -möbel	26
5 ERKENNTNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	29
5.1 Bedeutung und Konsequenzen.....	29
5.2 Datenqualität.....	30
5.3 Empfehlungen.....	30
6 LITERATUR.....	33

Teilberichte

A	MARKTSITUATION AUSGEWÄHLTER BAUSTOFFE.....	A1-A28
B	TIEFBAUARBEITEN BEI HOCHBAUTEN.....	B1-B44
C	DÄMMBETON MIT LEICHTZUSCHLAG.....	C1-12
D	GIPSWERKSTOFFE	D1-21
E	PUTZE	E1-57
F	UNTERLAGSBÖDEN	F1-21
G	VERGLASUNGEN	G1-36
H	FENSTERPROFILE.....	H1-14
I	SONNENSCHUTZ	I1-13
J	FASSADENBEKLEIDUNGEN	J1-31
K	PUTZTRÄGERPLATTEN	K1-15
L	AEROGEL	L1-11
M	KÜCHENEINBAUTEN UND -MÖBEL.....	M1-51

1 Abstract

Die vorliegende Arbeit beschreibt die erstmalige Ökobilanzierung von 55 Baustoffen, Bauteilen und Dienstleistungen in den Bereichen Baugrubensicherung, Dämmstoffe, Sonnenschutz, Fassadensysteme und Kucheneinbauten. Es wurden zudem die bestehenden Datensätze zu Gipswerkstoffen, Putzen, Unterlagsböden und Fenstern bearbeitet und differenziert, was insgesamt 56 aktualisierte Datensätze ergibt. Für Baustoffe mit geringem Herstellungsaufwand (Kies und Sand, Natursteine), für Zement, Mauer- und Ziegelsteine sowie für die Dämmstoffe (geringe Dichte) sind die Marktanteile inländischer und ausländischer Produktion abgeschätzt worden. Anhand von Transportaufwendungen und Produktionsverhältnissen importierter Baustoffe konnten so marktrepräsentative Datensätze generiert werden. Die vorliegende Arbeit schliesst wichtige Lücken bei den Ökobilanzdaten im Baubereich der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014¹ und die Vergleichbarkeit wird dank der Harmonisierung wesentlich verbessert. Alle Bilanzierungen sind nach einer einheitlichen Methodik vorgenommen worden. Als Hintergrunddaten wurden Datensätze aus ecoinvent v2.2 resp. v2.2+ verwendet. Grundsätzlich sind die Daten durch Hersteller resp. deren Verbände erhoben und vom Projektteam verifiziert worden. In gewissen Bereichen haben die Hersteller eine Zusammenarbeit abgelehnt. Bei diesen Baustoffen hat man auf Literaturdaten oder Angaben in den Umweltproduktdeklarationen nach ISO 14'025 zurückgegriffen. Der Strommix wurde länderspezifisch und die Entsorgung anhand der Standarddatensätze von ecoinvent bilanziert. Bezogen auf ein definiertes Referenzgebäude erhöht sich der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf (Graue Energie) des Gebäudes durch Berücksichtigung der erstmalig bilanzierten Baugrubensicherung, des Sonnenschutzes und der Einbauküchen um rund 15 %, mit einem grösseren Schwankungsbereich je nach spezifischer Situation. Mit den aktualisierten Datensätzen zu Gipswerkstoffen, Unterlagsböden, Putzen und Fenstern erhöht sich die Zuverlässigkeit und Repräsentativität der Daten der KBOB-Empfehlung. Bei den Fassadenkonstruktionen stehen mit der Erweiterung wesentlich mehr Optionen für die Bilanzierung von Gebäuden zur Verfügung. Es werden Vorschläge zur Umsetzung der Projektergebnisse gemacht und jene Bereiche und Baustoffe identifiziert, die bei der nächsten Aktualisierung prioritär angegangen werden sollten.

¹ Offizielle Schweizerische Liste der Ökobilanzdaten im Baubereich zur Berechnung von Umweltkennwerten von Gebäuden nach SIA 2032 und im Rahmen von Nachweisverfahren, herausgegeben von der Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB, Bundesamt für Bauten und Logistik, 3003 Bern.

Ce document définit pour la première fois les écobilans de 55 matériaux et éléments de construction, ainsi que des services dans le domaine de confortement de la fouille, des isolations, des systèmes de protection solaire, des panneaux de façade et des cuisines intégrées. Les écobilans existants des matériaux à base de plâtre, des enduits, des chapes et des fenêtres ont été actualisés et différenciés. Par la suite on a produit 56 enregistrements actualisés. On a évalué les parts de marché pour deux groupes de matériel: les matériaux de constructions avec un investissement de production faible (gravier et sable, pierres naturelles, ciment et briques), et les matériaux de construction avec une faible densité (matériel d'isolation). Par conséquent on a produit des écobilans qui représentent le moyen des produits au marché, à la base des services de transport et des situations de production des produits importés. Ce document comble les lacunes des écobilans des matériaux de construction dans la liste KBOB recommandation 2009/1:2014² et la comparabilité est améliorée grâce à l'harmonisation des données. Les écobilans ont été établis à la même base méthodologique. On a appliqué les données de fond dans la base des donnéesecoinvent v2.2 et v2.2+. Principalement les données ont été évaluées par les producteurs ou leurs associations et vérifiées par le groupe du projet. Chez quelques produits les producteurs ont refusé une coopération. Dans ces cas on a réalisé des recherches dans la littérature ou dans les déclarations environnementales de produits selon ISO 14025. On a appliqué la production totale de l'électricité spécifique des pays de production et pour le bilan de l'élimination on s'est servi des données de fond dans l'ecoinvent. La contribution des nouveaux écobilans (confortement de la fouille, systèmes de protection solaire et des cuisines intégrées) au cumul de l'énergie primaire non renouvelable d'un bâtiment de référence s'accroît à 15 %, avec des fluctuations importantes selon le cas spécifique. Les écobilans actualisés pour les matériaux à base de plâtre, les enduits, les chapes et les fenêtres représentent une meilleure qualité et fiabilité des données dans la recommandation KBOB. Chez les panneaux de façade on a plus des options grâce à ce projet. Le groupe du projet propose des projets de réalisation ainsi que des mesures prioritaires pour l'actualisation des écobilans en future.

² La liste officielle des écobilans dans la construction pour le calcul des caractéristiques environnementales selon la norme SIA 2032 ou d'autre méthode d'analyse, publié par la Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics KBOB, 3003 Berne.

This document provides the life cycle analysis of 55 construction materials and elements, as well as services in the area of excavation, insulation material, sunshade systems, façade panels and kitchen fixtures. Existing datasets of gypsum materials, plasters, sub-flooring materials and window components have been updated and differentiated to provide another 56 datasets. The market shares of two groups of construction materials have been evaluated: construction materials with low resource input on production (gravels and sand, natural stones, cement and bricks) and with low density (insulation materials). This makes it possible to provide average figures representing the market, considering transport services and production situations of imported products. The most important gaps in the KBOB recommendation³ list have been closed with this project and the comparability has improved based on harmonised data. The whole analysis has been performed on the bases of a harmonised methodology. The back ground data from ecoinvent database v2.2 and v2.2+ applied consequently. Data collection was made basically by producers or their associations and verified by the project team. Where producers refused cooperation, data from literature or from environmental product declaration according ISO 40'025 were considered. The analysis included country specific electricity mixes and the disposal has been modelled with back ground data from ecoinvent database. The contribution of the first time produced and considered LCA data (excavation of the construction site, sunshade systems and kitchen fixtures) to the cumulated demand of non renewable energy (embodied energy) of a reference building increases to 15 %, with an important variability according to the specific situation. The new datasets of gypsum materials, plasters, sub-flooring materials and window components represent more quality and reliability of the data in the KBOB recommendation. With the new façade panels there are new options to analyse the life cycle of buildings. Eventually the project team proposes implementation measures as well as the priorities of future updates.

³ The official life cycle data list of construction materials to calculate the environmental indicators of buildings according to the standard SIA 2032 or other verification procedures, published by the federal coordination group of public building owners, 3003 Berne.

2 Vorbemerkungen

2.1 Struktur und Aufbau

Der vorliegende Schlussbericht besteht aus einem Mantelbericht (Kap. 1 bis 6) und zwölf unabhängigen Teilberichten (B bis M) zur Ökobilanzierung verschiedener Bauteile (Fenster, Sonnenschutz, Küchen, Fassadenbekleidungen, Unterlagsböden, Gipsplatten) und Baustoffe (Putze, Aerogel-Vliese, Dämmbeton), sowie Arbeiten für die Herstellung und Sicherung der Baugrube. Eine Marktanalyse (Teilbericht A) soll es ermöglichen, für den Schweizer Markt repräsentative Bilanzierungen der Bauteile und Baustoffe vorzunehmen. Der vorliegende Mantelbericht enthält kurze methodische Ausführungen, die für alle Bilanzierungen in den Teilberichten gelten (Kap. 3), sowie eine Zusammenfassung aller Teilberichte (Kap. 4). Erkenntnisse und Schlussfolgerungen in Kap. 5 schliessen den Mantelbericht ab.

2.2 Umweltkennzahlen

Grundsätzlich werden für die Ökobilanzierungen vier Umweltkennzahlen, oft auch als Indikatoren bezeichnet, ausgewiesen: der totale Primärenergieaufwand, sowie derjenige für die nicht-erneuerbaren Energieträger (Graue Energie gemäss SIA 2032), die Treibhausgasemissionen und die Umweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit. Um die Zusammenfassung der Teilberichte in Kap. 4 knapp halten zu können, beschränkt man sich auf die Graue Energie. Die anderen Umweltkennwerte werden in den Teilberichten ausgewiesen und diskutiert. Die Werte der Grauen Energie in den Zusammenfassungen beziehen sich geographisch alle auf die Auslieferung der Baumaterialien und Bauteile aus dem Regionallager in der Schweiz.

2.3 Vorbehalt Endergebnisse

Die Sachbilanzen zu den Bauteilen und Baustoffen repräsentieren die heute gebräuchlichen Bauweisen und erfassen alle relevanten Material- und Treibstoffverbräuche, Schadstoffemissionen sowie die benötigten Transport- und Entsorgungsdienstleistungen zur Herstellung, Bereitstellung und Verpackung der Bauteile und Baustoffe einerseits und deren Entsorgung nach der Nutzung andererseits. Sie sind aktuell, repräsentativ und im Rahmen einheitlicher Systemgrenzen und Bilanzierungsregeln erarbeitet worden. Wenn die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 im Zuge der nächsten Aktualisierung um die vorgeschlagenen Sachbilanzen zu diesen Bauteilen und Baustoffen erweitert resp. aktualisiert wird, ist es möglich, dass die im Rahmen der KBOB-Empfehlung publizierten Umweltkennzahlen geringfügig von den hier ausgewiesenen abweichen (vgl. Kap. 3.2).

2.4 Relevanzbeurteilung

Um die Bedeutung und Relevanz der vorliegenden Forschungsarbeit der erstmals bilanzierten Bauteile (Sonnenschutz und Küchen) und die Tiefbauarbeiten zur Baugrubensicherung im Kontext eines ganzen Gebäudes abschätzen zu können, wird ein Referenzgebäude herangezogen. Es handelt sich um ein MFH mit fünf Geschossen, zwei Erschliessungszonen und zwanzig Wohnungen (vgl. Abbildung 1). Es ist ein Massivbau von kompakter Geometrie mit Energiekennwerten, die etwa dem heutigen Durchschnitt bei Wohnungsneubauten entsprechen. Die Energiebezugsfläche beträgt 2022 m². Das Gebäude verfügt über ein Untergeschoss ohne Tiefgarage und hat keine Balkone oder Terrassen. Der Rohbau ist in tragenden Betonwänden ohne Stützen ausgeführt. Die Aussenwand ist mit einer verputzten Aussenwärmedämmung bekleidet (Kompaktfassade). Die nicht tragenden Innenwände sind in Leichtbauweise ausgeführt. Die Fenster sind vergleichsweise gut isoliert. Haustechnik und Innenausbau entsprechen dem durchschnittlichen heutigen Standard.

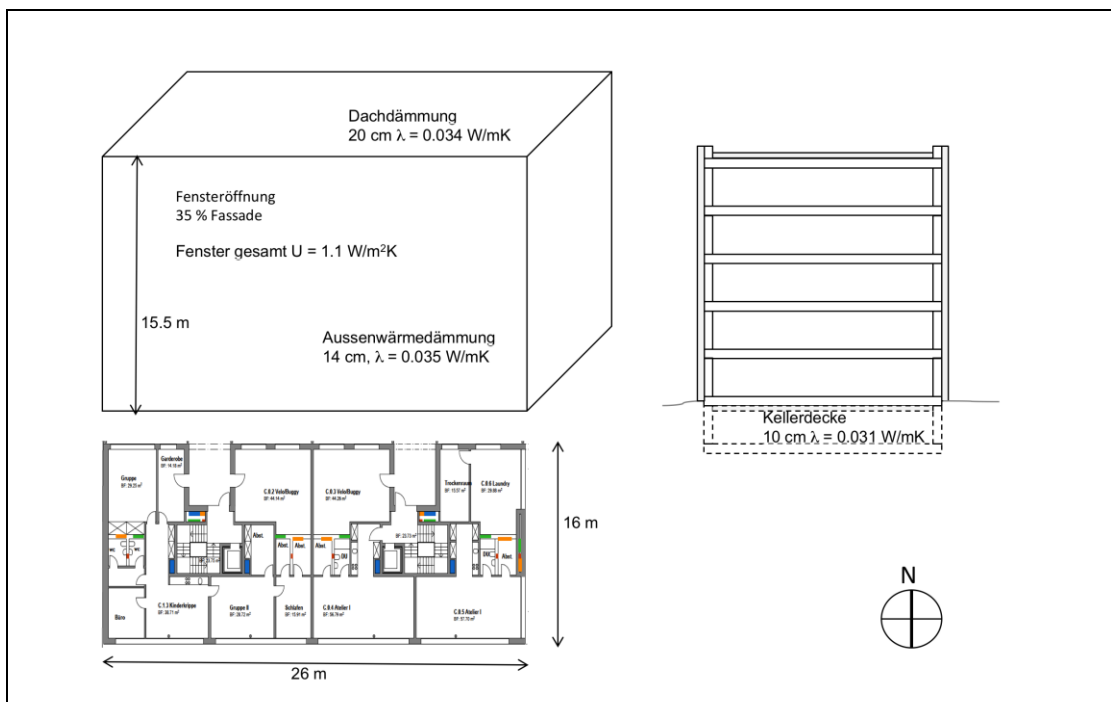


Abbildung 1: Geometrie, Konzept und Materialisierung des Referenzgebäudes

Die Graue Energie (nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf) nach Bauteilen aufgeschlüsselt ist in Abbildung 2 pro m² Energiebezugsfläche und Jahr unter Verwendung der Amortisationszeiten von Gebäudeteilen nach SIA 2032⁴ dargestellt. Es

⁴ SIA 2032 gibt für die beim Bau investierten Umweltkennwerte folgende Amortisationszeiten vor: Primärkonstruktionen: 60 Jahre; Dachaufbauten, äussere Bekleidungen und Fenster: 30–40 Jahre; Haustechnik 20–30 Jahre; Innenausbau 20–30 Jahre

handelt sich um eine typische Verteilung der Grauen Energie für den Bau eines kompakten Gebäudes mittlerer Höhe und eher unterdurchschnittlichem Ausbaustandard. Rot dargestellt sind die Anteile der Küchen am Innenausbau, des Sonnenschutzes am Fenster und Balkone sowie der Baugrubensicherung am Gebäude unter Terrain. Das sind jene Bereiche, die neu durch das vorliegende Forschungsvorhaben bilanziert wurden und bisher mangels verfügbarer Daten gemäss SIA 2032 in der Gebäudebilanz nicht berücksichtigt wurden.

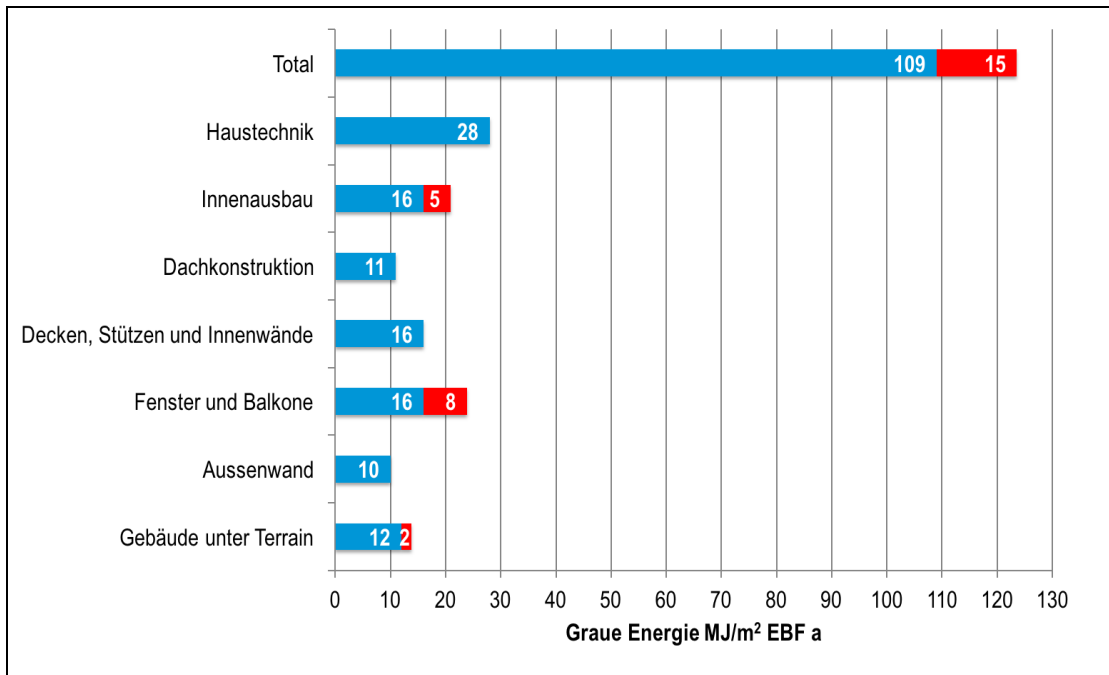


Abbildung 2: Graue Energie des Referenzgebäudes pro m² Energiebezugsfläche und pro Jahr (Amortisation nach SIA 2032), rot sind Anteile der Küchen (Innenausbau), des Sonnenschutzes (Fenster und Balkone) und der Herstellung und Sicherung der Baugrube (Gebäude unter Terrain).

Diese neu bilanzierten Bauteile und Tiefbauarbeiten machen beim Referenzgebäude etwa 14 % zusätzliche Graue Energie aus. Bei wesentlich kleineren Wohnungen und höherem Fensteranteil dürften die neuen Bilanzbereiche noch einige Prozent mehr ausmachen. Ebenso bei komplexen Baugruben und weniger kompakten Gebäudeformen. Der Einfluss der weiteren, im vorliegenden Projekt aktualisierten Ökobilanzdaten auf die Umweltkennwerte resp. die Graue Energie des Referenzgebäudes ist wesentlich geringer, da es sich um Aktualisierungen von Daten handelt. Er wird in den Teilbericht-Zusammenfassungen (Kap. 4) diskutiert.

Der energetische Aufwand zur Herstellung eines Gebäudes insgesamt ist etwa gleich gross ist wie die Heizenergie im Minergie-Standard, wenn man die im SIA-Merkblatt definierten Amortisationszeiten verwendet.

3 Methodische Grundlagen

3.1 Einführung

In diesem Kapitel werden die wesentlichen methodischen Grundlagen für die im Rahmen dieses Projektes erhobenen Ökobilanzdaten beschrieben. Die Ausführungen sind eine Zusammenfassung der ausführlichen methodischen Grundlagen der Plattform „Ökobilanzdaten im Baubereich“ (Frischknecht, 2015).

3.2 Datengrundlage Hintergrunddaten

Die Ökobilanzdaten, die im Rahmen dieses Projektes erhoben wurden, sind mit den Sachbilanzdaten des ecoinvent Datenbestands v2.2 (ecoinvent Centre, 2010), Teilberichte C bis L) beziehungsweise v2.2+ (KBOB et al., 2014a), Teilberichte A, B, M) verknüpft. Die Daten sollen bei der nächsten Aktualisierung der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 implementiert und zu diesem Zeitpunkt durchgehend mit dem ecoinvent Datenbestand v2.2+ verknüpft werden. Dadurch können sich Unterschiede zwischen den hier publizierten Ergebnissen in den einzelnen Teilberichten und den zu publizierenden Umweltkennwerten der aktualisierten KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 ergeben (KBOB et al., 2014b).

3.3 Vorgehen Marktmixe

Die Marktmixe für den Absatz der Produkte in der Schweiz setzen sich zusammen aus der Inlandproduktion und den Importmengen. Dieser Marktmix wird als repräsentativ für den Inlandabsatz als auch für den Export betrachtet, weshalb die Exportmengen bei der Bestimmung der Marktmixe nicht berücksichtigt werden.

Die Umweltkennwerte des Anteils der Produktion im In- und Ausland, zu welcher keine Ökobilanzinformationen verfügbar sind, werden jeweils mit einem Zuschlag versehen. Dieser Zuschlag beträgt bei den hier bilanzierten Produkten jeweils 10 % gemäss den methodischen Vorgaben der Plattform „Ökobilanzen im Baubereich“. Zudem werden die Transportaufwendungen aus dem Ausland in die Schweiz ebenfalls quantifiziert.

Eine wesentliche Informationsquelle für die Importmengen und die Transportmittel ist die Schweizer Aussenhandelsstatistik (EZV, 2012). In einigen Fällen musste auf Schätzungen zurückgegriffen werden, da die Informationen nicht oder nicht im gewünschten Detaillierungsgrad vorliegen. Diese Schätzungen basieren auf Aussagen von Experten oder Herleitungen auf Basis von Informationen aus anderen Publikationen.

3.4 Datenrepräsentativität und -Qualität

Bei der Bilanzierung einzelner Baustoffe konnten nur Daten von einzelnen Herstellern erhoben und verwendet werden. Je nachdem, ob die Daten als repräsentativ für die in der Schweiz abgesetzten Produkte gelten können oder nicht, werden diese Ökobilanzen als Schweizer Durchschnitt oder als herstellerspezifische Daten gekennzeichnet. In einzelnen Fällen legt der Hersteller Wert darauf, dass seine Daten als herstellerspezifische Daten gekennzeichnet sind.

Teilweise liegen Umweltproduktdeklarationen oder andere Publikationen für die zu bilanzierenden Baustoffe vor. Diese Dokumente können zur Verifizierung der zu erarbeitenden Bilanzen oder als Ausgangspunkt einer Nachmodellierung herangezogen werden, sofern keine Daten von Herstellern vorliegen. Die Ergebnisse aus Umweltproduktdeklarationen können mangels Konsistenz (andere Hintergrunddaten, abweichende methodische Setzungen) und Transparenz nicht direkt übernommen werden.

3.5 Allokation und Recycling

In den vorliegenden Ökobilanzen werden in Übereinstimmung mit den Regeln für die Daten der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 keine Gutschriften gewährt, weder für gekoppelt hergestellte Produkte, noch für zu recycelnde Produktionsabfälle, noch für die aus der Kehrlichtverbrennung gewonnene und genutzte Abwärme. Bei Produktionsbetrieben, die mehrere Produkte gleichzeitig herstellen, wurde entweder ein ökonomischer oder physikalischer Zuordnungsschlüssel angewendet. Bei Stoffen, die ins Recycling gehen, wird die Systemgrenze grundsätzlich dort gezogen, wo der Stoff das Ende der Abfalleigenschaften erreicht hat. Bei Bauteilen wie Fenstern, Sonnenschutz oder Kompaktfassaden wird die Systemgrenze auf der Baustelle gezogen, da über die Aufbereitungs- und Trennungsaufwendungen in der Regel zu wenig gesicherte Informationen vorliegen. Diese Vereinfachung hat aber einen geringen Einfluss auf die Gesamtumweltbelastung der Baumaterialien, solange brennbare Materialien in der Deponie und gesteinsähnliche Stoffe in der Verbrennung nicht oder nur unzureichend bilanziert sind.

3.6 Bewertung mineralischer Primärressourcen

Bei Baumaterialien wird mit der Methode der ökologischen Knappheit 2013 ausschliesslich die dissipative Ressourcennutzung bewertet (Frischknecht et al., 2013), S. 177). Bei der stofflichen Nutzung von Ressourcen ist nicht die Ressourcenentnahme entscheidend, sondern die Tatsache, wie viel der entnommenen und verarbeiteten Ressource verloren geht und damit für eine künftige Nutzung nicht mehr zur Verfügung steht. Der restliche Anteil, welcher stofflich verwertet beziehungsweise wiederverwendet werden kann, wird lediglich «ausgeliehen» und steht damit zukünftigen Nutzern wieder zur Verfügung. Wird beispielsweise bei der Kupferherstellung 1 kg Primärkupfer eingesetzt und am Ende der Lebensdauer 600 Gramm davon recycelt, wird der Ökofaktor für die Ressource Kupfer (1'100 UBP/kg) lediglich auf den 400 Gramm Kupfer angewendet, die deponiert werden und somit nur

mit einem erhöhten Aufwand oder praktisch nicht mehr zurückgewonnen werden können.

3.7 Strommix

Für den Strombezug vom Netz wird grundsätzlich der Liefermix desjenigen Landes eingesetzt, in welchem die Produktion stattfindet. Wird das Produkt an zahlreichen (europäischen) Standorten hergestellt, kann auch der europäische Durchschnitts-Strommix verwendet werden.

Der Hersteller kann den tatsächlich bezogenen Strommix seines Vertragspartners (lieferndes Elektrizitätsunternehmen) einsetzen, wenn er diesen mit dem Herkunftsnachweis belegen kann. Strom, welcher in eigenen Anlagen erzeugt und im Unternehmen verbraucht wird, soll mit den Daten dieser Eigenproduktion berücksichtigt werden.

3.8 Entsorgung

Die Entsorgung der Baumaterialien und Bauteile, sowie der Verpackungsmaterialien wird gemäss heutiger Entsorgungspraxis modelliert. Das betrifft einerseits die zu berücksichtigenden Entsorgungswege (Kehrichtverbrennung, Sonderabfallverbrennung, Inertstoffdeponie, Untertagedeponie, Recycling) und andererseits die Umwelteffizienz der Entsorgungsprozesse (Schadstoffemissionen heutiger Kehrichtverbrennungsanlagen etc.). Bei mineralischen Baustoffen wie Beton oder Backsteine werden die Abbruchaufwendungen (Baumaschinen) und die Staubemissionen berücksichtigt. Die Entsorgung der Verpackungsmaterialien ist der „Herstellung“ zugeordnet.

4 Zusammenfassende Ergebnisse

4.1 Übersicht Teilberichte und Datensätze

In Tabelle 1 sind die bearbeiteten Baustoffe nach Teilberichten sowie die dazu erarbeiteten Ökobilanz-Datensätze in der Übersicht dargestellt. Es sind diejenigen Datensätze, die das Projektteam bei der nächsten Aktualisierung zur Aufnahme in die KBOB-Liste vorschlägt. Vorbehalten bleiben mögliche Zusammenfassungen z.B. bei den Putzen. Es handelt sich um insgesamt 111 Datensätze, wovon 55 neue, bisher nicht in der KBOB-Liste vorhandene Datensätze zu Bauteilen und Baustoffen. Bei den aktualisierten Datensätzen wurden die Baustoffe z.T. differenzierter aufgeschlüsselt. Zudem liessen sich aus den erarbeiteten Sachbilanzdaten zusätzliche Datensätze zu Prozessen oder Zwischenprodukten herleiten. Die Herleitung der Datensätze, die Ergebnisse und die Interpretationen sind in den nachfolgenden Unterkapiteln zusammengefasst und in den Teilberichten A bis M ausführlich beschrieben.

Tabelle 1: Teilberichte und bearbeitete Produkte

Teilbericht	Titel	Umfang	Anzahl Datensätze	
			neu	aktualisiert
A	Markanalyse ausgewählter Baustoffe	Kies und Sand, Natursteine, Zement, Backsteine, Dachziegel Wärmedämmstoffe		8
				3
				5
B	Tiefbauarbeiten bei Hochbauten	Baugrubensicherungen Tiefgründungen Wasserhaltung	12	
			8	
			4	
C	Dämmbeton mit Leichtzuschlag	Schaumglasschotter Dämmbeton	1	
			1	
D	Gipswerkstoffe	Gipskartonplatten Gipsfaserplatten Vollgipsplatten Gipsbindemittel		1
				1
				1
				5
E	Putze	Organische Putze Gipsputze Mineralische Putze Baukleber und Einbettmörtel		3
				2
				6
				2
F	Unterlagsböden	Anhydrit-Unterlagsböden Zement-Unterlagsböden		1
				1
G	Verglasungen	3-fach Verglasungen 2-fach Verglasungen Gläser, Float low E 1.1, ESG, VSG		5
				6
				4
H	Fensterprofile	PVC-Rahmen Aluminium-Rahmen		1
				1
I	Sonnenschutz	Lamellenstoren Ausstellstoren Rollläden	1	
			1	
			1	

Teil-bericht	Titel	Umfang	Anzahl Datensätze	
			neu	aktualisiert
J	Fassaden- bekleidungen	Aluverbundplatten GFK-Platten HPL-Platten	1 1 1	
K	Putzträger- platten	Kunstharzgebundene Putzträgerplatten Mineralisch gebundene Putzträgerplatten	1 1	
L	Aerogel	Aerogel-Vliese	1	
M	Kücheneinbau- ten und -Möbel	Fronten und Korpusse Arbeitsplatten Kücheneinbauten	10 6 4	
Total Datensätze			55	56

4.2 A: Marktsituation ausgewählter Baustoffe

Die Umweltauswirkungen von Baustoffen hängen unter anderem vom Ort ihrer Bereitstellung und davon ab, welche Produkte oder Produktgruppen eines bestimmten Marktes sie repräsentieren sollen. Grundsätzlich sollen Produkte der KBOB-Liste ab Regionallager bereit stehen und den schweizerischen Baustoffmarkt inkl. Import repräsentieren.

In der aktuellen Version der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 ist die Importsituation nicht für alle Baustoffe adäquat abgebildet. Deshalb werden für wichtige Baustoffe mit geringer Verarbeitungstiefe oder geringer Dichte Durchschnittswerte ab Regionallager Schweiz erarbeitet, die den schweizerischen Markt repräsentieren, die Importsituation abbilden und entsprechende Transportdistanzen und Transportmittel berücksichtigen. Es wird vorgeschlagen, die Daten in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 für 16 Datensätze zu Kies (3), Naturstein (5), Zement (1), Backstein (1), Dachziegel (1) und Dämmstoffe (5) zu aktualisieren.

Die Inlandproduktionsmenge ergibt zusammen mit der Importmenge die in der Schweiz abgesetzte Gesamtmenge, das heisst die relativen Anteile der Produkte oder Produktgruppen auf dem schweizerischen Absatzmarkt. Die Exportmengen werden mit demselben Marktmix angenähert, weshalb sie nicht weiter betrachtet werden. Der Mix der Transportmittel, mit welchen die Baustoffe in die Schweiz importiert werden, wird ebenfalls berücksichtigt. Die benötigten Daten stammen von der eidgenössischen Zollverwaltung, dem Bundesamt für Statistik, Verbänden und Herstellern und beziehen sich auf die Jahre 2010 bis 2014.

Die Umweltkennzahlen der Baustoffe ab Regionallager werden jeweils auf 1 kg Baustoff bezogen.

Tabelle 2: Datensätze für die Marktsituation ausgewählter Baustoffe (Herstellung und Entsorgung, nach ecoinvent 2.2+)

Ökobilanz-Datensätze	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Spezifikationen
Sand und Kies	kg	0.062 – 0.136	3 Datensätze: Kies gebrochen, rund, und Sand Importanteil: 19 %, aus grenznahen Regionen Gewichtete Importdistanz: 20 km per Lkw
Natursteinplatten	kg	9.14 – 15.16	5 Datensätze: geschnitten, geschliffen, und poliert, Marktmix Übersee und Europa Importanteil: 87 % Gewichtete Importdistanz mit Lkw (430 km), mit Bahn (45 km), mit Rheinschiff (110 km) und Übersee Frachtschiff (5175 km)
Zement	kg	3.60	1 Datensatz Importanteil: 14 % Gewichtete Importdistanz: 400 km (98 % per Lkw)
Backsteine und Dachziegel	kg	2.65 – 3.83	2 Datensätze: Backsteine und Dachziegel Importanteil: 11 % Gewichtete Importdistanz: Dachziegel 638 km (95 % per Lkw), Backsteine: 698 km (95 % per Lkw)
Dämmstoffe	kg	15.6 - 107	5 Datensätze: Glaswolle, Steinwolle, EPS, XPS und PUR Importanteile: EPS: 16 %, XPS und PUR: 45 %, Glaswolle: 20 %, Steinwolle: 25 %, Gewichtete Importdistanz: EPS und XPS: 701 km, PUR: 848 km, Glaswolle: 795 km, Steinwolle: 820 km

Am deutlichsten weicht der Grauenergiewert bei Natursteinplatten ab Regionallager vom bisher in der KBOB-Empfehlung aufgeführten Wert für die inländische Produktion ab. Hauptgrund ist der hohe Importanteil von 87 %. Bei Natursteinplatten ab Regionallager liegt der Grauenergiewert je nach Verarbeitungstiefe bis zu 22 % über demjenigen der Natursteinplatten ab Schweizer Werk. Bei Sand und Kies mit einem Importanteil von 19 % liegt der Grauenergiewert um bis zu 13 %, bei Zement mit einem Importanteil von 14 % um 5 %, bei Backsteinen und Dachziegeln mit einem Importanteil von 11 % um bis zu 7 % und bei Dämmstoffen (ausgenommen Glaswolle) mit einem Importanteil zwischen 16 % und 45 % um bis zu 10 % höher als der entsprechende Wert der Baustoffe aus Schweizer Produktion.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchung sind die Importanteile aller untersuchter Baustoffe zu berücksichtigen. Bei Zement ist anzunehmen, dass die Variabilität der Produktion einen grösseren Einfluss als die Transporte in die Schweiz. Aus diesem Grunde sollten Ökobilanzen der wichtigsten deutschen und italienischen Produktionsstandorte (Heidelberg und Bergamo) erstellt werden.

4.3 B: Tiefbauarbeiten bei Hochbauten

Neben den benötigten Baumaterialien für den Hochbau können auch die ersten baulichen Schritte eines Neubaus, nämlich die Baugrubensicherung, die Tiefgründung und die Wasserhaltung einen relevanten Material- und Energiebedarf verursachen. Für eine gesamtheitliche Betrachtung der Erstellung und der Entsorgung des ganzen Gebäudes stellt sich daher die Frage nach den Umweltauswirkungen von Tiefbauarbeiten.

In der aktuellen Version der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 sind keine Umweltkennwerte zu Baugrubensicherungen, Tiefgründungen und Wasserhaltungen enthalten. Deshalb wurden in dieser Studie Sachbilanzinventare zu den wesentlichen Tiefbauarbeiten im Hochbau erarbeitet. Es wird vorgeschlagen, die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 um 24 Datensätze zu Baugrubensicherungen (12), Tiefgründungen (8) und zur Wasserhaltung (4) zu erweitern.

Die Sachbilanzdaten der unterschiedlichen Baugrubensicherungen und Tiefgründungen basieren auf Durchschnittsdaten von realisierten Bauprojekten verschiedener Bauunternehmungen in der Schweiz in den letzten zwei Jahren. Die Ausführungen entsprechen den Schweizer Anforderungen und Normen.

Die Umweltbelastung der Baugrubensicherungen wird bezogen auf 1 Quadratmeter Ansichtsfläche, diejenige der Tiefgründung auf 1 Meter Pfahlänge und diejenige der Wasserhaltung auf 1 Kubikmeter geförderttes Grundwasser. Die Bandbreite der Grauen Energie verschiedener Tiefbauarbeiten bei Hochbauten wird in Tabelle 3 aufgezeigt.

Tabelle 3: Datensätze für Tiefbauarbeiten bei Hochbauten (Herstellung und Entsorgung, nach ecoinvent 2.2+)

Ökobilanz-Datensätze	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Spezifikationen
Spundwand	m ²	1'500 – 2'910	3 Datensätze: auskragend, gespriesst, verankert Annahmen: Spundwand wird rückgebaut, Stahlprofile können 3-mal genutzt werden, danach werden sie eingeschmolzen
Rühlwand	m ²	2'450 – 3'390	3 Datensätze: auskragend, gespriesst, verankert Annahmen: Rühlwand wird rückgebaut, Beton wird zu 90 % recycelt, Holz wird zu 50 % recycelt
Bohrpfahlwand	m ²	5'520 – 8'280	3 Datensätze: unverankert (Durchmesser: 720 mm), gespriesst (720 mm), verankert (750 mm) Annahmen: Beton zurück gebaut und zu 90 % recycelt
Rüttelstopfsäule	m	111	1 Datensatz Rüttelstopfsäulen aus Rundkies (Korngrösse 16 – 32 mm)
Ortbetonbohrpfahl	m	1'490 – 3'120	3 Datensätze für verschiedene Durchmesser: 700 mm (Zementgehalt: 310 kg/m ³), 900 mm (345 kg/m ³), 1200 mm (350 kg/m ³) Armierungsgehalt: 55.8 kg/m ³

Ökobilanz-Datensätze	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Spezifikationen
Wasserhaltung	m ³	0.389 – 0.613	4 Datensätze für verschiedene Pumphöhen: 2.5, 5, 7.5, 10 m Stromverbrauch hängt von der Förderhöhe, aber kaum von der Pumpengrösse ab

Die nicht erneuerbare Primärenergie (Graue Energie) der untersuchten Baugrubensicherungstypen zeigt eine grosse Spannweite. Die Graue Energie von Spund- und Rühlwänden ist unabhängig von der Konstruktionsart (auskragend, gespriesst oder verankert) deutlich tiefer als jene von Bohrpfahlwänden. Auch innerhalb der einzelnen Verfahren zur Baugrubensicherung gibt es grosse Unterschiede zwischen auskragenden (bzw. unverankerten im Fall der Bohrpfahlwand), gespriessten und verankerten Konstruktionen. Den niedrigsten und den höchsten Aufwand an Grauer Energie weisen die Nagelwand (1'180 MJ pro m² Ansichtsfläche) resp. die Schlitzwand mit einer Breite von 800 mm (8'290 MJ pro m² Ansichtsfläche) auf.

Die spezifische Graue Energie der verschiedenen Verfahren zur Tiefgründung variiert um den Faktor 29. Die Rüttelstopfsäule erfordert mit 111 MJ pro m den geringsten nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf gefolgt von vorgefertigten Betonpfählen und Mikrobohrpfählen mit 242 und 418 MJ pro m Pfahl. Ortsbetonbohrpfähle erfordern mit 1'490 bis 3'120 MJ pro m Bohrpfahl am meisten Graue Energie unter den analysierten Verfahren zur Tiefgründung. Diese hängt stark vom Durchmesser und der Ausführung der Pfähle ab.

Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf pro m³ gepumptes Grundwasser beträgt zwischen 0.39 und 0.613 MJ für Pumphöhen von 2.5 bis 10 m und hängt vor allem von der Förderhöhe ab.

Zur Abschätzung der Relevanz von Tiefbauarbeiten wird das in Kapitel 2 beschriebene Referenzgebäude beigezogen. Bei der Baugrubensicherung wird von einer Ansichtsfläche von 126 m² (angenommene Baugrubentiefe: 3 m) ausgegangen. Mit einer gespriessten Spundwand beträgt die Graue Energie 93.5 MJ pro Quadratmeter Energiebezugsfläche. Wird eine gespriesste Bohrpfahlwand gebaut, so liegt die nicht erneuerbare Primärenergie mit 516 MJ pro Quadratmeter Energiebezugsfläche deutlich höher. Die Baugrubensicherung hat damit einen Anteil von 2.4 % bis 13 % an der totalen Grauen Energie des Referenzgebäudes bei dessen Errichtung.

Falls eine Tiefgründung für das Referenzgebäude erforderlich ist, so könnte eine geschätzte Anzahl von 15 Pfählen (basierend auf einem Raster über die Grundfläche des Gebäudes mit Abständen von 6-8 m) mit einer Länge von je 10 m eingesetzt werden. Mit Ortsbetonbohrpfählen mit einem Durchmesser von 700 mm beträgt die für die Tiefgründung aufgewendete nicht erneuerbare Primärenergie 111 MJ pro Quadratmeter Energiebezugsfläche bzw. knapp 3 % der totalen Grauen Energie des Referenzgebäudes (ohne Berücksichtigung der Amortisationszeiten).

Die Relevanz der Wasserhaltung wird mit den folgenden, eher konservativen Annahmen abgeschätzt: Das zu pumpende Wasservolumen beträgt 500 Liter pro Mi-

nute und wird während einer Zeitdauer von 10 Wochen über eine Höhe von 5 m gepumpt. Damit beträgt das geförderte Wasservolumen über die ganze Bauzeit 50'400 m³ und die dafür verbrauchte nicht erneuerbare Primärenergie 23'000 MJ bzw. 11.3 MJ pro Quadratmeter Energiebezugsfläche. Die Graue Energie der Wasserhaltung ist in diesem Fall im Vergleich zur totalen Grauen Energie des Referenzgebäudes mit einem Anteil von 0.3 % (ohne Berücksichtigung der Amortisationszeiten) von untergeordneter Bedeutung.

4.4 C: Dämmbeton mit Leichtzuschlag

Dämmbeton vereint Tragfunktion und Dämmung in einem Bauteil. Mit Dämmbeton sind monolithische Aussenwandkonstruktionen möglich, wobei heute aufgrund der geforderten U-Werte oft Systeme mit einer Kerndämmung aus EPS eingesetzt werden. Der Schaumglasschotter, der beim Dämmbeton anstatt der üblichen Gesteinskörnung eingesetzt wird, kann auch als Wärmedämmung oder Frostschutzschicht unter Fundamenten oder Gründungsplatten eingesetzt werden.

In der aktuellen Version der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 sind keine Ökobilanzdaten für Dämmbeton vorhanden. Deshalb werden zwei neue Datensätze für Dämmbeton und Schaumglasschotter bereitgestellt.

Die Daten für Dämmbeton und Schaumglasschotter wurden bei der Firma Misapor erhoben. Der untersuchte Dämmbeton hat eine spezifische Wärmeleitfähigkeit (λ) von 0.27 W/mK und eine Rohdichte von 1'130 kg/m³.

Die Ökobilanzresultate werden beim Dämmbeton und beim Schaumglasschotter auf ein Kilogramm bezogen (Tabelle 4). Die Resultate sind repräsentativ für die Produkte von Misapor. Neben Misapor gibt es in der Schweiz auch andere Anbieter.

Tabelle 4: Datensätze Dämmbeton (Herstellung und Entsorgung, nach ecoinvent 2.2)

Ökobilanz-Datensätze	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Spezifikationen
Dämmbeton	kg	4.40	1 Datensatz, $\lambda = 0.27 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, Rohdichte 1'130 kg/m ³
Schaumglasschotter	kg	5.51	1 Datensatz, Schüttdichte 130-165 kg/m ³ ,

Bei den Ökobilanzdaten von Dämmbeton haben die Ausgangsstoffe Schaumglas und Zement den grössten Einfluss auf die Ergebnisse. Zusammen machen sie gut 90 % der nicht erneuerbaren Primärenergie aus. Da Schaumglasschotter aus Altglas hergestellt wird, werden die Umweltkennzahlen vor allem vom Stromverbrauch bei der Herstellung (Schmelzen) beeinflusst.

Der Einsatz von Dämmbeton für die Aussenwandkonstruktion des Referenzgebäudes (siehe Kapitel 2) würde die nicht erneuerbare Primärenergie der Aussenwände im Vergleich zur bestehenden Variante etwa verdreifachen. Dabei wären neben einer Dämmbetonwand von 50cm weitere Dämmmassnahmen erforderlich um einen

äquivalenten U-Wert zu erreichen. Aussenwände aus Dämmbeton sind deshalb in der Bilanzierung der Erstellung von Gebäuden relevant.

4.5 D: Gipswerkstoffe

Gipswerkstoffe sind bedeutende Baustoffe im Innenausbau. Leichtbauwände werden mit Gipsplatten beplankt und mit Gipsputzen verputzt. Auch Unterlagsböden aus Anhydrit bestehen aus Gipswerkstoffen. Zudem werden sie als Zuschlagstoff beispielsweise im Zement verwendet. Der Teilbericht Gipswerkstoffe befasst sich mit Gipsplatten und Gipsen als industrielle Zwischenprodukte. Die Ökobilanz der Anhydrit-Unterlagsböden wird im Teilbericht "Unterlagsböden" präsentiert und die Gipsputze im Teilbericht "Putze".

Unter dem Titel Gipswerkstoffe wurden die Ökobilanzdaten für drei Gipsplatten aktualisiert. Zusätzlich wurden fünf Gipsbindemittel neu bilanziert, die als Zwischenprodukte in der Herstellung von Gipsplatten, Gipsputzen, Unterlagsböden und als Zuschlagstoffe in zahlreichen Bauprodukten verwendet werden.

Im Vergleich zu den bestehenden Datensätzen wurde nach drei Plattentypen differenziert. Während die bestehenden Datensätze für alle Gipsplatten aus den Produktionsdaten der Gips-Wandbauplatte (Vollgipsplatte) abgeleitet wurden, sind hier für alle drei Plattentypen spezifische Produktionsdaten verwendet worden. Diese stellte der deutsche Verband der Gipsindustrie als gemittelte Herstellerdaten aller Werke in Deutschland zur Verfügung. Für Gipskarton- und Gipsfaserplatten erfassen diese Daten den grössten Teil der Gipsplatten auf dem Schweizer Markt. Für die Gips-Wandbauplatten stellte der einzige schweizerische Produzent keine Daten zur Verfügung. Die Daten des deutschen Gipsverbands zu den Vollgipsplatten stammen von einem Produzenten in Deutschland, der in der Schweiz nur einen geringen Marktanteil hat. Die Ökobilanzen der Bindemittel basieren auf publizierten Ökobilanzen des deutschen Verbands der Gipsindustrie.

Die Bilanzen der Gipswerkstoffplatten sind pro Flächeneinheit dargestellt. Für Gipskarton- und Gipsfaserplatten wurden auf Empfehlung des Verbandes der Gipsindustrie jeweils Platten mit einem Flächengewicht von 10 kg/m² bilanziert. Dies entspricht einer Plattenstärke von ca. 12.5 mm. Gips-Wandbauplatten werden mit einem Flächengewicht von 84 kg/m² bilanziert. Die Flächengewichte der Platten können je nach Plattentyp und Hersteller auch bei derselben Dicke variieren. Für konkrete Anwendungen ist deshalb eine Umrechnung auf das korrekte Flächengewicht nötig.

Die Gipskartonplatte weist die geringste nicht erneuerbare Primärenergie pro Fläche auf (vgl. Tabelle 5). Bei der Gipsfaserplatte ist der Energieaufwand in der Endfertigung deutlich höher, was sich auf die Umweltkennzahlen auswirkt. Im Vergleich zu den älteren Daten zeigen sich bei der Gips-Wandbauplatte nur kleine Unterschiede. Beim Anhydrit führt die Bereitstellung aus der Flusssäuresynthese zu niedrigeren Umweltkennzahlen, diejenige aus REA-Gips zu höheren Werten. Bei den Gips-Halbhydraten hat die Herstellungstechnologie den grössten Einfluss auf das Ergebnis: α -Halbhydrat wird unter hohem Druck hergestellt während β -Halbhydrat aus Naturgips nur getrocknet werden muss und deshalb deutlich weniger Herstellungsenergie benötigt.

Tabelle 5: Datensätze für Gipswerkstoffe (Herstellung und Entsorgung, nach ecoinvent 2.2)

Ökobilanz-Datensätze	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Spezifikationen
Gipskartonplatte	m ²	50.1	1 Datensatz: Flächengewicht 10 kg/m ² , Stärke ca. 12.5 mm
Gipsfaserplatte	m ²	92.2	1 Datensatz: Flächengewicht 10 kg/m ² , Stärke ca. 12.5 mm
Gips-Wandbauplatte (Vollgipsplatte)	m ²	450	1 Datensatz: Flächengewicht 84 kg/m ² , Stärke produktabhängig
Anhydrit (nur Herstellung)	kg	1.53-2.49	2 Datensätze: aus REA-Gips oder Flusssäuresynthese
Gips-Halbhydrate (nur Herstellung)	kg	1.67-3.75	3 Datensätze: α- und β-Halbhydrat aus REA-Gips, β-Halbhydrat aus Naturgips

Die Bedeutung der Gipswerkstoffe im Gebäudekontext hängt stark von der gewählten Bauweise und vom Grundriss ab. Falls alle nichttragenden Wände als Ständerwände mit Gipsplatten oder aus Vollgipsplatten erstellt werden, kann der Anteil der Gipsplatten an der Grauen Energie des Referenzgebäudes zwischen 1 bis 4 % betragen.

4.6 E: Putze

Putze dienen als Wandbekleidungen im Aussen- und Innenbereich. Die Vielfalt der Produkte ist beträchtlich. Sie unterscheiden sich in Art und Menge der eingesetzten Bindemittel, Füllstoffe und Additive, je nach Anforderungen an das Erscheinungsbild, die Widerstandsfähigkeit oder Verarbeitungseigenschaften. Für die Ökobilanzierung wurden im Rahmen einer Fachgruppe aus Herstellervertretern zwölf Putz- und Einbettmörtelklassen definiert. Für diese Putzklassen sind repräsentative Standardrezepturen erstellt worden. Für die Integration in die KBOB-Empfehlung wird eine Zusammenfassung von Klassen mit ähnlichen Umweltkennzahlen empfohlen.

Die bestehenden Putzdaten in der KBOB-Liste aus den Neunzigerjahren wurden damals ohne Herstellerbeteiligung bilanziert. Die Einteilung der Putze entspricht nicht mehr in allen Bereichen der heutigen Baupraxis. Die nun aktualisierten Daten basieren alle auf Herstellerangaben zum Produktionsaufwand, den Rezepturen und den Transporten in der Produktionskette. Die Produktionsdaten stammen aus Erhebungen der deutschen Verbände im Rahmen der Erstellung von Umweltproduktdeklarationen. Daraus konnten auch Standardrezepturen verwendet werden, die zusammen mit der Fachgruppe an die in der Schweiz üblichen Produkte angepasst wurden. Die Vertreter der Schweizer Hersteller und Importeure lieferten zusätzliche Angaben bezüglich der Marktverhältnisse in der Schweiz.

Alle Putze werden in Tabelle 6 als ausgehärtete Putze auf Kilogramm bezogen dargestellt. Im Teilbericht werden zusätzlich die Ergebnisse pro Kilogramm Putz ab Werk vor präsentiert. Im Hinblick auf die Vergleichbarkeit der Daten wäre eine Bilan-

zierung pro Quadratmeter verputzter Fläche wünschenswert. Dieser Ansatz wird jedoch wegen der Vielfalt möglicher Putzaufbauten unübersichtlich und hätte eine weit grössere Anzahl von Datensätzen zur Folge.

Tabelle 6: Datensätze für ausgehärtete Putze (Herstellung und Entsorgung, nach ecoinvent 2.2)

Ökobilanz-Datensätze	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Spezifikationen
Gipsputz (Weissputz), Gips-Kalk-Putze	kg	2.60-2.62	2 Datensätze: Trockenrohichte der ausgehärteten Produkte: 850-1'200 kg/m ³
Mineralische Putze	kg	2.67-7.12	6 Datensätze: Trockenrohichte der ausgehärteten Produkte: 700-1'800 kg/m ³
Organische Putze	kg	18.6-22.5	3 Datensätze: unterschiedliche Bindemittel und Zuschlagsstoffe, Trockenrohichte der ausgehärteten Produkte: 1'500-1'900 kg/m ³
Baukleber und Einbettmörtel mineralisch und organisch	kg	6.17-15.3	3 Datensätze: unterschiedliche Bindemittel und Zuschlagsstoffe, Trockenrohichte der ausgehärteten Produkte: 900-1'700 kg/m ³

Der Unterschied zwischen reinen Gipsputzen und Gips-Kalk-Putzen ist marginal. Im Vergleich aller Putze weisen beide Gipsputze eine tiefe nicht-erneuerbare Herstellungsenergie auf. Mineralische Putze weisen pro Kilogramm ausgehärtete Putz niedrigere Umweltkennzahlen auf als organische Putze. Allerdings ist für einen korrekten Vergleich der Verbrauch pro Quadratmeter auch zu beachten, der für jedes Produkt und je nach Anforderungen an das Erscheinungsbild unterschiedlich ausfallen kann. Die Kennzahlen für Baukleber und Einbettmörtel liegen pro Kilogramm zwischen den organisch und den mineralisch gebundenen Putzen. Auch hier müssen die Ergebnisse über den Verbrauch pro Quadratmeter auf die Fläche am Gebäude umgerechnet werden.

Aus der Neubilanzierung der Putze ergeben sich grosse Unterschiede zu den bestehenden Daten. Mit den neuen Datensätzen werden die heute am Bau verwendeten Produkte besser abgedeckt. Das Referenzgebäude ist mit einer verputzten Aussenwärmedämmung ausgestattet. Wenn die Graue Energie des benötigten Bauklebers für die Befestigung der Dämmplatten, des Einbettmörtels aus den Dämmplatten und eines organischen Putzes mit Vollabriebstruktur berechnet wird, so liegt der Anteil an der Grauen Energie des Gebäudes im Bereich von 1-2 %.

4.7 F: Unterlagsböden

Der Teilbericht befasst sich mit der Ökobilanzierung von Unterlagsböden, die als Schicht direkt zwischen Tragstruktur und Nutzbelag erstellt werden. Deckenkonstruktion des Rohbaus und Unterlagsboden (UB) sind in der Regel durch eine Kunststoffolie getrennt. Gemäss europäischer Norm werden Unterlagsböden als Estrich bezeichnet. UB können in zäh- bis dünnflüssiger Form aufgebracht werden

und härten im Gebäude aus. Als Bindemittel werden Zement oder Anhydrit (Calciumsulfat) eingesetzt.

Für beide Unterlagsböden sind bereits Datensätze in der KBOB-Liste vorhanden. Diese basieren auf Literaturdaten, die Ende der neunziger Jahre erhoben wurden (Kellenberger et al., 2007). Für das vorliegende Projekt konnten drei Anbieter von Unterlagsböden in der Schweiz für die Mitarbeit gewonnen werden. Aufgrund der Angaben der teilnehmenden Hersteller konnten die Marktanteile der UB nach Bindemitteltyp und Verarbeitungsform abgeschätzt und mittlere Datensätze für Zement- und Anhydrit-UB erstellt werden.

Die Sachbilanzdaten stammen aus einer Erhebung des deutschen Industrieverbandes Werkmörtel unter seinen Mitgliedern zur Erstellung von Umweltproduktdeklarationen. In Zusammenarbeit mit den Schweizer Anbietern wurden Anpassungen bei den Rezepturen vorgenommen und die Bilanzierung den schweizerischen Verhältnisse angepasst.

Die Graue Energie wird in Tabelle 7 auf einen Quadratmeter UB bezogen. Die Ökobilanz bezieht sich auf die verarbeitungsfertige Mischung auf der Baustelle. Um die Vergleichbarkeit mit den Daten anderer Baustoffe zu gewährleisten, die in der KBOB-Liste keinen Verarbeitungsaufwand aufweisen, wird auch für UB kein Transport zur Baustelle und keine Energie für das Pumpen der Mischung vom Mischer zum Raum der Applikation berücksichtigt.

Tabelle 7: Datensätze für Unterlagsböden (Herstellung und Entsorgung, nach ecoinvent 2.2)

Ökobilanz-Datensätze	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Spezifikationen
Zementunterlagsboden	m ²	181	Flächengewicht feucht 181 kg/m ² , mittlere Dicke 85 mm
Anhydritunterlagsboden	m ²	201	Flächengewicht feucht 127 kg/m ² , mittlere Dicke 59 mm

Der Zementunterlagsboden wird pro Quadratmeter mit der Normdicke von 85 mm bilanziert. Er weist pro Quadratmeter einen leicht geringeren nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf auf als der Anhydrit-UB. Der Unterschied liegt mit 10 % im Unsicherheitsbereich einer Ökobilanzierung. Die mittlere Dicke des Anhydrit-UB ergibt sich aus den Normdicken von konventionellen und Fließbelägen, in dem der Mittelwert anhand der Marktanteile gebildet wird.

Im Rahmen des gesamten Gebäudes können Unterlagsböden einen nennenswerten Anteil an der Grauen Energie ausmachen, da sie grossflächig auf den Decken aufgebracht werden. Ihr Anteil an der Grauen Energie des Gebäudes liegt in der Grössenordnung von einigen Prozent. Wenn im Referenzgebäude mit durchgehenden UB auf allen Decken gerechnet wird, so ergibt sich ein Anteil am Gesamtgebäude von rund 5 %.

4.8 G: Verglasungen

Isoliergläser bestehen aus zwei (2-IV) bis drei Gläsern (3-IV). Bei den eingesetzten Gläsern handelt es sich um Flachglas (Float), Einscheibensicherheitsglas (ESG) und Verbundsicherheitsglas (VSG). Die Scheibenzwischenräume der Verglasungen sind mit einem Isoliergas (Argon oder Krypton) gefüllt. Zudem wird der U-Wert von Isoliergläsern durch spezielle Beschichtungen (Wärmeschutzschichten) verbessert.

In der aktuellen Version der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 sind zwei Datensätze für 2-IV Verglasungen und ein Datensatz für eine 3-IV Verglasung vorhanden. Diese Daten wurden aktualisiert und mit zusätzlichen Varianten erweitert. Nebst den einfachen 2-IV und 3-IV Verglasungen wurden auch verschiedene Verglasungen mit ESG und/oder VSG untersucht. Insgesamt wurden elf verschiedenen Verglasungen bilanziert. Dazu wurden Datensätze erstellt für die Herstellung von Flachglas (Aktualisierung), VSG, ESG und für das Beschichten von Gläsern (Aktualisierung).

Die Daten für die Herstellung von Isolierverglasungen, VSG und ESG wurden bei der Flachglas Schweiz AG und Glas Trösch erhoben. Für die Herstellung von Flachglas wurden die aktuellen Sachbilanzdaten des europäischen Verbands (Glass for Europe) genutzt. Analog zu den bereits vorhandenen Isolierverglasungen in der KBOB-Liste wurden die aktualisierten und erweiterten Daten für Verglasungen pro m² sichtbarer Glasfläche (Glasfläche im Licht) bilanziert. Tabelle 8 zeigt die Spannbreiten der nicht erneuerbaren Primärenergie für die bilanzierten Verglasungsvarianten.

Tabelle 8: Datensätze für Verglasungen (Herstellung und Entsorgung, nach ecoinvent 2.2)

Ökobilanz-Datensätze	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Spezifikationen
2-IV Verglasung	m ²	634 – 835	2 Datensätze: 18 und 24 mm, beide U=1.1 W/m ² K
2-IV Verglasung VSG/ESG	m ²	1'190 – 1'390	3 Datensätze: ESG/Float, Float/VSG, ESG/VSG, alle U=1.1 W/m ² K
3-IV Verglasung	m ²	967 – 1'570	2 Datensätze: 32 und 36 mm, beide U=0.6 W/m ² K
3-IV Verglasung VSG/ESG	m ²	1'530 – 1'740	4 Datensätze: Kombinationen verschiedener Gläser, alle U=0.6 W/m ² K

Die nicht erneuerbare Primärenergie der Verglasungen ist mit den aktualisierten Daten teilweise deutlich höher als bisher. Dies lässt sich einerseits mit den materialintensiveren Varianten (z.B. 2-IV und 3-IV mit VSG) erklären. Andererseits sind Glasverschnitt und Füllgasverluste in den neu erhobenen Daten signifikant höher als in den älteren Bilanzen. In Bezug auf das Referenzgebäude (Kapitel 2) liegt der Einfluss der Verglasungen (ohne Fensterprofile) auf die nicht erneuerbare Primärenergie der Erstellung des Gebäudes bei 7% bis 11% (unter Berücksichtigung der Amortisationszeiten).

4.9 H: Fensterprofile

Zusammen mit Vertretern der Verbände PVCH (Arbeitsgemeinschaft der Schweizerischen PVC-Industrie), SZFF (Schweizerische Zentrale Fenster und Fassaden) und FFF (Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche) wurden für alle zu bilanzierenden Profiltypen folgende Eigenschaften definiert:

- Fenster mit 2 Flügeln (ohne Sprossen und Kämpfer)
- Aussenmasse 1750 x 1300 mm
- Flügelteilung je zur Hälfte
- Bautiefe variabel
- U_f -Wert variabel

Die Notwendigkeit, Profile mit grösseren Ausmassen zu berücksichtigen, wurde diskutiert. Die Vertreter der Verbände erachteten jedoch die Aussenmasse 1750 x 1300 mm als repräsentativ für die im Durchschnitt verbauten Fensterprofile. Die bereits vorhandenen Daten zu Fensterprofilen aus Holz, Holz/Metall, PVC und Aluminium in der KBOB-Liste (Version 2014) basieren auf den Aussenmassen 1600 x 1300 mm. Jedoch sollte die Vergleichbarkeit der neu erhobenen Daten mit den Daten für Holz- und Holz/Metall-Profile in der KBOB-Liste immer noch gegeben sein. Die Bezugsgrösse ist die gleiche geblieben. Ebenso dürfte sich das Verhältnis von Rahmenfläche absolut zu Rahmenfläche im Licht kaum verändert haben.

Im Rahmen des Projekts QualiBOB konnten die Daten für PVC- und Aluminiumprofile aktualisiert werden. Die Datenerhebung erfolgte über die Verbände PVCH und SZFF. Für die Fensterprofile aus PVC konnten Daten von drei Herstellern ausgewertet werden. Für Aluminiumprofile stammen die Daten von einem Hersteller.

Wie bei den bereits vorhandenen Daten für Fensterprofile in der KBOB-Liste wurden die aktualisierten Ökobilanzen auf 1 m² Rahmenfläche im Licht bezogen (siehe Tabelle 9). Die Rahmenprofile weisen jedoch unterschiedliche U-Werte auf.

Tabelle 9: Datensätze für Fensterprofile (Herstellung und Entsorgung, nach ecoinvent 2.2)

Ökobilanz-Datensätze	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Spezifikationen
PVC-Profile	m ²	5'800	1 Datensatz: $U_f = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Aluminium-Profile	m ²	6'530	1 Datensatz: $U_f = 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$

Im Vergleich zu den bereits vorhandenen Daten in der KBOB-Liste sind die aktualisierten Umweltkennzahlen der Profile etwas niedriger. Bei den PVC-Profilen werden 50 % bis fast 70 % der untersuchten Umwelteinwirkungen vom Kunststoff PVC verursacht. Die Resultate für die Aluminium-Profile werden zu 50-60 % von Primäraluminium beeinflusst. In der Bilanzierung wurde der durchschnittliche europäische Produktionsmix gemäss ecoinvent v2.2 mit einem Anteil an Sekundäraluminium von 32 % für die Aluminiumprofile, respektive einem Anteil von 80 % Sekundäraluminium bei Aluminiumguss berücksichtigt.

In Bezug auf die nicht erneuerbare Primärenergie für die Erstellung des Referenzgebäudes (siehe Kapitel 2) beträgt der Einfluss der Fensterprofile 4-5 % (bei einem Rahmenanteil im Fensterlichtmass von durchschnittlich 12 %).

4.10 I: Sonnenschutz

Bislang sind in der KBOB-Empfehlung noch keine Daten für Sonnenschutzsysteme enthalten. Der Sonnenschutz wird im Rahmen von Gebäudeökobilanzen nach SIA 2032 vernachlässigt. In der vorliegenden Studie wurden Daten für Lamellenstoren, Ausstellstoren (Ausstellmarkisen) und Rollläden erhoben.

Die Daten wurden mit Unterstützung der Firma Griesser erarbeitet. Sie lieferte exakte Mengengerüste mit den entsprechenden Materialspezifikationen zu den verschiedenen Systemen. Sie war jedoch nicht in der Lage, betriebsspezifische Daten zum Energieverbrauch, dem Abfallaufkommen und den Emissionen während der Endfertigung bereitzustellen. Diese sind nur teilweise, als generelle Verarbeitungsstandards berücksichtigt worden.

Die Sachbilanzdaten der Sonnenschutzsysteme wurden auf 1 m² Fensterlichtmass bezogen. Somit können die daraus resultierenden Ökobilanzdaten einfach in der Berechnung der Umweltkennzahlen von Gebäuden angewendet werden. Grundlage für die Ökobilanzen war in Analogie zu den Daten für Fensterprofile die Dimensionen des Standard-Fensters 1.75 m x 1.30 m. Storenkästen, Rollen, Lager und andere Vorrichtungen sind dabei berücksichtigt worden. Alle untersuchten Systeme sind Motor betrieben. Schalter, Steuerung und Sensor sind in den Bilanzen nicht enthalten. Tabelle 10 zeigt die nicht erneuerbare Primärenergie (Graue Energie) der untersuchten Systeme. Sie liegt in derselben Grössenordnung wie jene von Verglasungen.

Tabelle 10: Datensätze für Sonnenschutzsysteme (Herstellung und Entsorgung, nach ecoinvent 2.2)

Ökobilanz-Datensätze	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Spezifikationen
Lamellenstoren	m ²	1'091	Je 1 Datensatz für ein Standardfenster pro Fläche Fensterlichtmass inkl. Storenkasten, Rollen, Lager, Motor, exkl. Schalter, Steuerung und Sensor
Ausstellstoren	m ²	1'230	
Rollläden	m ²	1'398	

Die Umweltkennzahlen der Sonnenschutzsysteme werden massgeblich von den Verarbeitungsprozessen (Verzinkung, allgemeine Verarbeitung von Aluminium, allgemeine Verarbeitung von Stahl) beeinflusst. Da die Verarbeitung in der vorliegenden Studie nur mit generischen ecoinvent-Datensätzen berücksichtigt werden konnte, ergibt sich hinsichtlich der Resultate eine grössere Unsicherheit. Durch die Vernachlässigungen werden die Umweltkennzahlen der Sonnenschutzsysteme mit den nun hier vorliegenden Werten eher unterschätzt.

Im Bezug auf das untersuchte Referenzgebäude (Kapitel 2) hat die Berücksichtigung der Sonnenschutzsysteme in der Gebäudebilanz eine Erhöhung der nicht erneuerbare Primärenergie um 7% – 9% zur Folge.

4.11 J: Fassadenbekleidungen

In der KBOB-Liste werden bereits einige Fassadenbekleidungen aufgelistet. Dazu gehören Faserzementschindeln und -platten, Hartsand- und Kalksteinplatten. Weitere können mit den vorhandenen Daten relativ einfach berechnet werden, wie z.B. Holzschalungen aus den Massivholzdaten. Im Teilprojekt Fassadenbekleidungen wurden Sachbilanzdaten und Umweltkennzahlen für die drei weitere Fassadenbekleidungen, Aluminium-Verbundplatten, Hochdrucklamine im Aussenbereich (HPL) und glasfaserverstärkte Kunststoffplatten (GFK) erarbeitet. Alle drei Baustoffe lassen sich nur unzureichend aus den bereits vorhandenen Daten in der KBOB-Liste herleiten.

Die kontaktierten Hersteller für Aluminium-Verbundplatten und HPL-Platten waren nicht bereit, Daten zur Endfertigung zur Verfügung zu stellen. Lediglich der Schweizer Hersteller von GFK-Platten stellte die werkspezifischen Daten seiner Produktion zur Verfügung.

Für alle drei Plattentypen wurde eine dem Marktmix entsprechende Durchschnittsplatte pro Quadratmeter bilanziert. Vorhandene Datenlücken wurden mit Abschätzungen geschlossen.

Tabelle 11: : Datensätze für Fassadenbekleidungen (Herstellung und Entsorgung, nach ecoinvent 2.2)

Ökobilanz-Datensätze	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Spezifikationen
Alu-Verbund Fassadenplatte	m ²	901	1 Datensatz: Flächengewicht 7.1 kg/m ² , mittlere Stärke 4 mm
Glasfaserverstärkte Kunststoffplatte, Polyester	m ²	281	1 Datensatz: Flächengewicht 2.4 kg/m ² , mittlere Stärke 1.6 mm
HPL-Fassadenplatte	m ²	740	1 Datensatz: Flächengewicht 11.6 kg/m ² , mittlere Stärke 8.1 mm

Die Aluminiumverbund-Fassadenplatten sind in der Produktion im Vergleich der neu bilanzierten Produkte am energieintensivsten (vgl. Tabelle 11). Die Endverarbeitung musste mit teilweise unsicheren Annahmen modelliert werden. Das Ergebnis ist mit entsprechenden Vorbehalten zu interpretieren. Die GFK-Platten sind dank des deutlich geringeren Flächengewichts im Vergleich zu HPL-Platten auch deutlich weniger energieintensiv in der Herstellung, obwohl beide zur Hauptsache aus Kunststoffen bestehen. Die HPL-Fassadenplatten mussten ebenfalls ohne Herstellerbeteiligung bilanziert werden. Jedoch konnten die Kennzahlen mit den publizierten Ergebnissen

aus den Umweltproduktdeklarationen (EPD) zweier Hersteller plausibilisiert werden. Für die Aluverbundplatten war dieser Vergleich nicht möglich, da der EPD völlig andere Systemgrenzen zu Grunde liegen.

Bezogen auf das Referenzgebäude ergeben sich grosse Unterschiede bezüglich der Grauen Energie der verschiedenen Bekleidungen. Würde die ganze Fassade mit Aluminiumverbundplatten versehen, so würden diese rund 10 % zur Grauen Energie des Gebäudes beisteuern. Auch HPL-Platten liegen mit ca. 9 % nur unwesentlich unter diesem Anteil. Deutlich weniger Graue Energie steckt in den GFK-Platten, die rund 3 % zur Grauen Energie des Gebäudes beitragen würden.

4.12 K: Putzträgerplatten

Putzträgerplatten werden für hinterlüftete Fassaden oder auf Holzständerkonstruktionen eingesetzt. Sie bilden den Untergrund für den aufzubringenden Putz oder die Keramikplatten. Derzeit sind die Produkte zweier Hersteller am Markt dominant, die auf unterschiedlichen Technologien beruhen. Dem eingesetzten Bindemittel entsprechend wird hier von kunstharz- und mineralisch gebundenen Putzträgerplatten gesprochen.

Mit dem vorliegenden Projekt wird je ein neuer Ökobilanzdatensatz für kunstharz- und mineralisch gebundene Putzträgerplatten präsentiert. In der bestehenden KBOB-Empfehlung kommen Putzträgerplatten nicht vor. Auch in ecoinvent ist keine Ökobilanz zu dieser Produktgruppe vorhanden.

Für beide Datensätze konnten Herstellerdaten zur Zusammensetzung und zum Produktionsaufwand verwendet werden.

Tabelle 12: : Datensätze für Putzträgerplatten (Herstellung und Entsorgung, nach ecoinvent 2.2)

Ökobilanz-Datensätze	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Spezifikationen
Putzträgerplatte kunstharzgebunden	m ²	158	1 Datensatz: Flächengewicht 6.27 kg/m ² , mittlere Stärke 13 mm
Putzträgerplatte mineralisch gebunden	m ²	71	1 Datensatz: Flächengewicht 14.4 kg/m ² , mittlere Stärke 12.5 mm

Die Bilanzen beziehen sich auf einen Quadratmeter Putzträgerplatte ab Regionallager Schweiz. Beide Platten werden im Ausland produziert.

Die nicht erneuerbare Primärenergie der kunstharzgebundenen ist rund doppelt so hoch wie diejenige der mineralisch gebundenen Putzträgerplatte (vgl. Tabelle 12). Beim Vergleich mit den anderen Fassadenbekleidungen, so muss berücksichtigt werden, dass die Putzträgerplatten noch mit einem Armierungsgewebe versehen und verputzt werden müssen. Dieser Zusatzaufwand muss bei einem kunstharzgebundenen System mit ca. 120 MJ/m² veranschlagt werden. Das kunstharzgebunde-

ne Gesamtsystem kommt also in der Grauen Energie auf ähnliche Werte wie die GFK-Platten und deutlich niedrigere Werte als HPL- oder Aluverbund-Platten. Das mineralisch gebundene System würde in der Grauen Energie noch etwas niedriger liegen als die GFK-Fassadenplatten.

Bezogen auf das Referenzgebäude tragen die Putzträgerplatten alleine zwischen 1-2 % zur Grauen Energie bei, das Gesamtsystem aus Putzträgerplatten und Putz, jedoch ohne Unterkonstruktion, macht rund 2-3 % aus.

4.13 L: Aerogel-Vliese

Aerogele aus amorpher Kieselsäure (Silica) finden u.a. in folgenden Dämmstoffprodukten Verwendung:

- Dämmmatten und Dämmplatten mit Aerogelen auf Polyester- oder Glasfasern als Trägermaterial (Aerogel-Vliese)
- Granulat als Einblasdämmstoff
- Dämmputze
- Doppelschalige Verbundelemente aus glasfaserverstärkten Polyesterharzen gefüllt mit Aerogel-Granulat

In der aktuellen Version der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 sind keine Daten zu Dämmstoffen mit Aerogel vorhanden. Aufgrund der Verfügbarkeit von Daten wurde im vorliegenden Projekt nur die Anwendung von Aerogel in Kombination mit einem Polyester-Vlies untersucht. Es handelt sich hierbei um eine der gebräuchlichsten Anwendungen von Aerogel im Baubereich. Der Markt für Aerogel-Granulat und Aerogel-Vliese wird heute von zwei Herstellern bestimmt (Cabot und Aspen Aerogels). Da die beiden Unternehmen keine Sachbilanzdaten zur Verfügung stellen wollten, wurden Daten aus einem europäischen Forschungsprojekt genutzt. Im Rahmen dieses Projekts wurden Sachbilanzdaten für die Herstellung von Aerogel-Vliesen in den Labors der Empa in Dübendorf und von Separex in Frankreich erhoben. Diese Daten wurden für das vorliegende Projekt von der Empa zur Verfügung gestellt.

In den Labors wurden die Daten pro Batch erhoben und dann pro Kilogramm Produkt umgerechnet. In Analogie zu anderen Dämmstoffen in der KBOB-Liste ist die Bezugsgrösse 1 kg Aerogel-Vlies, hergestellt nach dem Verfahren der überkritischen Trocknung oder durch Trocknung bei atmosphärischem Druck. Die betrachtete Dämmstoffmatte hat eine spezifische Wärmeleitfähigkeit von 0.015 W/mK. Für die kommerziell erhältlichen Produkte, die eine Rohdichte um 150 kg/m³ aufweisen, ist nur das überkritische Trocknungsverfahren relevant. Da die auf dem Markt erhältlichen Vliese alle in den USA hergestellt werden, wurde in den Sachbilanzen ein USA-Strommix verwendet. Ebenso wurde der Transport der Vliese nach Europa in der Modellierung berücksichtigt. Die spezifische Wärmeleitfähigkeit von Aerogel-Vliesen ist nur etwa halb so hoch wie beispielsweise jene von EPS. Die nicht erneuerbare Primärenergie von Aerogel-Vliesen hingegen ist pro Kilogramm deutlich höher als jene von konventionellen Dämmstoffen (siehe auch Tabelle 13).

Die Primärenergie nicht erneuerbar wird sehr stark vom Stromverbrauch bei der Herstellung beeinflusst. Dieser Einfluss ist auch deshalb so gross, weil im US-amerikanischen Strommix der Anteil der fossilen Energieträger sehr hoch ist. Da nur Daten von der Herstellung im Labor verwendet werden konnten und eine Skalierung

auf die Herstellung in der Industrie nur bedingt möglich ist, ist die Datenqualität jedoch eher als gering einzustufen.

Tabelle 13: Datensatz für Aerogel-Vlies (Herstellung und Entsorgung, nach ecoinvent 2.2)

Ökobilanz-Datensätze	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Spezifikationen
Aerogel-Vlies, ab Regionallager	kg	836	1 Datensatz: aus Labormassstab, $\lambda = 0.015 \text{ W/mK}$, Rohdichte 150 kg/m^3 , überkritisches Trocknungsverfahren

Die beim Referenzgebäude eingesetzte Dämmung von 14 cm mit einer spezifischen Wärmeleitfähigkeit von 0.035 W/mK (siehe Kapitel 2) hat einen U-Wert von $0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dieser U-Wert lässt sich auch mit 6 cm Aerogel-Vlies realisieren. Mit einer Rohdichte von 150 kg/m^3 ergibt das ein Flächengewicht vom Aerogel-Vlies von 9 kg/m^2 . Demzufolge beträgt die nicht erneuerbare Primärenergie der Dämmung $7'524 \text{ MJ/m}^2$. Wenn alle Aussenwände (abzüglich der Fensterfläche) vom Referenzgebäude mit Aerogel-Vlies gedämmt werden würden, würde sich ein Energiebedarf von rund $3'150 \text{ MJ pro m}^2$ Energiebezugsfläche ergeben. Die nicht erneuerbare Primärenergie dieser Dämmung ist also fast so hoch wie jene der Erstellung des gesamten Gebäudes ($3'913 \text{ MJ/m}^2 \text{ EBF}$). Trotz des relativ hohen Energiebedarfs bei der Herstellung können Aerogel-Vliese für Sanierungen mit beschränkten Platzverhältnissen eine gute Lösung darstellen. Im Vergleich zu einem ungedämmten Bauteil kann die hohe Herstellungsenergie durch Einsparungen im Heizenergieverbrauch dennoch amortisiert werden. Ebenso handelt es sich bei Aerogel-Vliesen um eine relativ neue Produktentwicklung deren Herstellung in Zukunft möglicherweise noch weiter optimiert werden kann.

4.14 M: Kücheneinbauten und -möbel

In jeder Wohnung in der Schweiz ist standardmässig eine Küche eingebaut. Dabei gibt es eine Vielzahl an möglichen Ausführungen. In einer gesamtheitlichen Betrachtung eines Gebäudes sind die Umweltauswirkungen der Herstellung und Entsorgung von Kücheneinbauten und -möbeln darum zu berücksichtigen.

In der aktuellen Version der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 sind keine Umweltkennwerte zu Kücheneinbauten und -möbeln enthalten. In dieser Studie wird eine Auswahl an häufigen Ausbaumöglichkeiten einer Normküche bilanziert, indem unterschiedliche Materialien für die Schränke und Fronten sowie die Arbeitsplatten untersucht werden. Es wird vorgeschlagen, die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 um 20 Datensätze zu Küchen (5), Küchenschränken (5), Arbeitsplatten (6) und weiteren Kücheneinbauelementen (4) zu erweitern.

Gegenstand der hier dokumentierten Ökobilanz ist eine Schweizer Standardküche. Diese besteht aus insgesamt 3.36 m^3 Möbeln, einer Arbeitsfläche von 2.34 m^2 , einer

Spüle aus Chromnickelstahl, einem Dampfabzug sowie einem Abfalltrennsystem. Von der Studie ausgenommen sind die Küchengeräte (Backofen, Herd, Geschirrspüler, Kühlschrank, Armaturen etc.). Die funktionelle Einheit der Schrank- und Schubladensysteme ist 1 Küche (komplettes Schrank- und Schubladensystem). Die funktionelle Einheit der Arbeitsplatten ist 1 m² und diejenige der weiteren Kücheneinbauten (Spüle, Dampfabzug und Abfalleimer) ist jeweils 1 Stück. Zudem wird die Bilanz eines Kubikmeters eines durchschnittlichen Schrank- und Schubladensystems erstellt.

Tabelle 14: Datensätze für Kücheneinbauten und -möbel (Herstellung und Entsorgung, nach ecoinvent 2.2+)

Ökobilanz-Datensätze	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Spezifikationen
Küche, Melaminfronten	Stk.	10'830	16-teilige Küche mit Schrankvolumen 3.36 m ³ Fronten aus melaminbeschichteten Spanplatten Korpus aus weissbeschichteten Spanplatten Chromstahl-Spüle, Dampfabzug, Abfalltrennsystem, Scharniere, etc.
Küche, furnierte Fronten	Stk.	10'630	Dieselben Spezifikationen wie Küche oben, ausser: Fronten aus furnierten Spanplatten
Küche, Fronten farbbeschichtet	Stk.	10'430	Dieselben Spezifikationen wie Küche oben, ausser: Fronten aus farbbeschichteten Spanplatten
Küche, Massivholzfronten	Stk.	8'590	Dieselben Spezifikationen wie Küche oben, ausser: Fronten und Korpus aus Massivholz
Küche, Metallfronten	Stk.	37'610	Dieselben Spezifikationen wie Küche oben, ausser: Fronten und Korpus aus kartongefüllten Stahlplatten
Arbeitsplatte	m ²	308 – 4'860	6 Datensätze: Chromstahl (standard und high-end), Massivholz, Naturstein, kunstharzbeschichtet, Kompositwerkstoff Fläche der Arbeitsplatte in einer Standardküche: 2.34 m ² Benötigte Fläche mit 10% Verschnitt: 2.60 m ² Ausschnitte Spüle und Kochfeld: 0.79 m ²

Die Küche (ohne Arbeitsplatte) mit Fronten und Korpus aus Massivholz hat mit 8'590 MJ den geringsten nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf (vgl. Tabelle 14). Dabei sind die Herstellung und Entsorgung des Dampfabzugs, der Chromstahl-Spüle, der Scharniere, Bänder und Schrauben sowie des Abfalltrennsystems mit 4'400 MJ für mehr als die Hälfte der nicht erneuerbaren Primärenergie verantwortlich. Diese Elemente sind für alle untersuchten Küchen identisch. Die Graue Energie von Küchen mit Fronten aus farbbeschichteten, furnierten und melaminbeschichteten Spanplatten beträgt zwischen 10'430 und 10'830 MJ, während eine Küche mit Metallfronten einen deutlich höheren nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf aufweist (37'610 MJ). Dies ist auf den hohen Stahlverbrauch für die Grundbauten und Fronten zurückzuführen.

Die Graue Energie der Arbeitsplatten variiert stark. Die Arbeitsplatte aus Massivholz hat mit 308 MJ/m^2 den geringsten nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf. Die höchste Graue Energie hat die high-end Ausführung der Chromstahl-Arbeitsplatte mit $4'860 \text{ MJ/m}^2$, mit deutlichem Abstand zur Naturstein-Arbeitsplatte mit dem zweithöchsten Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie ($1'545 \text{ MJ/m}^2$).

Für die Relevanzabschätzung anhand des Referenzgebäudes wird eine Küche mit Melaminfronten und einer Naturstein-Arbeitsplatte betrachtet. Die Graue Energie dieser Küchenvariante beträgt $14'850 \text{ MJ}$. Zum Zeitpunkt der Errichtung des Gebäudes mit 20 Wohnungen haben die Küchen einen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von 147 MJ pro Quadratmeter Energiebezugsfläche, was 3.8% der bisherigen Grauen Energie (ohne Berücksichtigung der Küchen) entspricht. Da über die Lebensdauer des Gebäudes (ungefähr 60 Jahre) durchschnittlich zwei Küchen pro Wohnung gebraucht werden, beträgt der Anteil der Küchen an der totalen Grauen Energie des Referenzgebäudes unter Berücksichtigung der Amortisationszeiten rund 4.5% .

5 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

5.1 Bedeutung und Konsequenzen

Die Ergebnisse des vorliegenden Projektes bedeuten einen grossen Fortschritt für die Aktualisierung, Harmonisierung und Ergänzung der „Ökobilanzdaten im Baubereich“ gemäss KBOB-Empfehlung.

Die **Aktualisierung** bei den Putzen, den Gipswerkstoffen, den Unterlagsböden sowie den Fenstern war erforderlich, stammten doch die bestehenden Daten vorwiegend noch aus den Neunzigerjahren. Die Aktualisierung hat bei den Putzen und Verglasungen deutlich höhere Umweltkennwerte zur Folge, da differenziertere Daten zu mehr Prozessen, Roh- und Hilfsstoffen erhoben und berücksichtigt wurden. Bei den Gipswerkstoffen hat die Aktualisierung nur bei der Gipsfaserplatte zu deutlich höheren Umweltkennzahlen geführt. Die Unterschiede zwischen den aktualisierten und älteren Daten zu Unterlagsböden sind vor allem auf neuere Rohstoff-Zusammensetzungen und Rezepturen zurückzuführen. Bei den Fensterprofilen aus Aluminium und PVC hat die Aktualisierung zu niedrigeren Umweltkennzahlen geführt. Beim Aluminium sind Standard-Annahmen zum Rezyklatanteil dafür verantwortlich, beim PVC Effizienzsteigerungen bei der Profilverstellung.

Die Leistungen im Bereich **Harmonisierung** sind auf zwei verschiedenen Ebenen erfolgt. Zum einen wurde für alle 109 Datensätze dieselbe Methodik (vgl. Kap.3) angewendet. Zum anderen wurden für die Baustoffe mit geringem spezifischen Gewicht (Dämmungen) und für Baustoffe mit geringem Abbau- und Herstellungsaufwand (Sand, Kies, Naturstein), aber auch für weitere massenmässig wichtige Baustoffe wie Zement, Backsteine und Dachziegel, die Bereitstellung in einem Regionallager Schweiz unter Berücksichtigung der Marktrepräsentativität und Importe bilanziert. Die Produktionsstandorte, Transportdistanzen und Transportmittel wurden aufgrund ihres Marktanteils berücksichtigt. Das führt bei den oben aufgeführten Baustoffen zur Erhöhung der Grauen Energie zwischen 5 % (Zement) und 22 % (Naturstein). Auch bei Sand und Kies sowie bei einigen Dämmstoffen (Steinwolle und Glaswolle) ergeben sich für die Marktmixe deutlich höhere Umweltkennwerte. Bei den meisten anderen Baustoffen führt die Berücksichtigung der Transporte aus dem Ausland kaum zu relevanten Veränderungen der Kennwerte. Beim Zement dürften die unterschiedlichen Produktionsbedingungen im Ausland (Energieverbrauch, Emissionen im Zementwerk) vermutlich erheblich relevanter sein, als der Aufwand für die Importtransportleistungen.

Mit den **ergänzenden** Datensätzen hat dieses Projekt eine grosse Lücke in der KBOB-Empfehlung geschlossen. Die neu erarbeiteten Datensätze zu den Dienstleistungen und Bauteilen, die gemäss SIA 2032 bisher bei der Berechnung eines Gebäudes vernachlässigt wurden, tragen wesentlich zur Erhöhung der Umweltkennwerte eines Gebäudes bei. Je nach Art der Baugrubensicherung, Tiefgründung, der Anzahl UG und der Grundwassersituation kann der zusätzliche Aufwand

in Bezug auf die Graue Energie bis zu 15 % betragen (vgl. Kap. 2.4). Die Konsequenzen dieses Projektes bestehen jedoch nicht nur in der Tendenz, die Umweltkennzahlen der Erstellung eines Gebäudes zu erhöhen. Mit den erarbeiteten Daten erhalten Baufachleute mehr und zuverlässigere Optimierungsmöglichkeiten beim Bauen. Das gilt auch für hinterlüftete Fassaden, wo die Datensituation durch 5 neue, teilweise sehr verbreitete Fassadensysteme ergänzt werden (HPL, GFK, Putzträgerplatten). Eine Sonderstellung nimmt der Datensatz zum Aerogel-Vlies mit vergleichsweise hohen Umweltkennwerten ein. Er ist eher als Optimierungsanreiz für zukünftige Produktentwicklungen, denn als Alternative zu den herkömmlichen Dämmstoffen zu verstehen.

5.2 Datenqualität

Die grössten Vorbehalte in Bezug auf die Vollständigkeit und Zuverlässigkeit der Daten sind bei jenen Baustoffgruppen zu machen, bei denen die Hersteller, resp. die Vertreter der Endfertigung keine Betriebsdaten (Energiebedarf, Abfälle oder Emissionen) liefern wollten oder konnten. Das trifft insbesondere auf zwei Fassadenplatten (Alu-Verbundplatten, HPL), drei Sonnenschutzsysteme, den Aerogel-Dämmstoff, die Vollgipsplatten sowie die Einbauküchen zu. Bei den Fensterprofilen aus Holz, resp. Holz/Aluminium musste aus diesem Grunde auf die Erarbeitung eines Datensatzes verzichtet werden. Teils wurden die fehlenden Daten durch Analogieüberlegungen abgeschätzt (Alu-Verbundplatten, HPL), anhand der Produktion im Labormassstab angenähert (Aerogel-Vliese) oder vernachlässigt (Sonnenschutz). Bei den Einbauküchen spielen die Umweltauswirkungen bei der Endfertigung vermutlich eine geringe Rolle. Der Energiebedarf bei der Endfertigung spielt im Vergleich zur Produktion der Roh- und Vorprodukte bei vielen Baustoffen und Bauteilen kaum eine Rolle. Dagegen können nicht recycelbare Verarbeitungsabfälle von hochwertigen Produkten massgeblich zu den Umweltauswirkungen beitragen. Das zeigen die Beispiele Verglasungen oder Küchen.

Bei den Gipswerkstoffen und den Putzträgerplatten wurden die Daten unter der Bedingung der Vertraulichkeit zur Verfügung gestellt. Zu diesen Teilberichten gibt es vertrauliche Zusatzdokumente, die nur für den Datenreview-Prozess zur Verfügung stehen.

Insgesamt darf festgestellt werden, dass die Qualität bei den aktualisierten Daten signifikant verbessert werden konnte und bei den neuen Daten einen hohen Standard aufweist.

5.3 Empfehlungen

Aufgabe und Zielsetzung des vorliegenden Projektes sind selbstverständlich nie abgeschlossen. Aktualisierung und Harmonisierung der Inhalte und Methoden sind kontinuierliche Aufgaben des Unterhalts einer Datenbank, die im Rahmen des umweltgerechten Bauens in der Schweiz von Bedeutung ist. Die Hersteller orientieren sich an den KBOB-Daten, um sich gegenüber der Konkurrenz zu positionieren. Planerinnen und Planer gebrauchen sie, um einfache Vergleiche anzustellen. Die Spezialisten benötigen sie, um Nachweise im Rahmen von Labels, energetischen Ziel-

setzungen und Vorgaben zu erbringen. Schliesslich brauchen vor allem professionelle Bauherren die Daten, um Anforderungen an die Umwelteffizienz ihrer geplanten Bauten zu definieren. Deshalb ist die Qualität und Vergleichbarkeit der Daten ausserordentlich wichtig. Das ist eine Aufgabe verschiedener Beteiligter im Interesse aller.

Plattform „Ökobilanzdaten im Baubereich“

1. Die Projektverantwortlichen empfehlen, alle hier erarbeiteten Datensätze bei der nächsten Aktualisierung der KBOB-Liste aufzunehmen resp. anzupassen, wobei die aktuellsten Hintergrunddatensätze zu verwenden sind. Vorbehalten bleiben bei gewissen Baustoffen Gruppen- und Mittelwertbildungen.
2. Die Marktrepräsentativität in der KBOB-Liste sollte für alle Baustoffe und Bauteile überprüft werden, auch wenn davon auszugehen ist, dass sie bei den meisten Datensätzen, die im Rahmen dieses Projektes nicht bearbeitet wurden, von untergeordneter Bedeutung ist.

Hersteller und Verbände

3. Bei Zement sollte versucht werden, Daten zu den beiden wichtigsten Produktionsstandorten des importierten Zements (Heidelberg und Bergamo) zu erhalten. Damit liesse sich der Einfluss unterschiedlicher Standards im In- und Ausland zumindest an diesem Beispiel abschätzen und die Umweltauswirkungen des in der Schweiz verbauten Betons zuverlässiger quantifizieren.
4. Für die Herstellung von Weisszement wurde im Teilbereich Putze eine Sachbilanz aufgrund weniger Literaturdaten erstellt, die zu weit höheren Umweltbelastungen führt als die bestehenden Bilanzen für grauen Zement. Die Erstellung einer besser abgesicherten Sachbilanz zur Weisszementherstellung sollte angestrebt werden.
5. Es sind Möglichkeiten und Wege zu diskutieren, wie man zuverlässige und repräsentative Daten zur Produktion moderner Holz- und Holz/Alu-Profile für Fenster beschaffen kann. Es handelt sich um ein wichtiges Bauteil, auch wegen des Vergleichs mit den anderen Fensterprofilen, das im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht aktualisiert werden konnte.
6. Beim Sonnenschutz, sowie bei den Fassadensystemen aus Alu-Verbund- und HPL-Platten sollte versucht werden, zuverlässige Betriebsdaten zur Endfertigung der Systeme zu erhalten, um den Einfluss auf die Umweltkennwerte abzuschätzen und die Qualität der Datensätze entsprechend weiter verbessern zu können.
7. Die Trocknung von Sanden und Gesteinsmehlen wird je nach Datenquelle mit sehr unterschiedlichem Energiebedarf bilanziert. Der Trocknungsprozess beeinflusst die Ökobilanz zahlreicher Baustoffe mit mineralischen Füllstoffen erheblich. Vor diesem Hintergrund wäre ein Projekt zur Feststellung des Trocknungsaufwands für die mengenmässig bedeutendsten Sande und Gesteinsmehle gerechtfertigt.

Angewandte Forschung (BFE, BAFU)

8. Im Vergleich zur Herstellung sind die Entsorgungsdatensätze für komplexe Bauteile und zu Bauteilen verbundene Baustoffe rudimentär. Moderne Fenster, Küchen, Sonnenschutzsysteme oder Kompaktfassaden erfordern einen erheblichen Trennungsaufwand der zu Fraktionen mit relevanten Fremdanteilen führt. Zudem sind für brennbare Anteile, die in die Deponie (<5 % nicht gesteinsähnliche Bestandteile gemäss TVA) und für nichtbrennbare, die in die KVA gelangen, Sachbilanzen insbesondere zu Emissionen und Reststoffen zu erarbeiten, die der Zusammensetzung gerecht werden. Beispielsweise ist die Trennung von Verbundsicherheitsglas ausserordentlich aufwendig, unvollständig (schlechte Ausbeute) und verursacht eine Fraktion aus Glas und Kunststoff, für die weder ein geeigneter Verbrennungs- noch Deponiedatensatz existiert. Im Allgemeinen werden die zukünftigen Probleme der Entsorgung im Baubereich drastisch unterschätzt. Dem sollte man mit realistischen Datensätzen zumindest entgegen zu treten versuchen.

Professionelle Bauherren und Ausbildung

9. Ein Umsetzungsprojekt für die Ergebnisse im Bereich Tiefbauarbeiten ist nahelegend. Es soll die Bauingenieure in der Ausbildung und in der Praxis erreichen, damit die neuen, in dieser Form erstmaligen Erkenntnisse aus dem Projekt bei der Planung von Baugruben einfließen und zu Optimierungen führen können.

6 Literatur

ecoinvent Centre (Hrsg.) (2010) *ecoinvent data v2.2, ecoinvent reports No. 1-25*. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Abgerufen von www.ecoinvent.org

EZV (Hrsg.) (2012) *Aussenhandelsstatistik*. Eidgenössische Zollverwaltung, Bern.

R. Frischknecht (15. Juni 2015) *Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz*. Plattform «Ökobilanzdaten im Baubereich», KBOB, eco-bau, IPB, Bern.

R. Frischknecht & S. Büsser Knöpfel (2013) *Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz* (Umwelt-Wissen 1330) (S. 256). Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Ökonomie und Umweltbeobachtung, Fachbereich Ökobilanzen.

KBOB, eco-bau & IPB (2014a) *ecoinvent Datenbestand v2.2+; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014*. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik.

KBOB, eco-bau & IPB (Hrsg.) (2014b) *KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014*. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, Bern.

D. Kellenberger, H.-J. Althaus, T. Künniger, N. Jungbluth, M. Lehmann & P. Thalmann (Dezember 2007) *Life Cycle Inventories of Building Products*. In Final report ecoinvent Data v2.0 No. 7. Dübendorf, CH: EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories,.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht, Januar 2016

Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich"

Projekt QualiBOB
Teilbericht A: Marktsituation ausgewählter
Baustoffe

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Hochbauten Stadt Zürich
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Auftragnehmer:

Projektteam QualiBOB

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

Rolf Frischknecht, treeze Ltd., frischknecht@treeze.ch
Franziska Wyss, treeze Ltd.
Laura Tschümperlin, treeze Ltd., tschuemperlin@treeze.ch
Philippe Stolz, treeze Ltd., stolz@treeze.ch

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG
Peter Gerber, BAFU, Fachbereich Ökobilanzen
Norbert Egli, Vertretung BAFU Sektion Konsum und Produkte, Tridee GmbH
Michael Pöll, AHB Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500996-01

BAFU-Vertrags- und Projektnummer: 10.0041.PJ / N043-0527, O022-2110

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

A	MARKTSITUATION AUSGEWÄHLTER BAUSTOFFE	A-1
A.1	Ausgangslage und Zielsetzung	A-1
A.2	Untersuchungsrahmen dieser Studie	A-2
A.2.1	Untersuchungsgegenstand	A-2
A.2.2	Untersuchungsrahmen.....	A-3
A.2.2.1	Systemgrenzen und Modellierung.....	A-3
A.2.2.2	Zeitliche und geografische Gültigkeit.....	A-3
A.2.2.3	Untersuchte Umweltindikatoren und Bewertungsmethoden	A-3
A.2.2.4	Datenquellen und Datenqualität	A-4
A.3	Sachbilanzdaten und Resultate pro Baustoff.....	A-4
A.3.1	Einführung und Übersicht.....	A-4
A.3.2	Kies und Sand.....	A-4
A.3.2.1	Sachbilanzdaten.....	A-4
A.3.2.2	Resultate	A-6
A.3.3	Natursteine.....	A-8
A.3.3.1	Sachbilanzdaten.....	A-8
A.3.3.2	Resultate	A-11
A.3.4	Zement.....	A-13
A.3.4.1	Sachbilanzdaten.....	A-13
A.3.4.2	Resultate	A-15
A.3.5	Backsteine und Dachziegel.....	A-16
A.3.5.1	Sachbilanzdaten.....	A-16
A.3.5.2	Resultate	A-19
A.3.5	Dämmstoffe.....	A-20
A.3.5.1	Sachbilanzdaten.....	A-20
A.3.5.3	Resultate	A-24
A.4	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	A-26
A.5	Literaturverzeichnis	A-28

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr (annum)
CH	Schweiz
CO ₂ -eq	Kohlendioxid-Äquivalente
EPS	Expandiertes Polystyrol
GLO	Globaler Durchschnitt
GWP	Treibhauspotential (global warming potential)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KBOB	Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes
kg	Kilogramm
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
LCA	life cycle assessment
LCI	life cycle inventory analysis
LCIA	life cycle impact assessment
LKW	Lastkraftwagen
MJ	Megajoule
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MJ	Megajoule
nr	nicht erneuerbar (engl. non-renewable)
ppm	Millionstel (engl. parts per million)
PE	Primärenergie
PUR	Polyurethan
RER	Europa (Regionsbezeichnung in ecoinvent)
THG	Treibhausgase
tkm	Tonnenkilometer (Transportdienstleistung von 1 Tonne über einen Kilometer)
UBP	Umweltbelastungspunkte (engl. eco-points)
XPS	Extrudiertes Polystyrol

A Marktsituation ausgewählter Baustoffe

A.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Ein grosser Teil des gesamten Energieverbrauchs von Gebäuden steckt in der Herstellung von Baustoffen und in den Haustechniksystemen. Die graue Energie, die damit verbundenen Treibhausgasemissionen und die Gesamtumweltbelastung von Gebäuden rücken stärker ins Rampenlicht. Es stellt sich die Frage, wie sich der Umweltfussabdruck von Gebäuden und Gebäudeelementen durch Planer und Bau fachleute senken lässt.

Ein Instrument in diesem Zusammenhang stellt die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 „Ökobilanzdaten im Baubereich“ (KBOB et al. 2014a) dar. Sie ist eine wichtige Grundlage für Planungsinstrumente des nachhaltigen Bauens und stellt diesen Umweltkennwerte von Baumaterialien, Komponenten der Gebäudetechnik und Weiterem zur Verfügung.

Der indirekte Energieverbrauch und der Umweltfussabdruck von Baustoffen hängen vom Ort und Zeitpunkt ihrer Herstellung ab. Die aktuellen KBOB Daten bilden die Importsituation nicht in allen Fällen adäquat ab. Während bei einzelnen Materialien Werte von Schweizer Herstellern verwendet und auf die Schweizer Marktsituation extrapoliert werden (z. B. Steinwolle und Glaswolle), werden bei anderen Baustoffe derselben Anwendung wie zum Beispiel für XPS europäische Durchschnittswerte verwendet und die Importaufwendungen bleiben unberücksichtigt. Für wichtige Baustoffe mit geringer Verarbeitungstiefe oder geringer Dichte sollen Durchschnittswerte ab Regionallager Schweiz erarbeitet werden, die den Schweizerischen Markt repräsentieren, die Importsituation abbilden und entsprechende Transportdistanzen und Transportmittel berücksichtigen.

Die Marktverhältnisse werden für die Baustoffgruppen Dämmstoffe, Zement, Zuschlagstoffe wie Kies und Sand sowie Natur- und Ziegelsteine analysiert und aktualisiert. Die erhobenen Daten werden in eine zukünftige Aktualisierung der Ökobilanzdaten der entsprechenden Baustoffe und damit in eine nächste Version der KBOB-Empfehlung 2009/1 einfließen.

Im Kapitel A.2 sind die untersuchten Baustoffe und die Rahmenbedingungen erläutert. Im Kapitel A.3 sind jeweils die Sachbilanzen und Resultate pro Baustoffkategorie aufgeführt, nämlich Kies und Sand (Unterkapitel A.3.2), Natursteinplatten (Unterkapitel A.3.3), Zement (Unterkapitel A.3.4), Backsteine und Ziegel (Unterkapitel A.3.5) und Dämmstoffe (Unterkapitel A.3.5). Kapitel A.4 beinhaltet eine Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.

A.2 Untersuchungsrahmen dieser Studie

A.2.1 Untersuchungsgegenstand

Gegenstand der hier dokumentierten Untersuchungen sind die Schweizer Marktverhältnisse der Baustoffgruppen Dämmstoffe, Zement, Zuschlagstoffe Kies und Sand sowie Natur- und Ziegelsteine. Für geschliffene Natursteinplatten wird zusätzlich zwischen importierten Natursteinen aus Europa und aus Übersee differenziert. Die untersuchten Materialien pro Baustoffgruppe sind in Tabelle 1 festgehalten.

Tabelle 1: Übersicht über die untersuchten Baustoffgruppen und die entsprechenden Materialien gemäss der Benennung der KBOB-Empfehlung

Baustoffgruppe	Baumaterial
Kies	Kies gebrochen, Marktmix, ab Regionallager
	Rundkies, Marktmix, ab Regionallager
	Sand, Marktmix, ab Regionallager
Naturstein	Natursteinplatten, geschnitten, Marktmix, ab Regionallager
	Natursteinplatten, poliert, Marktmix, ab Regionallager
	Natursteinplatten, geschliffen, Marktmix, ab Regionallager
	Natursteinplatten, geschliffen, RER, ab Regionallager
	Natursteinplatten, geschliffen, Übersee, ab Regionallager
Zement	Zement, unspezifisch, Marktmix, ab Regionallager
Backsteine und Dachziegel	Backstein, Marktmix, ab Regionallager
	Dachziegel, Marktmix, ab Regionallager
Dämmstoffe	Glaswolle, Marktmix, ab Regionallager
	Steinwolle, Marktmix, ab Regionallager
	Polystyrolplatte expandiert, Marktmix, ab Regionallager
	Polystyrol, extrudiert (XPS), Marktmix, ab Regionallager
	Polyurethan, Schaum fest, Marktmix, ab Regionallager

Schaumglas wird zu 100 % importiert und stammt mehrheitlich aus Belgien. Für Schaumglas ab Regionallager Schweiz wird jedoch bereits eine durchschnittliche Transportdistanz von 587 km per LKW im publizierten Datensatz berücksichtigt. Übrige Dämmstoffe wie Kokosfasern, Holzwolle und Kork u. Ä. werden auf Grund ihrer geringen Verwendungshäufigkeit nicht berücksichtigt.

Für die in Tabelle 1 aufgelisteten Baustoffe wird die Marktsituation in der Schweiz, eingeteilt in Inlandproduktionsmengen sowie Importmengen analysiert. Daraus wird pro Baustoff ein Datensatz ab Regionallager erstellt, welcher die inländischen und die importierten Mengen berücksichtigt. Der Exportanteil der Baustoffe wird dabei nicht berücksichtigt. Die Inlandproduktionsmenge ergibt zusammen mit der Importmenge die Verbrauchsmenge der Schweiz, respektive den Marktmix. Der Trans-

portmittelmix, mit welchem die Baustoffe in die Schweiz importiert werden, wird ebenfalls berücksichtigt.

A.2.2 Untersuchungsrahmen

A.2.2.1 Systemgrenzen und Modellierung

Es wird keine Anpassung an der Modellierung der Sachbilanzen der Baustoffherstellung vorgenommen. Liegen Produktionsdaten nur aus der Schweiz vor, nicht aber von europäischen Produzenten, werden die Schweizer Daten auch für eine europäische Produktion verwendet, ohne dass beispielsweise eine Anpassung des Strommixes erfolgt. Im beschriebenen Fall wird auf diesen Daten ein Korrekturfaktor von 1.1 angewendet (siehe Frischknecht 2015). Dieser Korrekturfaktor wird auch angewendet auf Ökobilanzdaten von Baustoffen aus Schweizer Herstellung, die nicht auf Eigenerhebungen der Produzenten basieren. Bei den importierten Baustoffen wird den Transportaufwendungen durch den Import Rechnung getragen.

Die Studie ist nicht umfassend und schliesst nicht alle Materialien der KBOB-Empfehlung mit ein, sondern bedient diejenigen Materialien, für welche die Berücksichtigung der Schweizer Marktverhältnisse und insbesondere die Importtransporte einen grossen Einfluss haben dürften. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um Produkte mit einem geringen Herstellungsaufwand und um Produkte mit einem geringen spezifischen Gewicht.

A.2.2.2 Zeitliche und geografische Gültigkeit

Die Marktrepräsentativität ist gültig für die Situation in der Schweiz. Alle beschriebenen Marktsituationen entsprechen dem aktuellsten Zustand, für den Informationen verfügbar sind, nämlich die Jahre 2010 bis 2014.

A.2.2.3 Untersuchte Umweltindikatoren und Bewertungsmethoden

Die Umweltauswirkungen werden mit den Indikatoren quantifiziert, welche in der KBOB Empfehlung 2009/1:2014 ausgewiesen sind. Die Auswahl beinhaltet folgende Indikatoren:

- Umweltbelastungspunkte 2013 (UBP, Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013)
- Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar (Frischknecht et al. 2007)
- Treibhausgasemissionen (THG) nach IPCC (2013, Tab. 8.A.1)

A.2.2.4 Datenquellen und Datenqualität

Die Daten zum inländischen Produktionsvolumen von Kies, Sand und Natursteinen sowie zu deren Importen stammen vom Bundesamt für Statistik¹ und beziehen sich auf das Jahr 2011. Die Daten zur Inlandproduktion von Zement stammen aus Angaben von Cemsuisse², diejenigen zu den Importen sind der Aussenhandelsstatistik der Eidgenössischen Zollverwaltung EZV entnommen (und wurden im Fall des Imports von Zement von Cemsuisse zu Verfügung gestellt (Eidgenössische Zollverwaltung-EZV 2010)).

Bei den Dämmstoffen stammen die Daten einerseits aus der Aussenhandelsstatistik und wurden andererseits mit Experteninterviews abgeschätzt. Die Marktaufteilung zwischen inländischer Produktion und Import bei den Dämmstoffen repräsentiert den Durchschnitt der Angaben von Experten führender Schweizer Marktteilnehmer.

Da keine Zahlen zur Inlandproduktion von Backsteinen und Ziegeln verfügbar sind, wurde die Produktionsmenge anhand von Emissionsfrachten und -faktoren abgeschätzt. Die Importmengen sind der Schweizer Aussenhandelsstatistik entnommen.

Die Daten zu den Transportmitteln, mit welchen die Baustoffe in die Schweiz gelangen, stammen ebenfalls aus der Schweizer Aussenhandelsstatistik.

Die Daten wurde mit der Software Simapro 8.0.4 (PRé Consultants 2014) modelliert, unter Verwendung von aktualisierten Hintergrunddaten des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (KBOB et al. 2014b).

A.3 Sachbilanzdaten und Resultate pro Baustoff

A.3.1 Einführung und Übersicht

In den folgenden Unterkapiteln werden die Sachbilanzdaten der Marktmixe und die Resultate von Kies und Sand (Unterkapitel A.3.2), Natursteine (Unterkapitel A.3.3), Zement (Unterkapitel A.3.4), Backsteine und Dachziegel (Unterkapitel A.3.5) und Dämmstoffe (Unterkapitel A.3.5) beschrieben.

A.3.2 Kies und Sand

A.3.2.1 Sachbilanzdaten

Der grösste Teil der in der Schweiz verbrauchten Zuschlagstoffe Kies und Sand stammt aus heimischer Produktion. In den Jahren 2000 bis 2011 wurde durchschnittlich 19 % der verbrauchten Menge importiert. Tabelle 2 zeigt die im Inland

¹ Webpage des Bundesamts für Statistik <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/onlinedb/stattab.html>, Zugriff am 22.7.2014

² Webpage von Cemsuisse, <http://www.cemsuisse.ch/cemsuisse/produktion/kennzahlen/archiv/index.html?lang=de>, Zugriff am 24.7.2014

produzierte, die importierte und die in der Schweiz verbrauchte Menge an Kies und Sand gemäss der Gesamtumweltrechnung vom BfS (2014). Dabei steht offen wie viel davon rezykliertes und wie viel primärer Kies und Sand ist.

Tabelle 2: Tonnagen an Kies und Sand, welche in der Schweiz durchschnittlich in den Jahren 2000 bis 2011 pro Jahr produziert, importiert und verbraucht wurden

Material	Produktion Schweiz	Import	Verbrauch Schweiz	Anteil Import
	t/a	t/a	t/a	%
Kies und Sand	31'499'000	7'495'000	38'994'000	19%

Kies und Sand werden aus den umliegenden Ländern importiert. Da die Aussenhandelsstatistik keine Unterscheidung zwischen gebrochenem Kies, Rundkies und Sand zulässt, wird davon ausgegangen, dass die Herkunftsanteile gemäss Aussenhandelsstatistik für gebrochenen Kies, Rundkies und Sand gleichermassen zutreffend sind.

Tabelle 3 zeigt die Ursprungsländer, aus welchen Sand und Kies in die Schweiz importiert werden sowie deren Transportdistanzen auf. Die Importanteile der Herkunftsländer stammen aus der Aussenhandelsstatistik. Ausländische Abbaustellen von Gesteinskörnungen liegen in der Regel unmittelbar hinter der Grenze. Dabei importieren nur Schweizer Betriebe nahe der Grenze zum jeweiligen Herkunftsland Kies und Sand aus diesem Land³. Aufgrund der dezentralen Versorgung ist eine durchschnittliche Transportdistanz von 20 km vorzusetzen für primären Kies und Sand³. Für rezyklierte Gesteinskörnung müsste die Transportdistanz verdoppelt werden, da diese grossmehrheitlich an zentralen Standorten und selten direkt vor Ort aufbereitet wird⁴.

Tabelle 3: Herkunftsland sowie prozentuale Anteile und Transportdistanz aus dem Herkunftsland nach Bern für die in die Schweiz importierte Menge an Kies und Sand (Eidgenössische Zollverwaltung-EZV 2012)

Herkunftsland	Importanteil %	Distanz km
Deutschland	36%	20
Italien	26%	20
Frankreich	23%	20
Österreich	14%	20
Durchschnittliche, gewichtete Transportdistanz		20

³ Persönliche Mitteilung, Ernst Honegger, Leiter Technik beim FSKB, vom 28. Oktober 2015

⁴ Persönliche Mitteilung, Ernst Honegger, Leiter Technik beim FSKB, vom 13. Oktober 2015

Tabelle 4 zeigt die Aufteilung der Transportmittel gemäss Aussenhandelsstatistik, mit welchen die Güter in die Schweiz transportiert werden. Berücksichtigt wird dabei die Kategorie SITC-273, Steine, Sand und Kies¹. Die Pipeline-Transporte werden als Transport mit dem Güterzug modelliert, da wohl weder Kies noch Sand per Pipeline in die Schweiz eingeführt werden. Der FSKB (Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie) stimmt dieser Aufteilung der Transportarten für die importierten Gesteinskörnungen zu⁴.

Tabelle 4: Transportmittel mit welchen Kies und Sand in die Schweiz importiert werden, gemäss Aussenhandelsstatistik, SITC-Nummer 273 (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012)

Transportmittel	Bahnverkehr	Strassenverkehr	Luftverkehr	Pipeline	Schiffsverkehr	Total
Anteil	1%	78%	0%	12%	8%	100%

Die Sachbilanzdaten zur Modellierung der aktuellen Marktsituation von primärem Kies und Sand sind in Tabelle 5 festgehalten.

Tabelle 5: Sachbilanzdaten zur Bilanzierung von 1 kg der Baustoffe ‚Kies gebrochen‘, ‚Rundkies‘ und ‚Sand‘ für den Schweizer Markt

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	gravel, crushed, market mix, at regional storage	gravel, round, market mix, at regional storage	sand, market mix, at regional storage	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
				CH	CH	CH			
				0 kg	0 kg	0 kg			
product			kg						
			kg	1	0	0			
			kg	0	1	0			
			kg	0	0	1			
technosphere			kg	1.00E+0			1	1.05	(1,1,1,1,1,1,1,BU:1.05); 1 kg Kies;
			kg		1.00E+0		1	1.05	(1,1,1,1,1,1,1,BU:1.05); 1 kg Kies;
			kg			1.00E+0	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,1,BU:1.05); 1 kg Sand;
	RER		tkm	3.02E-3	3.02E-3	3.02E-3	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2); Gewichtete Durchschnittsdistanz für Sand und Kies beträgt 20 km;
	RER		tkm	5.05E-4	5.05E-4	5.05E-4	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2); Gewichtete Durchschnittsdistanz für Sand und Kies beträgt 20 km;
	RER		tkm	3.23E-4	3.23E-4	3.23E-4	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2); Gewichtete Durchschnittsdistanz für Sand und Kies beträgt 20 km;

A.3.2.2 Resultate

Die Umweltbelastungen von Kies und Sand ab Regionallager sind in Tabelle 6 aufgeführt. Diese weichen bis zu 18 % von den bisherigen, in der KBOB-Empfehlung aufgeführten Umweltbelastungen ab (siehe auch Abbildung 1).

Tabelle 6: Umweltbelastungen pro kg Kies beziehungsweise Sand für den Schweizer Markt gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie als Treibhausgasemissionen

Baustoff / -element	Bezug	UBP'2013	Primär- energie gesamt	Primär- energie nicht erneuerbar	Treibhaus- gasemissio- nen
		UBP	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	kg CO ₂ -eq
Sand	kg	35.9	0.067	0.062	0.0028
Kies, gebrochen	kg	40.0	0.151	0.136	0.0048
Kies, rund	kg	35.9	0.067	0.062	0.0028

Die relativen Änderungen der Umweltbelastung von Sand und Kies des Schweizer Datensatzes zum Marktmix sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Linie in dunkelrot bei 100 % steht für die Umweltbelastung von Sand und Kies ab Schweizer Werk, während die orangen Balken das relative Verhältnis des Marktmixes dazu aufzeigen. Bei allen drei Baustoffen nehmen die Umweltbelastungen ab Regionallager (um bis zu 18 % bei den Treibhausgasemissionen) zu. Die Umweltbelastung der Gewinnung von Sand und Kies überwiegt den Transport vom Ausland in die Schweiz. Am geringsten schlägt der zusätzliche Transport beim Indikator Gesamtumweltbelastung zu Buche, weil bei dieser Methode zusätzlich noch die Ressourcenentnahme berücksichtigt wird.

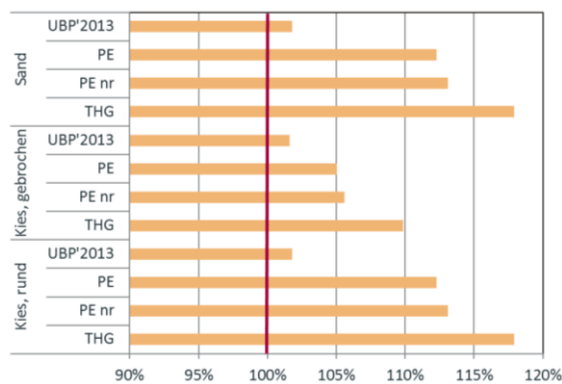


Abbildung 1: Relative Umweltbelastungen von Sand und Kies ab Regionallager im Vergleich zu den Umweltbelastungen der Schweizer Produkte ab Werk (gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen). UBP'2013: Gesamtumweltbelastung; PE: Primärenergie gesamt; PE nr: Primärenergie nicht erneuerbar; THG: Treibhausgasemissionen

In Abbildung 2 wird für jeden Baustoff die Umweltbelastung des Marktmixes (die entsprechenden orangen Balken in Abbildung 1 wurden nun auf 100 % skaliert) aufgezeigt, welcher sich aus dem Anteil der Umweltbelastung der Schweizer Produkte ab Werk (= (1-Importanteil) * Umweltbelastung Datensatz Schweiz / Umweltbelastung Marktmix) und dem Anteil der Umweltbelastung der importierten Produkte (Kehrwert von Anteil Belastung Schweiz) zusammensetzt. Die dunkelroten Balken, welche der dunkelroten Linie aus Abbildung 1 entsprechen, zeigen den relativen Anteil der Umweltbelastung der Schweizer und die blauen Balken den relativen Anteil der Umweltbelastung der importierten Produkte (inklusive deren Herstellung) auf.

Der relative Anteil der Umweltbelastung des in der Schweiz hergestellten Sand und Kies überwiegt den Anteil der Umweltbelastung von Importiertem in allen Indikatoren. Dies nicht zuletzt wegen dem geringen Importanteil von 19 %. Bei Sand ab Regionallager zum Beispiel entspricht der Anteil des Imports 20 % der Gesamtumweltbelastung, beziehungsweise 28 % der Primärenergie (total und nicht erneuerbar) und 31 % der Treibhausgasemissionen.

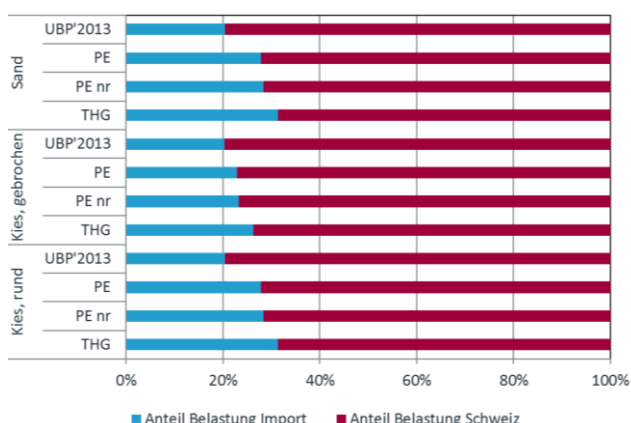


Abbildung 2: Anteile der Umweltbelastungen der inländischen Produktion sowie des Importanteils des Marktmixes der Baustoffe Kies und Sand (gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen). UBP'2013: Gesamtumweltbelastung; PE: Primärenergie gesamt; PE nr: Primärenergie nicht erneuerbar; THG: Treibhausgasemissionen

A.3.3 Natursteine

A.3.3.1 Sachbilanzdaten

In der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 (KBOB et al. 2014a) sind drei Natursteine berücksichtigt: geschnittene, geschliffene und polierte Steinplatten. Für alle wird neben dem bestehenden inländischen Produktionsdatensatz ein Marktmix Datensatz ab Regionallager Schweiz erstellt. Da bei den Natursteinplatten der Import eine zentrale Rolle spielt und die Transportdistanzen je nach Herkunft stark variieren können, werden für die geschliffenen Natursteinplatten zudem drei Transportszenarien betrachtet. Bei der Bereitstellung von geschliffenen Natursteinen wird zwischen den drei Herkunftsregionen Schweiz, Europa und Übersee unterscheiden. Der durchschnittliche Datensatz (Marktmix) bleibt bestehen für den Fall, dass die Herkunft des Natursteins nicht bekannt ist. Das Szenario Herkunftsregion Schweiz wird bereits durch den bestehenden Datensatz "Natursteinplatten, geschliffen, ab Regionallager/CH" abgebildet. Für geschliffene Natursteinplatten, die ausschliesslich aus Europa und solche, die ausschliesslich von ausserhalb Europas (Übersee) importiert werden, werden zwei neue Datensätze generiert. Die Hauptexportländer für Natursteinplatten innerhalb Europas sind Frankreich, Italien, Deutschland, Spanien und Portugal. Wichtige Exporteure ausserhalb Europas für Natursteinplatten sind die Türkei, Indien, China, Iran und Brasilien.

Tabelle 7 zeigt die in der Schweiz produzierte, importierte und konsumierte Gütermenge an Natursteinen. Die in der Schweiz verwendeten Natursteine werden zu

87 % importiert. Der Rest stammt aus inländischer Produktion (Durchschnitt der Jahre 2000 bis 2011, BfS 2014).

Der Naturstein-Verband Schweiz ist der Meinung, dass in den zitierten Mengen vom BfS (2014) nebst Platten noch Pflastersteine, Randsteine und Stellriemen eingerechnet sind. Die Importmenge von Natursteinplatten alleine wird auf ungefähr 205'000 Tonnen geschätzt⁵. Als Importanteil kann jedoch weiterhin mit 87 % gerechnet werden⁵.

Tabelle 7: Tonnagen an Natursteinen, welche in der Schweiz durchschnittlich in den Jahren 2000 bis 2011 produziert, importiert und verbraucht wurden (BfS 2014)

Material	Produktion Schweiz	Import	Verbrauch Schweiz	Anteil Import
	t/a	t/a	t/a	%
Natursteine	151'100	551'000	634'400	87%

Tabelle 8 zeigt die wichtigsten Herkunftsländer auf, aus welchen die Natursteinplatten importiert werden, sowie die dabei zurückgelegten Transportdistanzen. Die obere Hälfte der Tabelle weist die Festland- und die untere Hälfte die Überseeimporte auf. Die Importländeranteile stammen aus der Aussenhandelsstatistik (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012). Die wichtigsten Produktionsorte sowie Transportrouten und –mittel sind für Italien, Frankreich, Deutschland und die Türkei bekannt⁵. Alle von Spanien importierten Natursteinplatten werden per LKW und von Portugal teils per Schiff über Rotterdam und teils per LKW importiert. Die Übersee Transporte gehen entweder über Rotterdam, von wo aus die Natursteinplatten mit einem weiteren Schiff den Rhein hinauf bis nach Basel oder über Hamburg, von wo aus die Platten per Bahn in die Schweiz transportiert werden⁵. Gemäss Aussenhandelsstatistik kommen 51 % der importierten Platten aus Italien. Diese werden jedoch nur zu geschätzten 10 % in Italien selbst produziert⁵. Die restlichen 41 % werden über Italien importiert, stammen aber aus Indien, China, Brasilien etc.⁵. Der Import aus diesen Ländern setzt sich dementsprechend aus einem gemittelten Übersee- und einem LKW Transport von Italien in die Schweiz zusammen. Der LKW Transport in den Herkunftsländern bis zum Hafen wird nicht berücksichtigt, weil die Herstellungsregionen in diesen Ländern auch nicht bekannt sind.

⁵ Persönliche Mitteilung, Hans-Jakob Bärlocher, Bärlocher Steinbruch und Steinhauerei AG, 11. Oktober 2015

Tabelle 8: Herkunftsland sowie prozentuale Importanteile und Transportdistanz aus dem Herkunftsland nach Bern für die in die Schweiz importierte Menge an Natursteinplatten

Herkunft Europa	Anteil Import in %	Gesamte Distanz	Einheit
Verona, Trento, Domodossola, Bergamo (Italien) via LKW	10	450	km
Burgund (Frankreich) via LKW	15	320	km
Franken (Deutschland) via LKW	7	525	km
Spanien (Annahme: Madrid) via LKW	5	1'540	km
Portugal via LKW	2	1'850	km
Portugal via Frachtschiff über Rotterdam nach Basel	2	2'700	km
Total	41		
Herkunft Übersee	Anteil Import in %	Gesamte Distanz	Einheit
Izmir (Türkei) via Frachtschiff über Rotterdam nach Basel	10	6'280	km
Indien, Brasilien, China via Frachtschiff nach Italien (Annahme: Venedig) und via LKW in die Schweiz	41	9'450	km
Iran via Frachtschiff über Rotterdam nach Basel	1	12'100	km
China via Frachtschiff nach Hamburg und via Bahn in die Schweiz	2	19'600	km
Rest (Annahme: 50% über Rotterdam via Rheinschiff und 50% über Hamburg via Bahn)	5	8'700	km
Total	59		

Anhand der Importländeranteile aus der Aussenhandelsstatistik (Eidgenössische Zollverwaltung-EZV 2012) und Expertenangaben zu den Transportrouten und -mitteln⁵, können die in Tabelle 9 beschriebenen Transportmittelanteile, mit welchen Natursteinplatten in die Schweiz transportiert werden, ermittelt werden.

Tabelle 10: Transportmittel mit welchen Natursteinplatten in die Schweiz importiert werden

Transportmittel	Bahnverkehr	Strassenverkehr	Luftverkehr	Schiffsverkehr Übersee	Schiffsverkehr Rhein	Total
Anteil	3%	49%	0%	38%	10%	100%

Die Sachbilanzdaten zur Modellierung der aktuellen Marktsituation von Natursteinplatten sind in Tabelle 11 festgehalten. Dabei werden für geschliffene Natursteinplatten zwei weitere Datensätze berücksichtigt, die in Ergänzung zum Marktmix ausschliesslich die Importsituation von Natursteinplatten aus Europa und aus Übersee berücksichtigen.

Tabelle 11: Sachbilanzdaten zur Bilanzierung von 1 kg ‚Natursteinplatte geschnitten‘, ‚Natursteinplatte, geschliffen‘ und ‚Natursteinplatte poliert‘ für den Schweizer Markt und von je 1 kg ‚Natursteinplatte, geschliffen‘ aus Europa und Übersee

	Name	Location	InfrastructureProcesses	Unit	natural stone plate, cut, market mix, at regional storage	natural stone plate, grounded, market mix, at regional storage	natural stone plate, polished, market mix, at regional storage	natural stone plate, grounded, RER, at regional storage	natural stone plate, grounded, overseas, at regional storage	UncertaintyType	StandardDeviation5%	GeneralComment
					CH	CH	CH	CH	CH			
					0	0	0	0	0			
					kg	kg	kg	kg	kg			
product	natural stone plate, cut, market mix, at regional storage	CH	0	kg	1	0	0	0	0			
	natural stone plate, grounded, market mix, at regional storage	CH	0	kg	0	1	0	0	0			
	natural stone plate, polished, market mix, at regional storage	CH	0	kg	0	0	1	0	0			
	natural stone plate, grounded, RER, at regional storage	CH	0	kg	0	0	0	1	0			
	natural stone plate, grounded, overseas, at regional storage	CH	0	kg	0	0	0	0	1			
technosphere	natural stone plate, cut, at regional storage	CH	0	kg	1.00E+0					1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); 1 kg Platte;
	natural stone plate, grounded, at regional storage	CH	0	kg		1.00E+0		1.00E+0	1.00E+0	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); 1 kg Platte;
	natural stone plate, polished, at regional storage	CH	0	kg			1.00E+0			1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); 1 kg Platte;
	transport, lorry >16t, fleet average	RER	0	tkm	3.73E-1	3.73E-1	3.73E-1	5.95E-1	3.13E-1	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2); ;
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	3.92E-2	3.92E-2	3.92E-2	0	7.63E-2	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,RI:2); ;
	transport, barge	RER	0	tkm	9.44E-2	9.44E-2	9.44E-2	3.41E-2	1.60E-1	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2); ;
	transport, transoceanic freight ship	OCE	0	tkm	4.50E+0	4.50E+0	4.50E+0	9.76E-2	8.70E+0	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,RI:2); ;

A.3.3.2 Resultate

Die Umweltbelastungen von Natursteinplatten ab Regionallager sind in Tabelle 12 aufgeführt. Polierte Natursteinplatten weisen bei allen Umweltindikatoren die höchsten Belastungen auf. Darauf folgen geschliffene Natursteinplatten ab Regionallager Schweiz aus Übersee. Die tiefsten Umweltbelastungen verursachen geschnittene Natursteinplatten.

Tabelle 12: Umweltbelastungen pro kg Natursteinplatten für den Schweizer Markt gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie als Treibhausgasemissionen

Baustoff / -element	Bezug	UBP'2013	Primär- energie gesamt	Primär- energie nicht erneuerbar	Treibhaus- gasemissio- nen
		UBP	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	kg CO ₂ -eq
Natursteinplatte, poliert, Marktmix	kg	1351	16.87	15.16	0.479
Natursteinplatte, geschnitten, Markt- mix	kg	593	10.04	9.14	0.331
Natursteinplatte, geschliffen, Markt- mix	kg	776	13.74	12.41	0.413
Natursteinplatte, geschliffen, RER	kg	734	13.44	12.12	0.390
Natursteinplatte, geschliffen, Über- see	kg	845	14.38	13.03	0.454
Natursteinplatte, geschliffen, Schweiz	kg	616	12.08	10.78	0.310

Abbildung 3 zeigt, dass die Umweltbelastungen der Marktmix-Datensätze zu Natursteinplatten verglichen mit den bisherigen in der KBOB-Empfehlung vorhandenen Datensätzen je nach Indikator um bis zu 45 % höher liegen. Wiederum sind die Differenzen der Datensätze bezüglich Treibhausgasemissionen am grössten. Bei polierten Natursteinplatten ist die Zunahme der Umweltbelastung durch den Import am kleinsten, da die Produktion von polierten Natursteinplatten eine grössere Umweltbelastung verursacht als die von geschliffenen und geschnittenen Natursteinplatten.

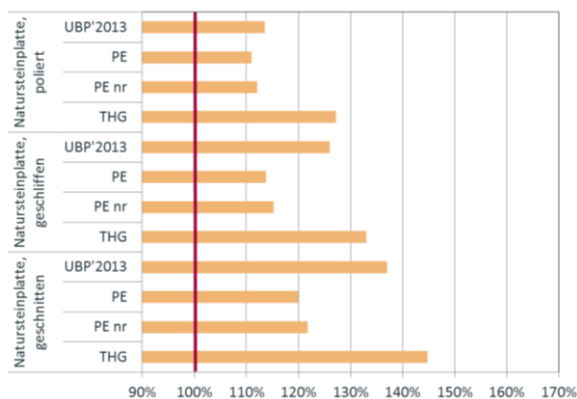


Abbildung 3: Relative Umweltbelastungen von Natursteinplatten ab Regionallager im Vergleich zu den Umweltbelastungen der Natursteinplatten ab Schweizer Werk (gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen). UBP'2013: Gesamtumweltbelastung; PE: Primärenergie gesamt; PE nr: Primärenergie nicht erneuerbar; THG: Treibhausgasemissionen

Die Verhältnisse der Anteile Umweltbelastung durch Import und inländische Produktion pro Indikator sind in Abbildung 4 festgehalten. Bei allen Indikatoren überwiegen die Belastungen der importierten Natursteinplatten (88-91 %). Dies ist insbesondere durch die hohe Importrate von 87 % bedingt.

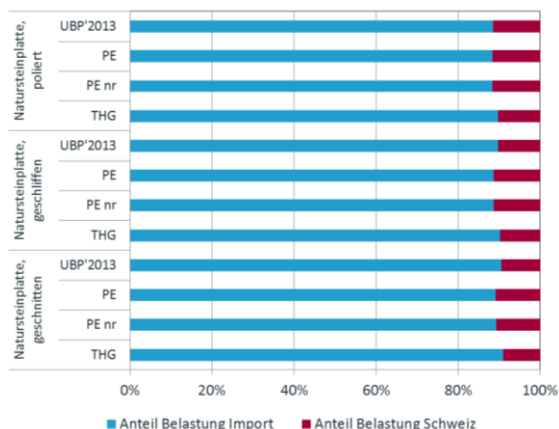


Abbildung 4: Anteile der Umweltbelastungen der inländischen Produktion sowie des Importanteils des Marktmixes der Natursteinplatten (gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen). UBP'2013: Gesamtumweltbelastung; PE: Primärenergie gesamt; PE nr: Primärenergie nicht erneuerbar; THG: Treibhausgasemissionen

A.3.4 Zement

A.3.4.1 Sachbilanzdaten

Die Zementmengen, welche in die Schweiz importiert werden, betragen ca. 14 % des verbrauchten Materials. Tabelle 13 führt die Mengen und die Anteile des Imports, resp. des inländischen Verbrauchs auf. Die Mengen, welche in der Schweiz produziert werden, entsprechen der durchschnittlichen Produktion von 2000 bis 2013 (Cemsuisse 2014). Der Import wurde als Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2013 ermittelt (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2010).

Tabelle 13: Tonnagen an Zement, welche in der Schweiz durchschnittlich in den Jahren 2000 bis 2011 produziert, importiert und verbraucht wurden (BfS 2014)

Material	Produktion Schweiz	Import	Verbrauch Schweiz	Anteil Import
	t/a	t/a	t/a	%
Zement	4'185'000	703'000	4'888'000	14%

Der importierte Zement stammt aus Europa und wird grösstenteils aus den Nachbarländern importiert, jedoch zu einem geringen Prozentsatz auch aus Dänemark.

Die Transportdistanzen für Deutschland und für Italien entsprechen der Distanz zwischen dem grössten Zementwerk und Bern. Für die übrigen Länder wurde die Distanz von Bern zum geografischen Ländermittelpunkt ermittelt (siehe Tabelle 14). Aussereuropäischer Zementimport beträgt weniger als 0.01 % und wird daher vernachlässigt.

Die zur Bestimmung der Herkunftsländer verwendete Kategorie gemäss Aussenhandelsstatistik ist SITC-661 ‚Kalk, Zement und zubereitete Baustoffe (ohne Ton und Glas)‘ (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012). Tabelle 15 zeigt die Aufteilung der Transportmittel gemäss Aussenhandelsstatistik, mit welchen Zement in die Schweiz transportiert wird.

Tabelle 14: Herkunftsland sowie prozentuale Anteile und Transportdistanz aus dem Herkunftsland nach Bern für die in die Schweiz importierte Menge an Zementen (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012)

Herkunftsland	Importanteil %	Bezugsort (geografischer Mittelpunkt)	Distanz km
Deutschland	46%	Heidelberg (grösstes Zementwerk)	380
Italien	40%	Bergamo (grösstes Zementwerk)	370
Frankreich	9%	Vesdun	530
Österreich	3%	Bad Aussee	660
Dänemark	1%	Lokkemosevej	1'370
Durchschnittliche, gewichtete Transportdistanz			403

Tabelle 15: Transportmittel mit welchen Zement in die Schweiz importiert wird, gemäss Aussenhandelsstatistik, SITC-Nummer 661 (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012)

Transportmittel	Bahnverkehr	Strassenverkehr	Luftverkehr	Pipeline	Schiffsverkehr	Total
Anteil	2%	98%	0%	0%	0%	100%

Die Sachbilanzdaten zur Modellierung der aktuellen Marktsituation von Zement sind in Tabelle 16 festgehalten.

Tabelle 16: Sachbilanzdaten zur Bilanzierung von 1 kg Zement für den Schweizer Markt

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	cement, unspecified, at regional storage	UncertaintyType	StandardDeviation35%	GeneralComment
	Location			CH			
	InfrastructureProcess			0			
	Unit			kg			
product	cement, unspecified, at regional storage	CH	0	kg	1		
technosphere	cement, unspecified, at plant	CH	0	kg	1.01E+0	1	1.05 (1,1,1,1,1,1,1.BU:1.05); 1 kg Beton;
	transport, lorry>16t, fleet average	RER	0	ikm	5.89E-2	1	2.09 (4,5,na,na,na,na,na.BU:2); Gewichtete Durchschnittsdistanz für Zement beträgt 400 km / ;
	transport, freight, rail	RER	0	ikm	1.17E-3	1	2.09 (4,5,na,na,na,na,na.BU:2); Gewichtete Durchschnittsdistanz für Zement beträgt 400 km;
	transport, barge	RER	0	ikm	1.41E-7	1	2.09 (4,5,na,na,na,na,na.BU:2); Gewichtete Durchschnittsdistanz für Zement beträgt 400 km;

A.3.4.2 Resultate

Der in der Schweiz eingesetzte Zement wird zu 14 % importiert. Der Rest der in der Schweiz verbrauchten Materialien stammt aus heimischer Produktion. Die Umweltbelastungen des Marktmixes unterscheiden sich von der Schweizer Produktion durch den zusätzlichen Transport und einen Importzuschlag von 10 % um nur wenige Prozent (siehe Abbildung 5). Die Umweltbelastungen des Zements ab Regionallager sind in Tabelle 17 aufgelistet. Von allen Umweltindikatoren unterscheidet sich der Primärenergiebedarf total und nicht erneuerbar des Schweizer Zements mit 5 % am meisten von demjenigen des Marktmixes.

Tabelle 17: Umweltbelastungen pro kg Zement für den Schweizer Markt gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie als Treibhausgasemissionen

Baustoff / -element	Bezug	UBP'2013	Primär-energie gesamt	Primär-energie nicht erneuerbar	Treibhausgasemissionen
		UBP	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	kg CO ₂ -eq
Zement, unspezifisch	kg	567	3.81	3.60	0.782

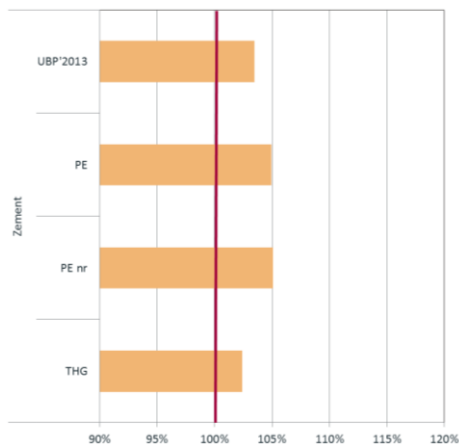


Abbildung 5: Relative Umweltbelastungen von Zement ab Regionallager im Vergleich zu den Umweltbelastungen der Schweizer Produkte ab Werk (gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen). UBP'2013: Gesamtumweltbelastung; PE: Primärenergie gesamt; PE nr: Primärenergie nicht erneuerbar; THG: Treibhausgasemissionen

Aufgrund der geringen Importrate und der hohen Energieintensität der Produktion überwiegen im Marktmixdatensatz beim Zementbaustoff die Anteile der Schweizer Produktion, welche bei allen Indikatoren mehr als 80 % der Belastungen verursachen (siehe Abbildung 6).

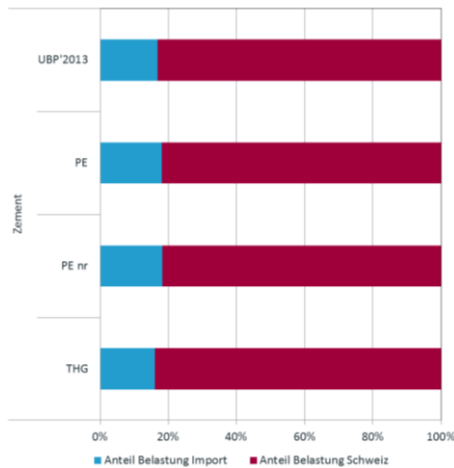


Abbildung 6: Anteile der Umweltbelastungen der inländischen Produktion sowie des Importanteils des Marktmixes von Zement (gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen). UBP'2013: Gesamtumweltbelastung; PE: Primärenergie gesamt; PE nr: Primärenergie nicht erneuerbar; THG: Treibhausgasemissionen

Obwohl der Einfluss des Transportes von importiertem Zement im Vergleich zur Zementherstellung gering ist, ist es wichtig den Importanteil auch für diesen Baustoff zu berücksichtigen, da Zement im Gebäudekontext eine zentrale Rolle spielt.

A.3.5 Backsteine und Dachziegel

A.3.5.1 Sachbilanzdaten

Für Backsteine und Dachziegel sind keine Daten zum Schweizer Produktionsvolumen beim Verband und den Herstellern verfügbar. Die jährliche Schweizer Produktionsmenge wurde daher auf Basis von publizierten Daten zu Emissionsmengen aus Ziegeleien abgeschätzt. Die in der Schweiz von Ziegeleien emittierte Menge von Blei, Cadmium, Feinstaub, Quecksilber und Zink sind bekannt (BAFU 2012). Emissionsfaktoren dieser Substanzen pro Tonne Produkt sind im Handbuch Emissionsfaktoren für stationäre Quellen aufgeführt (BUWAL 2000). Daraus lässt sich pro Schadstoff die durchschnittlich produzierte Ziegelmenge pro Jahr abschätzen (siehe Tabelle 18). Der Mittelwert dieser Abschätzungen dient im Weiteren als durchschnittliche, jährlich in der Schweiz produzierte Menge an Ziegeln und Backsteinen.

Tabelle 18: Berechnung der durchschnittlichen, jährlichen Produktionsmenge von Ziegeln und Backsteinen basierend auf Emissionsfaktoren (BUWAL 2000) und bekannten Schadstoff-Jahresfrachten aus Ziegeleien (BAFU 2012)

Schadstoff	Emissionen	Emissionsfaktor	Abgeleitete Produktionsmenge
	g / a	g / t Produkt	t Produkt / a
Blei	237'400	0.290	818'700
Cadmium	22'900	0.035	653'200
Feinstaub	58'000'000	42.000	1'381'000
Quecksilber	1'500	0.0026	575'000
Zink	149'500	0.190	786'700
Durchschnitt (gerundet)			850'000

Die Daten zur Menge an importierten Backsteinen und Dachziegeln (Bezugsjahr 2012) entstammen der Aussenhandelsstatistik (Tabelle 19). Für die Dachziegel wurde die Kategorie 6905.1000 (Keramische Dachziegel) und für die Backsteine die Kategorie 6904.1 (Keramische Backwaren zu Bauzwecken) verwendet (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012).

Tabelle 20: Tonnagen an Ziegeln und Backsteinen, welche in der Schweiz im Jahr 2012 produziert, importiert und verbraucht wurden

Material	Produktion Schweiz	Import	Verbrauch Schweiz	Anteil Import
	t/a	t/a	t/a	%
Dachziegel	k.A.	22386		
Backsteine	k.A.	85221		
Dachziegel und Backsteine	842'900	107607	950'510	11 %

Die importierten Dachziegel stammen zu 98 % aus den Nachbarländern der Schweiz (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012). Als durchschnittliche Transportdistanzen wurden die Distanzen des jeweiligen geografischen Ländermittelpunkts nach Bern ermittelt. Die Transportdistanzen wurden mit dem jeweiligen Importanteil gewichtet, siehe Tabelle 21.

Tabelle 21: Herkunftsland sowie prozentuale Anteile und Transportdistanz aus dem Herkunftsland nach Bern für die in die Schweiz importierte Menge an Dachziegeln (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012)

Herkunftsland	Importanteil %	Bezugsort (geografischer Mittelpunkt)	Distanz km
Deutschland	81%	Mühlhausen-Thüringen	640
Italien	6%	Narni	870
Österreich	2%	Bad Aussee	660
Frankreich	10%	Vesdun	530
Durchschnittliche, gewichtete Transportdistanz			643

Backsteine werden aus Deutschland, Italien, Österreich und Belgien importiert (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012). Für alle Länder wurden die Transportdistanzen des jeweiligen geografischen Ländermittelpunkts nach Bern ermittelt. Für Belgien wurde die Distanz von Brüssel nach Bern gewählt. Dies ist in Tabelle 22 festgehalten.

Tabelle 22: Herkunftsland sowie prozentuale Anteile und Transportdistanz aus dem Herkunftsland nach Bern für die in die Schweiz importierte Menge an Backsteinen (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012)

Herkunftsland	Importanteil %	Bezugsort (geografischer Mittelpunkt)	Distanz km
Deutschland	47%	Mühlhausen-Thüringen	640
Österreich	28%	Bad Aussee	660
Italien	22%	Narni	870
Belgien	1%	Brüssel	670
Durchschnittliche, gewichtete Transportdistanz			698

Für die Dachziegel und die Backsteine wurde dieselbe SITC-Kategorie 662 (Baumaterial aus Ton und aus feuerfesten Stoffen) verwendet. Die Transportmittel, mit welchen die Güter in die Schweiz transportiert werden, sind in Tabelle 23 aufgeführt.

Tabelle 23: Transportmittel mit welchen Dachziegel und Backsteine in die Schweiz importiert werden, gemäss Aussenhandelsstatistik, SITC-Nummer 662 (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012)

Transportmittel	Bahnverkehr	Strassenverkehr	Luftverkehr	Pipeline	Schiffsverkehr	Total
Anteil	4%	95%	0%	0%	1%	100%

Die folgende Tabelle 24 zeigt die Sachbilanzdaten der Modellierung der Marktsituation von Dachziegeln und Backsteinen.

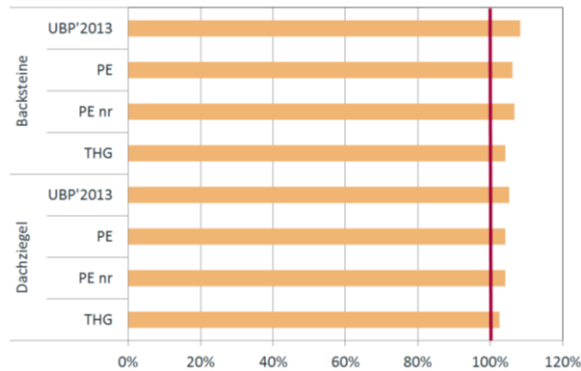


Abbildung 7: Relative Umweltbelastungen von Backsteinen und Dachziegeln ab Regionallager im Vergleich zu den Umweltbelastungen der Schweizer Produkte ab Werk (gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen). UBP'2013: Gesamtumweltbelastung; PE: Primärenergie gesamt; PE nr: Primärenergie nicht erneuerbar; THG: Treibhausgasemissionen

Die relativen Anteile der Umweltbelastungen des Schweizer- sowie des Importanteils sind in Abbildung 8, bezogen auf die Umweltbelastungen des Marktmites (= 100 %) zu sehen.

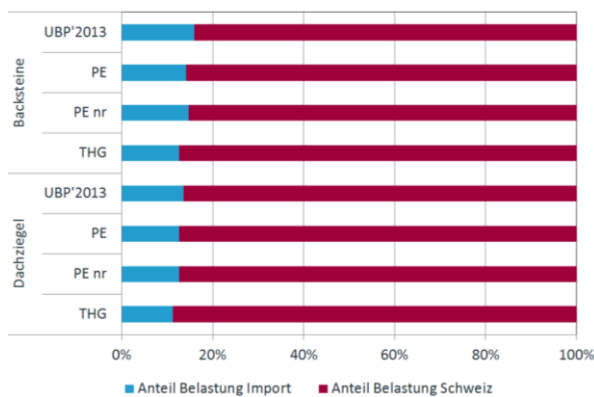


Abbildung 8: Anteile der Umweltbelastungen der inländischen Produktion sowie des Importanteils des Marktmites von Dachziegeln und Backsteinen (gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen). UBP'2013: Gesamtumweltbelastung; PE: Primärenergie gesamt; PE nr: Primärenergie nicht erneuerbar; THG: Treibhausgasemissionen

A.3.5 Dämmstoffe

A.3.5.1 Sachbilanzdaten

Bei den Dämmstoffen werden je nach Material 16 % bis 45 % der in der Schweiz verbrauchten Mengen importiert. Die Importmengen, die Produktionsmengen im Inland, die daraus resultierende Verbrauchsmenge sowie die Anteile des Imports sind in Tabelle 26 aufgeführt. Die Marktanteile Inland/Import basieren auf Marktabschätzungen von verschiedenen Produzenten. Die jährlich in der Schweiz verbrauchten Mengen an expandiertem Polystyrol (EPS), extrudiertem Polystyrol (XPS) und Po-

lyurethan (PUR) entsprechen gemittelten Expertenschätzungen. Die Inland-Produktionsmenge von Steinwolle stammt von Flumroc aus dem Jahr 2011, während die Importmenge auf Grund von Expertenschätzungen ermittelt wurde. Bei Glaswolle basiert die Inlandproduktionsmenge auf Expertenschätzungen während die Importmenge der Aussenhandelsstatistik entnommen ist (Kategorie 7019.9 für Glaswolle, Bezugsjahre 2012) (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012).

Tabelle 26: Tonnagen an Dämmstoffen, welche in der Schweiz im Jahr 2012 produziert, importiert und verbraucht wurden

Material	Produktion Schweiz	Import	Verbrauch Schweiz	Anteil Import
	t/a	t/a	t/a	%
Expandiertes Polystyrol, EPS	23'500	4'500	28'000	16%
Extrudiertes Polystyrol, XPS	9'800	8'000	17'900	45%
Polyurethan, PUR	8'800	7'200	16'000	45%
Steinwolle	55'800	18'600	74'500	25%
Glaswolle	18'900	4'700	23'600	20%

Die importierten Dämmstoffe stammen aus Europa, teilweise aber auch aus Nordamerika und China. Für EPS und PUR werden dieselben Herkunftsländer und Importanteile angenommen wie für expandierbares primäres Polystyrol, respektive primäres Polyurethan, da nur letztere in der Aussenhandelsstatistik erfasst werden (siehe Tabelle 27 und Tabelle 28). Als Bezugsort wird jeweils der geographische Mittelpunkt verwendet, da ISOLSUISSE, der Verband Schweizerischer Isolierfirmen, keine Daten zu den wichtigsten Produktionsstandorten in den jeweiligen Ländern vorliegen hat⁶. Zur Ermittlung der durchschnittlichen Transportdistanz pro Dämmstoff, wurden die einzelnen Transportdistanzen gemäss den Marktanteilen der jeweiligen Dämmstoffe gewichtet.

⁶ Persönliche Mitteilung, Urs Hofstätter von ISOLSUISSE, 30. Oktober 2015

Tabelle 27: Herkunftsland sowie prozentuale Anteile und Transportdistanz aus dem Herkunftsland nach Bern für expandierbares, primäres Polystyrol (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012)

Herkunftsland	Importanteil %	Bezugsort (geografischer Mittelpunkt)	Distanz km
Deutschland	57%	Mühlhausen-Thüringen	630
Österreich	23%	Bad Aussee	660
Tschechische Republik	13%	Prag	800
Frankreich	2%	Vesdun	530
Griechenland	2%	Athen	2'500
Niederlande	1%	Rotterdam	800
Italien	1%	Narni	870
Durchschnittliche, gewichtete Transportdistanz			701

Tabelle 28: Herkunftsland sowie prozentuale Anteile und Transportdistanz aus dem Herkunftsland nach Bern für primäres Polyurethan (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012)

Herkunftsland	Importanteil %	Bezugsort (geografischer Mittelpunkt)	Distanz km
Deutschland	63%	Mühlhausen-Thüringen	630
Belgien	9%	Brüssel	670
Italien	8%	Narni	870
Spanien	7%	Madrid	1'540
Frankreich	5%	Vesdun	530
Niederlande	3%	Rotterdam	800
Vereinigtes Königreich	1%	Haltwhistle	1'470
Vereinigte Staaten von Amerika	1%	Rugby	9'560
Griechenland	1%	Athen	2'500
Durchschnittliche, gewichtete Transportdistanz			848

Da es weder für XPS noch für expandierbares, primäres Polystyrol einen Eintrag in der Aussenhandelsstatistik gibt, wird die durchschnittliche Transportdistanz von 13 XPS Produktionsstandorten nach Bern der drei grössten XPS Hersteller in Europa abgeschätzt. Dabei wird angenommen, dass jede der 13 Produktionsstätten gleich viel in die Schweiz liefert, was zu einer durchschnittlichen Transportdistanz von 662 km führt.

Steinwolle wird gemäss Flumroc über eine durchschnittliche Distanz von 820 km in die Schweiz importiert, Glaswolle gemäss ISOVER SA über eine durchschnittliche Distanz von 795 km.

Die verwendeten Kategorien zur Abschätzung der Importtransportmittel sind SITC-572.1 für EPS und XPS, SITC-664 für Glaswolle, SITC 663 für Steinwolle und SITC 575.4 für Polyurethan (Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV 2012). Tabelle 29 zeigt die Anteile der Transportmittel pro Dämmstoff auf.

Die Zuladungen der LKWs sind bei den Dämmstoffen unterdurchschnittlich, da sie über eine geringe Dichte verfügen. Die nachgefragten Tonnenkilometer wurden daher gemäss der Ladekapazität der LKWs korrigiert. Die Korrekturfaktoren für die gefahrenen Kilometer des LKW Transport für Dämmstoffe sind in Tabelle 30 festgehalten.

Tabelle 29: Transportmittel mit welchen die Dämmstoffe in die Schweiz importiert werden

Transportmittel	Bahnverkehr	Strassenverkehr	Luftverkehr	Pipeline	Schiffsverkehr	Total
EPS und XPS	25%	74%	0%	0%	1%	100%
Polyurethan	25%	74%	0%	0%	1%	100%
Steinwolle	4%	94%	0%	0%	2%	100%
Glaswolle	4%	95%	0%	0%	1%	100%

Tabelle 30: Korrekturfaktoren der gefahrenen Kilometer für die unterdurchschnittliche LKW Auslastung beim Strassentransport von Dämmstoffen

Dämmstoff	EPS	XPS	Glaswolle	Steinwolle	Polyurethan
Korrekturfaktor	4.36	3.11	1.61	1.81	3.63

Die Sachbilanzdaten zur Modellierung der aktuellen Marktsituation der Dämmstoffe sind in Tabelle 31 festgehalten. Die Marktsituation von Glas- und Steinwolle wurde bereits im Rahmen der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 quantifiziert. Deshalb sind dazu keine Sachbilanzdaten abgebildet. Die EPS, XPS und Polyurethan Datensätze unterliegen einem Importzuschlag von 10 % (siehe Tabelle 31) für die Modellierung der Datensätze ab Regionallager Schweiz.

Flumroc vom Jahr 2014 modelliert, währendem für den Import und die Inlandproduktion anderer Hersteller die Flumroc Daten vom Jahr 2012 verwendet werden und ebenfalls zusätzlich eine 10 % höhere Umweltbelastung der Produktion angenommen werden. Im Gegensatz zur Glaswollproduktion von ISOVER gab es jedoch in der Steinwollproduktion von Flumroc in den letzten drei Jahren keine ähnlich grosse Reduktion in der Umweltbelastung der Herstellung.

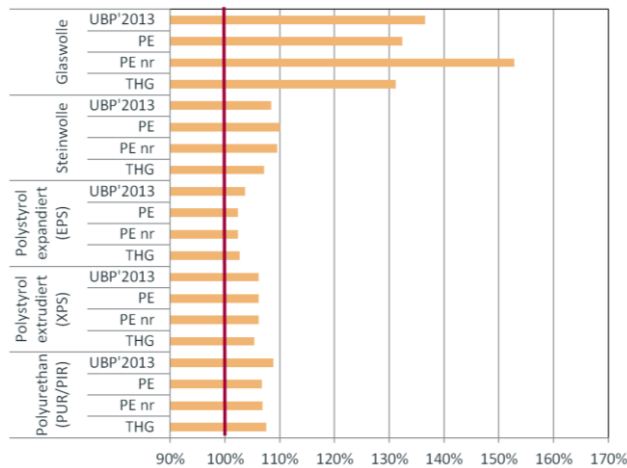


Abbildung 9: Relative Umweltbelastungen von verschiedenen Dämmstoffen ab Regionallager im Vergleich zu den Umweltbelastungen deren Produktion ab Schweizer Werk (gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen). UBP'2013: Gesamtumweltbelastung; PE: Primärenergie gesamt; PE nr: Primärenergie nicht erneuerbar; THG: Treibhausgasemissionen

Abbildung 10 zeigt die relativen Anteile der Umweltbelastungen der Schweizer Produktion und des Importanteils des Marktmitges für die untersuchten Dämmstoffe. Es fällt auf, dass mit Ausnahme der Glaswolle sämtliche Kennwerte eines Dämmstoffes einen ähnlich hohen Inlandanteil verursachen.

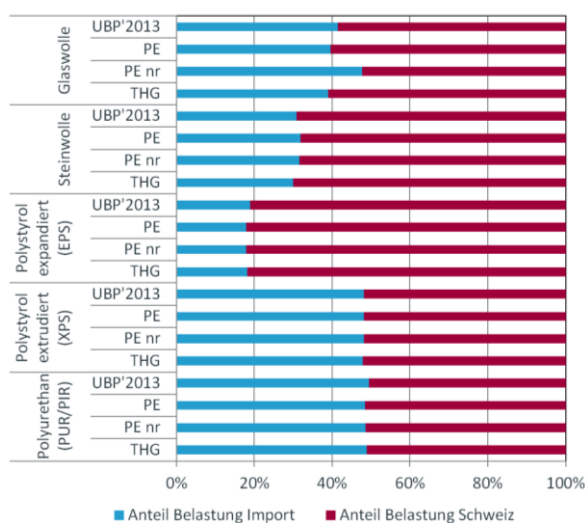


Abbildung 10: Anteile der Umweltbelastungen der inländischen Produktion sowie des Importanteils des Marktmites der entsprechenden Dämmstoffe (gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen). UBP'2013: Gesamtumweltbelastung; PE: Primärenergie gesamt; PE nr: Primärenergie nicht erneuerbar; THG: Treibhausgasemissionen

A.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Bei den Indikatoren Treibhausgasemissionen und Primärenergiebedarf ist hauptsächlich der Transport für die Umweltbelastung verantwortlich, während beim Indikator Gesamtumweltbelastung die Rohmaterialgewinnung vom Baustoff überwiegt.

Bei Sand und Kies ab Regionallager, der zu 19 % aus importiertem und zu 81 % aus inländischem Sand und Kies besteht, sind die Umweltbelastungen im Vergleich zu den Umweltbelastungen ab Schweizer Werk um bis zu 18 % höher (beim Indikator Treibhausgasemissionen).

Die Umweltbelastungen von Natursteinplatten ab Regionallager weichen deutlich von den bisherigen in der KBOB-Empfehlung aufgeführten Umweltbelastungen ab. Hauptgrund ist der hohe Importanteil von 87 %. Bei Natursteinplatten sind die Umweltbelastungen des Marktmites (ab Regionallager) je nach Verarbeitungstiefe und Indikator bis zu 45 % über den Umweltbelastungen der Natursteinplatten aus Schweizer Produktion.

Die Zunahme der Umweltbelastung fällt bei geschnittenen Natursteinplatten aufgrund der geringeren Verarbeitungstiefe im Vergleich zu polierten Platten am grössten aus.

Bei Zement unterscheiden sich die Umweltbelastungen des Marktmites nur um wenige Prozent von denjenigen der Schweizer Produktion. Einerseits ist die Importrate mit 14 % relativ tief und andererseits ist die Zementproduktion energieintensiv.

Bei Backsteinen und Dachziegeln ab Regionallager liegen die Umweltbelastungen um maximal 8 % (beim Indikator Gesamtumweltbelastung) höher als diejenigen der Produkte ab Schweizer Werk. Auch hier ist der Importanteil mit 11 % relativ gering und die Produktion dieser Baustoffe energieintensiv.

Die Umweltbelastungen des Marktmites der untersuchten Dämmstoffe (ausgenommen Glaswolle) sind maximal 10 % höher als diejenige der Dämmstoffe aus

einheimischer Produktion. EPS hat die tiefste Importrate und damit auch die geringste Erhöhung der Umweltbelastung durch Importtransporte. Grosse Abweichungen treten bei der Glaswolle auf, bei welcher der herstellereigene Datensatz von ISOVER für die inländische Produktion Verwendung findet. ISOVER bezieht ausschliesslich Strom aus Wasserkraft für die Glaswollherstellung, was zu einer geringeren Umweltbelastung als bei der durchschnittlichen ausländischen Produktion von Glaswolle führt.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchung ist es angezeigt, die Importanteile und Transportaufwendungen aller untersuchten Baustoffe einzuführen. Bei Zement ist anzunehmen, dass die Variabilität der Produktion einen grösseren Einfluss auf die Umweltbelastung hat als die Transporte in die Schweiz. Aus diesem Grund sollten Ökobilanzen der wichtigsten deutschen und italienischen Produktionsstandorte (Heidelberg und Bergamo) erstellt werden, um ein besseres Bild der Marktsituation zu erhalten.

A.5 Literaturverzeichnis

BAFU (2012) Switzerland's Informative Inventory Report 2012 (IIR) - Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. INFRAS consulting group, Zurich & Federal Office for the Environment FOEN, Air Pollution Control and Non-Ionising Radiation Division, Berne.

BfS (2014) Umweltgesamtrechnung 1990 - 2011 retrieved from: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/onlinedb/stattab.html>.

BUWAL (2000) Handbuch Emissionsfaktoren für stationäre Quellen, Ausgabe 2000. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

Cemsuisse (2014) Kennzahlen Produktion retrieved from: <http://www.cemsuisse.ch/cemsuisse/produktion/kennzahlen/archiv/index.html?lang=de>.

Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV (2010) Aussenhandelsstatistik Cemsuisse ODZ, Bern.

Eidgenössische-Zollverwaltung-EZV (2012) Aussenhandelsstatistik, Bern, retrieved from: <https://www.swiss-impex.admin.ch/>.

Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hischer R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.

Frischknecht R. and Büsser Knöpfel S. (2013) Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 1330. Bundesamt für Umwelt, Bern, retrieved from: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=de>.

Frischknecht R. (2015) Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz. Plattform "Ökobilanzdaten im Baubereich", KBOB, eco-bau, IPB, Bern, retrieved from: http://www.eco-bau.ch/resources/uploads/Oekobilanzdaten/Plattform_OeDB_Memo_Produktspezifische%20Regeln_v3%200.pdf.

IPCC (2013) The IPCC fifth Assessment Report - Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Working Group I, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.

KBOB, eco-bau and IPB (2014a) KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: <http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=de>.

KBOB, eco-bau and IPB (2014b) ecoinvent Datenbestand v2.2+; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: www.lc-inventories.ch.

PRé Consultants (2014) SimaPro 8.0.4, Amersfoort, NL.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht, Januar 2016

Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich"

Projekt QualiBOB

Teilbericht B: Tiefbauarbeiten bei Hochbauten

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Hochbauten Stadt Zürich
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Auftragnehmer:

Projektteam QualiBOB

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

René Itten, treeze Ltd.
Rolf Frischknecht, treeze Ltd., frischknecht@treeze.ch
Philippe Stolz, treeze Ltd., stolz@treeze.ch

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG
Peter Gerber, BAFU, Fachbereich Ökobilanzen
Norbert Egli, Vertretung BAFU Sektion Konsum und Produkte, Tridee GmbH
Michael Pöll, AHB Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500996-01

BAFU-Vertrags- und Projektnummer: 10.0041.PJ / N043-0527, O022-2110

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Verdankung

Ganz herzlich sei für die wertvollen Informationen zur Erstellung von Baugrubensicherungen, Tiefgründungen und Wasserhaltungen nachfolgenden Personen gedankt:

Andi Lutz (APT Ingenieure AG), René Schmidli (JMS-Risi AG), Freddy Hartmann (JMS-Risi AG), Duncan Moore (Implenia AG), Roger Hartmann (Marti AG), Martin Taxer (KIBAG), Christian Senn (Keller MTS AG), Robert Zollna (Bauer Spezialtiefbau Schweiz AG) und Dejan Lukic (Fachverband Infra Schweiz).

Inhaltsverzeichnis

B	TIEFBAUARBEITEN BEI HOCHBAUTEN	B-1
B.1	Ausgangslage.....	B-1
B.2	Ziel und Untersuchungsrahmen dieser Studie.....	B-1
B.2.1	Zielsetzung.....	B-1
B.2.2	Untersuchungsgegenstand	B-2
B.2.3	Untersuchungsrahmen.....	B-2
B.2.3.1	Funktionelle Einheit	B-2
B.2.3.2	Systemgrenzen	B-2
B.2.3.3	Allokation.....	B-3
B.2.3.4	Abschneidekriterien.....	B-3
B.2.3.5	Zeitliche und geografische Gültigkeit.....	B-3
B.2.3.6	Untersuchte Umweltindikatoren und Bewertungsmethoden	B-3
B.2.3.7	Ressourcenkorrektur	B-3
B.3	Baugrubensicherung	B-4
B.3.1	Einführung und Übersicht.....	B-4
B.3.2	Böschung	B-5
B.3.3	Spundwand.....	B-6
B.3.4	Rühlwand	B-6
B.3.5	Bohrpfahlwand	B-7
B.3.6	Schlitzwand.....	B-7
B.3.7	Nagelwand.....	B-8
B.4	Tiefgründung	B-8
B.4.1	Einführung und Übersicht.....	B-8
B.4.2	Rüttelstopfverfahren.....	B-8
B.4.3	Vorfabrizierte Betonpfähle.....	B-8
B.4.4	Mikrobohrpfähle	B-9
B.4.5	Ortbetonbohrpfähle	B-9
B.4.6	Ortbetonverdrängungspfahl	B-9
B.5	Grundwasserhaltung	B-9
B.5.1	Übersicht.....	B-9
B.5.2	Ausgleichsmassnahmen	B-10
B.5.3	Wasserhaltung in Baugruben.....	B-10
B.6	Sachbilanzdaten.....	B-10
B.6.1	Übersicht.....	B-10
B.6.2	Baugrubensicherungen	B-11
B.6.2.1	Übersicht	B-11
B.6.2.2	Spundwände	B-11

B.6.2.3	Rühlwände	B-12
B.6.2.4	Bohrpfahlwände	B-16
B.6.2.5	Schlitzwände	B-18
B.6.2.6	Nagelwände	B-19
B.6.3	Tiefgründungen.....	B-20
B.6.3.1	Übersicht	B-20
B.6.3.2	Rüttelstopfverfahren	B-21
B.6.3.3	Vorfabrizierte Betonpfähle	B-22
B.6.3.4	Mikrobohrpfähle.....	B-23
B.6.3.5	Ortbetonbohrpfähle	B-24
B.6.3.6	Ortbetonverdrängungspfähle.....	B-26
B.6.4	Wasserhaltung	B-28
B.6.5	Datenquellen und Datenqualität	B-29
B.6.6	Vorgeschlagene Datensätze für die KBOB Liste.....	B-30
B.7	Resultate und Interpretation	B-31
B.7.1	Übersicht.....	B-31
B.7.2	Baugrubensicherungen.....	B-32
B.7.2.1	Gesamtumweltbelastung.....	B-32
B.7.2.2	Treibhausgasemissionen	B-33
B.7.3	Tiefgründungen.....	B-34
B.7.3.1	Gesamtumweltbelastung.....	B-34
B.7.3.2	Treibhausgasemissionen	B-35
B.7.4	Wasserhaltung.....	B-35
B.7.4.1	Gesamtumweltbelastung.....	B-35
B.7.4.2	Treibhausgasemissionen	B-36
B.8	Schlussfolgerungen	B-36
B.9	Literaturverzeichnis	B-38
B.A	Anhang: Resultattabellen	B-39
B.B	Anhang: Sachbilanzdaten Entsorgung	B-40
B.C	Anhang: Pumpenkennwerte	B-43

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr (annum)
AVG	Durchschnitt
CH	Schweiz
CO ₂ -eq	Kohlendioxid-Äquivalente
GLO	Globaler Durchschnitt
GWP	Treibhauspotential (global warming potential)
HEA	Stahlprofil nach DIN Norm
HEB	Stahlprofil nach DIN Norm
HEM	Stahlprofil nach DIN Norm
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KBOB	Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes
kg	Kilogramm
LCA	life cycle assessment
LCI	life cycle inventory analysis
LCIA	life cycle impact assessment
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MJ	Megajoule
n.a.	keine Angabe verfügbar
RER	Europa (Regionsbezeichnung in ecoinvent)
THG	Treibhausgase
tkm	Tonnenkilometer (Transportdienstleistung von 1 Tonne über einen Kilometer)
UBP	Umweltbelastungspunkte (engl. eco-points)

B Tiefbauarbeiten bei Hochbauten

B.1 Ausgangslage

Ein erheblicher Teil der Umweltauswirkungen von Gebäuden entsteht durch die Herstellung des Gebäudes bzw. der dazu verwendeten Materialien. Neben den benötigten Baumaterialien für den Hochbau verursachen auch die ersten baulichen Schritte eines Neubaus, nämlich die Baugrubensicherung, die Tiefgründung und die Wasserhaltung einen relevanten Material- und Energiebedarf. Für eine gesamtheitliche Betrachtung der Erstellung, des Unterhalts und der Entsorgung des ganzen Gebäudes stellt sich daher die Frage nach den Umweltauswirkungen, welche durch die Erstellung der Baugrubensicherungen, Tiefgründungen und Wasserhaltungen verursacht werden.

Ein wichtiges Instrument zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Gebäuden ist die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 „Ökobilanzdaten im Baubereich“ (KBOB et al. 2014). Die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 enthält Umweltkennwerte zu verschiedenen Umweltauswirkungen von unterschiedlichen Baumaterialien, von Gebäudetechnik sowie von Transportleistungen und Energieverbrauch. In der aktuellen Version der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 sind bisher keine Umweltkennwerte für die Erstellung und den Unterhalt von Baugrubensicherungen, Tiefgründungen und Wasserhaltungen enthalten.

In dieser Studie sollen daher Sachbilanzinventare zu Baugrubensicherungen, Tiefgründungen und Wasserhaltungen erstellt werden, welche im Zuge der nächsten Aktualisierung der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 in die Liste „Ökobilanzdaten im Baubereich“ integriert werden.

Das Kapitel B.3 enthält den Beschrieb der untersuchten Baugrubensicherungen. In Kapitel B.4 werden die untersuchten Tiefgründungen beschrieben und Kapitel B.5 enthält den Beschrieb der Wasserhaltung. Das Kapitel B.6 beinhaltet die Sachbilanzinformationen zu den in Kapitel B.3 bis B.5 beschriebenen Techniken. Im Kapitel B.7 werden die Ergebnisse der Ökobilanzen gezeigt und Kapitel B.8 enthält erste Schlussfolgerungen.

B.2 Ziel und Untersuchungsrahmen dieser Studie

B.2.1 Zielsetzung

In der aktuellen Version der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 sind keine Umweltkennwerte zu Baugrubensicherungen, Tiefgründungen und zur Wasserhaltung enthalten. Ziel dieser Studie ist die Erstellung von Sachbilanzdaten zu den ersten baulichen Schritten eines Neubaus (Baugrubensicherung, Tiefgründung und Wasserhaltung). Hierzu sollen Sachbilanzen zu den wesentlichen Verfahren erstellt werden.

Baugrubensicherungen werden zur Stabilisierung der Baugrube verwendet und können unterschiedlich ausgeführt werden. Die wesentlichen Verfahren sind Spundwände, Rühlwände, Bohrpfahlwände, Schlitzwände und Nagelwände.

Tiefgründungen sind erforderlich bei schlecht tragfähigem Untergrund. Die wesentlichen Verfahren zur Erhöhung der Tragfähigkeit sind Rüttelstopfsäulen, vorgefabrizierte Betonpfähle, Mikrobohrpfähle, Ortbetonbohrpfähle und Ortbetonverdrängungspfähle.

Eine Wasserhaltung, das heisst eine Entwässerung der Baugrube während der Bauphase kann erforderlich sein bei Bauvorhaben, deren Baugrubensohle unterhalb des Grundwasserspiegels zu liegen kommt.

Die für die Baugrubensicherung, Tiefgründung und Wasserhaltung erforderlichen Aufwendungen werden in Zusammenarbeit mit Bauunternehmungen erhoben und resultieren in Sachbilanzinventaren, die ausreichend differenziert sind.

B.2.2 Untersuchungsgegenstand

In dieser Studie werden unterschiedliche Bauweisen von Baugrubensicherungen und Tiefgründungen sowie Massnahmen zur Wasserhaltung untersucht. Diese sind in den Kapiteln B.3 bis B.5 beschrieben.

Die Bauweise der Baugrubensicherungen, Tiefgründungen und der Wasserhaltung entspricht den Schweizer Anforderungen und Normen und der Ausführung von Schweizer Bauunternehmungen. Eine detailliertere Beschreibung der jeweiligen Bauweise von Baugrubensicherungen und Tiefgründungen sowie der Ausführung der Wasserhaltung ist in den entsprechenden Kapiteln zu finden.

B.2.3 Untersuchungsrahmen

B.2.3.1 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit wird für die drei Bauelemente individuell definiert. Für die Baugrubensicherung ist es 1 m² gesicherte Wand (Ansichtsfläche). Bei den Tiefgründungen ist es ein Laufmeter Pfählung und bei der Wasserhaltung ist es der m³ gefördertes Grundwasser.

B.2.3.2 Systemgrenzen

Der Bilanzrahmen umfasst die Gewinnung der Rohstoffe, die Transportlogistik über den ganzen Lebenszyklus (Versorgungskette, Bau, Unterhalt, Rückbau und Entsorgung), die Herstellung der Baumaterialien (Stahl, Beton, Holz), den Unterhalt sowie den Rückbau und die Entsorgung oder das Recycling.

Wir gehen davon aus, dass beim Rückbau der Gebäude die für Baugrubensicherung und Tiefgründung verwendeten Materialien rezykliert werden (Recyclingraten gemäss KBOB-Empfehlung 2009/1:2014).

B.2.3.3 Allokation

Allokation kommt zur Anwendung bei Prozessen, die mehrere nützliche Produkte generieren (Multioutput-Prozesse) und bei der Entsorgung (z.B. Kehrlichtverbrennung, Recycling). Die Allokation befasst sich mit der Zuordnung von Aufwendungen, Emissionen und Abfällen eines Multioutput-Prozesses auf mehrere nützliche Produkte oder Dienstleistungen.

In der vorliegenden Studie werden in Multioutput-Prozessen ökonomische Kriterien als Allokationsbasis verwendet. Beim Recycling wird der „recycled content“-Ansatz angewendet (siehe Frischknecht 2010). Produktionsabfälle und Materialien eines zu entsorgenden Produkts, welche rezykliert werden, tragen keine Umweltbelastung. Die Aufwendungen für Einsammeln, Aufbereiten und Herstellen von Sekundärmaterialien werden den Sekundärmaterialien zugeschrieben. Es werden keine Gutschriften gewährt.

B.2.3.4 Abschneidekriterien

Sämtliche relevanten und verfügbaren Daten werden in die Studie einbezogen und sämtliche relevanten und bekannten Inputs und Outputs werden berücksichtigt. Dabei handelt es sich um die wesentlichen Konstruktionsmaterialien (Baustahl, Armierungsstahl, Beton (Kies und Zement), Holz und Bentonit sowie um die wesentlichen Energiebedarfe (Diesel für den Einsatz von Baumaschinen, Strom für den Betrieb der Grundwasserpumpen).

B.2.3.5 Zeitliche und geografische Gültigkeit

Die Sachbilanzen der Baugrubensicherungen, Tiefgründungen und der Wasserhaltung sind gültig für die aktuelle Situation in der Schweiz. Alle beschriebenen und bilanzierten Bauweisen werden heute angewendet und entsprechen den heutigen Normen und Anforderungen.

B.2.3.6 Untersuchte Umweltindikatoren und Bewertungsmethoden

Die Umweltauswirkungen werden mit den Indikatoren quantifiziert, welche in der KBOB Empfehlung 2009/1:2014 ausgewiesen sind. Die Auswahl beinhaltet folgende Indikatoren:

- Umweltbelastungspunkte 2013 (UBP, Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013)
- Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar (Frischknecht et al. 2007b)
- Treibhausgasemissionen (THG) nach IPCC (2013, Tab. 8.A.1)

B.2.3.7 Ressourcenkorrektur

Mit der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) wird die dissipative Ressourcennutzung bewertet. Bei der stofflichen Nutzung von Ressourcen ist nicht die Ressourcenentnahme entscheidend, sondern die Tatsache, wieviel der entnommenen und verarbeiteten Ressource verloren geht und damit für eine künftige Nutzung nicht mehr zur Verfügung steht. Der restliche Anteil, welcher stofflich verwertet beziehungsweise wiederverwendet werden kann, wird le-

diglich «ausgeliehen» und steht damit zukünftigen Nutzern wieder zur Verfügung. Die dissipative Nutzung wird in den Sachbilanzen mithilfe von Ressourcenkorrekturen modelliert und angewendet auf Metallbaustoffe, Holzwerkstoffe und Beton.

Holzwerkstoffe gelangen gemäss KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 zu 50 % ins Recycling und zu 50 % in eine Verbrennung. Deshalb wird den Holzwerkstoffen eine Gutschrift in der Höhe von 50 % des Energieinhalts erteilt. Der Energieinhalt wird über den Heizwert von „hardwood, standing, under bark, in forest“ (12'768 MJ/m³) und „softwood, standing, under bark, in forest“ (9'181 MJ/m³) ermittelt.

Metalle werden zu 100 % recycelt. Die Ressourcenkorrektur wird für den Primäranteil des Metallwerkstoffs erteilt.

Beton wird zu 90 % recycelt. Beim Betonbedarf wird deshalb die Ressourcenkorrektur auf 90 % des Kies- und Sandanteils angewendet.

Die Indikatoren Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen sind von diesen Ressourcenkorrekturen nicht betroffen.

B.3 Baugrubensicherung

B.3.1 Einführung und Übersicht

Als Baugrube wird der unterhalb der Geländeoberfläche liegende Bereich bezeichnet, welcher die Bauarbeiten im Untergrund eines Gebäudes ermöglicht. Zu den Bestandteilen einer Baugrube gehören die Baugrubensicherung und die Baugrubensohle. Im Falle der Baugrubensicherung wird unterschieden zwischen Böschung und Baugrubenverbau.

Häufig verwendete Möglichkeiten zur Baugrubensicherung sind Böschungen, Spundwände, Rühlwände und Bohrpfahlwände.

Die Art der Baugrubensicherung und der Baugrubensohle hängt stark von den Platz- und Grundwasserverhältnissen vor Ort ab.

Der Baugrubenverbau wird in innerstädtischem Gebiet oder bei engen Platzverhältnissen angewendet oder falls eine Böschung aufgrund der Boden- und Grundwasserverhältnisse nicht möglich ist. Der Baugrubenverbau verhindert das Nachrutschen des Erdreichs und das Eindringen von Wasser in die Baugrube. Zusätzlich schützt der Baugrubenverbau vor Erosion und anderen Gefahren.

Tabelle 1 zeigt die häufigsten Arten von Baugrubensicherungen mit den jeweiligen Voraussetzungen für ihre Anwendung und ihren Einsatzgebieten.

Tabelle 1: Unterschiedliche Baugrubensicherungen und Voraussetzungen für ihre Anwendung

Art der Baugrubensicherung	Voraussetzung			Einsatzgebiete
	Ausreichende Platzverhältnisse	Ohne Grundwasser	Tragfähiger Untergrund	
Böschung	X	X	X	Kein spezifisches Einsatzgebiet
Spundwand			X	Innerstädtisches Gebiet, Baugrube im Grundwasser
Rühlwand		X	X	Innerstädtisches Gebiet
Bohrpfahlwand				Innerstädtisches Gebiet, Baugrube im Grundwasser, kein tragfähiger Untergrund
Schlitzwand				Innerstädtisches Gebiet, Baugrube im Grundwasser, kein tragfähiger Untergrund, meist als Teil des Gebäudes oder als Dichtwand
Nagelwand		X		Innerstädtisches Gebiet, Hangsicherung

Spund-, Rühl- und Bohrpfahlwände können zusätzlich verankert oder verspiesst werden. Somit sind für diese Arten der Baugrundsicherung die drei Varianten auskragend, verankert und verspiesst möglich, welche in Abbildung 1 schematisch dargestellt sind.

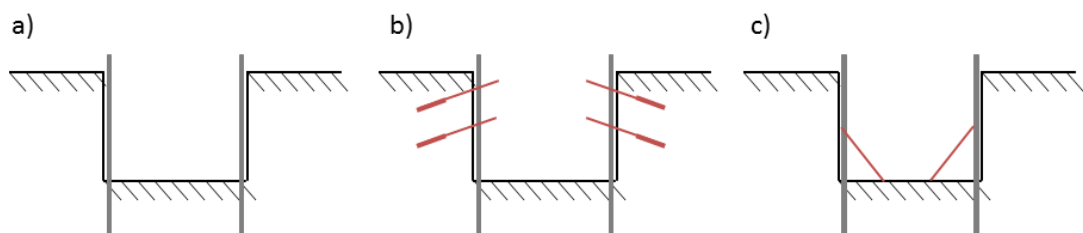


Abbildung 1: Schematische Darstellung von auskragenden (a), verankerten (b) und verspiessten (c) Baugrubensicherungen. Diese drei Varianten werden bei Spund-, Rühl- und Bohrpfahlwänden angewandt.

B.3.2 Böschung

Die Böschung ist die einfachste Art der Baugrubensicherung. Die Böschung kann nur als Baugrubensicherung eingesetzt werden, falls genügend Raum vorhanden ist, um die Böschung nach Vorgaben der entsprechenden Normen zu erstellen (unter Berücksichtigung des Böschungswinkels und der Boden- und Grundwasserverhältnisse).

Da für die Böschung keine weiteren Materialien benötigt werden und Sachbilanzdaten zum Aushub von Erdreich bereits verfügbar sind, werden keine Sachbilanzen für Böschungen erstellt.

B.3.3 Spundwand

Die Spundwand ist ein Baugrubenverbau, welcher sowohl die Baugrube stabilisieren als auch gegen den Eintritt von Grundwasser schützen kann. Spundwände werden in der Regel aus aneinandergereihten Profilen aus Baustahl erstellt.

Die Profile können unter dem Einsatz von speziellen Baumaschinen in den Boden gerüttelt (vibriert), gerammt oder gepresst werden. Es ist möglich, die Profile nach dem Abschluss der Bauarbeiten aus dem Boden zu entfernen und wiederzuverwenden oder zu verwerten. Eine vollständig wasserdichte Verbindung wird entweder mit in die Schlösser eingelegten Kunststoffdichtungen oder durch nachträgliches Verschweissen erreicht.

Für Spundwände werden Stahlprofile mit Längen zwischen 6 und 30 m verwendet. Die Spundwand muss erheblich länger sein als die Aushubtiefe, damit die Stabilität des Baugrubenverbaus gewährleistet ist. Zusätzlich kann die Spundwand mit Verpressankern verankert oder innerhalb der Baugrube mit Stahlträgern abgestützt werden. Bei tiefen Baugruben wird die Spundwand auf mehreren Ebenen verankert beziehungsweise abgestützt.

Eine weitere Ausführung der Spundwand sind Kombiwände. Bei der Kombiwand werden die Profile der Spundwand mit Doppelt-T-Profilen kombiniert, um die Stabilität des Baugrubenverbaus zu verbessern.

Diese Studie beinhaltet Sachbilanzen zu unverankerten, verankerten und gespriessten Spundwänden.

B.3.4 Rühlwand

Die Rühlwand ist ein Baugrubenverbau, bei welchem Doppel-T-Profile im Abstand von 1.5 bis 2.5 m in den Boden eingebracht werden, welche beim anschliessenden Aushub der Baugrube mit Beton ausgefacht werden. Die Stahlprofile können eingrüttelt (vibriert) oder gerammt werden. Es ist auch möglich die Stahlprofile in vorgebohrte Löcher einzubringen, um Erschütterungen zu vermeiden oder abzuschwächen.

Zur Stabilisierung kann eine Rühlwand mit Verpressankern verankert werden. Bei tiefen Baugruben wird die Rühlwand auf mehreren Ebenen verankert. Für die Ausfachtung wird meistens Stahlbeton verwendet.

Die Stahlprofile und die Ausfachtung der Rühlwand werden nach Abschluss der Bauarbeiten nicht rückgebaut und die Rühlwand bleibt eine dauerhafte Sicherung. Die Verankerungen werden ebenfalls nicht aus dem Boden entfernt.

Rühlwände werden bei unterschiedlichsten Grundrissformen als Baugrubensicherung eingesetzt, sofern die Baugrube nicht bis ins Grundwasser reicht.

Es werden auskragende, gespriesste und verankerte Rühlwände bilanziert.

B.3.5 Bohrpfahlwand

Eine Bohrpfahlwand ist eine Baugrubensicherung, welche aus aneinandergereihten Bohrpfählen aus Beton besteht.

Der Bau einer Bohrpfahlwand umfasst folgende Schritte:

- Bohren eines Lochs mit dem Durchmesser und der Tiefe des Pfahls
- Ausfüllen des Lochs mit einer Stützflüssigkeit (Bentonitsuspension) oder Stabilisierung durch ein Rohr. Bei standfesten Böden (Fels) muss das Bohrloch nicht zwingend verrohrt oder gestützt werden.
- Einbringen des Bewehrungskorbs
- Betonierung des Bohrpfahls von unten nach oben (ermöglicht das Recycling der Bentonitsuspension)

Bohrpfahlwände werden hauptsächlich eingesetzt, falls eine andere Baugrubensicherung aufgrund der Belastungen oder der Tiefe der Baugrube nicht möglich ist. Zudem verursacht das Einbringen von Bohrpfahlwänden kaum Erschütterungen, was den Einsatz im innerstädtischen Gebiet begünstigt.

Bohrpfahlwände können dauerhaft in das Gebäude integriert werden, z.B. als Hangsicherung oder Aussenwände von Tiefgaragen.

Es werden drei verschiedene Varianten von überschnittenen Bohrpfahlwänden bilanziert (unverankert, verankert und gespriesst).

B.3.6 Schlitzwand

Eine Schlitzwand ist eine Baugrubensicherung aus Beton oder einem anderen Dichtungsmaterial, welche mittels eines Bodenschlitzes erstellt wird.

Der Bau einer Schlitzwand umfasst folgende Schritte:

- Ausheben eines Spaltes mit der Dicke und der Tiefe der Schlitzwand
- Ausfüllen des Spaltes mit einer Stützflüssigkeit (Bentonitsuspension)
- Einbringen des Bewehrungskorbs
- Betonierung der Schlitzwand von unten nach oben (ermöglicht das Recycling der Bentonitsuspension)

Schlitzwände sind in der Regel 40 oder 80 cm dick und werden hauptsächlich zur Sicherung von tiefen Baugruben oder Tiefgründungen angewendet.

Schlitzwände können dauerhaft in das Gebäude integriert werden, z.B. als Kellerwand oder als Tiefgaragenwand.

Im Tunnelbau und im Hochbau werden Schlitzwände auch als Seitenwände für die sogenannte Deckelbauweise verwendet.

Eine Variante der Schlitzwand ist die Drainagewand, die gleichzeitig zum Abführen des Grundwassers verwendet werden kann. Diese Variante wird hier nicht weiter betrachtet.

Es werden Schlitzwände mit zwei unterschiedlichen Dicken bilanziert (40 und 80 cm).

B.3.7 Nagelwand

Die Nagelwand ist eine Baugrubensicherung, welche zur Sicherung von Baugründen und steilen Böschungen verwendet und hauptsächlich bei unregelmässigem Böschungsverlauf angewendet wird.

Beim Aushub der Baugrube wird die Böschung schrittweise mit bewehrtem Spritzbeton und Bodennägeln sichert. Bei Nagelwänden sind Tiefen zwischen 5 und 7 m möglich.

Die Bodenvernagelung kann sowohl als temporäre als auch als dauerhafte Massnahme eingesetzt werden. Es wird eine durchschnittliche Nagelwand bilanziert.

B.4 Tiefgründung

B.4.1 Einführung und Übersicht

Eine Massnahme zur Verbesserung der Tragfähigkeit der Baugrubensohle ist eine Tiefgründung. Die häufigste Form der Tiefgründung ist die Pfahlgründung. Bei der Pfahlgründung werden Pfähle in den Untergrund eingebracht, bis der Untergrund die Anforderungen an die Tragfähigkeit erfüllt.

Es werden Pfähle aus unterschiedlichen Materialien verwendet (Beton, Stahl oder Holz), welche auf unterschiedliche Art in den Boden eingebracht werden (gerammt, gerüttelt / vibriert, gebohrt oder gepresst).

In diesem Kapitel werden fünf unterschiedliche Arten von Tiefgründungen beschrieben, nämlich das Rüttelstopfverfahren (Unterkapitel B.4.2), vorgefertigte Betonpfähle (Unterkapitel B.4.3), Mikrobohrpfähle (Unterkapitel B.4.4), Ortbetonbohrpfähle (Unterkapitel B.4.5) und Ortbetonverdrängungspfähle (Unterkapitel B.4.6).

B.4.2 Rüttelstopfverfahren

Das Rüttelstopfverfahren wird eingesetzt zur Bodenverbesserung in Böden mit hohen Anteilen von feinkörnigem Material. Beim Rüttelstopfverfahren werden Stopfsäulen aus Kies und Schotter im Untergrund erzeugt zur Erhöhung der Tragfähigkeit und Steifigkeit des Bodens. Das Rüttelstopfverfahren wird mit einem durchschnittlichen Beispiel bilanziert.

B.4.3 Vorgefertigte Betonpfähle

Betonpfähle sind eine verbreitete Art der Tiefgründung, welche weltweit und in vielen verschiedenen Anwendungsbereichen eingesetzt wird. Die vorgefertigten Pfähle aus Stahl- oder Spannbeton werden entweder in den Boden gerammt oder einvibriert. Es werden vorgefertigte Betonpfähle von unterschiedlicher Geometrie bilanziert.

B.4.4 Mikrobohrpfähle

Mikrobohrpfähle werden aus verschiedenen Gründen angewendet. Beispiele hierfür sind Auftriebssicherungen, Unterfangungen und Gründungen. Durch das Einbringen von Mikrobohrpfählen werden die zu tragenden Lasten in den Untergrund abgeleitet. Ein grosser Vorteil von Mikrobohrpfählen ist, dass diese auch unter eingeschränkten Platzverhältnissen lärm- und erschütterungsarm in den Boden eingebracht werden können.¹ Es wird eine durchschnittliche Ausführung von Mikrobohrpfählen bilanziert.

B.4.5 Ortbetonbohrpfähle

Ortbetonpfähle sind Bohrpfähle, bei denen die Erde nicht verdrängt wird. Für die Erstellung eines Ortbetonpfahls wird ein unten offenes Stahlrohr in den Untergrund gebohrt. Das Bodenmaterial aus dem Bohrloch wird entfernt und das Stahlrohr anschliessend mit Ortbeton gefüllt.

Ortbetonpfähle werden meist für statisch anspruchsvolle Gründungen von Hochhäusern oder Brücken angewendet. Wenn Ortbetonpfähle aneinandergereiht oder überschritten werden, spricht man von einer Bohrpfahlwand (siehe Unterkapitel B.3.5).

Die Studie enthält Angaben zu verrohrten Ortbetonbohrpfählen von unterschiedlicher Dicke (700-720 mm, 880-900 mm, 1200 mm).

B.4.6 Ortbetonverdrängungspfahl

Im Falle von Verdrängungspfählen wird die Erde nicht ausgehoben sondern verdrängt. Für die Erstellung eines Ortbetonverdrängungspfahls wird ein durch eine Stahlspitze verschlossenes Rohr in den Untergrund gepresst, welches das Erdreich verdrängt und den umliegenden Untergrund verdichtet. Der im Stahlrohr vorhandene Hohlraum wird anschliessend mit armiertem Ortbeton verfüllt.

Es werden zwei Ortbetonverdrängungspfähle mit zwei unterschiedlichen Durchmessern bilanziert (560/480 mm und 660/580 mm).

B.5 Grundwasserhaltung

B.5.1 Übersicht

Bauen im Grundwasser verursacht Mehraufwendungen in zweierlei Hinsicht. Einerseits sind Massnahmen zum Schutz der langfristigen Grundwasser-Durchflusskapazität erforderlich (siehe Unterkapitel B.5.2). Andererseits muss während der Bauphase gewährleistet werden, dass das Grundwasser nicht in die Bau-

¹ <http://www.meisterbau.li/Mikropf%C3%A4hle/tabid/109/Default.aspx> (Zugriff 18.06.2014)

grube dringt beziehungsweise zu unzulässigem Auftrieb des Untergeschosses führt (siehe Unterkapitel B.5.3).

B.5.2 Ausgleichsmassnahmen

Hochbauten, deren Untergeschoss unterhalb des langjährigen mittleren Grundwasserspiegels zu liegen kommt, benötigen eine wasserrechtliche Ausnahmegewilligung. In der Regel werden bei derartigen Vorhaben auch Ausgleichsmassnahmen gefordert. Diese umfassen das Einbringen von Sickerteppichen, Dükern und Hinterfüllungen aus entsprechend durchlässigem, kiesig-sandigem Material. Diese Massnahmen werden hier nicht weiter betrachtet, da Ökobilanzdaten zu Kies beziehungsweise zum Maschineneinsatz für den Aushub bereits vorliegen und diese Ausgleichsmassnahmen also bilanziert werden können.

B.5.3 Wasserhaltung in Baugruben

Für Hochbauten, deren Untergeschosse innerhalb des Grundwasserleiters zu liegen kommen, stellt der zuständige Kanton spezifische Anforderungen an die Wasserhaltung. Entweder wird der Grundwasserspiegel mit Grundwasserpumpen abgesenkt oder das in die Baugrube eindringende Grundwasser wird weggepumpt.

In der gewässerschutzrechtlichen Bewilligung werden die maximale Pumpenleistung und die zu erwartenden, zu pumpenden Wassermengen spezifiziert. Diese Kennwerte dienen als Grundlage für die dem Kanton zu entrichtenden Gebühren.

Die Sachbilanzdaten pro Kubikmeter gepumptes Grundwasser für verschiedene Pumphöhen basieren auf von den Herstellern publizierten Pumpenkennlinien. Diese Kennblätter enthalten Informationen zur gepumpten Menge Wasser in Abhängigkeit der Pumphöhe und des Durchflusses.

Mit Hilfe von Pumpenkennlinien von Pumpen verschiedener Grösse und verschiedener Hersteller wurde für vier verschiedene Pumphöhen (2.5, 5, 7.5 und 10 m) der zu erwartende Energieverbrauch berechnet. Zusammen mit Informationen zur gepumpten Wassermenge, die aus der gewässerschutzrechtlichen Bewilligung entnommen wurde, bilden diese Angaben die Basis für die Sachbilanzen für die Wasserhaltung in Baugruben. Zudem wurde der Aufwand zur Herstellung der Pumpen und deren Lebensleistung abgeschätzt.

B.6 Sachbilanzdaten

B.6.1 Übersicht

Dieses Kapitel beinhaltet die Sachbilanzdaten zu den in Kapitel B.3, B.4 und B.5 beschriebenen Baugrubensicherungen (Unterkapitel B.6.2), Tiefgründungen (Unterkapitel B.6.3) und zur Wasserhaltung (Unterkapitel B.6.4). Die Sachbilanzdaten zur Entsorgung sind im Anhang: Sachbilanzdaten Entsorgung (Abschnitt B.B) gezeigt.

B.6.2 Baugrubensicherungen

B.6.2.1 Übersicht

Die Sachbilanzen zu Spundwänden, Rühlwänden, Bohrpfehlwänden, Schlitzwänden und Nagelwänden sind in den Abschnitten B.6.2.2 bis B.6.2.6 beschrieben.

Der Materialverbrauch für die verschiedenen Baugrubensicherungen basiert in allen Fällen ausser Schlitzwänden auf Angaben von APT Ingenieure.²

Die Transportleistungen für die unterschiedlichen Materialien werden entsprechend den Standarddistanzen nach Frischknecht et al. (2007a) berechnet.

Die durchschnittlichen Datensätze werden aus dem gemittelten Material- und Treibstoffverbrauch der unterschiedlichen Baugrubensicherungen berechnet.

B.6.2.2 Spundwände

Es werden Sachbilanzdaten für eine auskragende und drei gespriesste Spundwände, erstellt. Basierend auf den Angaben zu den drei gespriessten Spundwänden wird ebenfalls eine Sachbilanz für eine durchschnittliche gespriesste Spundwand erstellt. Zusätzlich wird eine Sachbilanz für eine verankerte Spundwand erstellt, welche auf den gemittelten Daten der gespriessten Spundwand und den gemittelten Daten für die Verankerung der verankerten Rühlwände basiert. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht und einen kurzen Beschrieb der bilanzierten Spundwände.

Tabelle 2: Übersicht und Beschrieb der bilanzierten Spundwände; L = Länge des Profils, T = Tiefe der Baugrube, n.a. = keine Angabe verfügbar, MFH = Mehrfamilienhaus, HEA/B/M: Stahlprofile nach DIN Norm.

Bezeichnung	Gebäude	Beschrieb
Spundwand auskragend	Zürich Werdwies	Spundwand auskragend: einvibriert, Profil = n.a., L = 13 m, T = 2.5 m / Spriessung: keine
Spundwand gespriesst	Neubau Landesmuseum, Zürich	Spundwand gespriesst: teilweise vorgebohrt, Profil = PU 25, L = 14 bis 19 m, T = 3.7 bis 6.5 m / Spriessung: diverse Profile
Spundwand gespriesst	MFH, Rapperswil	Spundwand gespriesst: einvibriert, Profil = n.a., L = 14.5 m, T = 3.65 m / Spriessung: zweifach, HEB bis HEM Profile
Spundwand gespriesst	Schulhaus Sandgruben, Basel	Spundwand gespriesst: einvibriert, Profil = n.a., L = 7.5 m, T = 3.5 m / Spriessung: HEB 260
Spundwand gespriesst	Durchschnitt	Durchschnitt Spundwand gespriesst
Spundwand verankert	Durchschnitt	Berechnet aus Verankerung von Rühlwand und den Profilen der gespriessten Spundwand

² Persönliche Mitteilung, Andi Lutz, APT Ingenieure, Email 04.04.2014

Die Profile der bilanzierten Spundwände sind zwischen 7.5 und 19 m lang und die entsprechenden Baugruben zwischen 2.5 und 6.5 m tief. Die Länge der Spundwand entspricht mindestens der zweifachen Baugrubentiefe, im Durchschnitt sogar eher der dreifachen Baugrubentiefe.

Für Spundwände wird angenommen, dass alle Stahlprofile für die Spundwand rückgebaut und im Durchschnitt dreimal wiederverwendet werden.³ Bei den Stahlprofilen für die Spriessung wird angenommen, dass diese zu 2/3 einmal wiederverwendet werden.³ Der Beton für die Verankerungen wird im Boden belassen, womit keine Entsorgungsaufwendungen anfallen. Somit wird auch keine Ressourcenkorrektur vorgenommen.

Für das Einvibrieren der Spundwände wird mit einem Dieserverbrauch von 2.75 l Diesel pro m² Ansichtsfläche der Spundwand gerechnet.⁴ Der Treibstoffverbrauch für das Anbringen der Spriessung wird vernachlässigt.

Tabelle 3 zeigt die Sachbilanzdaten zur Herstellung der bilanzierten Spundwände pro m² Ansichtsfläche.

Tabelle 3: Sachbilanzdaten zur Herstellung der bilanzierten Spundwänden inklusive Durchschnitt pro m² Ansichtsfläche

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	sheet pile wall, projecting, vibrated, Siedlung Werdwies Zürich	sheet pile wall, strutted apart, pre-drilled, Landesmuseum Zürich	sheet pile wall, strutted apart, vibrated, MFH Rapperswil	sheet pile wall, strutted apart, vibrated, Schulhaus Sandgruben Basel	sheet pile wall, strutted appart, average	sheet pile wall, anchored, average	Uncertainty Type	StandardDeviations %	GeneralComment
				CH 0 m2	CH 0 m2	CH 0 m2	CH 0 m2	CH 0 m2	CH 0 m2			
product	sheet pile wall, projecting, vibrated, Siedlung Werdwies Zürich	CH	0 m2	1	0	0	0	0	0			
	sheet pile wall, strutted apart, pre-drilled, Landesmuseum Zürich	CH	0 m2	0	1	0	0	0	0			
	sheet pile wall, strutted appart, vibrated, MFH Rapperswil	CH	0 m2	0	0	1	0	0	0			
	sheet pile wall, strutted appart, vibrated, Schulhaus Sandgruben Basel	CH	0 m2	0	0	0	1	0	0			
	sheet pile wall, strutted appart, average	CH	0 m2	0	0	0	0	1	0			
	sheet pile wall, anchored, average	CH	0 m2	0	0	0	0	0	1			
technosphere	rolled steel, at regional storage	CH	0 kg	1.53E+2	7.25E+1	1.07E+2	7.15E+1	8.37E+1	1.78E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
technosphere	reinforcing steel, secondary production, (100% Rec.)	CH	0 kg	0	0	0	0	0	3.33E+0	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	concrete, concrete for drilled piles, average cement Switzerland, at plant	CH	0 kg	0	0	0	0	0	9.60E+1	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	diesel, burned in building machine	GLO	0 MU	5.14E+2	3.30E+2	3.93E+2	2.12E+2	3.11E+2	3.78E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); company data; Marti AG, 2014, pers. communication Roger Hartmann
	transport, lorry >28t, fleet average	CH	0 tkm	7.65E+0	3.62E+0	5.36E+0	3.58E+0	4.19E+0	1.10E+1	1	2.03	(3.3.1.3.1.4.BU:2); 20 km for concrete, 50 km for steel, standard distances ecoinvent v2.2
	transport, freight, rail	CH	0 tkm	9.18E+1	4.35E+1	6.44E+1	4.29E+1	5.02E+1	1.09E+2	1	2.03	(3.3.1.3.1.4.BU:2); 600 km for steel, standard distances ecoinvent v2.2

B.6.2.3 Rühlwände

Es werden Sachbilanzinventare für auskragende unverankerte (2), einfach verankerte (2) und zweifach verankerte (4) Rühlwände, sowie ein durchschnittliches Inventar für auskragende unverankerte, einfach verankerte, zweifach verankerte und

³ Persönliche Mitteilung, Andi Lutz, APT Ingenieure, Email, 04.04.2014

⁴ Persönliche Mitteilung, Martin Taxer, KIBAG Bauleistungen AG, Email, 13.06.2014

verankerte Rühlwände erstellt. Tabelle 4 zeigt eine Übersicht und einen kurzen Beschrieb der modellierten Rühlwände.

Im Falle der auskragenden Rühlwände werden Profile des Typ HEA/B 320-340 verwendet mit einer Länge zwischen 7 und 8 m im Abstand von 2 m. Die Auskragung beträgt zwischen 2.85 und 3.35 m und die Ausfachung der Rühlwand ist 20 cm dick. Die einfach verankerten Rühlwände verwenden Profile des Typ HEB 240-320 mit einer Länge zwischen 6.7 und 9.6 m im Abstand von 2 bis 2.2 m. Die Ausfachung ist ebenfalls 20 cm dick und die Baugrube zwischen 5 und 6.7 m tief. Es werden unterschiedliche Profile für die Longarinen eingesetzt (falls überhaupt Longarinen verwendet werden). Die Bohrung für die Anker ist zwischen 14 und 15.5 m tief mit einem Durchmesser zwischen 133 und 178 mm im Abstand von 2 bis 2.2 m.

Für zweifach verankerte Rühlwände werden Profile des Typs HEA/B 260-360 mit einer Länge zwischen 7.1 und 11 m im Abstand von 2 bis 2.2 m eingesetzt. Die Ausfachung ist etwa 25 cm dick und für die Longarinen werden diverse Profile eingesetzt (falls vorhanden). Die Bohrung für die Anker ist zwischen 13 und 15.5 m tief mit einem Durchmesser zwischen 133 und 178 mm im Abstand von 2 bis 4 m.

Für die Verankerungen der Rühlwände wird ein Beton mit einem hohen Zementgehalt verwendet. Dieser wird entsprechend mit dem Schweizer Durchschnittsdatensatz für Beton für Bohrpfehlbeton („concrete, concrete for drilled piles, average cement Switzerland, at plant/kg/CH“) modelliert.

Es wird angenommen, dass die Rühlwände rückgebaut werden. Für Beton wird eine Ressourcenkorrektur in Höhe von 90 % des Kies- und Sandanteils angewendet, während für Holz eine Gutschrift von 50 % des Energieinhalts erteilt wird.

Die Bohrtiefe pro m² Ansichtsfläche wird über den Abstand der Rühlwandträger und das Verhältnis von Trägerlänge und Baugrubentiefe berechnet. Für die Bohrung der Löcher für die Stahlträger wird mit einem Dieserverbrauch zwischen 6 und 7 Liter pro Meter Bohrung gerechnet.⁵

Die Bohrtiefe für Verankerungen pro m² Ansichtsfläche wird über die Ankerlänge, den Ankerabstand, die Baugrubentiefe und die Anzahl Verankerungen berechnet. Der Dieserverbrauch für das Einbringen der Anker beträgt 1.3 Liter pro Meter Ankerlänge.⁵ Der Aufwand für das Einbringen der Ausfachung wird vernachlässigt.

Tabelle 5 zeigt die Sachbilanzdaten für die bilanzierten Rühlwände.

⁵ Persönliche Mitteilung, Roger Hartmann, Marti AG, Email, 04.06.2014

Tabelle 4: Übersicht und Beschrieb der bilanzierten Rühlwände; d = Durchmesser der Bohrung, a = Abstand der Profile, L = Länge des Profils, T = Tiefe der Baugrube, n.a. = keine Angabe, MFH = Mehrfamilienhaus, HEA/B = Stahlprofile nach DIN Norm

Bezeichnung	Gebäude	Beschrieb
Rühlwand auskragend	Kulturpark Pfingstweidstrasse, Zürich	Rühlwand: gebohrt, d = 700 mm, HEB 320, a = 2 m, L = 8 m, Auskragung = 2.85 m, Ausfachung Ortbeton = 20 cm, oberster m1 Holzausfachung / Longarine: keine / Verankerung: keine
Rühlwand auskragend	MFH Waltersbachstrasse, Zürich	Rühlwand: gebohrt, d = 700 mm, HEA 340, a = 2 m, L = 7 m, Auskragung = 3.35m, Ausfachung Ortbeton = 20 cm / Longarine: keine / Verankerung: keine
Rühlwand einfach verankert mit Longarine	Schulhaus Sandgruben, Basel 1	Rühlwand: gebohrt, d= 600 mm, HEB 300 a = 2m, L = 6.7 m, T = 4.5 m, Ausfachung Ortbeton = n.a. / Longarine: diverse Profile / Verankerung: Ankerabstand = 4 m, Bohrlänge = 13 m, Bohrdurchmesser = 178 mm,
Rühlwand einfach verankert	Integra L2, Wallisellen-1	Rühlwand: einvibriert, HEB 320, a = 2.2 m L = 9.6 m, T = 5 m, Ausfachung Ortbeton = 20 cm / Longarine: keine / Verankerung: Ankerabstand 2.2 m, Bohrlänge 15.5 m, Bohrdurchmesser = 133 mm
Rühlwand zweifach verankert mit Longarine	Bushof Jona	Rühlwand: gebohrt, d = 500 mm, HEB 240, a = n.a., T = 6.5 m, Ausfachung Ortbeton = 20 cm; oberster 1m Stahlplatte, wiederentfernt (nicht eingerechnet) / Longarine: diverse Profile / Verankerung: Bohrlänge = 14 m, Bohrdurchmesser = 178 mm, 2 Ankerlagen
Rühlwand zweifach verankert mit Longarine	Schulhaus Sandgruben, Basel 2	Rühlwand: gebohrt, d= 600 mm, HEB 260 a = 2m, L = 7.1 m, T = 5.1 m, Ausfachung Ortbeton = n.a., / Longarine: diverse Profile / Verankerung: Ankerabstand = 4 m, Bohrdurchmesser = 178 mm, obere Ankerlage Bohrlänge = 13 m, untere Ankerlage Bohrlänge = 14 m
Rühlwand zweifach verankert	Integra L2, Wallisellen-2	Rühlwand: einvibriert, HEA 300, a = 2.2 m L = 11 m, T = 5.5 m, Ausfachung Ortbeton = 25 cm / Longarine: keine / Verankerung: Ankerabstand = 2.2 m, Bohrdurchmesser = 133 mm, Bohrlänge = 15.5 m
Rühlwand zweifach verankert	Bürohaus Stellwerk Winterthur	Rühlwand: gebohrt, d = 620 mm, HEB 360, a = 2.0 m L = 10.8m, T = 6.2 m, Ausfachung Ortbeton = 25 cm / Longarine: keine / Verankerung: Ankerabstand = 2 m, Bohrdurchmesser = 133 mm, Bohrlänge = 13 m
Rühlwand auskragend	Durchschnitt	Durchschnitt Rühlwand auskragend
Rühlwand gespriesst	Durchschnitt	Berechnet aus durchschnittlicher verankerter Rühlwand (ohne Verankerung) und durchschnittlicher Spriessung der Spundwände
Rühlwand einfach verankert	Durchschnitt	Durchschnitt Rühlwand einfach verankert
Rühlwand zweifach verankert	Durchschnitt	Durchschnitt Rühlwand zweifach verankert
Rühlwand verankert	Durchschnitt	Durchschnitt Rühlwand verankert

Tabelle 5: Sachbilanzdaten zur Herstellung der bilanzierten Rühlwände inklusive Durchschnitt pro m² Ansichtsfläche

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	berlin wall dual-anchored with longarine, drilled, infill concrete, Bushof Jona	berlin wall single-anchored with longarine, drilled, infill concrete, Sandgruben Basel	berlin wall dual-anchored with longarine, drilled, infill concrete, Sandgruben Basel	berlin wall single-anchored without longarine, vibrated, infill concrete, Integra Wallisellen	berlin wall dual-anchored without longarine, vibrated, infill concrete, Integra Wallisellen	berlin wall dual-anchored without longarine, drilled, infill concrete, Stellwerk Winterthur	UncertaintyType	StandardDeviation95 %	GeneralComment	
				CH	CH	CH	CH	CH	CH				
				0	0	0	0	0	0				
				m2	m2	m2	m2	m2	m2				
berlin wall dual-anchored with longarine, drilled, infill concrete, Bushof Jona	CH	0	m2	1	0	0	0	0	0				
berlin wall single-anchored with longarine, drilled, infill concrete, Sandgruben Basel	CH	0	m2	0	1	0	0	0	0				
berlin wall dual-anchored with longarine, drilled, infill concrete, Sandgruben Basel	CH	0	m2	0	0	1	0	0	0				
berlin wall single-anchored without longarine, vibrated, infill concrete, Integra Wallisellen	CH	0	m2	0	0	0	1	0	0				
berlin wall dual-anchored without longarine, vibrated, infill concrete, Integra Wallisellen	CH	0	m2	0	0	0	0	1	0				
berlin wall dual-anchored without longarine, drilled, infill concrete, Stellwerk Winterthur	CH	0	m2	0	0	0	0	0	1				
technosphere	rolled steel, at regional storage	CH	0	kg	7.90E+1	1.02E+2	8.65E+1	1.08E+2	8.00E+1	1.25E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
technosphere	reinforcing steel, secondary production, (100% Rec.)	CH	0	kg	1.00E+1	1.00E+1	1.10E+1	1.70E+1	2.10E+1	1.80E+1	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	concrete, concrete for underground construction, average cement Switzerland, at plant	CH	0	kg	7.20E+2	6.24E+2	6.24E+2	6.72E+2	6.72E+2	6.72E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	concrete, concrete for drilled piles, average cement Switzerland, at plant	CH	0	kg	9.60E+1	1.20E+2	7.20E+1	7.20E+1	1.68E+2	9.60E+1	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	solid wood, spruce / fir / larch Switzerland, air-dried, rough	CH	0	kg	0	0	0	0	0	0	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	diesel, burned in building machine	GLO	0	MJ	2.77E+2	2.15E+2	2.30E+2	2.79E+2	3.44E+2	3.12E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); company data; Marit AG, 2014, pers. communication Roger Hartmann
	transport, lorry >28t, fleet average	CH	0	tkm	2.08E+1	2.05E+1	1.88E+1	2.11E+1	2.19E+1	2.25E+1	1	2.03	(3.3.1.3.1.4.BU:2); 20 km for concrete, 50 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2
	transport, freight, rail	CH	0	tkm	5.34E+1	6.69E+1	5.85E+1	7.50E+1	6.06E+1	8.58E+1	1	2.03	(3.3.1.3.1.4.BU:2); 600 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2
emission resource, biotic	Energy, gross calorific value, in biomass, resource correction	-	-	MJ	0	0	0	0	0	0	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); calculated; based on material use
emission resource, in ground	Gravel, resource correction	-	-	kg	-3.76E+2	-3.42E+2	-3.21E+2	-3.44E+2	-3.85E+2	-3.54E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); calculated; based on material use
emission resource, in ground	Sand, resource correction	-	-	kg	-2.14E+2	-1.95E+2	-1.82E+2	-1.95E+2	-2.20E+2	-2.01E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); calculated; based on material use

Tabelle 5: Sachbilanzdaten zur Herstellung der bilanzierten Rühlwände inklusive Durchschnitt pro m2 Ansichtsfläche (Fortsetzung)

Name	Location	Unit	berlin wall, single-anchored, infill concrete, average	berlin wall dual-anchored, infill concrete, average	berlin wall anchored, infill concrete, average	berlin wall projecting, drilled, infill concrete, Kulturpark Pfinstweidstrasse Zürich	berlin wall projecting, drilled, infill concrete, MFH Wallersbachstrasse Zürich	berlin wall projecting, drilled, infill concrete, average	berlin wall strutted apart, infill concrete, average	UncertaintyType	StandardDeviation%	GeneralComment		
			CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH					
Location			CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH					
InfrastructureProcess			0	0	0	0	0	0	0					
Unit			m2	m2	m2	m2	m2	m2	m2					
berlin wall, single-anchored, infill concrete, average	CH	0	m2	1	0	0	0	0	0					
berlin wall dual-anchored, infill concrete, average	CH	0	m2	0	1	0	0	0	0					
berlin wall anchored, infill concrete, average	CH	0	m2	0	0	1	0	0	0					
berlin wall projecting, drilled, infill concrete, Kulturpark Pfinstweidstrasse Zürich	CH	0	m2	0	0	0	1	0	0					
berlin wall projecting, drilled, infill concrete, MFH Wallersbachstrasse Zürich	CH	0	m2	0	0	0	0	1	0					
berlin wall projecting, drilled, infill concrete, average	CH	0	m2	0	0	0	0	0	1					
berlin wall strutted apart, infill concrete, average	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0					
technosphere	rolled steel, at regional storage	CH	0	kg	1.05E+2	9.26E+1	9.67E+1	1.80E+2	1.20E+2	1.50E+2	1.18E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU.1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
technosphere	reinforcing steel, secondary production, (100% Rec.)	CH	0	kg	1.35E+1	1.50E+1	1.45E+1	6.00E+0	7.00E+0	6.50E+0	8.17E+0	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU.1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	concrete, concrete for underground construction, average cement Switzerland, at plant	CH	0	kg	6.48E+2	6.72E+2	6.64E+2	1.32E+3	9.12E+2	1.12E+3	6.64E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU.1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	concrete, concrete for drilled piles, average cement Switzerland, at plant	CH	0	kg	9.60E+1	1.08E+2	1.04E+2	0	0	0	0	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU.1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	solid wood, spruce / fir / larch Switzerland, air-dried, rough	CH	0	kg	0	0	0	1.89E+1	0	9.47E+0	0	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU.1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	diesel, burned in building machine	GLO	0	MJ	2.47E+2	2.91E+2	2.76E+2	3.41E+2	2.54E+2	2.97E+2	1.95E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU.1.05); company data; Mari AG, 2014, pers. communication Roger Hartmann
	transport, lorry>28t, fleet average	CH	0	9km	2.08E+1	2.10E+1	2.09E+1	3.57E+1	2.46E+1	3.01E+1	1.96E+1	1	2.03	(3.3.1.3.1.4.BU.2); 20 km for concrete, 50 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2
	transport, freight, rail	CH	0	9km	7.10E+1	6.46E+1	6.67E+1	1.12E+2	7.62E+1	9.39E+1	7.55E+1	1	2.03	(3.3.1.3.1.4.BU.2); 600 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2
emission resource, biotic	Energy, gross calorific value, in biomass, resource correction	-	-	MJ	0	0	0	-1.61E+2	0	-8.05E+1	0	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU.1.05); calculated; based on material use
emission resource, in ground	Gravel, resource correction	-	-	kg	-3.43E+2	-3.59E+2	-3.54E+2	-6.14E+2	-4.24E+2	-5.19E+2	-3.09E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU.1.05); calculated; based on material use
emission resource, in ground	Sand, resource correction	-	-	kg	-1.95E+2	-2.04E+2	-2.01E+2	-3.45E+2	-2.38E+2	-2.92E+2	-1.74E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU.1.05); calculated; based on material use

B.6.2.4 Bohrpfehlwände

Es werden Sachbilanzen für drei unterschiedliche Bohrpfehlwände erstellt (gespriesst, verankert, unverankert; siehe Tabelle 6). Aufgrund der unterschiedlichen Ausführung wurde auf die Bildung eines Mittelwerts verzichtet.

Tabelle 6: Übersicht und Beschrieb der bilanzierten Bohrpfehlwände; d = Durchmesser der Bohrung, L = Länge des Bohrpfehls, T = Tiefe der Baugrube, n.a. = keine Angabe

Bezeichnung	Gebäude	Beschrieb
überschnittene Bohrpfehlwand, gespriesst	Altersiedlung Seefeldstrasse, Zürich	überschnittene Bohrpfehlwand, gespriesst: d = 720 mm, L = 10 bis 21 m, T = 3.05 m, Überschneidung = 20 %, Zementgehalt = 351 kg/m ³ / Spriessung: diverse Profile / Verankerung: keine
überschnittene Bohrpfehlwand, verankert	Stadtpital Triemli	überschnittene Bohrpfehlwand, verankert: d = 750 mm, L = 9 bis 22.5 m, T = 7.73 bis 8.73m, Überschneidung = 20 %, Zementgehalt = 315 kg/m ³ / Spriessung: keine / Longarine: diverse Profile / Verankerung: vierfach
überschnittene Bohrpfehlwand, unverankert	Durchschnitt	basierend auf überschnittener Bohrpfehlwand, gespriesst

Die Bohrpfehle der gespriessten Bohrpfehlwand haben einen Durchmesser von 720 mm und eine Länge von 10 bis 21 m für eine Baugrube mit einer Tiefe von 3.05 m. Für die Spriessung werden diverse Profile verwendet.

Die Bohrpfähle für die verankerte Bohrpfahlwand haben einen Durchmesser von 750 mm und eine Länge zwischen 9 und 22.5 m für eine Baugrube mit einer Tiefe von 7.73 bis 8.73 m. Die Verankerung basiert auf den Angaben zur Verankerung der Rühlwand.

Der Material- und Treibstoffverbrauch der unverankerten Bohrpfahlwand entspricht der gespriessten Bohrpfahlwand ohne Einbezug des Materialverbrauchs für die Spriessung. In diesem Fall wird angenommen, dass die Bohrpfahlwand durch Geschosse des Gebäudes stabilisiert wird und keine Aufwendung für Verankerungen oder Spriessungen nötig sind. Die Bohrpfähle überschneiden sich zu 20 %.³

Der für die Bohrpfähle eingesetzte Beton wird entsorgt und rezykliert. Darum wird eine Ressourcenkorrektur in Höhe von 90 % des Kies- und Sandanteils im Beton vorgenommen.

Für die Bohrung wird mit einem Dieserverbrauch zwischen 6 und 7 Liter pro Meter gerechnet in Abhängigkeit des Durchmessers der Bohrung.⁵ In den vorliegenden Bilanzen wird mit einem Dieserverbrauch von 6.5 Litern pro Meter gerechnet.

Für die verankerte Bohrpfahlwand wird ein Beton mit einem tiefen Zementgehalt verwendet (315 kg/m³), entsprechend wird der Betonbedarf mit dem durchschnittlichen Schweizer Tiefbaubeton modelliert. Für die gespriesste Bohrpfahlwand wird der durchschnittliche Schweizer Bohrpfahlbeton mit einem höheren Zementgehalt verwendet.

Tabelle 7 zeigt die Sachbilanzdaten der beiden bilanzierten Bohrpfahlwände.

Tabelle 7: Sachbilanzdaten zur Herstellung der bilanzierten Bohrpfahlwände pro m² Ansichtsfläche

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	bored pile wall, overlapped, strutted apart, Alterssiedlung Seefeldstrasse Zürich	bored pile wall, overlapped, anchored, Stadtspital Triemli Zürich	bored pile wall, overlapped, non-anchored	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
				CH	CH	CH			
Location				CH	CH	CH			
InfrastructureProcess				0	0	0			
Unit				m2	m2	m2			
bored pile wall, overlapped, strutted apart, Alterssiedlung Seefeldstrasse Zürich	CH	0	m2	1	0	0			
bored pile wall, overlapped, anchored, Stadtspital Triemli Zürich	CH	0	m2	0	1	0			
bored pile wall, overlapped, non-anchored	CH	0	m2	0	0	1			
technosphere									
rolled steel, at regional storage	CH	0	kg	5.33E+1	2.13E+1	0	1	1.16	(3,3,1,3,1,4,BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
reinforcing steel, secondary production, (100% Rec.)	CH	0	kg	6.40E+1	1.13E+2	6.40E+1	1	1.16	(3,3,1,3,1,4,BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
concrete, concrete for underground construction, average cement Switzerland, at plant	CH	0	kg	0	3.12E+3	0	1	1.16	(3,3,1,3,1,4,BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
concrete, concrete for drilled piles, average cement Switzerland, at plant	CH	0	kg	4.92E+3	9.60E+1	4.92E+3	1	1.16	(3,3,1,3,1,4,BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
diesel, burned in building machine	GLO	0	MJ	1.81E+3	7.44E+2	1.81E+3	1	1.16	(3,3,1,3,1,4,BU:1.05); company data; Marti AG, 2014, pers. communication Roger Hartmann
transport, lorry >28t, fleet average	CH	0	tkm	1.04E+2	7.11E+1	1.02E+2	1	2.03	(3,3,1,3,1,4,BU:2); 20 km for concrete, 50 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2
transport, freight, rail	CH	0	tkm	7.04E+1	8.08E+1	3.84E+1	1	2.03	(3,3,1,3,1,4,BU:2); 600 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2
emission resource in ground									
Gravel, resource correction	-	-	kg	-2.12E+3	-1.49E+3	-2.12E+3	1	1.16	(3,3,1,3,1,4,BU:1.05); calculated; based on material use
Sand, resource correction	-	-	kg	-1.30E+3	-8.41E+2	-1.30E+3	1	1.16	(3,3,1,3,1,4,BU:1.05); calculated; based on material use

B.6.2.5 Schlitzwände

Es werden drei verschiedene Schlitzwände von unterschiedlicher Dicke und unterschiedlichen Bauunternehmen bilanziert. Tabelle 8 zeigt eine Übersicht der bilanzierten Schlitzwände inklusive einer Beschreibung der Bauweise.

Tabelle 8: Übersicht und Beschrieb der bilanzierten Schlitzwände; L = Länge der Schlitzwand, T = Tiefe der Baugrube

Bezeichnung	Bauunternehmung	Beschrieb
Schlitzwand, 400mm	Implenia	Schlitzwand: Dicke = 400 mm, Zementgehalt = 380 kg/m ³ , Armierungsgehalt = 100 kg/m ³ , L = 12.5 m, T = 5 m
Schlitzwand, 800mm	Implenia	Schlitzwand: Dicke = 800 mm, Zementgehalt = 380 kg/m ³ , Armierungsgehalt = 100 kg/m ³ , L = 12.5 m, T = 5 m
Schlitzwand, 800mm	Bauer Schweiz	Schlitzwand: Dicke = 800 mm, Zementgehalt = 375 kg/m ³ , Armierungsgehalt = 100 kg/m ³ , L = 12.5 m, T = 5 m
Schlitzwand, 800mm	Durchschnitt	Durchschnitt Schlitzwand Dicke = 800mm

Der Armierungsgehalt und der Zementgehalt des verwendeten Betons sind unabhängig von der Dicke für alle Schlitzwände identisch, ebenso wie das Verhältnis der Tiefe der Schlitzwand zur Tiefe der Baugrube.

Der Materialverbrauch unterscheidet sich lediglich durch die unterschiedliche Dicke der jeweiligen Schlitzwände.

Tabelle 9 zeigt die Sachbilanzdaten der bilanzierten Schlitzwände mit einer Dicke von 40 cm und 80 cm.⁶ Für Schlitzwände wird Beton mit einem hohen Zementgehalt von zwischen 375 und 380 kg pro m³ verwendet. Entsprechend wird der Betonverbrauch mit dem durchschnittlichen Schweizer Datensatz für Bohrpfahlbeton modelliert. Dieser entspricht einem Beton für hohe Anforderungen mit einem hohen Zementgehalt.

Der für Schlitzwände eingesetzte Beton wird entsorgt, wobei das Kies und der Sand wieder verwendet werden können. Es wird somit eine Ressourcenkorrektur für 90 % des Kies- und Sandanteils im Beton angewendet.

Der Dieserverbrauch für den Bau der Schlitzwand beträgt zwischen 7.5 und 20 Liter Diesel pro m² Ansichtsfläche.

⁶ Basierend auf Angaben von Implenia Bau AG, persönliche Mitteilung, Duncan Moore, Email, 25.06.2014 und Bauer Spezialtiefbau Schweiz AG, persönliche Mitteilung, Robert Zollna, Email, 04.07.2014

Tabelle 9: Sachbilanzdaten zur Herstellung der bilanzierten Schlitzwände pro m2 Ansichtsfäche

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	diaphragm wall, 400mm, Implenla	diaphragm wall, 800mm, Implenla	diaphragm wall, 800mm, Bauer Spezialtiefbau Schweiz	diaphragm wall, 800mm, average	UncertaintyType	StandardDeviation95 %	GeneralComment
					CH	CH	CH	CH			
					0	0	0	0			
					m2	m2	m2	m2			
	diaphragm wall, 400mm, Implenla	CH	0	m2	1	0	0	0			
	diaphragm wall, 800mm, Implenla	CH	0	m2	0	1	0	0			
	diaphragm wall, 800mm, Bauer Spezialtiefbau Schweiz	CH	0	m2	0	0	1	0			
	diaphragm wall, 800mm, average	CH	0	m2	0	0	0	1			
technosphere	bentonite, at processing	DE	0	kg	6.25E+1	6.25E+1	6.25E+1	6.25E+1	1	1.16	(3.3.1.3,1.4, BU:1.05); company data; Implenla 2014, pers. Communication Duncan Moore
technosphere	reinforcing steel, secondary production, (100% Rec.)	CH	0	kg	1.00E+2	2.00E+2	2.00E+2	2.00E+2	1	1.16	(3.3.1.3,1.4, BU:1.05); company data; Implenla 2014, pers. Communication Duncan Moore, Bauer Spezialtiefbau 2014, pers. Com. Robert Zollina
	concrete, concrete for drilled piles, average cement Switzerland, at plant	CH	0	kg	2.40E+3	4.80E+3	4.80E+3	4.80E+3	1	1.16	(3.3.1.3,1.4, BU:1.05); company data; Implenla 2014, pers. Communication Duncan Moore, Bauer Spezialtiefbau 2014, pers. Com. Robert Zollina
	diesel, burned in building machine	GLO	0	MJ	2.70E+2	2.70E+2	7.35E+2	5.03E+2	1	1.16	(3.3.1.3,1.4, BU:1.05); company data; Implenla 2014, pers. Communication Duncan Moore, Bauer Spezialtiefbau 2014, pers. Com. Robert Zollina
	transport, lorry>28t, fleet average	CH	0	tkm	5.93E+1	1.12E+2	1.12E+2	1.12E+2	1	2.03	(3.3.1.3,1.4, BU:2); 20 km for concrete, 50 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2
	transport, freight, rail	CH	0	tkm	9.75E+1	1.58E+2	1.58E+2	1.58E+2	1	2.03	(3.3.1.3,1.4, BU:2); 600 km for steel, 600km for bentonite; standard distances ecoinvent v2.2
emission resource, in ground	Gravel, resource correction	-	-	kg	-1.04E+3	-2.07E+3	-2.07E+3	-2.07E+3	1	1.16	(3.3.1.3,1.4, BU:1.05); calculated; based on material use
emission resource, in ground	Sand, resource correction	-	-	kg	-6.35E+2	-1.27E+3	-1.27E+3	-1.27E+3	1	1.16	(3.3.1.3,1.4, BU:1.05); calculated; based on material use

B.6.2.6 Nagelwände

Es werden vier verschiedene Nagelwände und eine durchschnittliche Nagelwand bilanziert. Tabelle 10 zeigt eine Übersicht und eine kurzen Beschrieb der bilanzierten Nagelwände.

Tabelle 10: Übersicht und Beschrieb der bilanzierten Nagelwände; L = Länge der Nägel, MFH = Mehrfamilienhaus

Bezeichnung	Gebäude	Beschrieb
Nagelwand	MFH Tiechestrasse, Zürich	Nagelwand: Spritzbeton, Dicke = 15 cm, bewehrt / Nägel: Gewi d 32, Bohrung = 114 mm, Raster = 1.5 m x 1.5 m, L = 7.9 m
Nagelwand	Notfall Waidspital, Zürich	Nagelwand: Spritzbeton Dicke =20 cm, bewehrt / Nägel: Gewi d 25 mm, Bohrung = 114 mm, Raster = 1.5 m x 1.5 m, L = 7 m
Nagelwand	Bushof Jona	Nagelwand: Spritzbeton Dicke = 20 cm, bewehrt / Nägel: Gewi d 25 Raster 1.5 m x 1.5 m, L = 8 m
Nagelwand	Schulhaus Sandgruben, Basel	Nagelwand: Spritzbeton Dicke = 15 cm, bewehrt / Nägel: Gewi d 25, Raster = 1.5m x 1.5 m, L = 6 bis 8 m
Nagelwand	Durchschnitt	Durchschnitt Nagelwand

Die Spritzbetonschicht der Nagelwände ist zwischen 15 und 20 cm dick und bewehrt. Es werden Nägel des Typs Gewi mit einem Durchmesser zwischen 25 und 32 mm mit einer Länge zwischen 6 und 8 m eingesetzt, welche in einem Raster von 1.5 m x 1.5 m angeordnet sind.

Tabelle 11 zeigt die Sachbilanzdaten der vier bilanzierten Nagelwände und deren Durchschnitt. Für Nagelwände wird Beton mit einem hohen Zementgehalt von mehr als 400 kg pro m³ verwendet. Entsprechend wird der Betonverbrauch mit dem durchschnittlichen Schweizer Datensatz für Bohrpfehlbeton modelliert. Dieser entspricht einem Beton für hohe Anforderungen mit einem hohen Zementgehalt.

Der für Nagelwände eingesetzte Beton wird entsorgt, wobei das Kies und der Sand wieder verwendet werden können. Es wird somit eine Ressourcenkorrektur für 90 % des Kies- und Sandanteils im Beton angewendet.

Der Dieselverbrauch für das Einbringen der Nägel wird mit dem Dieselverbrauch für das Einbringen von Ankern angenähert (siehe Abschnitt B.6.2.3) und beträgt 1.3 Liter pro Meter.

Der Treibstoffverbrauch für das Auslegen der Armierung und das Auftragen des Betons wird vernachlässigt.

Tabelle 11: Sachbilanzdaten zur Herstellung der bilanzierten Nagelwände pro m² Ansichtsfläche

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	soil nailing, sprayed concrete, reinforced, MFH Tiechstrasse Zürich	soil nailing, sprayed concrete, reinforced, Nottall Waidspital Zürich	soil nailing, sprayed concrete, reinforced, Bushof Jona	soil nailing, sprayed concrete, reinforced, Schulhaus Sandgruben Basel	soil nailing, sprayed concrete, reinforced, average	Uncertainty Type	StandardDeviation95%	GeneralComment	
				CH	CH	CH	CH	CH				
Location				CH	CH	CH	CH	CH				
InfrastructureProcess				0	0	0	0	0				
Unit				m2	m2	m2	m2	m2				
soil nailing, sprayed concrete, reinforced, MFH Tiechstrasse Zürich	CH	0	m2	1	0	0	0	0				
soil nailing, sprayed concrete, reinforced, Nottall Waidspital Zürich	CH	0	m2	0	1	0	0	0				
soil nailing, sprayed concrete, reinforced, Bushof Jona	CH	0	m2	0	0	1	0	0				
soil nailing, sprayed concrete, reinforced, Schulhaus Sandgruben Basel	CH	0	m2	0	0	0	1	0				
soil nailing, sprayed concrete, reinforced, average	CH	0	m2	0	0	0	0	1				
technosphere	rolled steel, at regional storage	CH	0	kg	1.50E+0	1.50E+0	1.50E+0	1.50E+0	1.50E+0	1	1.16	(3.3.1,3.1,4,BU-1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	reinforcing steel, secondary production, (100% Rec.)	CH	0	kg	2.80E+1	2.50E+1	2.50E+1	2.20E+1	2.50E+1	1	1.16	(3.3.1,3.1,4,BU-1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	concrete, concrete for drilled piles, average cement Switzerland, at plant	CH	0	kg	6.72E+2	6.72E+2	7.92E+2	7.20E+2	7.14E+2	1	1.16	(3.3.1,3.1,4,BU-1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	diesel, burned in building machine	GLO	0	MJ	1.49E+2	1.49E+2	1.70E+2	1.49E+2	1.54E+2	1	1.16	(3.3.1,3.1,4,BU-1.05); company data; Marti AG, 2014, pers. communication Roger Hartmann
	transport, lorry>28t, fleet average	CH	0	tkm	1.49E+1	1.48E+1	1.72E+1	1.56E+1	1.56E+1	1	2.03	(3.3.1,3.1,4,BU-2); 20 km for concrete, 50 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2
	transport, freight, rail	CH	0	tkm	1.77E+1	1.59E+1	1.59E+1	1.41E+1	1.59E+1	1	2.03	(3.3.1,3.1,4,BU-2); 600 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2
emission resource, in ground	Gravel, resource correction	-	-	kg	-2.90E+2	-2.90E+2	-3.42E+2	-3.11E+2	-3.08E+2	1	1.16	(3.3.1,3.1,4,BU-1.05); calculated; based on material use
	Sand, resource correction	-	-	kg	-1.78E+2	-1.78E+2	-2.09E+2	-1.90E+2	-1.89E+2	1	1.16	(3.3.1,3.1,4,BU-1.05); calculated; based on material use

B.6.3 Tiefgründungen

B.6.3.1 Übersicht

Die Sachbilanzdaten zum Rüttelstopfverfahren, zu vorfabrizierten Betonpfählen, Mikrobohrpfählen, Ortbetonbohrpfählen und Ortbetonverdrängungspfählen sind in den Abschnitten B.6.3.2 bis B.6.3.6 beschrieben.

Der Materialverbrauch für die verschiedenen Tiefgründungen basiert in allen Fällen ausser dem Rüttelstopfverfahren und den vorfabrizierten Betonpfählen auf Angaben von APT Ingenieure.²

Die Transportleistungen für die unterschiedlichen Materialien werden entsprechend den Standarddistanzen nach Frischknecht et al. (2007a) berechnet.

Die durchschnittlichen Datensätze werden aus dem gemittelten Material- und Treibstoffverbrauch der unterschiedlichen Tiefgründungen berechnet.

Es wird angenommen, dass der Beton bei allen Tiefgründungen im Boden belassen wird. Damit fallen keine Entsorgungsaufwendungen an und es wird keine Ressourcenkorrektur vorgenommen.

B.6.3.2 Rüttelstopfverfahren

Es werden zwei Rüttelstopfsäulen von zwei verschiedenen Bauunternehmen, sowie deren Durchschnitt bilanziert. Tabelle 12 zeigt eine Übersicht und einen kurzen Beschrieb der bilanzierten Rüttelstopfsäulen.

Tabelle 12: Übersicht und Beschrieb der bilanzierten Rüttelstopfsäulen; AVG: Durchschnitt

Bezeichnung	Bauunternehmung	Durchmesser in mm	Tiefe in m	Kies
Rüttelstopfverfahren	Keller-MTS	500-600	6	16/32
Rüttelstopfverfahren	Implenia	700	8	16/32
Rüttelstopfverfahren	Durchschnitt	AVG	AVG	AVG

Die Rüttelstopfsäulen aus Rundkies mit Korngrößen zwischen 16 und 32 mm haben einen Durchmesser von 500 bis 700 mm und eine Tiefe von 6 bis 8 m. Der Dieselverbrauch beträgt zwischen 0.45 und 1.40 Liter pro Meter.

Die in Tabelle 13 gezeigten Sachbilanzdaten basieren auf Angaben von Keller-MTS AG⁷ und Implenia Bau AG⁶.

Tabelle 13: Sachbilanzdaten zur Herstellung für das Rüttelstopfverfahren pro m Rüttelstopfsäule

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	stone columns, 500-600mm, Keller-MTS	stone columns, 500-600mm, Implenia	stone columns, average	UncertaintyType	StandardDeviationS	GeneralComment
Location				CH	CH	CH			
InfrastructureProcess				0	0	0			
Unit				m	m	m			
stone columns, 500-600mm, Keller-MTS	CH	0	m	1	0	0			
stone columns, 500-600mm, Implenia	CH	0	m	0	1	0			
stone columns, average	CH	0	m	0	0	1			
gravel, round, at mine	CH	0	kg	6.00E+2	7.00E+2	6.50E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); company data; Keller-MTS 2014, pers. communication Christian Senn, Implenia 2014, pers. communication Duncan Moore
diesel, burned in building machine	GLO	0	MJ	1.62E+1	5.03E+1	3.33E+1	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU:1.05); company data; Keller-MTS 2014, pers. communication Christian Senn, Implenia 2014, pers. communication Duncan Moore
transport, lorry >28t, fleet average	CH	0	tkm	1.20E+1	1.40E+1	1.30E+1	1	2.03	(3.3.1.3.1.4.BU:2); 20 km for gravel; standard distances ecoinvent v2.2
transport, freight, rail	CH	0	tkm	0	0	0	1	2.03	(3.3.1.3.1.4.BU:2); 600 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2

⁷ Persönliche Mitteilung, Christian Senn, Keller-MTS AG, Email, 18.06.2014

B.6.3.3 Vorfabrizierte Betonpfähle

Es werden drei Arten von vorfabrizierten Betonpfählen mit unterschiedlichen Querschnitten sowie ein durchschnittlicher vorfabrizierter Betonpfahl bilanziert. Tabelle 14 zeigt eine Übersicht und eine kurze Beschreibung der unterschiedlichen vorfabrizierten Betonpfähle.

Tabelle 14: Übersicht und Beschrieb der bilanzierten Rüttelstopfsäulen; AVG: Durchschnitt

Bezeichnung	Bauunternehmung	Abmessung in mm	Länge in m	Zementgehalt in kg/m ³	Armierungsgehalt in kg/m ³
vorgefertigter Betonrammpfahl	JMS-Risi	240 x 240	8 bis 13	360	2.8
vorgefertigter Betonrammpfahl	JMS-Risi	300 x 300	8 bis 13	360	3.1
vorgefertigter Betonrammpfahl	JMS-Risi	550 (Durchmesser)	8 bis 16	400	9.2
vorgefertigter Betonrammpfahl	Durchschnitt	AVG	AVG	AVG	AVG

Die bilanzierten vorfabrizierten Betonpfähle haben unterschiedliche Querschnitte und Längen zwischen 8 und 16 m. Der Zementgehalt des verwendeten Betons ist für alle vorfabrizierten Betonpfähle vergleichbar und liegt zwischen 360 und 400 kg pro m³. Der Dieselverbrauch für das Einbringen beträgt zwischen 0.47 und 0.65 Liter pro Meter.⁸

Für vorfabrizierte Betonpfähle wird Beton mit einem hohen Zementgehalt von mehr als 360 kg pro m³ verwendet. Entsprechend wird der Betonverbrauch mit dem durchschnittlichen Schweizer Datensatz für Bohrpfahlbeton modelliert. Dieser entspricht einem Beton für hohe Anforderungen mit einem hohen Zementgehalt.

Die in Tabelle 15 gezeigten Sachbilanzdaten basieren auf Angaben von JMS-Risi⁸.

⁸ Persönliche Mitteilung, Freddy Hartmann, JMS-Risi, Email 16.07.2014

Tabelle 15: Sachbilanzdaten zur Herstellung für vorfabrizierte Betonpfähle pro m Pfahl

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	prefabricated driven pile, concrete, rectangular cross-section 240 x 240 mm	prefabricated driven pile, concrete, rectangular cross-section 300 x 300 mm	prefabricated driven pile, concrete, round cross-section 550mm	prefabricated driven pile, concrete, average	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
Location				CH	CH	CH	CH			
InfrastructureProcess				0	0	0	0			
Unit				m	m	m	m			
prefabricated driven pile, concrete, rectangular cross-section 240 x 240 mm	CH		0 m	1	0	0	0			
prefabricated driven pile, concrete, rectangular cross-section 300 x 300 mm	CH		0 m	0	1	0	0			
prefabricated driven pile, concrete, round cross-section 550mm	CH		0 m	0	0	1	0			
prefabricated driven pile, concrete, average reinforcing steel, secondary production, (100% Rec.)	CH		0 m	0	0	0	1			
concrete, concrete for drilled piles, average cement Switzerland, at plant	CH		0 kg	2.84E+0	3.06E+0	9.20E+0	5.03E+0	1	1.16	(3,3,1,3,1,4,BU:1.05); company data; JMS-Risi, pers. Com. Freddy Hartmann, 16.07.2014
diesel, burned in building machine	GLO		0 MJ	1.69E+1	2.05E+1	2.34E+1	2.03E+1	1	1.16	(3,3,1,3,1,4,BU:1.05); company data; JMS-Risi, pers. Com. Freddy Hartmann, 16.07.2014
transport, lorry>28t, fleet average	CH		0 tkm	2.91E+0	4.34E+0	6.65E+0	4.63E+0	1	2.03	(3,3,1,3,1,4,BU:2); 20 km for concrete; 50 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2
transport, freight, rail	CH		0 tkm	1.71E+0	1.83E+0	5.52E+0	3.02E+0	1	2.03	(3,3,1,3,1,4,BU:2); 600 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2

B.6.3.4 Mikrobohrpfähle

Es werden drei verschiedene Mikrobohrpfähle sowie ein durchschnittlicher Mikrobohrpfahl bilanziert. Tabelle 16 zeigt eine Übersicht und einen kurzen Beschrieb der bilanzierten Mikrobohrpfähle.

Tabelle 16: Übersicht und Beschrieb der bilanzierten Mikrobohrpfähle; AVG: Durchschnitt

Bezeichnung	Gebäude	Durchmesser in mm	Länge in m	Zementgehalt in kg/m ³
Mikrobohrpfähle	MFH Waltersbach, Zürich	178	8 bis 12	400
Mikrobohrpfähle	Schule Waldmannstrasse, Zürich	178	12	400
Mikrobohrpfähle	MFH Wildbachstrasse, Zürich	113	6 bis 8	400
Mikrobohrpfähle	Durchschnitt	AVG	AVG	AVG

Die Mikrobohrpfähle haben einen Durchmesser von 113 beziehungsweise 178 mm, eine Länge zwischen 6 und 12 m und verwenden einen Beton mit einem hohen Zementgehalt von 400 kg/m³. Entsprechend wird der Betonbedarf mit dem durchschnittlichen Schweizer Datensatz für Bohrfahlbeton modelliert, welcher einem Beton mit hohem Zementgehalt entspricht.

Der Dieselverbrauch für das Einbringen pro m Mikrobohrpfahl wird mit dem Dieselverbrauch pro m Anker für Rühlwände angenähert (siehe Abschnitt B.6.2.3). Tabelle 17 zeigt die Sachbilanzdaten der bilanzierten Mikrobohrpfähle pro m Pfahl.

Tabelle 17: Sachbilanzdaten zur Herstellung der bilanzierten Mikrobohrpfähle pro m Pfahl

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	pushed pile, 178mm, piped, MFH Waltersbach Zürich	pushed pile, 178mm, piped, Schule Waldmannstrasse Zürich	pushed pile, 113mm MFH Wildbachstrasse Zürich	pushed pile, average	UncertaintyType	StandardDeviation5%	GeneralComment
					CH	CH	CH	CH			
	Location				CH	CH	CH	CH			
	InfrastructureProcess				0	0	0	0			
	Unit				m	m	m	m			
	pushed pile, 178mm, piped, MFH Waltersbach Zürich	CH	0	m	1	0	0	0			
	pushed pile, 178mm, piped, Schule Waldmannstrasse Zürich	CH	0	m	0	1	0	0			
	pushed pile, 113mm MFH Wildbachstrasse Zürich	CH	0	m	0	0	1	0			
	pushed pile, average	CH	0	m	0	0	0	1			
technosphere	rolled steel, at regional storage	CH	0	kg	2.00E+1	3.20E+1	0	1.73E+1	1	1.16	(3,3,1,3,1,4, BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	reinforcing steel, secondary production, (100% Rec.)	CH	0	kg	0	0	1.60E+1	5.33E+0	1	1.16	(3,3,1,3,1,4, BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	concrete, concrete for drilled piles, average cement Switzerland, at plant	CH	0	kg	9.60E+1	9.60E+1	7.20E+1	8.80E+1	1	1.16	(3,3,1,3,1,4, BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	diesel, burned in building machine	GLO	0	MJ	4.79E+1	4.79E+1	4.79E+1	4.79E+1	1	1.16	(3,3,1,3,1,4, BU:1.05); company data; Marti AG, 2014, pers. communication Roger Hartmann
	transport, lorry >28t, fleet average	CH	0	tkm	2.92E+0	3.52E+0	2.24E+0	2.89E+0	1	2.03	(3,3,1,3,1,4, BU:2); 20 km for concrete, 50 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2
	transport, freight, rail	CH	0	tkm	1.20E+1	1.92E+1	9.60E+0	1.36E+1	1	2.03	(3,3,1,3,1,4, BU:2); 600 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2

B.6.3.5 Ort betonbohrpfähle

Es werden sechs unterschiedliche Ort betonbohrpfähle mit unterschiedlichen Durchmesser bilanziert. Tabelle 18 zeigt eine Übersicht und einen kurzen Beschrieb mit den wichtigsten Kennzahlen der bilanzierten Ort betonbohrpfähle.

Tabelle 18: Übersicht und Beschrieb der bilanzierten Ortbetonbohrpfähle; AVG: Durchschnitt

Bezeichnung	Gebäude	Durchmesser in mm	Länge in m	Zementgehalt in kg/m ³	Armierungsgehalt in kg/m ³
Ortbetonbohrpfähle, 700 mm	Alterssiedlung Seefeldstrasse, Zürich	720	10	320	58
Ortbetonbohrpfähle, 900 mm	Alterssiedlung Seefeldstrasse, Zürich	900	10	333	60
Ortbetonbohrpfähle, 700 mm	Integra L2, Wallisellen	700	29	300	42
Ortbetonbohrpfähle, 900 mm	Integra L2, Wallisellen	880	29	355	27
Ortbetonbohrpfähle, 900 mm	Integra L2, Wallisellen	900	29	346	97
Ortbetonbohrpfähle, 1200 mm	Integra L2, Wallisellen	1200	29	350	50
Ortbetonbohrpfähle, 700 mm	Durchschnitt	AVG	AVG	AVG	56 ¹⁾
Ortbetonbohrpfähle, 900 mm	Durchschnitt	AVG	AVG	AVG	56 ¹⁾
Ortbetonbohrpfähle, 1200 mm	Durchschnitt	AVG	AVG	AVG	56 ¹⁾

¹⁾ Entspricht dem durchschnittlichen Armierungsgehalt der Ortbetonpfähle aller Durchmesser

Die Ortbetonbohrpfähle haben einen Durchmesser zwischen 700 und 1200 mm, eine Längen zwischen 10 und 29 m, einen Zementgehalt zwischen 300 und 355 kg/m³ Beton und einen Armierungsgehalt zwischen knapp 30 und knapp 100 kg/m³. Je nach Zementgehalt des Betons wird ein anderer Datensatz für die Modellierung verwendet. Die Ortbetonbohrpfähle mit einem durchschnittlichen Zementgehalt von ca. 300 kg/m³ und diese mit einem überdurchschnittlichen Zementgehalt von mehr als 340 kg/m³ werden mit den durchschnittlichen Schweizer Datensätzen für Tiefbaubeton und Bohrfahlbeton modelliert.

Der Treibstoffverbrauch für das Bohren wird entsprechend der Angaben für die Bohrung von Rühl- und Bohrfahlwänden abgeschätzt (siehe Abschnitte B.6.2.3 und B.6.2.4).

Tabelle 19 zeigt die Sachbilanzdaten der bilanzierten Ortbetonbohrpfähle pro Pfahl.

Tabelle 19: Sachbilanzdaten zur Herstellung der bilanzierten Ortbetonbohrpfähle pro m Pfahl

product	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	bored concrete pile, 720mm, piped, Alterssiedlung Seefeldstrasse Zürich	bored concrete pile, 900mm, piped, Alterssiedlung Seefeldstrasse Zürich	concrete pile, 700mm, piped, Integra L2 Wallisellen	concrete pile, 880mm, piped, Integra L2 Wallisellen	UncertaintyType	StandardDeviation	GeneralComment
	Location				CH	CH	CH	CH		5%	
	InfrastructureProcess				0	0	0	0			
Unit				m	m	m	m				
	bored concrete pile, 720mm, piped, Alterssiedlung Seefeldstrasse Zürich	CH		m	1	0	0	0			
	bored concrete pile, 900mm, piped, Alterssiedlung Seefeldstrasse Zürich	CH		m	0	1	0	0			
	concrete pile, 700mm, piped, Integra L2 Wallisellen	CH		m	0	0	1	0			
	concrete pile, 880mm, piped, Integra L2 Wallisellen	CH		m	0	0	0	1			
	reinforcing steel, secondary production, (100% Rec.)	CH		kg	2.90E+1	4.50E+1	2.10E+1	2.10E+1	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU-1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	concrete, concrete for underground construction, average cement Switzerland, at plant	CH		kg	1.20E+3	1.80E+3	1.20E+3	0	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU-1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	concrete, concrete for drilled piles, average cement Switzerland, at plant	CH		kg	0	0	0	1.82E+3	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU-1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	diesel, burned in building machine	GLO		MJ	2.43E+2	2.13E+2	2.43E+2	2.13E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU-1.05); company data; Marti AG, 2014, pers. communication Roger Hartmann
	transport, lorry >28t, fleet average	CH		tkm	2.55E+1	3.83E+1	2.51E+1	3.75E+1	1	2.03	(3.3.1.3.1.4.BU-2); 20 km for concrete, 50 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2
	transport, freight, rail	CH		tkm	1.74E+1	2.70E+1	1.26E+1	1.26E+1	1	2.03	(3.3.1.3.1.4.BU-2); 600 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2

Tabelle 19: Sachbilanzdaten zur Herstellung der bilanzierten Ortbetonbohrpfähle pro m Pfahl (Fortsetzung)

product	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	concrete pile, 900mm, piped, Integra L2 Wallisellen	concrete pile, 1200mm, piped, Integra L2 Wallisellen	concrete pile, 700mm, piped, average	concrete pile, 900mm, piped, average	concrete pile, 1200mm, piped, average	UncertaintyType	StandardDeviation	GeneralComment
	Location				CH	CH	CH	CH	CH		5%	
	InfrastructureProcess				0	0	0	0	0			
Unit				m	m	m	m	m				
	concrete pile, 900mm, piped, Integra L2 Wallisellen	CH		m	1	0	0	0	0			
	concrete pile, 1200mm, piped, Integra L2 Wallisellen	CH		m	0	1	0	0	0			
	concrete pile, 700mm, piped, average	CH		m	0	0	1	0	0			
	concrete pile, 900mm, piped, average	CH		m	0	0	0	1	0			
	concrete pile, 1200mm, piped, average	CH		m	0	0	0	0	1			
	reinforcing steel, secondary production, (100% Rec.)	CH		kg	7.60E+1	6.00E+1	2.79E+1	4.26E+1	6.70E+1	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU-1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	concrete, concrete for underground construction, average cement Switzerland, at plant	CH		kg	0	0	1.20E+3	6.00E+2	0	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU-1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	concrete, concrete for drilled piles, average cement Switzerland, at plant	CH		kg	1.87E+3	2.88E+3	0	1.23E+3	2.88E+3	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU-1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
	diesel, burned in building machine	GLO		MJ	2.13E+2	2.13E+2	2.43E+2	2.13E+2	2.13E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4.BU-1.05); company data; Marti AG, 2014, pers. communication Roger Hartmann
	transport, lorry >28t, fleet average	CH		tkm	4.12E+1	6.06E+1	2.54E+1	3.88E+1	6.10E+1	1	2.03	(3.3.1.3.1.4.BU-2); 20 km for concrete, 50 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2
	transport, freight, rail	CH		tkm	4.56E+1	3.60E+1	1.68E+1	2.56E+1	4.02E+1	1	2.03	(3.3.1.3.1.4.BU-2); 600 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2

B.6.3.6 Ortbetonverdrängungspfähle

Es werden vier unterschiedliche Ortbetonverdrängungspfähle bilanziert mit zwei verschiedenen Durchmessern und unterschiedlichen Armierungsgehalten. Tabelle 20 zeigt eine Übersicht der bilanzierten Ortbetonverdrängungspfähle mit den wichtigsten Kennzahlen.

Tabelle 20: Übersicht und Beschrieb der bilanzierten Ortbetonverdrängungspfähle; AVG: Durchschnitt

Bezeichnung	Gebäude	Durchmesser in mm	Länge / Tiefe in m	Zementgehalt in kg/m ³	Armierungsgehalt in kg/m ³
Ortbetonverdrängungspfähle, 660 / 580	Integra Wohnen, Wallisellen	660/580	23	350	155
Ortbetonverdrängungspfähle, 660 / 580	Integra Wohnen, Wallisellen	660/580	23	350	95
Ortbetonverdrängungspfähle, 660 / 580	Durchschnitt	AVG	AVG	AVG	AVG
Ortbetonverdrängungspfähle, 560 / 480 mm	Integra Wohnen, Wallisellen	560/480	23	357	179
Ortbetonverdrängungspfähle, 560 / 480 mm	Integra Wohnen, Wallisellen	560/480	23	357	100
Ortbetonverdrängungspfähle, 560 / 480 mm	Durchschnitt	AVG	AVG	AVG	AVG

Für Ortbetonverdrängungspfähle wird Beton mit einem hohen Zementgehalt von mehr als 350 kg pro m³ verwendet. Entsprechend wird der Betonverbrauch mit dem durchschnittlichen Schweizer Datensatz für Bohrpfahlbeton modelliert. Dieser entspricht einem Beton für hohe Anforderungen mit einem hohen Zementgehalt.

Die bilanzierten Ortbetonverdrängungspfähle sind 23 m lang.

Der Armierungsgehalt der Ortbetonverdrängungspfähle variiert zwischen 95 und 179 kg/m³.

Der Treibstoffverbrauch wird entsprechend der Angaben für die Bohrung von Rühl- und Bohrpfahlwand abgeschätzt (siehe Abschnitte B.6.2.3 und B.6.2.4) und beträgt somit 6.8 Liter pro m Verdrängungspfahl.

Tabelle 21 zeigt die Sachbilanzdaten der bilanzierten Ortbetonverdrängungspfähle pro m Pfahl.

Tabelle 21: Sachbilanzdaten zur Herstellung der bilanzierten Ortbetonverdrängungspfähle pro Pfahl

Name	Location	Unit	displacement pile, concrete 620mm, Integra Wohnen Wallisellen	displacement pile, concrete 520mm, Integra Wohnen Wallisellen	displacement pile, concrete 620mm, high reinforced, Integra Wohnen Wallisellen	displacement pile, concrete 620mm, low reinforced, Integra Wohnen Wallisellen	displacement pile, concrete 520mm, high reinforced, Integra Wohnen Wallisellen	displacement pile, concrete 520mm, low reinforced, Integra Wohnen Wallisellen	Uncertainty Type	Standard Deviation 35%	General Comment
			CH	CH	CH	CH	CH	CH			
Location			CH	CH	CH	CH	CH	CH			
InfrastructureProcess			0	0	0	0	0	0			
Unit			m	m	m	m	m	m			
displacement pile, concrete 620mm, Integra Wohnen Wallisellen	CH	0 m	1	0	0	0	0	0			
displacement pile, concrete 520mm, Integra Wohnen Wallisellen	CH	0 m	0	1	0	0	0	0			
displacement pile, concrete 620mm, high reinforced, Integra Wohnen Wallisellen	CH	0 m	0	0	1	0	0	0			
displacement pile, concrete 620mm, low reinforced, Integra Wohnen Wallisellen	CH	0 m	0	0	0	1	0	0			
displacement pile, concrete 520mm, high reinforced, Integra Wohnen Wallisellen	CH	0 m	0	0	0	0	1	0			
displacement pile, concrete 520mm, low reinforced, Integra Wohnen Wallisellen	CH	0 m	0	0	0	0	0	1			
reinforcing steel, secondary production, (100% Rec.)	CH	0 kg	2.50E+1	1.95E+1	3.10E+1	1.90E+1	2.50E+1	1.40E+1	1	1.16	(3.3,1.3,1.4,BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
concrete, concrete for drilled piles, average cement Switzerland, at plant	CH	0 kg	4.80E+2	3.36E+2	4.80E+2	4.80E+2	3.36E+2	3.36E+2	1	1.16	(3.3,1.3,1.4,BU:1.05); company data; APT Ingenieure 2014, pers. communication Andreas Lutz
diesel, burned in building machine	GLO	0 MJ	2.43E+2	2.43E+2	2.43E+2	2.43E+2	2.43E+2	2.43E+2	1	1.16	(3.3,1.3,1.4,BU:1.05); company data; Marti AG, 2014, pers. communication Roger Härtmann
transport, lorry >28t, fleet average	CH	0 km	1.08E+1	7.70E+0	1.12E+1	1.06E+1	7.97E+0	7.42E+0	1	2.03	(3.3,1.3,1.4,BU:2); 20 km for concrete, 50 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2
transport, freight, rail	CH	0 km	1.50E+1	1.17E+1	1.86E+1	1.14E+1	1.50E+1	8.40E+0	1	2.03	(3.3,1.3,1.4,BU:2); 600 km for steel; standard distances ecoinvent v2.2

B.6.4 Wasserhaltung

Die Sachbilanzen zu Wasserhaltungen basieren auf Pumpenkennlinien von Pumpen mit unterschiedlichen Pumpleistungen von verschiedenen Herstellern. Es wurden Pumpenkennblätter von Carl Heusser AG (2014), Brunner AG (2014), SPT Pumpen (2014) und Tsurumi Pump (2014) ausgewertet.

Die Sachbilanzdaten der Wasserhaltung werden in vier Kategorien in Abhängigkeit der Pumphöhe eingeteilt. Es werden Sachbilanzen für Pumphöhen von 2.5, 5, 7.5 und 10 m erstellt. Die Sachbilanzdaten sind ein Durchschnitt von 13 (Kategorie 2.5 m), 21 (Kategorien 5 und 7.5 m) und 18 (Kategorie 10 m) verschiedenen Pumpen von unterschiedlichen Herstellern. Die Pumpen haben einen Leistungsbedarf zwischen 480 und 10'000 Watt, bei Pumpraten zwischen 3.8 und 50 l/s (abhängig von der Pumphöhe und der Pumpe).

Tabelle 22 zeigt eine Übersicht der bilanzierten Wasserhaltung mit den entsprechenden Pumphöhen und dem Leistungsbereich der verschiedenen Pumpen.

Tabelle 22: Übersicht und Beschrieb der Wasserhaltung

Bezeichnung	Pump-höhe in m	Leistungsbereich	Quellen
Wasserhaltung 2.5 m	2.5	420-2200 Watt	Carl Heusser AG (2014), Brunner AG (2014), SPT Pumpen (2014), Tsurumi Pump (2014)
Wasserhaltung 5 m	5	420-7500 Watt	Carl Heusser AG (2014), Brunner AG (2014), SPT Pumpen (2014), Tsurumi Pump (2014)
Wasserhaltung 7.5 m	7.5	420-7500 Watt	Carl Heusser AG (2014), Brunner AG (2014), SPT Pumpen (2014), Tsurumi Pump (2014)
Wasserhaltung 10 m	10	800-10000 Watt	Carl Heusser AG (2014), Brunner AG (2014), SPT Pumpen (2014), Tsurumi Pump (2014)

Die Auswertung der verschiedenen Pumpenkennblätter hat ergeben, dass der spezifische Strombedarf pro m³ gepumptes Wasser von der Förderhöhe, aber kaum von der Pumpengrösse abhängig ist. Eine detailliertere Darstellung der Berechnungen und Auswertungen findet sich im Anhang: Pumpenkennwerte (Abschnitt B.C).

Im Bereich der maximalen Pumphöhe steigt der Energieverbrauch pro gepumpten m³ Wasser bei allen ausgewerteten Pumpen deutlich an (Faktor 2 bis 4). Für die Sachbilanzen wurden nur Pumpen berücksichtigt, für welche die modellierten Pumphöhen (2.5, 5, 7.5 und 10 m) im optimalen Bereich liegen. Die ineffizienten Pumphöhen im Bereich der maximalen Pumphöhe der jeweiligen Pumpen wurden nicht berücksichtigt.

Die Herstellung der Pumpe wird näherungsweise mit demecoinvent Datensatz „pump 40W, at plant, CH“ bilanziert. Der Bezug wird über das Gewicht und die Lebensdauer der Pumpe berechnet. Grundlage für die Berechnungen ist eine Lebensdauer von zwei Jahren unter Dauerbetrieb.

Über die berechnete Lebenspumpmenge basierend auf einer Pumphöhe von 5 m und der entsprechenden Pumpleistung und dem entsprechenden Gewicht der Pumpen ergibt sich ein Bedarf von 4.74*E⁻⁵ Kilogramm Pumpe oder 1.95*E⁻⁵ Einheiten Pumpe („pump, 40W, at plant, CH“ mit einem Gewicht von 2.43 kg pro Einheit) pro m³ gepumptes Wasser berechnet. Dieser Faktor entspricht dem Mittelwert über alle 22 ausgewerteten Pumpen.

Die gepumpte Wassermenge wurde basierend auf Angaben zur maximalen Pumpenkapazität und zur Pumpdauer berechnet, die aus der gewässerschutzrechtlichen Bewilligung entnommen wurden. Der Energieverbrauch wurde dann über die Leistung der Pumpe bestimmt.

Tabelle 23 zeigt die Sachbilanzdaten der bilanzierten Wasserhaltungen pro m³ gepumptes Wasser.

Tabelle 23: Sachbilanzdaten zur Herstellung der bilanzierten Wasserhaltungen

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	dewatering, building pit, pumping head 2.5m	dewatering, building pit, pumping head 5m	dewatering, building pit, pumping head 7.5m	dewatering, building pit, pumping head 10m	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
				CH	CH	CH	CH			
				0	0	0	0			
				m3	m3	m3	m3			
product	dewatering, building pit, pumping head 2.5m	CH	0 m3	1	0	0	0			
	dewatering, building pit, pumping head 5m	CH	0 m3	0	1	0	0			
	dewatering, building pit, pumping head 7.5m	CH	0 m3	0	0	1	0			
	dewatering, building pit, pumping head 10m	CH	0 m3	0	0	0	1			
technosphere	electricity, low voltage, at grid	CH	0 kWh	4.00E-2	4.69E-2	5.47E-2	6.31E-2	1	1.18	(3,3,1,3,1,4,BU:1.05); calculated; Fact sheets of producers, Literature
	pump 40W, at plant	CH	1 unit	1.95E-5	1.95E-5	1.95E-5	1.95E-5	1	1.31	(3,3,1,3,1,4,BU:3); calculated; Fact sheets of producers, Literature

B.6.5 Datenquellen und Datenqualität

Die Daten zum Materialverbrauch der Baugrubensicherungen und Tiefgründungen stammen hauptsächlich von APT Ingenieure². Diese Angaben basieren auf realisierten Bauprojekten. Für die unterschiedlichen Baugrubensicherungen und Tiefgründungen sind unterschiedlich viele Beispiele (zwischen 1 und 6) verfügbar. Aufgrund

der geringen Anzahl an Beispielen für die einzelnen Typen von Baugrubensicherungen und Tiefgründungen wird die Repräsentativität der Sachbilanzdaten als genügend bis gut eingeschätzt. Die Datenqualität der einzelnen Beispiele hingegen wird als hoch eingestuft.

Die Daten zum Treibstoffverbrauch für die Erstellung der unterschiedlichen Baugrubensicherungen und Tiefgründungen basieren hauptsächlich auf Angaben von zwei Bauunternehmungen, KIBAG⁴ und Marti AG⁵. Es handelt sich um effektive Verbrauchszahlen der verschiedenen Baumaschinen mit hoher Datenqualität. Die Repräsentativität der Angaben zum Treibstoffverbrauch wird als gut eingestuft aufgrund der Tatsache, dass es sich um Baufirmen mit grosser Erfahrung handelt.

Die Daten zum Material- und Treibstoffverbrauch von Schlitzwänden stammen von der Implenia Bau AG und Bauer Spezialtiefbau Schweiz AG⁶. Die Daten basieren auf Planungswerten und nicht auf realisierten Bauprojekten, weshalb die Datenqualität als genügend eingestuft wird. Die Repräsentativität der Daten ist jedoch gut, da sie auf Angaben zweier grosser und erfahrener Bauunternehmungen basieren.

Die Daten zum Material- und Treibstoffverbrauch von Rüttelstopfsäulen basieren auf Daten von Implenia Bau AG⁶ und Keller-MTS AG⁷. Es handelt sich in beiden Fällen um Planungswerte, weshalb die Datenqualität als genügend eingeschätzt wird. Die Repräsentativität der Daten ist jedoch gut, da sie auf Angaben zweier grosser und erfahrener Bauunternehmungen beruhen.

B.6.6 Vorgeschlagene Datensätze für die KBOB Liste

Tabelle 24 zeigt die Liste der Sachbilanzdaten, die wir für die Aufnahme in die KBOB-Empfehlung 2009/1 im Zuge der nächsten Aktualisierung vorschlagen. Die Liste umfasst 24 Datensätze.

Tabelle 24: Vorgeschlagene Datensätze zur Aufnahme in die KBOB Liste

Kategorie	Typ	No	Bezeichnung
Baugrubensicherung	Spundwand	1	Spundwand, auskragend
		2	Spundwand, gespriesst AVG
		3	Spundwand, verankert
	Rühlwand	4	Rühlwand, auskragend AVG
		5	Rühlwand, gespriesst AVG
		6	Rühlwand, verankert AVG
	Bohrpfahlwand	7	Bohrpfahlwand, unverankert
		8	Bohrpfahlwand, gespriesst
		9	Bohrpfahlwand, verankert
	Schlitzwand	10	Schlitzwand, 400 mm
		11	Schlitzwand, 800 mm AVG
		Nagelwand	12
Tiefgründung	Rüttelstopfsäule	13	Rüttelstopfverfahren AVG
	Vorfabrizierte Betonpfähle	14	Vorfabrizierte Betonpfähle AVG
	Mikrobohrpfähle	15	Mikrobohrpfähle AVG
	Ortbetonbohrpfähle	16	Ortbetonbohrpfahl 700 mm AVG
		17	Ortbetonbohrpfahl 900 mm AVG
		18	Ortbetonbohrpfahl 1200 mm AVG
	Verdrängungspfähle	19	Verdrängungspfahl 660/580 mm AVG
		20	Verdrängungspfahl 560/480 mm AVG
Wasserhaltung	-	21	Wasserhaltung 2.5 m
		22	Wasserhaltung 5 m
		23	Wasserhaltung 7.5 m
		24	Wasserhaltung 10 m

B.7 Resultate und Interpretation

B.7.1 Übersicht

Dieses Kapitel beinhaltet die Resultate zu den in Kapitel B.3, B.4, B.5 und B.6 beschriebenen Baugrubensicherungen (Unterkapitel B.7.2), Tiefgründungen (Unterkapitel B.7.3) und zur Wasserhaltung (Unterkapitel B.7.4). Hierbei beschränken wir uns darauf, einerseits die Gesamtumweltbelastung (ermittelt mit Methode der ökologischen Knappheit 2013, Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) und andererseits die Treibhausgasemissionen (ermittelt mit den Treibhauspotenzialen gemäss IPCC

(2013, Tab. 8.A.1, 100a)) zu diskutieren. Die Ergebnisse der anderen Indikatoren (gesamte und nicht erneuerbare Primärenergie) verhalten sich ähnlich wie die gezeigten Indikatoren und werden deshalb nicht detailliert beschrieben. Die Resultate für alle Umweltindikatoren und alle Varianten der hier bilanzierten Techniken sind im Anhang: Resultattabellen (Abschnitt B.A) aufgeführt.

B.7.2 Baugrubensicherungen

B.7.2.1 Gesamtumweltbelastung

Die Umweltauswirkungen pro m² Baugrubensicherung zeigen grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten (siehe Abbildung 2). So verursacht eine Schlitzwand (80 cm) pro m² Ansichtsfläche neunmal höhere Umweltauswirkungen als eine gespriesste Spundwand. Diese grosse Spannweite wird durch den stark unterschiedlichen Materialverbrauch und Anwendungsbereich dieser beiden Varianten verursacht. Vollständig betonierte Baugrubensicherungen (Bohrpfahlwände und Schlitzwände) verursachen deutlich höhere Umweltauswirkungen als Baugrubensicherungen mit einer einfacheren Bauweise, wie Spund- oder Rühlwände.

Die gespriesste Spundwand verursacht mit 127'000 UBP pro m² Ansichtsfläche die tiefsten Umweltauswirkungen, gefolgt von der Nagelwand und der auskragenden Spundwand mit 159'000 und 224'000 UBP pro m² Ansichtsfläche. Die verankerte Spundwand wird mit 251'000 UBP pro m² Ansichtsfläche bewertet. Die gespriesste, verankerte und auskragende Rühlwand verursachen mit 226'000, 243'000 und 309'000 UBP pro m² Ansichtsfläche höhere Umweltauswirkungen.

Die höchsten Umweltauswirkungen verursachen die verankerte, die unverankerte und die gespriesste Bohrpfehlwand mit 715'000, 864'000 und 920'000 UBP und die Schlitzwand, 40 cm und 80 cm, mit 608'000 und 1'150'000 UBP pro m² Ansichtsfläche. Das ist plausibel, da die Bohrpfehlwand und die Schlitzwand vollständig gebohrt und betoniert sind. Dies hat einen hohen Treibstoff- und Materialverbrauch zur Folge, was sich deutlich im Resultat niederschlägt.

Der Beitrag der Herstellung ist für alle Baugrubensicherungen deutlich grösser als der Beitrag der Entsorgung. Im Falle der Spundwände ist der Beitrag der Entsorgung gleich null, da die verwendeten Stahlprofile rezykliert werden und nicht entsorgt werden müssen. Für die übrigen Baugrubensicherungen beträgt der Beitrag der Entsorgung zum Total zwischen 8 und 15 % und wird hauptsächlich durch die Entsorgung des verwendeten Betons verursacht.

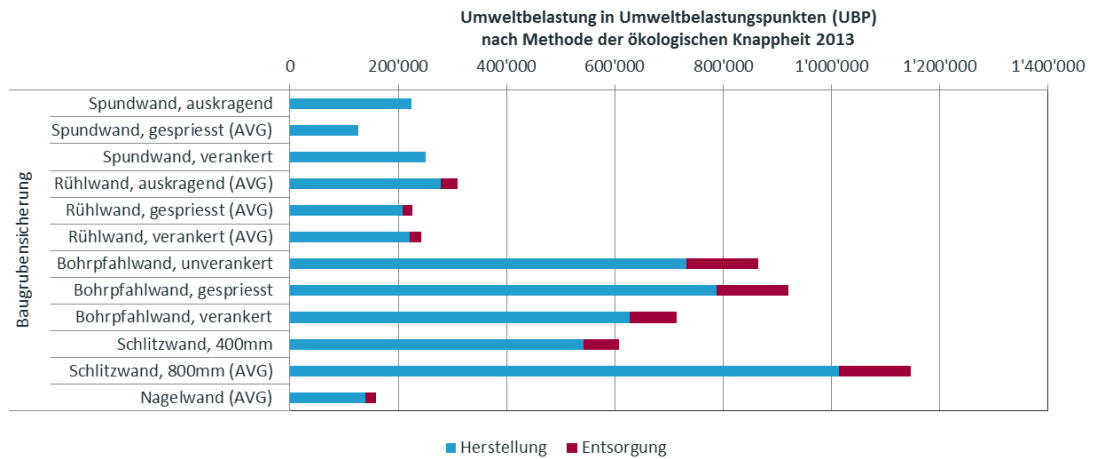


Abbildung 2: Umweltbelastung in UBP nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) pro m² Ansichtsfläche von unterschiedlichen Baugrubenabschlüssen aufgeteilt in den Beitrag von Herstellung und Entsorgung

B.7.2.2 Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen in kg CO₂-eq nach IPCC (2013, Tab. 8.A.1, 100a) pro m² Ansichtsfläche der unterschiedlichen Baugrubenabschlüsse verhalten sich vergleichbar zu den Umweltauswirkungen nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (siehe Abbildung 3, Abbildung 2 und Abschnitt B.7.2.1).

Einzig der Unterschied bei der Herstellung der unterschiedlichen Bohrpfahlwände und Schlitzwände ist im Falle der Treibhausgasemissionen deutlich ausgeprägter als bei den Umweltauswirkungen nach Methode der ökologischen Knappheit 2013. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Resultat stark durch den Betonbedarf (ungefähr 60 % der Treibhausgasemissionen stammen aus dem Betonverbrauch) dominiert ist. Bei den Umweltauswirkungen nach der Methode der ökologischen Knappheit sind die Treibhausgasemissionen zwar ebenfalls bewertet, aber neben einer Vielzahl von anderen Umweltauswirkungen. Dies hat zur Folge, dass der Unterschied im Betonverbrauch im Falle der Treibhausgasemissionen deutlicher erkennbar ist.

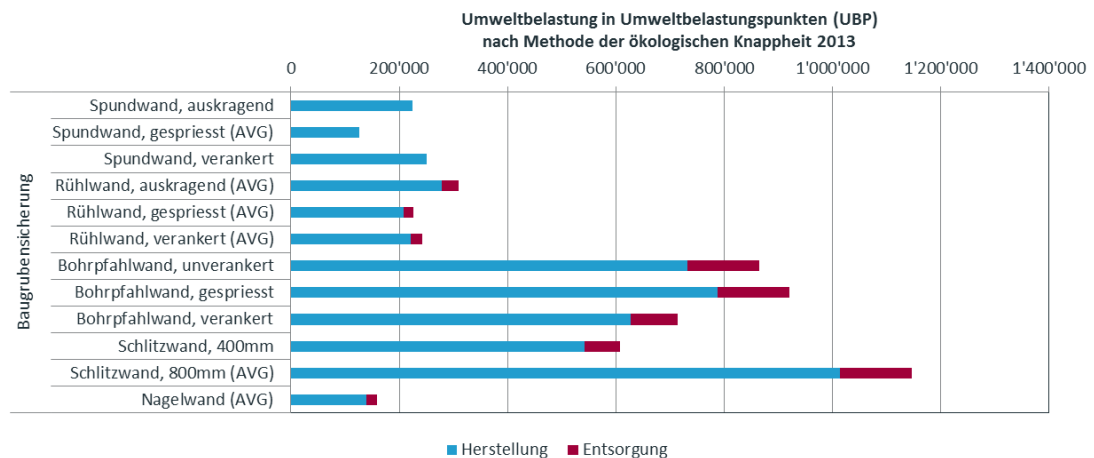


Abbildung 3: Treibhausgasemissionen in kg CO₂-eq nach IPCC (2013, Tab. 8.A.1, 100a) pro m² Ansichtsfläche von unterschiedlichen Baugrubenabschlüssen aufgeteilt in den Beitrag von Herstellung und Entsorgung

B.7.3 Tiefgründungen

B.7.3.1 Gesamtumweltbelastung

Die unterschiedlichen Durchmesser haben grosse Auswirkungen auf den Materialverbrauch und damit auf die Umweltauswirkungen der unterschiedlichen Pfähle, welche in einem direkten Vergleich der unterschiedlichen Tiefgründungen pro m Pfahl deutlich zu erkennen sind (siehe Abbildung 4). Für einen qualifizierten Vergleich müssen die benötigten Pfahlängen mit der Fläche der Tiefgründung verrechnet werden. Aufgrund der stark unterschiedlichen Anzahl an Pfählen pro m² Tiefgründung wurde aber ein Meter Pfahl als Bezugsgrösse für die Sachbilanzinventare gewählt.

Die Rüttelstopfsäule verursacht mit 29'700 UBP pro m Rüttelstopfsäule die geringsten Umweltbelastungen, gefolgt von vorgefertigten Betonpfählen und Mikrobohrpfählen mit 35'800 und 47'000 UBP pro m Pfahl.

Ortbetonverdrängungspfähle verursachen Umweltbelastungen zwischen 116'000 und 144'000 UBP pro m Verdrängungspfahl in Abhängigkeit des Durchmessers und der Armierung.

Ortbetonbohrpfähle verursachen die höchsten Umweltbelastungen mit 206'000 bis 466'000 UBP pro m Bohrpfahl in Abhängigkeit des Durchmessers und der Ausführung.

Die Umweltbelastungen werden nur durch die Herstellung der Tiefgründungen verursacht, weil angenommen wird, dass der verwendete Beton im Boden bleibt.

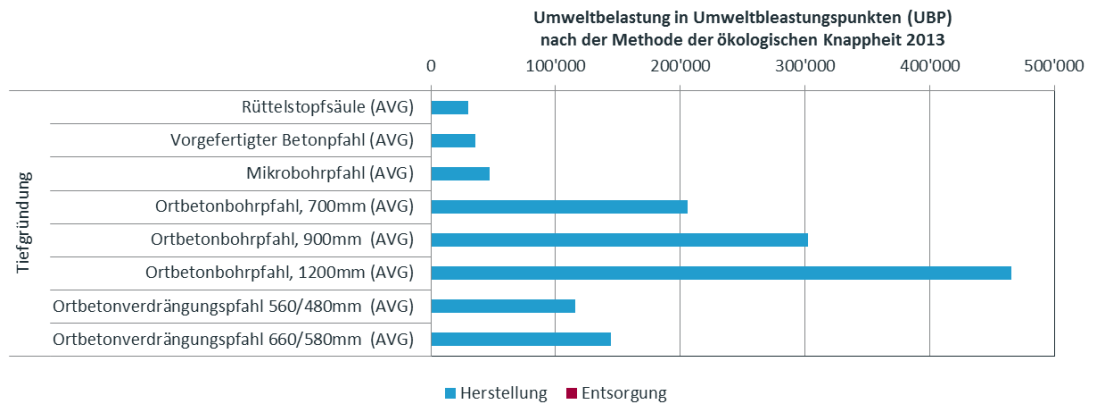


Abbildung 4: Umweltbelastung in UBP nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) pro m Pfahl für unterschiedliche Tiefgründungen aufgeteilt in den Beitrag von Herstellung und Entsorgung

B.7.3.2 Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen in kg CO₂-eq nach IPCC (2013, Tab. 8.A.1, 100a) pro m Pfahl für unterschiedliche Tiefgründungen verhalten sich vergleichbar zur Umweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (siehe Abbildung 5, Abbildung 4 und Abschnitt B.7.3.1).

Wie im Falle der Baugrubensicherungen ist der Unterschied zwischen den verschiedenen Varianten deutlicher im Falle der Treibhausgasemissionen verglichen mit den Umweltauswirkungen nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (siehe Abschnitt B.7.2.2).

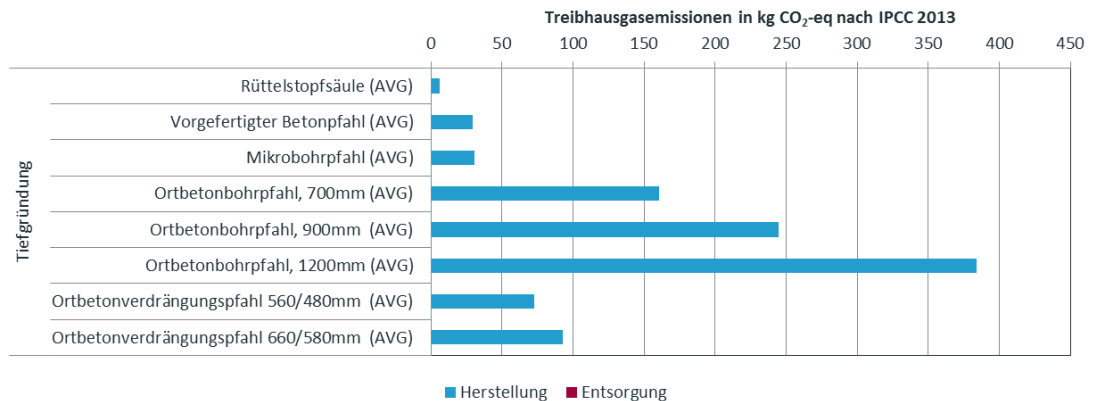


Abbildung 5: Treibhausgasemissionen in kg CO₂-eq nach IPCC (2013, Tab. 8.A.1, 100a) pro m Pfahl für unterschiedliche Tiefgründungen aufgeteilt in den Beitrag von Herstellung und Entsorgung

B.7.4 Wasserhaltung

B.7.4.1 Gesamtumweltbelastung

Der Energieverbrauch pro m³ gepumptes Grundwasser steigt mit der Pumphöhe linear an. Entsprechend nimmt auch die Umweltauswirkung linear zu, da der Ener-

gieverbrauch der Pumpe mehr als 95 % der Umweltauswirkungen verursacht. Abbildung 6 zeigt die Umweltauswirkungen nach Methode der ökologischen Knappheit 2013. Diese betragen 15,8, 18,4, 21,4 und 24,6 UBP pro gepumpten m³ Wasser für Pumphöhen von 2,5, 5, 7,5 und 10 m.

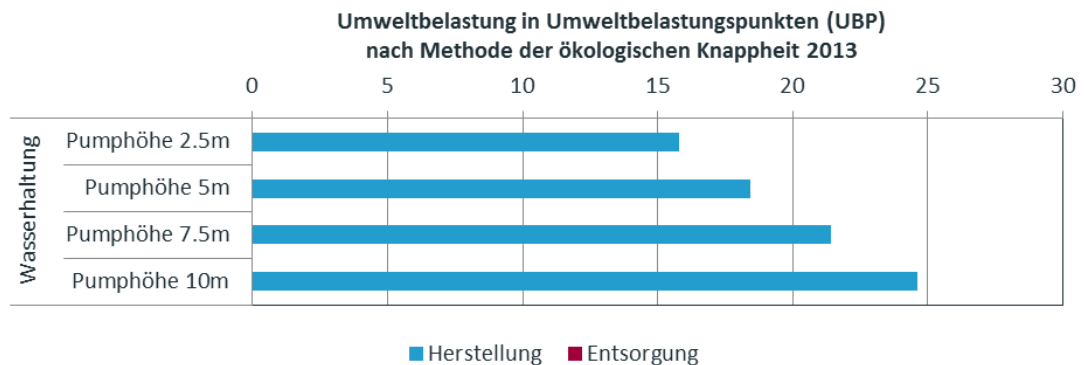


Abbildung 6: Umweltbelastung in UBP nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) pro m³ gepumptes Grundwasser für unterschiedliche Pumphöhen

B.7.4.2 Treibhausgasemissionen

Abbildung 7 zeigt die Treibhausgasemissionen pro m³ gepumptes Grundwasser für die unterschiedlichen Pumphöhen. Diese betragen 5,7, 6,6, 7,7 und 8,9 g CO₂-eq pro gepumpten m³ Wasser für Pumphöhen von 2,5, 5, 7,5 und 10 m. Der Anstieg der Treibhausgasemissionen entspricht dem Anstieg des Energieverbrauchs (siehe Abschnitt B.7.4.1).

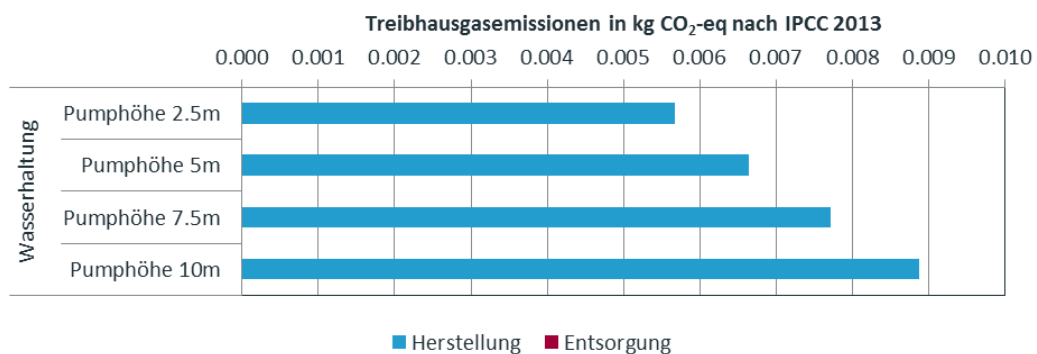


Abbildung 7: Treibhausgasemissionen in kg CO₂-eq nach IPCC (2013, Tab. 8.A.1, 100a) pro m³ gepumptes Grundwasser für unterschiedliche Pumphöhen

B.8 Schlussfolgerungen

Die in diesem Projekt erarbeiteten Sachbilanzen decken die wesentlichen Ausführungsvarianten heute gebauter Baugrubensicherungen, Tiefgründungen und heutiger Grundwasserhaltung ab. Damit wird es möglich, bei der Bilanzierung von Gebäuden auch die dabei erforderlichen Tiefbauarbeiten in einem höheren Detaillierungsgrad als bisher zu bilanzieren.

Die Umweltauswirkungen der verschiedenen Baugrubensicherungen variieren sehr stark. Die einfacheren Baugrubensicherungen wie Spund-, Rühl- und Nagelwände verursachen deutlich geringere Umweltauswirkungen als vollständig betonierte Baugrubensicherungen wie Bohrpfahl- oder Schlitzwände.

Wie im Falle der Baugrubensicherung bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den Umweltauswirkungen der verschiedenen Tiefgründungen. Die verwendeten Materialien und der Durchmesser der verschiedenen Pfählungen haben grossen Einfluss auf die Umweltauswirkungen.

Die Umweltauswirkungen der Wasserhaltung werden durch den Stromverbrauch der Pumpen dominiert, welcher über 95 % der Umweltauswirkungen verursacht. Der Stromverbrauch pro gepumpten m³ Grundwasser erhöht sich bei zunehmender Pumphöhe bzw. bei tieferen Baugruben.

B.9 Literaturverzeichnis

Brunner AG (2014) Bau-Tauchpumpen 230 + 400 Volt. Brunner AG, Kloten, CH, retrieved from: www.brunnerpumpen.ch.

Carl Heusser AG (2014) Mobile Pumpsysteme für Profis - Flygt Ready Serie. Carl Heusser AG, Cham, CH, retrieved from: www.heusser.ch.

Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hischer R., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M. (2007a) Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.

Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hischer R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007b) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.

Frischknecht R. (2010) LCI modelling approaches applied on recycling of materials in view of environmental sustainability, risk perception and eco-efficiency. *In: Int J LCA*, **15**(7), pp. 666-671, retrieved from: DOI: 10.1007/s11367-010-0201-6.

Frischknecht R. and Büsser Knöpfel S. (2013) Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 1330. Bundesamt für Umwelt, Bern, retrieved from: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=de>.

IPCC (2013) The IPCC fifth Assessment Report - Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Working Group I, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.

KBOB, eco-bau and IPB (2014) KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: <http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=de>.

SPT Pumpen (2014) SPT und SPT-R Schmutzwasser-, Tauchpumpen - robust, laufstark, zuverlässig. Söndgerath Pumpen GmbH, Essen, DE, retrieved from: www.spt-pumpen.de.

Tsurumi Pump (2014) Baupumpen - Tsurumi-Pumpen sind weltweit für ihre moderne Bauweise bekannt. Qualität und Langlebigkeit sind unser Markenzeichen. Für professionellen Einsatz. Tsurumi (Europe) GmbH, Düsseldorf, DE, retrieved from: www.tsurumi.eu.

B.A Anhang: Resultattabellen

Tabelle A.1: Resultatübersicht für die verschiedenen Baugrubensicherungen, Tiefgründungen und Wasserhaltungen für die Indikatoren UBP'2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013), Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar (Frischknecht et al. 2007b) und Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013, Tab. 8.A.1) unterteilt in die Beiträge von Herstellung und Entsorgung

Tiefbauarbeiten bei Hochbauten		Bezug	UBP'2013			Primärenergie gesamt			Primärenergie nicht erneuerbar			Treibhausgasemissionen		
			Total	Herstellung	Entsorgung	Total	Herstellung	Entsorgung	Total	Herstellung	Entsorgung	Total	Herstellung	Entsorgung
			UBP	UBP	UBP	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq
Baugrubensicherung	Spundwand, auskragend	m ²	224'000	224'000	0	2'830	2'830	0	2'670	2'670	0	162	162	0
	Spundwand, gespriesst (AVG)	m ²	127'000	127'000	0	1'590	1'590	0	1'500	1'500	0	91.2	91.2	0
	Spundwand, verankert	m ²	251'000	251'000	0	3'110	3'110	0	2'910	2'910	0	180	180	0
	Rühlwand, auskragend (AVG)	m ²	309'000	279'000	30'300	3'790	3'560	226	3'390	3'170	218	267	255	11.8
	Rühlwand, gespriesst (AVG)	m ²	226'000	208'000	17'900	2'630	2'490	134	2'450	2'320	129	184	177	6.95
	Rühlwand, verankert (AVG)	m ²	243'000	222'000	20'700	2'630	2'480	155	2'470	2'320	150	193	185	8.03
	Bohrpfahlwand, gespriesst	m ²	920'000	787'000	133'000	8'740	7'750	991	8'280	7'320	958	846	794	51.5
	Bohrpfahlwand, verankert	m ²	715'000	628'000	86'700	5'850	5'210	648	5'520	4'890	626	516	482	33.6
	Bohrpfahlwand, unverankert	m ²	864'000	732'000	133'000	8'000	7'010	991	7'590	6'640	958	806	754	51.5
	Schlitzwand, 400mm	m ²	608'000	541'000	66'600	4'860	4'360	498	4'560	4'080	482	417	391	25.8
Schlitzwand, 800mm (AVG)	m ²	1'150'000	1'010'000	131'000	8'840	7'860	981	8'290	7'340	949	798	747	50.9	
Nagelwand (AVG)	m ²	159'000	139'000	19'300	1'250	1'110	144	1'180	1'040	139	119	112	7.47	
Tiefgründung	Rüttelstopfsäule (AVG)	m	29'700	29'700	0	114	114	0	111	111	0	6.39	6.39	0
	Vorgefertigter Betonpfahl (AVG)	m	35'800	35'800	0	260	260	0	242	242	0	29.5	29.5	0
	Mikrobohrpfahl (AVG)	m	47'000	47'000	0	447	447	0	418	418	0	30.8	30.8	0
	Ortbetonbohrpfahl, 700mm (AVG)	m	206'000	206'000	0	1'580	1'580	0	1'490	1'490	0	160	160	0
	Ortbetonbohrpfahl, 900mm (AVG)	m	302'000	302'000	0	2'230	2'230	0	2'080	2'080	0	245	245	0
	Ortbetonbohrpfahl, 1200mm (AVG)	m	466'000	466'000	0	3'360	3'360	0	3'120	3'120	0	384	384	0
	Ortbetonverdrängungspfahl 560/480mm (AVG)	m	116'000	116'000	0	854	854	0	814	814	0	73.0	73.0	0
Ortbetonverdrängungspfahl 660/580mm (AVG)	m	144'000	144'000	0	1'040	1'040	0	984	984	0	92.7	92.7	0	
Wasserhaltung	Pumphöhe 2.5m	m ³	15.8	15.8	0	0.454	0.454	0	0.389	0.389	0	0.00567	0.00567	0
	Pumphöhe 5m	m ³	18.4	18.4	0	0.532	0.532	0	0.456	0.456	0	0.00664	0.00664	0
	Pumphöhe 7.5m	m ³	21.4	21.4	0	0.620	0.620	0	0.532	0.532	0	0.00772	0.00772	0
	Pumphöhe 10m	m ³	24.6	24.6	0	0.715	0.715	0	0.613	0.613	0	0.00888	0.00888	0

B.B Anhang: Sachbilanzdaten Entsorgung

Tabelle B.1: Sachbilanzdaten zur Entsorgung der bilanzierten Rühlwände

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	disposal, berlin wall dual-anchored with longarine, drilled, infill concrete, Bushof Jona	disposal, berlin wall single-anchored with longarine, drilled, infill concrete, Sandgruben Basel	disposal, berlin wall dual-anchored with longarine, drilled, infill concrete, Sandgruben Basel	disposal, berlin wall single-anchored without longarine, vibrated, infill concrete, Integra Wallisellen	disposal, berlin wall dual-anchored without longarine, drilled, infill concrete, Stellwerk Winterthur	disposal, berlin wall, single-anchored, infill concrete, average	disposal, berlin wall dual-anchored, infill concrete, average	disposal, berlin wall anchored, infill concrete, average	disposal, berlin wall projecting, drilled, infill concrete, Kulturpark Pfinstweidstrasse Zürich	disposal, berlin wall projecting, drilled, infill concrete, MFH Waltersbachstrasse Zürich	disposal, berlin wall projecting, drilled, infill concrete, average	disposal, berlin wall strutted apart, infill concrete, average	UncertaintyType	StandardDeviation5%	GeneralComment	
Location				CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH				
InfrastructureProcess				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Unit				m2	m2	m2	m2	m2	m2	m2	m2	m2	m2	m2	m2				
disposal, berlin wall dual-anchored with longarine, drilled, infill concrete, Bushof Jona	CH	0	m2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
disposal, berlin wall single-anchored with longarine, drilled, infill concrete, Sandgruben Basel	CH	0	m2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
disposal, berlin wall dual-anchored with longarine, drilled, infill concrete, Sandgruben Basel	CH	0	m2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
disposal, berlin wall single-anchored without longarine, vibrated, infill concrete, Integra Wallisellen	CH	0	m2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0				
disposal, berlin wall dual-anchored without longarine, vibrated, infill concrete, Integra Wallisellen	CH	0	m2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0				
disposal, berlin wall dual-anchored without longarine, drilled, infill concrete, Stellwerk Winterthur	CH	0	m2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0				
disposal, berlin wall, single-anchored, infill concrete, average	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0				
disposal, berlin wall dual-anchored, infill concrete, average	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0				
disposal, berlin wall anchored, infill concrete, average	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0				
disposal, berlin wall projecting, drilled, infill concrete, Kulturpark Pfinstweidstrasse Zürich	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0				
disposal, berlin wall projecting, drilled, infill concrete, MFH Waltersbachstrasse Zürich	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0				
disposal, berlin wall projecting, drilled, infill concrete, average	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1				
disposal, concrete, reinforced	CH	0	kg	8.16E+2	7.44E+2	6.96E+2	7.44E+2	8.40E+2	7.68E+2	7.44E+2	7.80E+2	7.68E+2	1.32E+3	9.12E+2	1.12E+3	6.64E+2	1	1.16	(3.3.1.3.1.4, BU:1.05); calculated; based on material use
disposal, softwood, air-dried	CH	0	kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.89E+1	0	9.47E+0	0	1	1.16	(3.3.1.3.1.4, BU:1.05); calculated; based on material use

Tabelle B.2: Sachbilanzdaten zur Entsorgung der bilanzierten Bohrfahlwände

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	disposal, bored pile wall, overlapped, strutted apart, Alterssiedlung Seefeldstrasse Zürich	disposal, bored pile wall, overlapped, anchored, Stadtpital Triemli Zürich	disposal, bored pile wall, overlapped, non-anchored	UncertaintyType	StandardDeviation95 %	GeneralComment
Location				CH	CH	CH			
InfrastructureProcess				0	0	0			
Unit				m2	m2	m2			
disposal, bored pile wall, overlapped, strutted apart, Alterssiedlung Seefeldstrasse Zürich	CH	0	m2	1	0	0			
disposal, bored pile wall, overlapped, anchored, Stadtpital Triemli Zürich	CH	0	m2	0	1	0			
disposal, bored pile wall, overlapped, non-anchored	CH	0	m2	0	0	1			
disposal, concrete, reinforced	CH	0	kg	4.92E+3	3.22E+3	4.92E+3	1	1.16	(3,3,1,3,1,4,BU:1.05); calculated; based on material use

Tabelle B.3: Sachbilanzdaten zur Entsorgung der bilanzierten Schlitzwände

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	disposal, diaphragm wall, 400mm, Implenja	disposal, diaphragm wall, 800mm, Implenja	disposal, diaphragm wall, 800mm, Bauer Spezialtiefbau Schweiz	disposal, diaphragm wall, 800mm, average	UncertaintyType	StandardDeviation95 %	GeneralComment
Location				CH	CH	CH	CH			
InfrastructureProcess				0	0	0	0			
Unit				m2	m2	m2	m2			
disposal, diaphragm wall, 400mm, Implenja	CH	0	m2	1	0	0	0			
disposal, diaphragm wall, 800mm, Implenja	CH	0	m2	0	1	0	0			
disposal, diaphragm wall, 800mm, Bauer Spezialtiefbau Schweiz	CH	0	m2	0	0	1	0			
disposal, diaphragm wall, 800mm, average	CH	0	m2	0	0	0	1			
disposal, concrete, reinforced	CH	0	kg	2.40E+3	4.80E+3	4.80E+3	4.80E+3	1	1.16	(3,3,1,3,1,4,BU:1.05); calculated; based on material use
disposal, sand	CH	0	kg	6.25E+1	6.25E+1	6.25E+1	6.25E+1	1	1.16	(3,3,1,3,1,4,BU:1.05); calculated; based on material use

Tabelle B.4: Sachbilanzdaten zur Entsorgung der bilanzierten Nagelwände

Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	disposal, soil	disposal, soil	disposal, soil	disposal, soil	disposal, soil	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
				nailing, sprayed concrete, reinforced, MFH Tiechestrasse Zürich	nailing, sprayed concrete, reinforced, Notfall Waidspital Zürich	nailing, sprayed concrete, reinforced, Bushof Jona	nailing, sprayed concrete, reinforced, Schulhaus Sandgruben Basel	nailing, sprayed concrete, reinforced, average			
Location				CH	CH	CH	CH	CH			
InfrastructureProcess				0	0	0	0	0			
Unit				m2	m2	m2	m2	m2			
disposal, soil nailing, sprayed concrete, reinforced, MFH Tiechestrasse Zürich	CH	0	m2	1	0	0	0	0			
disposal, soil nailing, sprayed concrete, reinforced, Notfall Waidspital Zürich	CH	0	m2	0	1	0	0	0			
disposal, soil nailing, sprayed concrete, reinforced, Bushof Jona	CH	0	m2	0	0	1	0	0			
disposal, soil nailing, sprayed concrete, reinforced, Schulhaus Sandgruben Basel	CH	0	m2	0	0	0	1	0			
disposal, soil nailing, sprayed concrete, reinforced, average	CH	0	m2	0	0	0	0	1			
disposal, concrete, reinforced	CH	0	kg	6.72E+2	6.72E+2	7.92E+2	7.20E+2	7.14E+2	1	1.16	(3,3,1,3,1,4,BU:1.05); calculated; based on material use

B.C Anhang: Pumpenkennwerte

Tabelle C.1: Pumpmenge für die verschiedenen auswerteten Pumpen nach den Pumpenkennlinien aus Carl Heusser AG (2014), Brunner AG (2014), SPT Pumpen (2014) und Tsurumi Pump (2014) für die entsprechenden Pumphöhen

Hersteller	Pumpe	Gewicht	Lebensdauer	Leistung	Pumpmenge in l/s				Quelle	Pumpmenge über gesamte Lebensdauer (2 Jahre, Pumphöhe 5m)	kg Pumpe pro m ³ gepumptes Wasser
		kg			Jahre	Watt	2.5m	5m			7.5m
Xylem / Flygt	Ready 4	12	2	420	3.80	3.00	2.50	0.80	Flygt ready serie, page 2	189'216	6.34E-05
Brunner Pumpen	P 401 WA	9.5	2	480	3.80	3.00	2.30	1.00	Brunner Pumpex, page 2	189'216	5.02E-05
Tsurumi Pumpen	Tsurumi LB 480	11	2	480	3.67	3.00	2.17	0.67	Tsurumi, page 03	189'216	5.81E-05
Xylem / Flygt	Ready 8	14.5	2	750	5.00	4.50	4.00	3.25	Flygt ready serie, page 2	283'824	5.11E-05
Tsurumi Pumpen	Tsurumi LB 800	13.8	2	800	5.00	4.50	3.83	3.00	Tsurumi, page 03	283'824	4.86E-05
Xylem / Flygt	Ready 8s	17	2	900	6.80	5.50	4.25	0.80	Flygt ready serie, page 2	346'896	4.90E-05
Brunner Pumpen	p 601 WA	17	2	900	7.70	6.80	5.30	4.00	Brunner Pumpex, page 2	428'890	3.96E-05
Brunner Pumpen	Constructa n150	29	2	1100	n.a.	6.33	5.83	5.00	Brunner Constructa, page 2	399'456	7.26E-05
Xylem / Flygt	2610	25	2	1400	10.00	8.00	6.00	4.50	Flygt 2600er, page 4	504'576	4.95E-05
Brunner Pumpen	P 801 WA	18	2	1400	10.30	9.00	8.00	6.80	Brunner Pumpex, page 2	567'648	3.17E-05
Brunner Pumpen	Constructa n200	38	2	1500	n.a.	9.67	9.17	8.00	Brunner Constructa, page 2	609'696	6.23E-05
Tsurumi Pumpen	Tsurumi LB 1500	33	2	1500	7.17	6.50	5.83	5.00	Tsurumi, page 03	409'968	8.05E-05
SPT Pumpen	SPT 315	37	2	1500	11.11	10.28	8.89	6.94	SPT215, page 2	648'240	5.71E-05
Xylem / Flygt	2620	32	2	2200	14.00	12.50	10.00	8.00	Flygt 2600er, page 4	788'400	4.06E-05
Brunner Pumpen	Constructa n300	42	2	2200	n.a.	15.00	11.67	10.50	Brunner Constructa, page 2	946'080	4.44E-05
SPT Pumpen	SPT 332	39	2	2200	13.19	12.22	11.39	10.00	SPT215, page 2	770'880	5.06E-05
Xylem / Flygt	2630	48	2	3700	n.a.	30.00	26.60	23.30	Flygt 2600er, page 4	1'892'160	2.54E-05
Brunner Pumpen	Constructa n500	46	2	3700	n.a.	18.33	17.67	16.67	Brunner Constructa, page 2	1'156'320	3.98E-05
Brunner Pumpen	Constructa n750	76	2	5500	n.a.	28.33	26.67	25.50	Brunner Constructa, page 2	1'787'040	4.25E-05
Xylem / Flygt	2640	50	2	5600	n.a.	40.00	35.00	32.00	Flygt 2600er, page 4	2'522'880	1.98E-05
Brunner Pumpen	Constructa n1000	78	2	7500	n.a.	30.00	29.00	27.83	Brunner Constructa, page 2	1'892'160	4.12E-05
Xylem / Flygt	2660	78	2	10000	n.a.	n.a.	n.a.	55.00	Flygt 2600er, page 4	3'153'600	2.47E-05
Durchschnitt	AVG	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4.74E-05
Standardabweichung	AVG	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1.50E-05

Tabelle C.2: Energieverbrauch in kWh pro m³ gepumptes Wasser für die verschiedenen Pumpen basierend auf den Pumpenkennlinien aus Carl Heusser AG (2014), Brunner AG (2014), SPT Pumpen (2014) und Tsurumi Pump (2014) für die entsprechenden Pumphöhen; dunkelgrau: ausserhalb der optimalen Pumphöhe (ausgeschlossen für den Mittelwert)

Hersteller	Pumpe	Gewicht kg	Lebens- dauer Jahre	Leistung Watt	Energie in kWh pro m ³ gepumptes Wasser				Quelle
					2.5m	5m	7.5m	10m	
Xylem / Flygt	Ready 4	12	2	420	0.031	0.039	0.047	0.146	eigene Berechnungen
Brunner Pumpen	P 401 WA	9.5	2	480	0.035	0.044	0.058	0.133	eigene Berechnungen
Tsurumi Pumpen	Tsurumi LB 480	11	2	480	0.036	0.044	0.062	0.200	eigene Berechnungen
Xylem / Flygt	Ready 8	14.5	2	750	0.042	0.046	0.052	0.064	eigene Berechnungen
Tsurumi Pumpen	Tsurumi LB 800	13.8	2	800	0.044	0.049	0.058	0.074	eigene Berechnungen
Xylem / Flygt	Ready 8s	17	2	900	0.037	0.045	0.059	0.313	eigene Berechnungen
Brunner Pumpen	P 601 WA	17	2	900	0.032	0.037	0.047	0.063	eigene Berechnungen
Brunner Pumpen	Constructa n150	29	2	1100	n.a.	0.048	0.052	0.061	eigene Berechnungen
Xylem / Flygt	2610	25	2	1400	0.039	0.049	0.065	0.086	eigene Berechnungen
Brunner Pumpen	P 801 WA	18	2	1400	0.038	0.043	0.049	0.057	eigene Berechnungen
Brunner Pumpen	Constructa n200	38	2	1500	n.a.	0.043	0.045	0.052	eigene Berechnungen
Tsurumi Pumpen	Tsurumi LB 1500	33	2	1500	0.058	0.064	0.071	0.083	eigene Berechnungen
SPT Pumpen	SPT 315	37	2	1500	0.038	0.041	0.047	0.060	eigene Berechnungen
Xylem / Flygt	2620	32	2	2200	0.044	0.049	0.061	0.076	eigene Berechnungen
Brunner Pumpen	Constructa n300	42	2	2200	n.a.	0.041	0.052	0.058	eigene Berechnungen
SPT Pumpen	SPT 332	39	2	2200	0.046	0.050	0.054	0.061	eigene Berechnungen
Xylem / Flygt	2630	48	2	3700	n.a.	0.034	0.039	0.044	eigene Berechnungen
Brunner Pumpen	Constructa n500	46	2	3700	n.a.	0.056	0.058	0.062	eigene Berechnungen
Brunner Pumpen	Constructa n750	76	2	5500	n.a.	0.054	0.057	0.060	eigene Berechnungen
Xylem / Flygt	2640	50	2	5600	n.a.	0.039	0.044	0.049	eigene Berechnungen
Brunner Pumpen	Constructa n1000	78	2	7500	n.a.	0.069	0.072	0.075	eigene Berechnungen
Xylem / Flygt	2660	78	2	10000	n.a.	n.a.	n.a.	0.051	eigene Berechnungen
Mittelwert	AVG	n.a.	n.a.	n.a.	0.040	0.047	0.055	0.063	eigene Berechnungen
Standardabweichung	AVG	n.a.	n.a.	n.a.	0.007	0.009	0.009	0.012	eigene Berechnungen



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht, Januar 2016

Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich"

Projekt QualiBOB

Teilbericht C: Dämmbeton mit Leichtzuschlag

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Hochbauten Stadt Zürich
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Auftragnehmer:

Projektteam QualiBOB

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

Ueli Kasser, Büro für Umweltchemie, u.kasser@umweltchemie.ch (Projektleitung)
Matthias Klingler, Büro für Umweltchemie, m.klingler@umweltchemie.ch
Daniel Savi, Büro für Umweltchemie, d.savi@umweltchemie.ch

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG
Peter Gerber, BAFU, Fachbereich Ökobilanzen
Norbert Egli, Vertretung BAFU Sektion Konsum und Produkte, Tridee GmbH
Michael Pöll, AHB Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500996-01

BAFU-Vertrags- und Projektnummer: 10.0041.PJ / N043-0527, O022-2110

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

C	DÄMMBETON MIT LEICHTZUSCHLAG	C-1
C.1	Untersuchungsrahmen	C-1
C.1.1	Bilanzierte Produkte	C-1
C.1.1.1	Schaumglasschotter	C-1
C.1.1.2	Dämmbeton	C-2
C.1.2	Funktionelle Einheit	C-3
C.1.2.1	Schaumglasschotter	C-3
C.1.2.2	Dämmbeton	C-3
C.1.3	Systemgrenzen	C-3
C.1.3.1	Herstellung Schaumglasschotter	C-3
C.1.3.2	Entsorgung Schaumglasschotter	C-4
C.1.3.3	Herstellung Dämmbeton	C-5
C.1.3.4	Entsorgung Dämmbeton	C-6
C.1.4	Allokation	C-6
C.1.4.1	Schaumglasschotter	C-6
C.1.4.2	Dämmbeton	C-6
C.1.5	Marktsituation Schweiz	C-6
C.1.6	Abschneidekriterien	C-6
C.1.6.1	Verpackung Schaumglasschotter	C-6
C.1.6.2	Emissionen Dämmbetonherstellung und Verarbeitungsabfälle	C-6
C.1.7	Zeitliche und geografische Gültigkeit	C-7
C.1.8	Datenquellen und Datenqualität	C-7
C.2	Sachbilanzdaten	C-7
C.2.1	Schaumglasschotter	C-7
C.2.2	Dämmbeton	C-9
C.3	Resultate	C-10
C.4	Literaturverzeichnis	C-12

C Dämmbeton mit Leichtzuschlag

C.1 Untersuchungsrahmen

C.1.1 Bilanzierte Produkte

In Zusammenarbeit mit Misapor AG wurden Umweltproduktdeklarationen für Schaumglasschotter und Dämmbeton erstellt. Schaumglasschotter wird u.a. für die Herstellung von Dämmbeton eingesetzt. Die Umweltproduktdeklaration von Schaumglasschotter wurde vom Institut Bauen und bereits Umwelt verifiziert und veröffentlicht (Institut Bauen und Umwelt e.V., 2015). Eine Umweltproduktdeklaration für Dämmbeton befindet sich noch in Ausarbeitung.

C.1.1.1 Schaumglasschotter

MISAPOR Schaumglasschotter ist ein künstlich hergestelltes und gebrochenes Korngemisch, das durch Aufblähen von gemahlenem Altglas hergestellt wird. Die typische Schüttdichte (trocken) liegt im Bereich von etwa 125 bis 190 kg/m³. Der Wärmedämmstoff "MISAPOR" wird in mehreren Fraktionen hergestellt.

Die Wärmedämmschüttung wird in Abhängigkeit von der Körnung wie folgt bezeichnet:

in der Körnung ≤ 50 mm "MISAPOR 10/50" (Typische Schüttdichte 165 kg/m³)

in der Körnung ≤ 75 mm "MISAPOR 10/75" (Typische Schüttdichte 130 kg/m³)

Für den Nachweis der Wärmeleitfähigkeit wird der Lambdawert in Anlehnung an die EN 12667 gemessen.

Gemäss ETA 13/0549 Abschnitt 2.5 resultieren folgende Werte:

MISAPOR 10/50 0,103 (W/m· K)

MISAPOR 10/75 0,082 (W/m· K)

Übliche Anwendungen sind die Wärmedämmung/Frostschutzschicht unter Fundamenten oder Gründungsplatten und in Bereichen mit Bodenfrost sowie als Leichtschüttung und als Leichtzuschlag in Dämmbeton. Unter Tragwerken wird das Schüttmaterial verdichtet, um eine optimale Tragfähigkeit zu erhalten, allerdings ohne übermäßige Kornzertrümmerung. Grundsätzlich wird das Material im Verhältnis 1,3:1 verdichtet. Die Verdichtung kann jedoch je nach Anwendungsbereich angepasst werden.

Bereiche für den Einsatz im Hoch- und Tiefbau sind:

- Wärmedämmung/Frostschuttschicht unter lastabtragenden Gründungsplatten (bei vorwiegend ruhender Belastung)
- Wärmedämmschicht/Frostschuttschicht unter Bodenplatten ohne lastabtragende Funktion
- Kapillarbrechende und drainierende Schicht im Grund- und Erdbau
- Leichtschüttung

C.1.1.2 Dämmbeton

MISAPOR Dämmbeton ist ein Leichtbeton dessen Zuschlag zu 100% aus MISAPOR Schaumglasschotter besteht. Der Beton ist ein geregeltes Bauprodukt und stimmt mit den gängigen Normen überein.

Vorwiegend wird er in qualitativ hochwertigen Sichtbetonwänden verwendet. Damit auch die hohen Anforderungen der MINERGIE erfüllt werden können, kann das patentierte Kerndämmsystem angewendet werden.

Die technischen Eigenschaften von Dämmbeton sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Eigenschaften Dämmbeton

MISAPOR Dämmbeton LC8/9	
Festigkeitsklasse	LC8/9
EN 206-1:2000	XC4 XF1 XD1
SN EN 206-1/NE:2013	XC2(CH), F3, D _{max} 32, D1/1.2
Elastizitätsmodul	$E_{cm} = 9'000 \text{ N/mm}^2$
Biegezugfestigkeit	$f_{ctm} = 1.6 \text{ N/mm}^2$
Schwinden	$\epsilon_{cs28} = -0.44\text{‰}$; $\epsilon_{cs56} = -0.52\text{‰}$; $\epsilon_{cs364} = -0.70\text{‰}$
Kriechen	Kriechbelastung 3N/mm^2
Kriechzahl	$\Phi = (364 \text{ Tage}) 0.9$
Wärmeleitfähigkeit MISAPOR Beton	$\lambda = 0.27 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Wärmeausdehnungskoeffizient	$\alpha_{th} = 12.1 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$
Diffusionsstromdichte	$g = 538.5 \text{ mg/(h}\cdot\text{m}^2)$
Diffusionsdurchlasskoeffizient	$W = 0.3835 \text{ mg/(h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{Pa)}$
Diffusionswiderstand total	$Z = 2.607 \text{ h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{Pa/mg}$
Diffusionsleitkoeffizient	$\delta = 0.0031 \text{ mg/(m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa)}$
Diffusionswiderstandszahl	$\mu = 22.6$
Rohdichte	1130 kg/m^3

C.1.2 Funktionelle Einheit

C.1.2.1 Schaumglasschotter

Die Ökobilanzen wurden pro Kilogramm MISAPOR Schaumglasschotter berechnet. In den veröffentlichten Umweltproduktdeklarationen erfolgte eine Umrechnung auf das Volumen (1 m^3) mit den typischen Schüttdichten für die Körnungen 10/50“ und 10/75“.

C.1.2.2 Dämmbeton

Die Ökobilanz bezieht sich auf 1 m^3 MISAPOR Dämmbeton. Da die Indikatoren anderer Betonsorten in der KBOB-Liste pro Kilogramm ausgewiesen werden, wurden die Ökobilanzresultate von Dämmbeton mittels der Rohdichte von 1130 kg/m^3 auf 1 kg umgerechnet.

C.1.3 Systemgrenzen

C.1.3.1 Herstellung Schaumglasschotter

Es wurde eine Ökobilanz für Schaumglas ab Werktor (cradle to gate) erstellt.

In den folgenden Abschnitten werden die Eingangs- und Ausgangsströme genauer beschrieben:

Eingangsströme

Rohstoffe

- Altglas: Die Systemgrenze für Altglas wurde bei der „Altglas-Sammelstelle“, d.h. bei der rezyklierenden Organisation in der Schweiz gezogen. Das Altglas wird in gebrochener Form von Misapor eingekauft und wird somit ab dem Punkt bilanziert an dem es das Ende der Abfalleigenschaften erreicht hat.
- Siliziumcarbid (SiC), aufbereitet aus Abfällen die beim Drahtsägen von Silizium Wafers (Herstellung Solarzellen) anfallen. Bezogen bei zwei Lieferanten (Deutschland, Norwegen). Es wurde die gesamte Aufbereitung in der Bilanzierung berücksichtigt, da jener Teil des Prozesses welcher zur Erreichung des Endes der Abfalleigenschaften erforderlich ist, in den Hintergrunddaten nicht separat vorhanden ist.
- Kalk, (gemahlen aus CH-Herstellung)

Verbrauchsmaterialien Produktion

- Stahlbänder für Bandöfen
- Wasser

Energieträger Produktion

- Strom für den Mahlprozess und das Schäumen von Schaumglasschotter
- Erdgas für die Beheizung des Trommeltrockners (Glastrocknung)
- Diesel für Nutzfahrzeuge

Transporte

- LKW-Transport von Altglas (zentrale Verarbeitungsstelle nach Dagmersellen)
- LKW-Transport von SiC und Kalk (Hersteller nach Dagmersellen)
- LKW-Transport der Abfälle zur Entsorgung
- LKW- und Bahntransport der Stahlbänder

Ausgangsströme

- Produkte: MISAPOR 10/25, MISAPOR 10/50, MISAPOR 10/75, MISAPOR Feinsand
- Abfälle zur Verbrennung in der kommunalen KVA
- Abfälle zur Deponie: Produktionsabfälle (Deponierung als Inertstoffe)
- Stahlbänder sowie Aluminium und Stahl aus der Altglasaufbereitung gehen ins Recycling
- Abwasser zur Behandlung in der kommunalen ARA
- Wasserdampf (Verdunstung)
- Abgase aus Brenn- und Treibstoffen

Vernachlässigte Elemente

- Verpackungsmaterial Big Bags, denn diese werden beinahe vollständig recycelt

Abgesehen von der Verpackung wurden keine anderen Inputs oder Outputs vernachlässigt.

Die Abbildung unten zeigt die verschiedenen Stoff- und Energieflüsse für das Werk Dagmersellen.

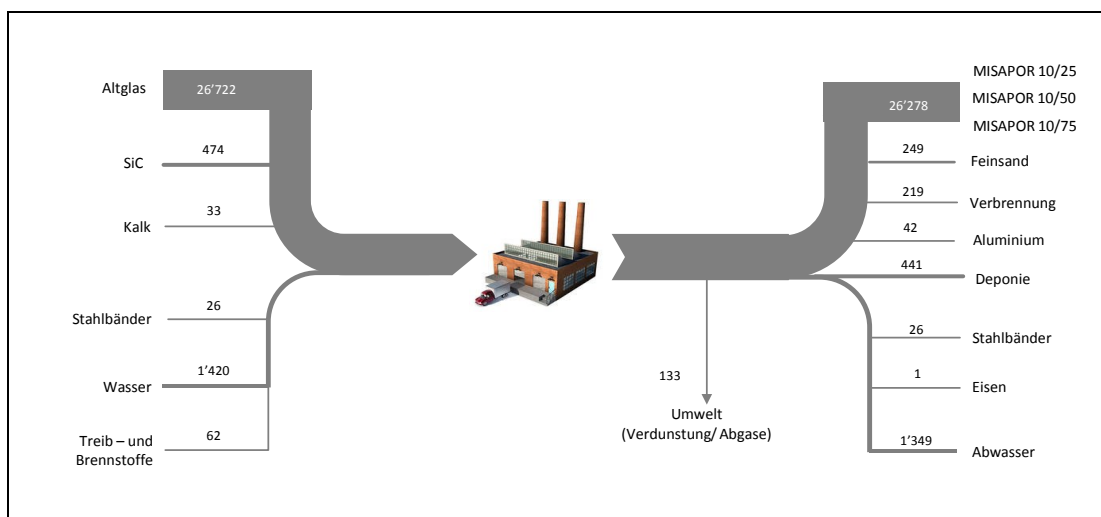


Abbildung 1: Stoff- und Energieflüsse Werk Dagmersellen 2013

C.1.3.2 Entsorgung Schaumglasschotter

Die Entsorgung von Schaumglas wurde mit einem ecoinvent Standard Datensatz für die Entsorgung mineralischen Abfällen modelliert (siehe Kapitel C.2).

C.1.3.3 Herstellung Dämmbeton

Es wurde eine Ökobilanz für Dämmbeton ab Werktor (cradle to gate) erstellt. Dabei wurden folgende Prozesse und Stoffströme berücksichtigt:

Eingangsströme

Rohstoffe

MISAPOR Schaumglas 10/50

- Zement
- Zusatzmittel
- Wasser
- Kunststofffasern

Energieträger Produktion

- Strom für den Mischprozess
- Diesel für Nutzfahrzeuge und Brechprozess

Transporte

- LKW-Transport Schaumglasschotter von Dagmersellen nach Glattfelden
- LKW-Transport der Lieferanten von Zement, Zusatzmittel und Kunststofffasern nach Glattfelden (CH-Lieferanten)

Ausgangsströme

- Produkte: MISAPOR Dämmbeton LC8/9

Die Abbildung unten zeigt die verschiedenen Stoff- und Energieflüsse für das Werk Glattfelden.

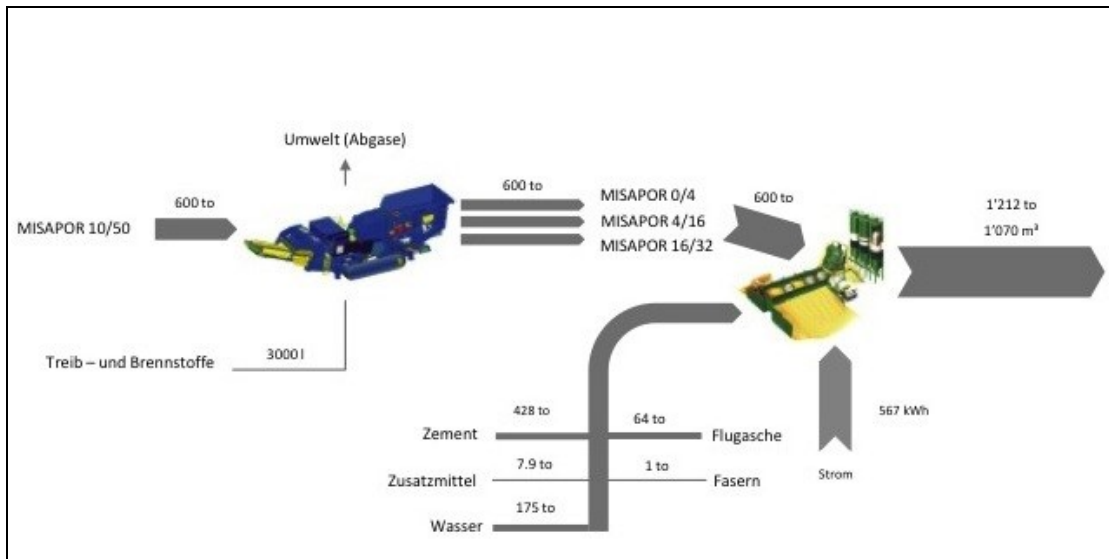


Abbildung 2: Stoff- und Energieflüsse Werk Glattfelden 2013

C.1.3.4 Entsorgung Dämmbeton

Die Entsorgung von Dämmbeton wurde mit einem ecoinvent Standard Datensatz für die Entsorgung von Beton modelliert (siehe Kapitel C.2).

C.1.4 Allokation

C.1.4.1 Schaumglasschotter

Am Standort Dagmersellen werden die Produkte MISAPOR 10/25, 10/50, 10/75 und Feinsand hergestellt. Die im Werk erhobenen Stoff- und Energieströme wurden über die Masse der jährlichen Produktionsmenge auf ein Kilogramm Schaumglas bezogen.

C.1.4.2 Dämmbeton

Am Standort Glattfelden konnten keine Daten zur Gesamtproduktion erhoben werden. Es waren deshalb keine Allokationen erforderlich. Der Stromverbrauch des Betonmischers wurde aufgrund der Leistung des Mixers und der Mischdauer berechnet. Der Dieserverbrauch der Brechanlage wird der Misapor AG in Rechnung gestellt und war deshalb bekannt. Die stofflichen Inputs beruhen auf der durchschnittlichen Rezeptur des Dämmbetons.

C.1.5 Marktsituation Schweiz

Es kann davon ausgegangen werden, dass der in der Schweiz verbauten Dämmbeton in der Schweiz hergestellt wird. Beim Schaumglasschotter dürfte die Misapor AG den grössten Marktanteil in der Schweiz haben. Geringere Mengen werden allerdings auch aus dem Ausland geliefert. Weitere Anbieter von Schaumglasschotter sind Vetropor (Schweiz) und Technopor (Österreich, Deutschland). Die Produktion von Vetropor Schaumglasschotter erfolgt in Schweden.

C.1.6 Abschneidekriterien

C.1.6.1 Verpackung Schaumglasschotter

Die zur Verpackung teilweise verwendeten Big Bags werden mehrfach wiederverwendet, am Ende ihrer Einsatzfähigkeit gelangen sie zur Verbrennung in die KVA. Die Lebensdauer ist abhängig vom Einsatzort und auch von der Sorgfalt beim Umgang mit diesen. Typischerweise kommen die Big Bags aber zwischen 20 – 100 Mal zum Einsatz (im Jahr 2013 wurden nur wenig neue Gebinde eingekauft). Dieses Verpackungsmaterial wurde in der Ökobilanz nicht berücksichtigt.

C.1.6.2 Emissionen Dämmbetonherstellung und Verarbeitungsabfälle

Mögliche Staubemissionen und Emissionen in Gewässer die während dem Brechen und Mischen entstehen könnten, wurden nicht berücksichtigt, da hierzu keine Daten

vorhanden waren. Ebenso wurden Materialverluste (Schaumglas, Zement etc.) die während dem Brechen und Mischen entstehen nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass diese Prozesse weniger als 5% der untersuchten Umwelteinwirkungen ausmachen.

C.1.7 Zeitliche und geografische Gültigkeit

Die Produktion von Schaumglas erfolgt seit 1987 in Surava und seit 2002 in Dagmersellen. Ein weiteres Werk befindet sich seit 2010 in Italien. Die Produktion im Werk Dagmersellen ist jedoch massgeblich für die Abdeckung der Kapazität. In Dagmersellen werden knapp 200'000 m³ Schaumglasschotter pro Jahr hergestellt. Das Werk ist somit repräsentativ für alle neueren Anlagen. In Surava gibt es zwar Anlageabweichungen, die Prozesse sind aber grundsätzlich identisch und vergleichbar.

MISAPOR Dämmbeton wird in zertifizierten Partnerwerken produziert. Dabei werden in der Schweiz pro Jahr knapp 30 Objekte erstellt. Als Referenz für die Untersuchung gilt das Werk der Toggenburger AG in Glattfelden.

Die erhobenen Daten von Schaumglas und Dämmbeton beziehen sich auf das Jahr 2013.

C.1.8 Datenquellen und Datenqualität

Die Qualität der Daten die bei Misapor AG erhoben wurden, kann als gut bezeichnet werden. Alle stofflichen Ein- und Ausgangsgrössen wurden entweder messtechnisch am Werkstor (Produkte) erfasst oder sind aufgrund der Liefermengen (Rohstoffe) bekannt. Die bezogenen Energiemengen sind ebenfalls aufgrund der Liefermengen bekannt. Wo möglich wurden regional spezifische Hintergrunddaten aus ecoinvent v2.2 verwendet. Die Hintergrunddaten sind teilweise deutlich älter als 10 Jahre, allerdings liess sich dies aufgrund der verwendeten Datenbank nicht vermeiden. Die Ökobilanzdaten im Baubereich in der KBOB-Liste hingegen werden mit den aktuelleren Hintergrunddaten aus ecoinvent v2.2+ berechnet. Aus diesem Grund dürften die Daten welche in der KBOB-Liste veröffentlicht werden von den Ökobilanzresultaten im vorliegenden Bericht abweichen.

C.2 Sachbilanzdaten

C.2.1 Schaumglasschotter

Die bei Misapor erhobenen Daten sind vertraulich. Es werden deshalb hier nur die Hintergrunddaten aus ecoinvent angegeben mit denen die verschiedenen Prozesse sowie Stoff- und Energieflüsse modelliert wurden (siehe Tabelle 2). Die Tabelle zeigt zudem die Referenzperiode der verwendeten Datensätze und ihre Repräsentativität. Im Rahmen der Erstellung der EPD wurde die Ökobilanz extern verifiziert.

Die Ökobilanzstudie wurde in Anlehnung an die Anforderungen der Produktkategorieregeln (Institut Bauen und Umwelt e.V., 2013) (Institut Bauen und Umwelt e.V., 2014) basierend auf EN 15804 durchgeführt.

Tabelle 2: Verwendete Hintergrunddaten für die Bilanzierung von Misapor Schaumglasschotter

Input	ecoinvent v2.2	Jahr	Repräsentativität
Altglas	glass, from public collection, unsorted, RER, [kg]	2000	Durchschnittssituation für Europa
Aktivator (SiC)	silicon carbide, recycling, at plant, RER, [kg]	2005-2006	Daten zur Aufbereitung von Abfällen die beim Drahtsägen von Silizium Wafers anfallen. Produktionsverhältnisse in Europa.
Kalk	limestone, milled, loose, at plant, CH, [kg]	2000-2002	Spezifisch für die Herstellung in der Schweiz.
Stahlbänder	steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	2000-2002	Europäische Durchschnittsdaten
	sheet rolling, steel, RER, [kg]	1997-2002	
Wasser	tap water, at user, CH, [kg]	2000	Spezifische Daten für die Schweiz.
Diesel	diesel, burned in building machine, GLO, [MJ]	1996-2001	Durchschnittsdaten für interne Transporte z.B. Pneu-lader. Berücksichtigt Verbräuche von Treibstoff, Schmieröl und Emissionen in die Luft.
Erdgas	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW, RER, [MJ]	2000	Durchschnittsdaten Europa. Berücksichtigt Gas ab Netz, Infrastruktur (boiler), Emissionen in die Luft und Strom für den Betrieb.
Strom	electricity, medium voltage, at grid, CH, [kWh]	2004-2007	Versorgungsmix Schweiz
Infrastruktur	foam glass plant, BE, [unit]	2005	Daten Foamglas
Abfälle in Verbrennung (Abfälle Etiketten aus der Aufbereitung Altglas)	disposal, packaging paper, 13.7% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1994-2000	Daten Schweiz
Abfälle in Deponie	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill, CH, [kg]	1995	Daten Schweiz.
Abwasser	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3, CH, [m3]	1994-2000	Durchschnittliche Technologie in der Schweiz
Transporte	transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	2005	Inklusive Infrastruktur. Durchschnittsdaten für die Situation in der Schweiz

Input	ecoinvent v2.2	Jahr	Repräsentativität
	transport, lorry >16t, fleet average, RER, [tkm]	2005	Inklusive Infrastruktur. Durchschnittsdaten für Europa.
	transport, freight, rail, RER, [tkm]	2000	Inklusive Infrastruktur. Durchschnittsdaten für Europa.

Die Entsorgung von Schaumglasschotter am Ende des Lebenszyklus wurde mit dem ecoinvent Datensatz „disposal, inert waste, 5%, to inert material landfill, CH [kg]“ modelliert.

C.2.2 Dämmbeton

Die bei Misapor erhobenen Daten sind vertraulich. Es werden deshalb hier nur die Hintergrunddaten aus ecoinvent angegeben mit denen die verschiedenen Prozesse sowie Stoff- und Energieflüsse modelliert wurden (siehe Tabelle 3). Die Tabelle zeigt zudem die Referenzperiode der verwendeten Datensätze und ihre Repräsentativität. Im Rahmen der Erstellung der EPD wird die Ökobilanz extern verifiziert.

Die Ökobilanzstudie wurde in Anlehnung an die Anforderungen der Produktkategorieregeln (Institut Bauen und Umwelt e.V., 2013) (Institut Bauen und Umwelt e.V., 2012) basierend auf EN 15804 durchgeführt.

Tabelle 3: Verwendete Hintergrunddaten für die Bilanzierung von Misapor Dämmbeton

Input	Hintergrunddaten	Jahr	Repräsentativität
0/32 Misapor	Daten EPD MISAPOR Schaumglas	2013	Hersteller spez. Daten modelliert mit ecoinvent v2.2
Wasser	tap water, at user, CH, [kg]	2000	Spezifische Daten für die Schweiz
CEM III/B 32.5 N (Modero 3B)	blast furnace slag cement, at plant, CH, [kg]	1997-2001	Hochofenzement, Durchschnitt Produktion CH
HBV-VZ Glenium C327	polycarboxylates, 40% active substance, at plant, RER, [kg]	1993-1998	Fließmittel / Verzögerer mit 22.5% Wirkstoffkonzentration (Polycarboxylate)
	tap water, at user, CH, [kg]	2000	
MasterMatrix 100	chemicals organic, at plant, GLO, [kg]	2000	Proxy für Wirkstoff. Viskositätsmodifizierer, wässrige Lösung eines hochmolekularen synthetischen Copolymers, 2% Feststoffgehalt
	tap water, at user, CH, [kg]	2000	
Mastercell 150	ethoxylated alcohols (AE7), petrochemical, at plant, RER, [kg]	1992-1995	Wässrige Lösung von synthetischen Tensiden, Feststoffgehalt 10%
	tap water, at user, CH, [kg]	2000	
Fibrofor Standard 190	polypropylene, granulate, at plant, RER, [kg]	1999-2001	Proxy für Polyolefin Fasern

Input	Hintergrunddaten	Jahr	Repräsentativität
	extrusion, plastic film, RER, [kg]	1993-1997	
Diesel	diesel, burned in building machine, GLO, [MJ]	1996-2001	Berücksichtigt Maschine und Emissionen
Strom	electricity, medium voltage, at grid, CH, [kWh]	2004-2007	Versorgungsmix Schweiz
Infrastruktur	concrete mixing plant, CH, [unit]	1997-2001	Daten aus der Betonherstellung CH
Transporte	transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	2005	Inklusive Infrastruktur. Durchschnittsdaten für die Situation in der Schweiz.

Die Entsorgung von Dämmbeton wurde mit dem ecoinvent Datensatz „disposal, building, concrete, not reinforced, to final disposal, CH [kg]“ modelliert.

C.3 Resultate

Tabelle 4 und Tabelle 5 zeigen die Ökobilanzdaten für die Herstellung und Entsorgung von MISAPOR Schaumglas und Dämmbeton.

Tabelle 4: Ökobilanz Herstellung

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
MISAPOR Schaumglas - CH	kg	2.50E+02	6.01E+00	5.31E+00	1.15E-01
MISAPOR Dämmbeton - CH	kg	2.77E+02	4.51E+00	4.09E+00	2.33E-01

Tabelle 5: Ökobilanz Entsorgung

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
MISAPOR Schaumglas - CH	kg	1.33E+01	1.98E-01	1.97E-01	6.28E-03
MISAPOR Dämmbeton - CH	kg	3.28E+01	3.08E-01	3.06E-01	1.22E-02

Eine Analyse der Resultate zeigt, dass die Ökobilanzdaten für die Herstellung von Schaumglas zu einem beträchtlichen Teil vom Stromverbrauch beeinflusst werden (siehe Abbildung 3). Der Strom macht 50 bis 80% vom Gesamtergebnis bezüglich

Primärenergie nicht erneuerbar (PNE), Treibhausgasemissionen (GWP) und Umweltbelastungspunkten (UBP) aus. Weiterhin machen die Rohstoffe (vor allem Siliziumcarbid) zwischen 10 bis 30% der Indikatorergebnisse aus.

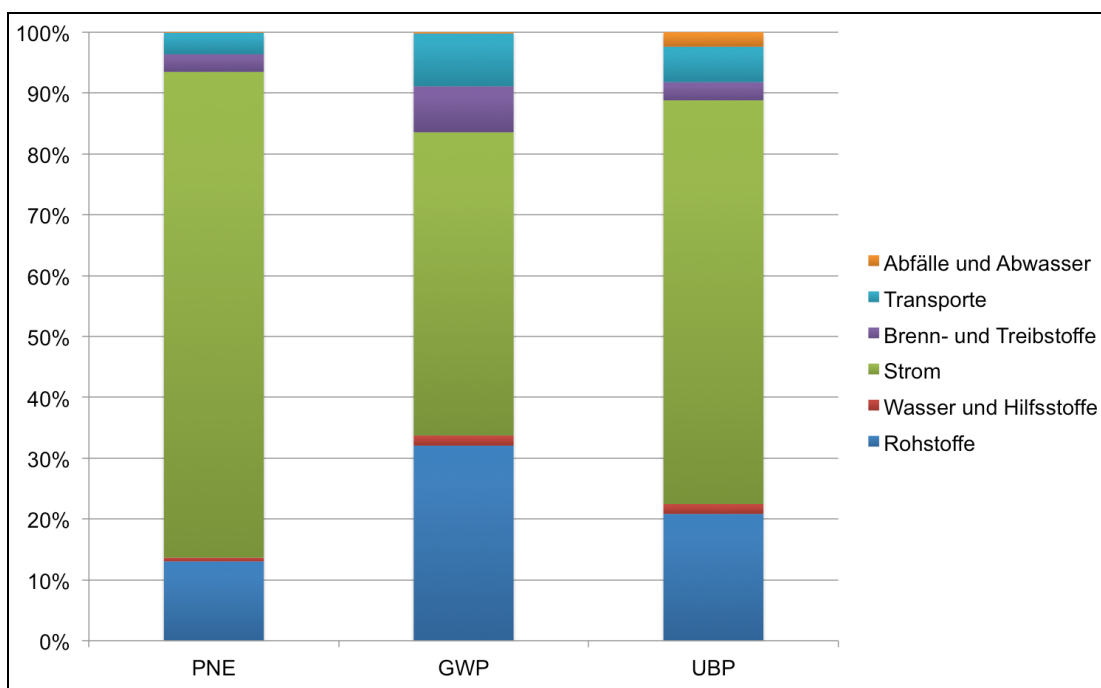


Abbildung 3: Dominanzanalyse Herstellung Schaumglas

Bei den Ökobilanzdaten von Dämmbeton haben die Ausgangsstoffe Schaumglas und Zement den grössten Einfluss auf die Ergebnisse. Zusammen machen sie gut 90% der jeweiligen Resultate für Primärenergie nicht erneuerbar (PNE), Treibhausgasemissionen (GWP) und Umweltbelastungspunkten (UBP) aus.

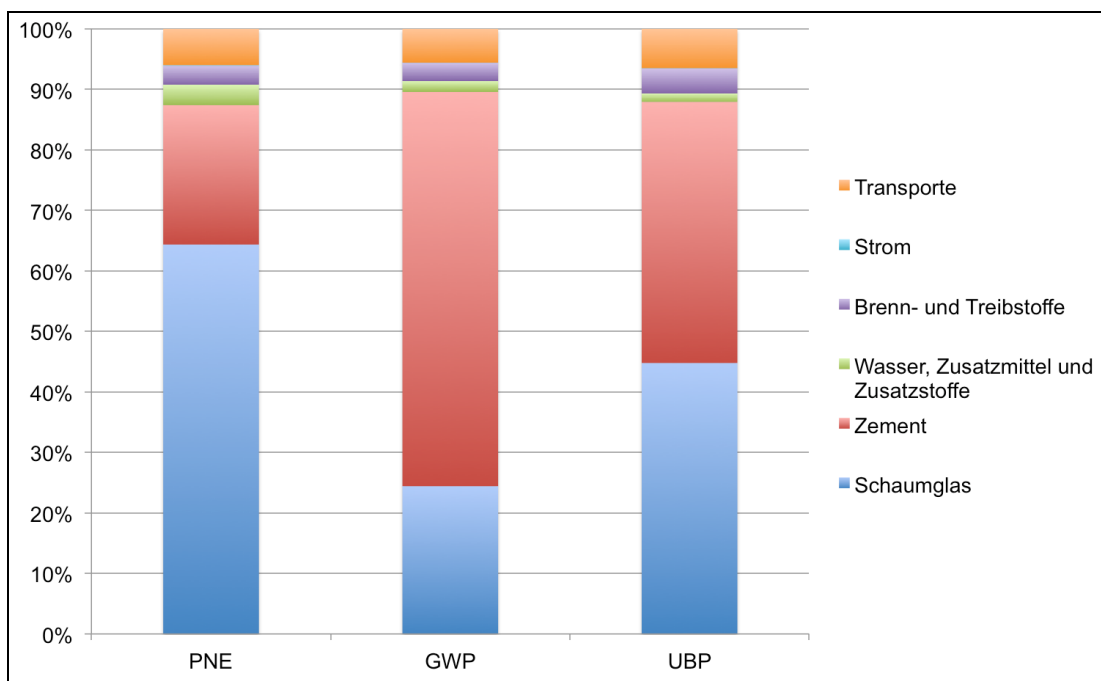


Abbildung 4: Dominanzanalyse Herstellung Dämmbeton

C.4 Literaturverzeichnis

Institut Bauen und Umwelt e.V. (7. November 2012) *PCR Anleitungstexte für gebäudebezogene Produkte und Dienstleistungen, Teil B: Anforderungen an die EPD für Leichtbeton*. IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V.

Institut Bauen und Umwelt e.V. (4. März 2013) *Produktkategorieregeln für gebäudebezogene Produkte und Dienstleistungen, Teil A: Rechenregeln für die Ökobilanzen und Anforderungen an den Hintergrundbericht*. Institut Bauen und Umwelt e.V.

Institut Bauen und Umwelt e.V. (30. Juli 2014) *PCR Anleitungstexte für gebäudebezogene Produkte und Dienstleistungen, Teil B: Anforderungen an die EPD für mineralische Dämmstoffe*. Institut Bauen und Umwelt e.V.

Institut Bauen und Umwelt e.V. (23. Februar 2015) *MISAPOR Schaumglas 10/50, Deklarationsnummer: EPD-MIS-20150020-IAA1-DE*. Abgerufen von www.bau-umwelt/https://epd-online.com



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht, Januar 2016

Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich"

Projekt QualiBOB
Teilbericht D: Gipswerkstoffe

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Hochbauten Stadt Zürich
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Auftragnehmer:

Projektteam QualiBOB

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

Ueli Kasser, Büro für Umweltchemie, u.kasser@umweltchemie.ch (Projektleitung)
Matthias Klingler, Büro für Umweltchemie, m.klingler@umweltchemie.ch
Daniel Savi, Büro für Umweltchemie, d.savi@umweltchemie.ch

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG
Peter Gerber, BAFU, Fachbereich Ökobilanzen
Norbert Egli, Vertretung BAFU Sektion Konsum und Produkte, Tridee GmbH
Michael Pöll, AHB Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500996-01

BAFU-Vertrags- und Projektnummer: 10.0041.PJ / N043-0527, O022-2110

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

D	GIPSWERKSTOFFE.....	D-1
D.1	Untersuchungsrahmen	D-1
D.1.1	Bilanzierte Produkte.....	D-1
D.1.2	Funktionelle Einheit	D-1
D.1.3	Systemgrenzen.....	D-3
D.1.3.1	Herstellung & Verpackung.....	D-3
D.1.3.2	Regionallager Schweiz.....	D-4
D.1.3.3	Entsorgung.....	D-5
D.1.4	Allokation	D-5
D.1.5	Marktsituation Schweiz	D-5
D.1.6	Abschneidekriterien	D-6
D.1.7	Zeitliche und geografische Gültigkeit	D-6
D.1.8	Datenquellen und Datenqualität.....	D-7
D.2	Sachbilanzdaten.....	D-7
D.3	Resultate	D-15
D.3.1	Ökobilanzergebnisse der Vorprodukte.....	D-15
D.3.2	Ökobilanzergebnisse der Gipsplatten	D-16
D.4	Diskussion	D-17
D.4.1	Vergleich mit KBOB-Empfehlung der Ökobilanzdaten 2014	D-17
D.4.2	Unterschiede zu den EPD-Ergebnissen	D-19
D.5	Literaturverzeichnis	D-21

D Gipswerkstoffe

D.1 Untersuchungsrahmen

D.1.1 Bilanzierte Produkte

Unter dem Titel der Gipswerkstoffe werden die Bilanzen der drei häufigsten Gipsplattentypen beschrieben. Die Daten des Verbands der Gipsindustrie werden zudem in der Ökobilanzierung von Gipsputzen verwendet. Diese Bilanzierung wird im Teilbericht E zu den Putzen dokumentiert.

Die Gipsplatten werden in drei Typen unterschieden. Für alle drei Plattentypen wurden Ökobilanzdaten erarbeitet:

- Gipskartonplatten bestehen aus einem Gipskern, der mit einem Karton ummantelt wird.
- Gipsfaserplatten bestehen aus Gips, der in der Produktion mit Cellulosefasern versetzt wird.
- Vollgipsplatten oder Gips-Wandbauplatten bestehen aus homogenem Gips ohne Fasern oder Verbundmaterialien.

Für eine Reihe von Vorprodukten wurden ebenfalls Ökobilanzen erstellt. Die Bilanzen basieren auf veröffentlichten Daten aus dem Projekt "Grunddatensätze Gips und Gipsprodukte" (Kreißig et al., 2007) und den Angaben im Gipshandbuch des Verbandes der Gipsindustrie (BV Gips, 2006). Folgende Vorprodukte wurden bilanziert:

- Thermischer Anhydrit II aus REA-Gips (Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen)
- Gips α -Halbhydrat aus REA-Gips
- Gips β -Halbhydrat aus REA-Gips
- Gips β -Halbhydrat aus Naturgips (Primärgips)
- Synthetischer Anhydrit II aus Flusssäuresynthese (Koppelprodukt)

Anhydrit – genauer Anhydrit II – und α -Halbhydrat werden in der Herstellung von Gipsplatten nicht eingesetzt. Sie sind für die Herstellung von Anhydrit-Unterlagsböden und Gips-Putzen von Bedeutung.

D.1.2 Funktionelle Einheit

Die Gipsplatten werden jeweils pro m² Fläche bilanziert. Aus den Umweltproduktdeklarationen des deutschen Bundesverbands der Gipsindustrie wird das Flächengewicht von 10 kg/m² für Gipskarton- und Gipsfaserplatten und 84 kg/m² für Gips-Wandbauplatten übernommen. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die bilanzierten Gipsplatten, deren Charakteristik und das angenommene mittlere Flächengewicht.

Gemäss der technischen Dokumentation der Hersteller entspricht das Flächengewicht einer Gipskartonplatte von etwas über 12.5 mm Dicke (knauf, 2013; Rigips, 2009), gemäss Umweltproduktdeklaration einer Gipsfaserplatte von 12.5 mm Dicke (BVG, 2014) und gemäss Technischen Merkblättern je nach Hersteller einer Gips-Wandbauplatte von knapp 100 mm Dicke (VG-Orth, 2013), bzw. 84 mm Dicke (Rigips, 2015a). Die aufgeführten Rohdichten wurden denselben Quellen entnommen wie die Dicken, mit Ausnahme der Gipsfaserplatte, für die die Angabe aus der Dickenangabe und dem Flächengewicht in der Umweltproduktdeklaration berechnet wurde. Die Literatur gibt teilweise deutlich höhere Dichten an (Rigips, 2015b), womit auch das Flächengewicht für eine 12.5 mm dicke Platte bei deutlich höheren 15 kg/m² liegt.

Tabelle 1: Übersicht bilanzierter Gipswerkstoffe

Bilanzierte Produktgruppe	Charakteristik	Rohdichte [kg/m ³]	Flächengewicht [kg/m ²]	Funktionelle Einheit
Gipskartonplatte	Platten bestehen aus einem reinen Gipskern, der mit einem Karton vollflächig ummantelt wird.	≥ 680	10	1 m ²
Gipsfaserplatte	In der Plattenproduktion werden dem Gips Altpapier-Fasern beigemischt. Je nach Hersteller zusätzlich mineralischer Zuschlag. Daraus werden die Gipsfaserplatten gepresst oder gewalzt.	ca. 800	10	1 m ²
Gips-Wandbauplatte Gipsmassivbauplatte Vollgipsplatte	Die Platten bestehen aus massivem Gips ohne weitere Zusätze.	850-1000	84	1 m ²

Die Vorprodukte werden jeweils pro Kilogramm Produkt bilanziert. In der Tabelle 2 sind die bilanzierten Gipsarten mit ihren Rohdichten gemäss Gipsdatenbuch (BV Gips, 2006) ausgewiesen. Zu unterscheiden von der hier ausgewiesenen Rohdichte ist die Schüttdichte der jeweiligen Pulver, die deutlich geringer sind.

Tabelle 2: Übersicht bilanzierter Vorprodukte in der Herstellung von Gipswerkstoffen

Bilanzierte Vorproduktgruppe	Rohdichte [kg/m ³]	Funktionelle Einheit
Thermischer Anhydrit aus REA-Gips	2'930-2'970	1 kg
Gips α-Halbhydrat aus REA-Gips	2'757	1 kg
Gips β-Halbhydrat aus REA-Gips	2'619	1 kg
Gips β-Halbhydrat aus Naturgips (Primärgips)	2'619	1 kg
Synthetischer Anhydrit aus Flusssäuresynthese	2'930-2'970	1 kg

D.1.3 Systemgrenzen

D.1.3.1 Herstellung & Verpackung

Die Bilanzierung des Herstellungsprozesses umfasst den Abbau der Rohstoffe, die Aufbereitung der Rohstoffe zu Zwischenprodukten und die Herstellung des Endprodukts. Die Vorprodukte werden ohne Verpackung bilanziert. Die Produktion der Vorprodukte kann am selben Standort wie die Herstellung des Fertigprodukts erfolgen. Die Vorprodukte werden in diesem Fall in Silos zwischengelagert und nicht abgepackt. Falls die Vorprodukte in einer Produktionskette verpackt transportiert werden, ist dies bei der Bilanzierung der Endprodukte zu berücksichtigen.

Die Transportverpackung des verkaufsfertigen Produkts wird in einem eigenen Datensatz ausgewiesen. Herstellung und Transportverpackung zusammen ergeben die Ökobilanz des verkaufsfertigen Produkts ab Fabrikator. Sämtliche Transporte in der Herstellungskette werden berücksichtigt. Siehe dazu auch Abbildung 1.

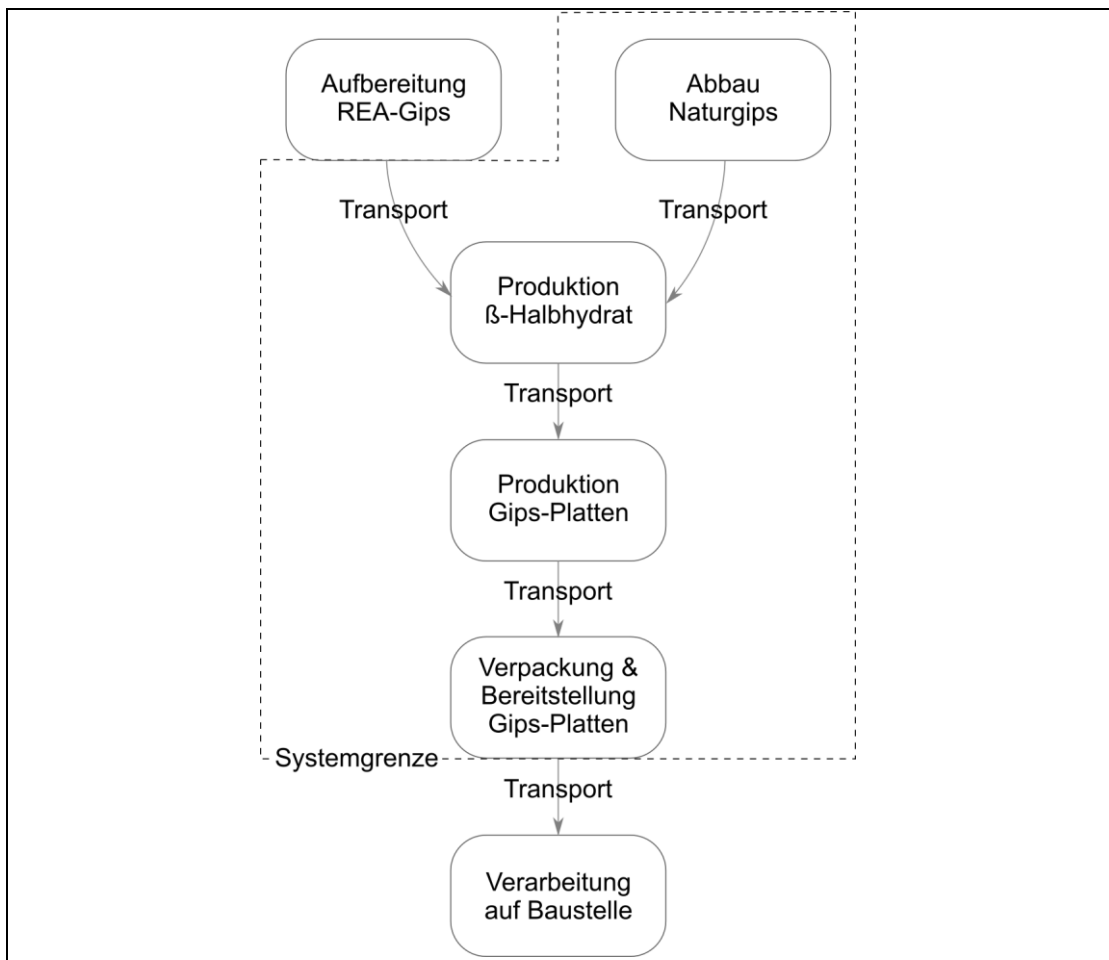


Abbildung 1: Ablaufschema des Herstellungsprozesses von Gipsplatten

Als Rohstoffe in der Gipsplatten-Herstellung kommen zum einen Naturgips aus dem Tagebau und zum anderen REA-Gips aus der Rauchgaswäsche von Kohlekraftwer-

ken zum Einsatz. Für den Naturgips fliesst der gesamte Aufwand für den Abbau und Transport ins Gipswerk in die Bilanz mit ein. Der REA-Gips gilt als Nebenprodukt der Rauchgaswäsche im Kohlekraftwerk und steht gemäss der ecoinvent-Bilanzierungsregeln frei Kraftwerk zur Verfügung (Dones et al., 2007). In die Bilanz der Gipsplattenherstellung fliesst der Transport vom Kraftwerk zum Gipswerk und die Aufbereitung zu Stuckgips (β -Halbhydrat) ein (Abbildung 2). Als weitere Rohstoffe kommen für die Gipskartonplatte Wasser und Karton zum Einsatz. Gipsfaserplatten enthalten Fasern aus Altpapier und je nach Hersteller auch mineralische Zuschlagstoffe. Zusatzmittel werden im Grammbereich pro m^2 Platte eingesetzt. Die Gips-Wandbauplatten, auch als Massivbauplatten oder Vollgipsplatten bezeichnet, bestehen aus reinem Gips.



Abbildung 2: Produktion Stuckgips (β -Halbhydrat) aus REA-Gips

Naturgips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) enthält 18.6 % Kristallwasser plus nicht gebundene Restfeuchte. Dieses wird in der Herstellung von β -Halbhydrat ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) teilweise ausgetrieben, womit das β -Halbhydrat abbindefähig wird. In der Herstellung von Gipsplatten aus β -Halbhydrat wird zunächst Prozesswasser im Überschuss beigegeben, um eine Halbhydrat-Suspension zu erhalten. Dabei werden 100 Teilen Gipshalbhydrat 137 Teile Wasser beigelegt (BV Gips, 2006). Wenn der Gips abbindet, werden erneut 18.6 % Wasser als Kristallwasser gebunden, das Überschusswasser verdampft.

Anhydrit aus REA-Gips wird auch als thermischer Anhydrit bezeichnet. Im Herstellungsprozess wird das im REA-Gips enthaltene Kristallwasser bei einer Temperatur von 300-500 °C (BV Gips, 2006) vollständig ausgetrieben, um Kristallwasser-freien Anhydrit (CaSO_4) zu erhalten. Die Herstellung von α -Halbhydrat erfolgt unter Druck in Autoklaven bei relativ tiefen Temperaturen von 100-150 °C (Kreißig et al., 2007). Synthetischer Anhydrit entsteht bei der Flusssäuresynthese aus Schwefelsäure und Flussspat als Koppelprodukt zur Flusssäure (BV Gips, 2006).

D.1.3.2 Regionallager Schweiz

Für alle Produkte, welche nicht in der Schweiz hergestellt werden, wird der Transport ins Regionallager Schweiz berücksichtigt. Die Schweizer Produktion von Gipswandbau- / Vollgipsplatten wurde mit einem Zuschlag von 10 % auf die Ökobilanzergebnisse der deutschen Produktion berücksichtigt. Dies gemäss den Methodenvorgaben der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich (Frischknecht, 2013). Für die Vorprodukte wird kein Datensatz für das Regionallager Schweiz erstellt. Siehe dazu auch das Kapitel D.1.5.

D.1.3.3 Entsorgung

Nach der Nutzungsphase werden Gipsplatten in der Inertstoffdeponie entsorgt. Für die Erstellung des Entsorgungsdatensatzes werden der Gipsanteil sowie im Falle der Gipskartonplatte der enthaltene Karton berücksichtigt. Beide Stoffe wurden mit den spezifischen ecoinvent-Datensätzen für Karton, respektive Gips in die Inertstoffdeponie berücksichtigt. Der Transport in die Deponie wurde mit der Standard-Transportdistanz gemäss ecoinvent 2.2-Methodik berücksichtigt (Frischknecht et al., 2007). Für die Vorprodukte wird kein Entsorgungs-Datensatz erstellt.

D.1.4 Allokation

Die modellierten Herstellungsprozesse weisen mit Ausnahme des synthetischen Anhydrits jeweils nur ein Hauptprodukt als Output auf. Somit erfolgte keine Allokation zwischen Haupt- und Nebenprodukten. In den Vorprozesse aus Ecoinvent können Allokationen vorgenommen worden sein. Diese sind in der Dokumentation zu ecoinvent 2.2 ausgewiesen.

Im Falle des synthetischen Anhydrits erfolgte die Allokation bereits bei der Erstellung der Sachbilanz in der Datenquelle (Kreißig et al., 2007). Synthetischer Anhydrit wird als Koppelprodukt der Flusssäuresynthese betrachtet. Die Allokation des Produktionsaufwands zwischen Flusssäure und Anhydrit wurde aufgrund des Preisverhältnisses zwischen Flusssäure und Anhydrit von ca. 20:1 vorgenommen.

D.1.5 Marktsituation Schweiz

In der Schweiz produziert lediglich ein Hersteller Gipsplatten mit Werken in Heimberg, Leissigen und Granges. Dabei handelt es sich um Vollgipsplatten, nach DIN-Norm als Gips-Wandbauplatten bezeichnet. Weiterhin importieren zwei weitere Hersteller Platten in die Schweiz. Gemäss den Marktabklärungen bei den Herstellern, bzw. Importeuren wird der Marktanteil der Importeure bei den Gips-Wandbauplatten auf rund 8 % geschätzt. Alle anderen Gipsplatten werden importiert, mit Deutschland als wichtigstem Importeur. Die Importmengen für Gipskarton- und Gipsfaserplatten wurden in Kontakten mit den drei wichtigen Importeuren abgeschätzt und in Tabelle 3 dokumentiert. Diese Angaben sind konsistent mit der Aussenhandelsstatistik für Gipskarton- und Gipsfaserplatten, die gemeinsam in einer Produktkategorie erfasst werden.

Tabelle 3: Abschätzung der Importmengen in die Schweiz

Produktgruppe	Importmenge [m ² Platten]
Gipskartonplatte	15 Mio.
Gipsfaserplatte	5.3 Mio.

Für die drei Hauptimporteure konnten alle Standorte der Produktionswerke ermittelt werden. Die Importmengen und Transportmittel für die einzelnen Plattentypen und die verschiedenen Produktionswerke wurden durch die Importeure deklariert. Sämtliche Transportwege wurden dann mit den Transportdistanzen aus den Werken und

deren Anteilen am Import berechnet. Es ergeben sich die Transportwege für den Transport ins Regionallager Schweiz gemäss Tabelle 4.

Tabelle 4: Durchschnittliche Transportdistanzen ins Regionallager Schweiz

Produktgruppe	Strasse [km]	Bahn [km]
Gipskartonplatte	450	160
Gipsfaserplatte	610	0
Gips-Wandbauplatte	500	0

D.1.6 Abschneidekriterien

Sämtliche verfügbaren Daten wurden in der Ökobilanz berücksichtigt, es wurden keine Daten aufgrund eines Abschneidekriteriums vernachlässigt. Falls nötig wurden fehlende Daten durch Annahmen ergänzt, diese sind im Kapitel D.2 dokumentiert. Im Output wird die Abwärme aus der Energienutzung vernachlässigt.

D.1.7 Zeitliche und geografische Gültigkeit

Die Datengrundlage für die in Deutschland produzierten Gipsplatten bezieht sich auf den Produktionsstandort Deutschland. Die Daten wurden Anfang 2013 erfasst. Die Hintergrunddaten für Rohstoffe und Prozesse stammen teilweise aus der Datenbank Ecoinvent 2.2 und unterscheiden sich in ihrer Aktualität, wie in Tabelle 5 für die nicht vertraulichen Sachbilanzen ausgewiesen. Die Datensätze sind in der Reihenfolge ihres Erscheinens im nachfolgenden Kapitel D.2 aufgeführt.

Tabelle 5: Aktualität der Ecoinvent-Daten für Rohstoffe zur Gipsplatten-Herstellung

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Wasser	tap water, at user – RER	2000
Schmiermittel	lubricating oil, at plant – RER	2000
Gips-Abbau	gypsum, mineral, at mine – CH	1997
Flussspat	feldspar, at plant – RER	1993
Schwefelsäure	sulphuric acid, liquid, at plant – RER	2001
Natronlauge	sodium hydroxide, 50% in H ₂ O, production mix, at plant – RER	2000
Transportpaletten	EUR-flat pallet – RER	2000
Produktionsabfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Produktionsabfälle in Deponie	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	1995
Produktionsabfälle in KVA	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration – CH	1994
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid – DE	1992
Erdgas	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW – RER	2000
Erdöl	heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW RER	2000

Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Transporte Vorprodukte	transport, freight, rail – DE	2000
Transporte Vorprodukte	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	2005
Transporte Abfälle Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	2005
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Brenner / Autoklav / Produktionsmaschine / Drehrohrofen	industrial machine, heavy, unspecified, at plant – RER	1999
Chemiewerk	chemical plant, organics - RER	2000
Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Gipsanteil in Inertstoffdeponie	disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill – CH	1995
Perlitanteil in Inertstoffdeponie	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	1995
Faseranteil in Inertstoffdeponie	disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to inert material landfill – CH	1995

D.1.8 Datenquellen und Datenqualität

Für die Erstellung der Ökobilanzen der Gipsplatten stellte der Bundesverband der Gipsindustrie e.V. die Sachbilanzdaten zur Verfügung (BV Gips, 2014). Dabei handelt es sich um die Durchschnittsdaten der Produktionsstandorte der Verbandsmitglieder in Deutschland. Im direkten Kontakt mit dem Autoren der deutschen Umweltproduktdeklarationen konnten offene Fragen zu den Daten geklärt werden (Stoffregen, 2015a, 2015b). Diese Daten wurden unter dem Vorbehalt der vertraulichen Behandlung zur Verfügung gestellt. Deshalb können in diesem Bericht keine Sachbilanzdaten zur Herstellung von Gipsplatten ausgewiesen werden. In der Produktion anfallende Abfälle und deren Verwertung wurden in den Daten des Bundesverbands Gipsindustrie bereits als Teil des Produktionsprozesses berücksichtigt und sind nicht im Detail bekannt. Gemäss den Informationen des BV Gips werden anfallende Abschnitte wieder vollständig in der Produktion eingesetzt (Kersten, 2015).

Die Ökobilanzen der Vorprodukte wurden aus den publizierten Daten des "Datenprojekts Grunddatensätze Gips und Gipsprodukte" erstellt und können vollständig dokumentiert werden (Kreißig et al., 2007).

Die Produktion der Vollgipsplatten in der Schweiz konnte leider nicht bilanziert werden, da die Firma Rigips nach anfänglicher Zusage doch keine Produktionsdaten bereitstellen wollte. Die Schweizer Produktion musste mit den Daten des Gipsverbandes und einem Zuschlag von 10 % gemäss den Methodenvorgaben der Plattform Ökobilanzdaten berücksichtigt werden (Frischknecht, 2013).

D.2 Sachbilanzdaten

Die Sachbilanzdaten der Gipsplatten-Produktion sind im vertraulichen Anhang Z zu Händen der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich ausgewiesen. In diesem Kapitel werden die Sachbilanzen zur Herstellung des thermischen Anhydrits aus REA-Gips, α -Halbhydrats aus REA-Gips, β -Halbhydrats aus REA-Gips, β -Halbhydrats aus Naturgips und synthetischen Anhydrits aus der Flusssäuresynthese ausgewiesen. Weiterhin werden die Sachbilanzdaten für den Transport der Platten in die

Schweiz, die Berechnung der Datensätze für das Regionallager Schweiz und die Entsorgung nach der Nutzung veröffentlicht.

Der Abbau des Naturgipses im Tagebau wurde nicht neu bilanziert. Für die Bilanzierung wird der bestehende Ecoinvent-Datensatz "gypsum, mineral, at mine – CH" verwendet. Dieser basiert auf der Bilanzierung des Abbaus in der Schweiz von (Coutalides, 1998).

Sämtliche Angaben zum Energieaufwand, den Hilfsstoffen und den Produktionsabfällen der Weiterverarbeitung des Natur- bzw. REA-Gipses zu Anhydrit, α -Halbhydrat und β -Halbhydrat stammen aus (Kreißig et al., 2007). In der Bilanzierung der Vorprodukte aus REA-Gips fließt der REA-Gips ab dem Kohlekraftwerk frei von Lasten in die Bilanz ein, weshalb er nicht im Rohstoffinput erscheint. Der REA-Gips wird per Bahn von den Kohlekraftwerken zu den Produktionsstandorten transportiert, die mittlere Transportdistanz beträgt 275 km (Kreißig et al., 2007). Für die Entsorgung der Produktionsabfälle wurden die Datensätze aus ecoinvent verwendet, die sich auf die Situation in der Schweiz beziehen. Die Abwärme wurde aus den Wasserdampf-Emissionen mit der Kondensationswärme von Wasser von 2.257 MJ/kg berechnet. Für die Infrastruktur sind keine Daten vorhanden. Als Abschätzung des Verschleisses wurde der Wert aus dem ecoinvent 2.2-Datensatz "anhydrite, burned, at plant" übernommen. In der Anhydritherstellung wird ein Brenner verwendet, in der Herstellung von α -Halbhydrat ein Autoklav.

Tabelle 6: Sachbilanz Anhydrit aus REA-Gips, Herstellung – DE

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Schmiermittel	lubricating oil, at plant – RER	kg	1.8*10 ⁻⁹
Produktionsabfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Produktionsabfälle in Deponie	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	1.3*10 ⁻⁴
Produktionsabfälle in KVA	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration – CH	kg	2*10 ⁻⁵
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid – DE	MJ	0.0925
Erdgas	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW – RER	MJ	1.56
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Vorprodukte	transport, freight, rail – DE	tkm	0.275
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Brenner	industrial machine, heavy, unspecified, at plant – RER	kg	1.39*10 ⁻⁴
Emissionen	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Wasserdampf	Water, DE – Elementary flows/air/low population density	kg	0.391
Abwärme	Heat, waste – Elementary flows/air/low population density	MJ	0.882
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Anhydrit aus REA-Gips, Herstellung	kg	1

Tabelle 7: Sachbilanz Gips α -Halbhydrat aus REA-Gips, Herstellung – DE

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Wasser	tap water, at user – RER	kg	0.242
Schmiermittel	lubricating oil, at plant – RER	kg	8*10 ⁻⁷
Produktionsabfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Produktionsabfälle in Deponie	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	1.3*10 ⁻⁴
Produktionsabfälle in KVA	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration – CH	kg	2*10 ⁻⁵
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid – DE	MJ	0.154
Erdgas	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW – RER	MJ	1.162
Erdöl	heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW RER	MJ	1.162
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Vorprodukte	transport, freight, rail – DE	tkm	0.275
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Autoklav	industrial machine, heavy, unspecified, at plant – RER	kg	1.39*10 ⁻⁴
Emissionen	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Wasserdampf	Water, DE – Elementary flows/air/low population density	kg	0.609
Abwärme	Heat, waste – Elementary flows/air/low population density	MJ	1.37
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gips α -Halbhydrat aus REA-Gips, Herstellung	kg	1

Die Aufbereitung des Gipssteines oder REA-Gipses zu β -Halbhydrat erfolgt in einem kombinierten Prozess mit unterschiedlichen Anteilen beider Rohstoffe. Die Bilanzierung kann deshalb nur über den Gesamtprozess erfolgen. Somit erhalten beide Rohstoffe denselben Prozessaufwand zugeschrieben. Die Verarbeitung des Naturgipses zu β -Halbhydrat erfolgt gemäss Auskunft des Verbandes (Kersten, 2015) am Standort des Abbaus. Somit werden keine Transporte bilanziert. Für den Drehrohrofen musste ersatzweise der ecoinvent-Datensatz "industrial machine, heavy, unspecified, at plant – RER" eingesetzt werden, da kein spezifischer Datensatz für einen Drehrohrofen vorhanden ist. Als Abschätzung des Verschleisses wurde der Wert aus dem ecoinvent 2.2-Datensatz "anhydrite, burned, at plant" übernommen.

Tabelle 8: Sachbilanz Gips β -Halbhydrat aus REA-Gips, Herstellung – DE

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Schmiermittel	lubricating oil, at plant – RER	kg	1.8*10 ⁻⁹
Produktionsabfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Produktionsabfälle in Deponie	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	1.3*10 ⁻⁴
Produktionsabfälle in KVA	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration – CH	kg	2*10 ⁻⁵

Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid – DE	MJ	0.0925
Erdgas	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW – RER	MJ	0.801
Erdöl	heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW RER	MJ	0.25
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Vorprodukte	transport, freight, rail – DE	tkm	0.275
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Produktionsmaschine	industrial machine, heavy, unspecified, at plant – RER	kg	1.39*10 ⁻⁴
Emissionen	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Wasserdampf	Water, DE – Elementary flows/air/low population density	kg	0.259
Abwärme	Heat, waste – Elementary flows/air/low population density	MJ	0.585
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gips β -Halbhydrat aus REA-Gips, Herstellung	kg	1

Tabelle 9: Sachbilanz Gips β -Halbhydrat aus Naturgips, Herstellung – DE

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Gips-Abbau	gypsum, mineral, at mine – CH	kg	1.26
Schmiermittel	lubricating oil, at plant – RER	kg	1.8*10 ⁻⁹
Produktionsabfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Produktionsabfälle in Deponie	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	1.3*10 ⁻⁴
Produktionsabfälle in KVA	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration – CH	kg	2*10 ⁻⁵
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid – DE	MJ	0.0925
Erdgas	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW – RER	MJ	0.801
Erdöl	heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW RER	MJ	0.25
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Drehrohrofen	industrial machine, heavy, unspecified, at plant – RER	kg	1.4*10 ⁻⁴
Emissionen	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Wasserdampf	Water, DE – Elementary flows/air/low population density	kg	0.259
Abwärme	Heat, waste – Elementary flows/air/low population density	MJ	0.585
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gips β -Halbhydrat aus Naturgips, Herstellung	kg	1

Die Sachbilanz für die Herstellung des synthetischen Anhydrits ist das Ergebnis einer Allokation zwischen Flusssäure und Anhydrit, wie in Kapitel D.1.4 beschrieben. Diese Allokation führt zu einer Differenz zwischen Rohstoffinputs und Produktout-

put. In der Quelle wird die Sachbilanz nach der Allokation ausgewiesen, die für die Erstellung der Sachbilanz gemäss Tabelle 10 übernommen wurde. Die Angaben zu den Transportwegen der Vorprodukte fehlen in der Datenquelle. Darum wurde für die Rohstoffe dieselbe Transportdistanz wie für die Additive in den Daten zur Herstellung von Gipsplatten verwendet. Die Infrastruktur wurde mit dem ecoinvent-Datensatz "chemical plant, organics – RER" berücksichtigt. Der Anteil pro Kilogramm Anhydrit wurde aus dem Vergleich mit bestehenden ecoinvent-Datensätzen zur Herstellung von Grundchemikalien unter Berücksichtigung des Allokationsverhältnisses von 1:20 auf $2 \cdot 10^{-11}$ Stk. geschätzt.

Tabelle 10: Sachbilanz Anhydrit aus Flusssäuresynthese, Herstellung – DE

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Flussspat	feldspar, at plant – RER	kg	0.0916
Schwefelsäure	sulphuric acid, liquid, at plant – RER	kg	0.104
Natronlauge	sodium hydroxide, 50% in H ₂ O, production mix, at plant – RER	kg	0.00084
Produktionsabfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Produktionsabfälle in KVA	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration – CH	kg	0.0012
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid – DE	MJ	0.1975
Prozesswärme	heat, unspecific, in chemical plant	MJ	0.2954
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Vorprodukte	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	0.0784
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Chemiewerk	chemical plant, organics - RER	Stk.	$2 \cdot 10^{-11}$
Emissionen	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Calcium ins Frischwasser	Calcium – Elementary flows/water/fresh water	kg	10^{-7}
Fluorid ins Frischwasser	Fluoride – Elementary flows/water/fresh water	kg	10^{-5}
Staub in Luft	Dust, unspecified – Elementary flows/air/unspecified	kg	10^{-6}
Fluorwasserstoff in Luft	Hydrogen fluoride – Elementary flows/air/unspecified	kg	10^{-7}
Schwefeldioxid in Luft	Sulfur dioxide – Elementary flows/air/unspecified	kg	10^{-5}
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Anhydrit aus Flusssäuresynthese, Herstellung	kg	1

Zur Bilanzierung der Transportverpackung wurde durch den Bundesverband der Gipsindustrie das DEKRA-Zertifikat zur Ladegutsicherung für Gipskarton-, Ausbau- & Verbundplatten zur Verfügung gestellt (Kersten, 2015). Aus dem Zertifikat konnte die benötigte Anzahl Transportpaletten pro Quadratmeter Gipsplatte berechnet werden. Für die Vollgipsplatte wurde angenommen, dass das Gewicht pro Palette demjenigen der Gipskarton- und Fasergipsplatten entspricht. Verwendet werden gemäss Auskunft des Verbandes (Kersten, 2015) Mehrwegpaletten. Es wird angenommen,

dass die Mehrwegpaletten eine Lebensdauer von etwa 2 Jahren aufweisen (WK Paletten, 2006) und im Kreislauf zehnmal verwendet werden.

Tabelle 11: Sachbilanz Gipskarton-, Gipsfaserplatte, Verpackung – DE – Flächengew. 10 kg/m²

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transportpaletten	EUR-flat pallet – RER	Stk.	0.000729
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gipskarton- Gipsfaserplatten, Verpackung	m ²	1

Tabelle 12: Sachbilanz Gips-Wandbauplatte / Vollgipsplatte Standard, Verpackung – DE – Flächengewicht 84 kg/m²

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
	EUR-flat pallet – RER	Stk.	0.00612
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gipskarton- Gipsfaserplatten, Verpackung	m ²	1

Die Sachbilanzen für den Transport ins Regionallager Schweiz ergeben sich aus den Transportwegen in Tabelle 4, multipliziert mit dem Plattengewicht pro m² Platte in Tonnen.

Tabelle 13: Sachbilanz Gipskartonplatte Standard, Transport DE → CH – RER – Flächengewicht 10 kg/m²

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transport Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	4.5
Transport Schiene	transport, freight, rail – DE	tkm	1.5
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gipskartonplatte Standard, Transport DE → CH	m ²	1

Tabelle 14: Sachbilanz Gipsfaserplatte Standard, Transport DE → CH – RER – Flächengewicht 10 kg/m²

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transport Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	6.1
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gipsfaserplatte Standard, Transport DE → CH	m ²	1

Tabelle 15: Sachbilanz Gipswandbau- / Vollgipsplatte Standard, Transport DE → CH – RER – Flächengewicht 84 kg/m²

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transport Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	42
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gipswandbau- / Vollgipsplatte Standard, Transport DE → CH	m ²	1

Für die Gipskartonplatte wie auch die Gipsfaserplatte wird die gesamte Produktion mit den Daten des deutschen Verbandes modelliert. Die Ökobilanzdaten ab Regionallager Schweiz ergeben sich somit durch einfache Addition der Daten für die Herstellung, Verpackung und den Transport ins Regionallager.

Tabelle 16: Sachbilanz Gipskartonplatte Standard, Regionallager CH – Flächengewicht 10 kg/m²

Roh- und Ausgangsstoffe	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsaufwand D	Gipskartonplatte Standard, Herstellung – DE	m ²	1
Transportverpackung	Gipskarton-Gipsfaserplatten, Verpackung – DE	m ²	1
Transport ins Regionallager	Gipskartonplatte Standard, Transport DE -> CH – RER	m ²	1
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gipskartonplatte Standard, Regionallager CH – CH	m ²	1

Tabelle 17: Sachbilanz Gipsfaserplatte Standard, Regionallager CH – Flächengewicht 10 kg/m²

Roh- und Ausgangsstoffe	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsaufwand D	Gipsfaserplatte Standard, Herstellung – DE	m ²	1
Transportverpackung	Gipskarton-, Gipsfaserplatten, Verpackung – DE	m ²	1
Transport ins Regionallager	Gipsfaserplatte Standard, Transport DE -> CH – RER	m ²	1
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gipsfaserplatte Standard, Regionallager CH – CH	m ²	1

Gips-Wandbauplatten werden zu rund 92 % in der Schweiz hergestellt. Für diese liegen leider keine aktuellen Herstellungsdaten vor. Deshalb wurden Herstellung und Verpackung mit einem Zuschlag von 10 % auf die deutschen Herstellungsdaten berücksichtigt. Somit ergibt sich ein Zuschlag auf den Marktmix von 9.2 %. Der Transport ins Regionallager fällt nur für die Platten aus deutscher Produktion an, also 8 % der Gesamtmenge.

Tabelle 18: Sachbilanz Gipswandbau- / Vollgipsplatte Standard, Regionallager – CH – Flächengewicht 84 kg/m²

Roh- und Ausgangsstoffe	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsaufwand D	Gips-Wandbauplatte / Vollgipsplatte Standard, Herstellung	m ²	1.092
Transportverpackung	Gips-Wandbauplatte / Vollgipsplatte Standard, Verpackung	m ²	1.092
Transport ins Regionallager	Gips-Wandbauplatte / Vollgipsplatte Standard, Transport DE -> CH	m ²	0.08
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gipswandbau- / Vollgipsplatte Standard, Regionallager CH – CH	m ²	1

Die Entsorgungsdatensätze berücksichtigen den Gipsanteil in den Produkten, sowie den Anteil der Hauptzuschlagstoffe. Für die Gipskartonplatte ist das der Kartonanteil und für die Gipsfaserplatte Perlit und Altpapierfasern. Vollgipsplatten bestehen nur aus Gips und geringen Mengen Additiven, die zum Gips gerechnet werden. Alle Angaben der Hersteller beziehen sich auf das Trockengewicht. Für die Berechnung der Rohstoffanteile des Kartons, der Altpapierfasern und des Perlits wurden die Wasseranteile in den Entsorgungsdatensätzen zum Trockengewicht addiert, das Gesamtgewicht erhöht sich entsprechend auf 10.07 kg/m² für die Gipskartonplatte und 10.19 kg/m² für die Gipsfaserplatte. Für den Transport in die Inertstoffdeponie wurde die Standarddistanz von 15 km aus ecoinvent 2.2 verwendet.

Tabelle 19: Sachbilanz Gipskartonplatte Standard, Entsorgung – 1 m² Platte

Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Gipsanteil in Inertstoffdeponie	disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill – CH	kg	9.65
Kartonanteil in Inertstoffdeponie	disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to inert material landfill – CH	kg	0.419
Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	tkm	0.15
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gipskartonplatte Standard, Entsorgung	m ²	1

Tabelle 20: Sachbilanz Gipsfaserplatte Standard, Entsorgung – 1 m² Platte

Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Gipsanteil in Inertstoffdeponie	disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill – CH	kg	8.86
Perlitanteil in Inertstoffdeponie	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	0.263
Faseranteil in Inertstoffdeponie	disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to inert material landfill – CH	kg	1.064
Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	tkm	0.15
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gipsfaserplatte Standard, Entsorgung	m ²	1

Tabelle 21: Sachbilanz Gipswandbau- / Vollgipsplatte Standard, Entsorgung – 1 m² Platte

Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Gips in Inertstoffdeponie	disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill – CH	kg	84
Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	tkm	1.26
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gips-Wandbauplatte / Vollgipsplatte Standard, Entsorgung – CH	m ²	1

D.3 Resultate

D.3.1 Ökobilanzergebnisse der Vorprodukte

Die Ökobilanzergebnisse der Vorprodukte werden in Tabelle 22 ausgewiesen. Der Primärenergiebedarf in der Herstellung der Vorprodukte ist am höchsten für das α -Halbhydrat, das unter Druck im Autoklaven hergestellt wird. Das thermische Anhydrit aus REA-Gips, welches im Brenner gebrannt wird, weist eine deutlich niedrigere Herstellungsenergie auf. Die β -Halbhydrate werden im Drehrohrofen bei 120-180 °C (BV Gips, 2006) erzeugt und weisen erneut einen geringeren Primärenergiebedarf als thermisches Anhydrit auf. Das β -Halbhydrat aus REA-Gips weist wegen der Bahntransporte von den Kohlenkraftwerken zur Verarbeitung eine leicht höhere Energiebilanz auf als das β -Halbhydrat aus Naturgips, obwohl der Rohstoffe nach den Bilanzierungsregeln vonecoinvent frei Werk zur Verfügung steht. Die Treibhausgasemissionen hängen primär vom Energieverbrauch ab. Die Umweltbelastungspunkte sind höher für das β -Halbhydrat aus Naturgips wegen der Staubemissionen im Gipsabbau. Ansonsten werden die UBP durch die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe bestimmt.

Eine Sonderstellung nimmt das Anhydrit aus der Flusssäuresynthese ein. Es weist die niedrigsten Ergebnisse aller Vorprodukte in den Wirkungskategorien Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen auf. Dies liegt an der gewählten Allokation über die Verkaufspreise von Flusssäure und Anhydrit. Zu den UBP tragen die Emissionen der Schwefelsäureherstellung fast 20 % bei, ansonsten werden auch in diesem Falle die UBP durch die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe bestimmt.

Tabelle 22: Ökobilanzergebnisse Vorprodukte

Ökobilanz-Datensatz - Region	Rohdichte [kg/m ³]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Anhydrit aus REA-Gips, Herstellung – DE	–	kg	97.0	2.52	2.49	0.143
Gips α -Halbhydrat aus REA-Gips, Herstellung – DE	–	kg	170	3.80	3.75	0.224
Gips β -Halbhydrat aus REA-Gips, Herstellung – DE	–	kg	81.9	1.91	1.88	0.110
Gips β -Halbhydrat aus Naturgips, Herstellung – DE	–	kg	165	1.69	1.67	0.0971
Anhydrit aus Flusssäuresynthese, Herstellung – DE	–	kg	118	1.58	1.53	0.0374

D.3.2 Ökobilanzergebnisse der Gipsplatten

Die Ökobilanzergebnisse der Gipsplatten (Tabellen 20-22) sind für die Gipskartonplatte in allen Wirkungskategorien am geringsten. Im Vergleich zur Gipsfaserplatte ist die benötigte Produktionsenergie deutlich niedriger, was sich auch in den Treibhausgasemissionen und den Umweltbelastungspunkten der Produktion zeigt. Die Gips-Wandbauplatte weist wegen des viel höheren Flächengewichts deutlich höhere Kennzahlen pro Plattenfläche aus. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass Vollgipsplatten für selbsttragende Wandkonstruktionen verwendet werden können. Gipskarton- und Gipsfaserplatten müssen hingegen in Ständerwandkonstruktionen eingesetzt werden. Beim Vergleich von Wandkonstruktionen ist zudem ein geeignetes Mass zu verwenden. Das kann eine Normierung nach Schalldämmmass sein. Somit wird der Vergleich auf Bauteilebene im Fall der Wandkonstruktionen anders ausfallen als der hier gezeigte.

Zu beachten ist auch, dass die Umrechnung zu anderen Plattendicken im Falle der Gipskartonplatten mit einem Fehler verbunden ist, da sich der Gewichtsanteil des Kartons mit zunehmender Plattendicken verringert. Übliche Dicken sind 9.5 und 12.5 mm, Spezialplatten sind bis 25 mm Dicke erhältlich. Die Berechnungen beziehen sich auf Platten mit etwas über 12.5 mm Dicke. Eine Umrechnung auf 9.5 mm-Platten wird also zu eher zu hohen Bilanzwerten führen, während eine Umrechnung zu grösseren Dicken eher zu einer Unterschätzung der Umweltauswirkungen führen wird.

Die Differenz in den Ergebnissen zwischen dem Regionallager Schweiz und der Produktion plus Verpackung stammt aus dem Transport der Produkte von der Produktion ins Regionallager. Für die Vollgipsplatten entsteht ein weiterer Aufschlag dadurch, dass für die Produktion in der Schweiz keine Daten vorlagen (siehe dazu D.1.3.2).

Tabelle 23: Ökobilanzergebnisse Gipskartonplatten

Ökobilanz-Datensatz - Region	Flächenmasse [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Gipskartonplatte, Herstellung	10	m ²	2'024	40.1	38.0	2.21
Gipskarton- Gipsfaserplatten, Verpackung	-	m ²	8.33	0.454	0.104	0.00406
Gipskartonplatte, Regionallager CH	10	m ²	2'739	50.4	47.8	2.74
Gipskartonplatte, Entsorgung - CH	10	m ²	153	2.35	2.33	0.0815

Tabelle 24: Ökobilanzergebnisse Gipsfaserplatten

Ökobilanz-Datensatz - Region	Flächenmasse [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Gipsfaserplatte, Herstellung	10	m ²	3'711	80.7	78.7	4.58
Gipskarton- Gipsfaserplatten, Verpackung	–	m ²	8.33	0.454	0.104	0.00406
Gipsfaserplatte, Regionallager CH	10	m ²	4'432	92.3	89.8	5.17
Gipsfaserplatte, Entsorgung - CH	10	m ²	154	2.38	2.36	0.0823

Tabelle 25: Ökobilanzergebnisse Gips-Wandbauplatten / Vollgipsplatten

Ökobilanz-Datensatz - Region	Flächenmasse [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Gips-Wandbauplatte, Herstellung	84	m ²	20'541	391	387	22.3
Gips-Wandbauplatte, Verpackung	–	m ²	70.0	3.81	0.876	0.0341
Gips-Wandbauplatte, Regionallager CH	84	m ²	22'900	437	430	24.7
Gips-Wandbauplatte, Entsorgung - CH	84	m ²	1'274	19.6	19.5	0.681

Die Umweltbelastungen der Entsorgung stammen vollständig aus dem Betrieb der Inertstoffdeponie und dem Transport der Abfälle dorthin. Ecoinvent bewertet für Abfälle in die Inertstoffdeponie keine stoffspezifischen Emissionen aus der Deponie. Die UBP der Entsorgung von Gipsfaserplatten setzen sich beispielsweise aus 93 UBP für die Erstellung und 36 UBP für den Betrieb der Inertstoffdeponie zusammen. Die fehlenden 25 UBP trägt der Transport von der Baustelle zur Deponie bei.

D.4 Diskussion

D.4.1 Vergleich mit KBOB-Empfehlung der Ökobilanzdaten 2014

Die publizierte KBOB-Empfehlung der Ökobilanzdaten im Baubereich führt bereits Ökobilanzergebnisse für Gipsplatten auf. Als Bezugsgrösse verwendet die KBOB-Empfehlung Kilogramm. Damit die Daten mit den neu erstellten verglichen werden können, wurden sie mit den Flächenmassen der vorliegenden Erhebung in Datensätze pro m² umgerechnet. Die so errechneten Kennzahlen werden in Tabelle 26 wiedergegeben.

Tabelle 26: Gipsplatten in KBOB-Empfehlung 2014, umgerechnet auf Flächenmasse

Ökobilanz-Datensatz - Region	Flächenmasse [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
Gipskartonplatte, Herstellung	10	m ²	4'110	59.4	55.8	3.51
Gipskartonplatte, Entsorgung	10	m ²	338	2.89	2.86	0.134
Gipsfaserplatte, Herstellung	10	m ²	3'490	47.8	46.1	2.91
Gipsfaserplatte, Entsorgung	10	m ²	481	2.9	2.87	0.291
Vollgipsplatte, Herstellung	84	m ²	29'316	401.5	387.2	24.4
Vollgipsplatte, Entsorgung	84	m ²	2'772	23.94	23.7	1.09

Beim Vergleich der bestehenden Daten in der KBOB-Empfehlung mit den neu erarbeiteten fällt auf, dass sich die Bilanzergebnisse der Gipskartonplatte verbessert haben, währenddessen die neuen Ergebnisse der Gipsfaserplatte deutlich über den bestehenden liegen. Siehe dazu die Abbildung 3. Diese Zunahme ergibt sich zum einen aus der Bilanzierung des Herstellungsaufwands durch den Verband der Gipsindustrie. Dabei zeigte sich ein höherer Primärenergiebedarf für die Herstellung der Gipsfaserplatten als im bisherigen ecoinvent-Datensatz bilanziert wurde. Zudem trägt die relativ lange Transportdistanz der Importe in die Schweiz zusätzlich zum Ergebnis bei. Diese wurde im bestehenden Datensatz in der KBOB-Empfehlung gänzlich vernachlässigt.

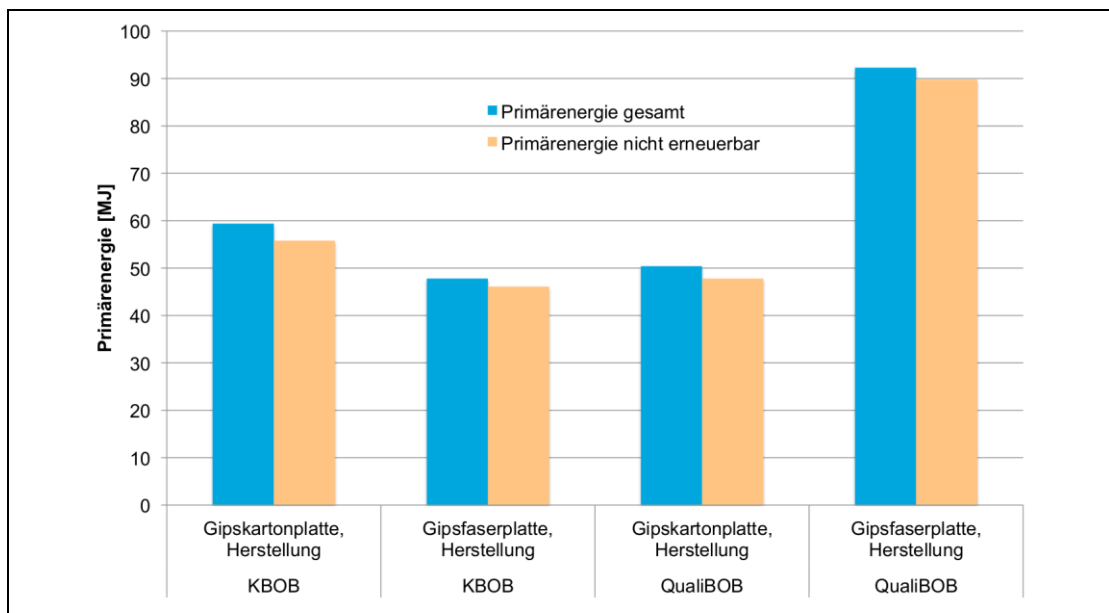


Abbildung 3: Vergleich der Primärenergien für Gipskarton- und Gipsfaserplatten pro m²

Die Ökobilanzergebnisse der Gips-Wandbauplatte liegen sehr nahe bei den Ergebnissen für die Vollgipsplatte in der KBOB-Empfehlung 2014. Diese Verhältnisse illustriert Abbildung 4 für den Primärenergieeinsatz.

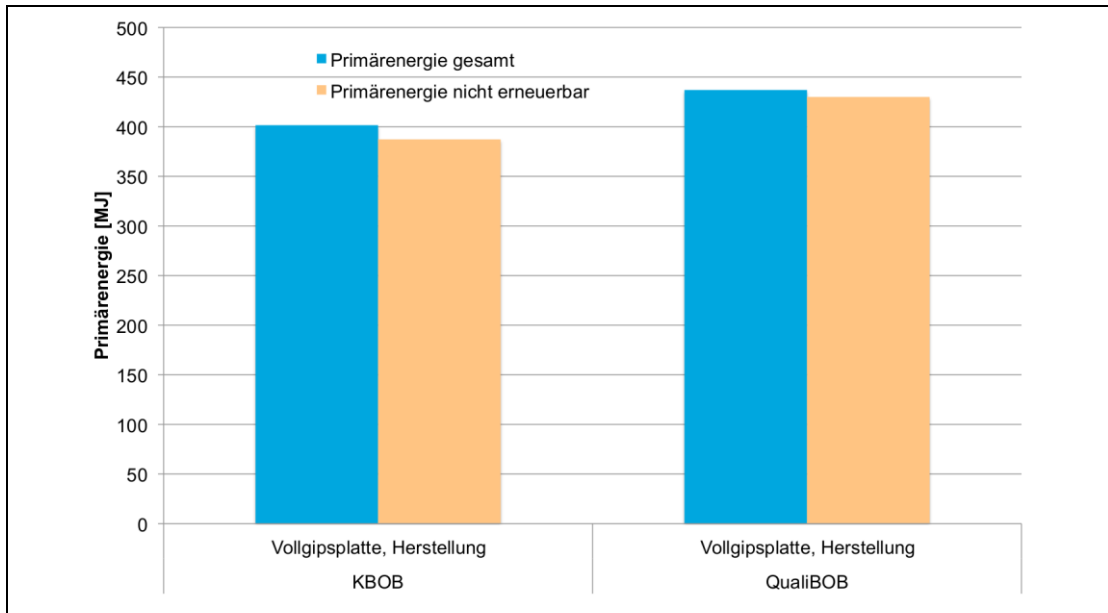


Abbildung 4: Vergleich der Primärenergien für Vollgips- resp. Gips-Wandbauplatten pro m²

D.4.2 Unterschiede zu den EPD-Ergebnissen

Die Resultate zum Primärenergiebedarf sind in den Umweltproduktdeklarationen (EPD) des Bundesverbands der Gipsindustrie tiefer als die hier berechneten Daten. Die Unterschiede liegen im Bereich von 20 % für die Gipskartonplatte und die Gips-Wandbauplatte. Für die Gipsfaserplatte liegt der Unterschied deutlich höher bei über 60 % Differenz.

Der Unterschied erklärt sich zu einem guten Teil durch die Verwendung des Strommixes aus ecoinvent 2.2. Dieser weist sowohl für die Elektrizität wie für Erdgas einen höheren Primärenergiebedarf aus als die GaBi-Datenbank, die für die EPD verwendet wurde. Wie aus Tabelle 27 ersichtlich, ist der Primärenergiebedarf gesamt für Elektrizität in ecoinvent um 11 % und für Erdgas um 15 % höher als in GaBi 5. Die Daten aus GaBi 5 wurden durch (Stoffregen, 2015a) zur Verfügung gestellt. Für den Vergleich wurden die ecoinvent-Datensätze "electricity, medium voltage, at grid – DE" und "natural gas, high pressure, at consumer – DE" verwendet. Eine Hilfsrechnung aus den Sachbilanzdaten zeigt, dass dieser Unterschied in den Grunddaten zwischen 21 % und 54 % der Differenz im Ergebnis erklären kann (Tabelle 28).

Tabelle 27: Primärenergiebedarf nach GaBi 5 und nach ecoinvent 2.2

Datenbank	Elektrizität - DE MJ Primärenergie / kWh Nutzenergie		Erdgas - DE MJ Primärenergie / MJ Nutzenergie	
	gesamt	nicht-erneuerbar	gesamt	nicht-erneuerbar
GaBi 5	10.4	8.6	1.08	1.08
Ecoinvent 2.2	11.5	10.9	1.24	1.24

Tabelle 28: Primärenergie gesamt aus Energieträgern

Gipsplatte	GaBi5 [MJ]	ecoinvent 2.2 [MJ]	% der Differenz zwischen EPD und Ecoinvent
Gipskartonplatte	15.5	17.7	32%
Gipsfaserplatte	55.6	62.6	21%
Gips-Wandbauplatte	246.8	281.9	54%

Für die Gipsfaserplatten lag zum Zeitpunkt der Berechnung der EPD ein Fehler in der GaBi-Datenbank vor, der beim Primärenergiebedarf aus Elektrizität zu zu tiefen Ergebnissen geführt hat. Dieser kann rund 50 % der Differenz erklären (Stoffregen, 2015a). Mit den Energiedaten aus Tabelle 28 und einem abgeschätzten Zuschlag von rund 18 MJ für die Primärenergie der Vorprodukte reduziert sich die Differenz zwischen den Resultaten der EPD und den hier vorgestellten auf 10% für den Primärenergiebedarf gesamt.

D.5 Literaturverzeichnis

- BVG (Hrsg.) (20. August 2014) *Umwelt-Produktdeklaration Gipsfaserplatte nach DIN EN 15283-2 oder ETA*. Bundesverband der Gipsindustrie e.V.
- BV Gips (2006) *GIPS-Datenbuch*. Bundesverband der Gipsindustrie e.V.
- BV Gips (4. Dezember 2014) *Fragebogen Herstellerdaten Gipsfaserplatten, Gipsplatten, Gips-Wandbauplatten*. Bundesverband der Gipsindustrie e.V., Referat Umwelt, Kochstraße 6-7, D-10969 Berlin.
- R. Coutalides (1998) *Produkt- und Ökopprofil von Gips*. Holderbank: Schweizerischer Verband der Gips- und Gipsbauplattenindustrie.
- R. Dones, C. Bauer & A. Röder (2007) *Kohle*. In Final report ecoinvent No. 6 -VI. Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- R. Frischknecht (23. Juli 2013) *Memo: Regeln für Ökobilanzdaten im Baubereich gemäss der KBOB-Liste*. Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich.
- R. Frischknecht, N. Jungbluth, H.-J. Althaus, G. Doka, R. Dones, T. Heck, ... G. Wernet (2007) *Overview and Methodology*. In ecoinvent report No. 1, v2.0. Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- H.-J. Kersten (2015) *Persönliche Mitteilung*. Bundesverband der Gipsindustrie e.V., Berlin.
- knauf (Hrsg.) (August 2013) *Knauf Bauplatte GKB - Technisches Merkblatt*. Knauf Gips KG, Am Bahnhof 7, 97346 Iphofen.
- J. Kreißig & A. Stoffregen (2007) *Datenprojekt Grunddatensätze Gips und Gipsprodukte* (August) (S. 36).
- Rigips (Hrsg.) (1. April 2009) *Rigips Bauplatte RB 12,5 - Produktdatenblatt*. Saint-Gobain Rigips GmbH, Schanzenstr. 84, 40549 Düsseldorf.
- Rigips (Hrsg.) (2015a) *Alba / Alba light Bauplatten - Sortiment*. Abgerufen von http://www.rigips.ch/alba/rigips~1.ch/site/index.cfm/id_art/24763/vsprache/de.htm
- Rigips (Hrsg.) (2. Februar 2015b) *Produktdatenblatt - Rigidur H 12.5*. Saint-Gobain Rigips GmbH, Schanzenstr. 84, 40549 Düsseldorf.
- C. Rolandi (18. Februar 2015) *Persönliche Mitteilung*. Rigips AG, Mägenwil.
- A. Stoffregen (20. Februar 2015a) *Persönliche Mitteilung*.
- A. Stoffregen (6. März 2015b) *Persönliche Mitteilung*.
- VG-Orth (Hrsg.) (Juni 2013) *Technisches Merkblatt - Multigips M80 sowie Multigips M100*. VG-ORTH GmbH & Co. KG, Holeburgweg 24, 37627 Stadtdendorf.
- WK Paletten (Hrsg.) (2006) *Grund für den Schwund*. WK-Paletten AG. Schüpbach BE.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht, Januar 2016

Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich"

Projekt QualiBOB
Teilbericht E: Putze

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Hochbauten Stadt Zürich
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Auftragnehmer:

Projektteam QualiBOB

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

Ueli Kasser, Büro für Umweltchemie, u.kasser@umweltchemie.ch (Projektleitung)
Matthias Klingler, Büro für Umweltchemie, m.klingler@umweltchemie.ch
Daniel Savi, Büro für Umweltchemie, d.savi@umweltchemie.ch

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG
Peter Gerber, BAFU, Fachbereich Ökobilanzen
Norbert Egli, Vertretung BAFU Sektion Konsum und Produkte, Tridee GmbH
Michael Pöll, AHB Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500996-01

BAFU-Vertrags- und Projektnummer: 10.0041.PJ / N043-0527, O022-2110

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

E	PUTZE	E-1
E.1	Untersuchungsrahmen	E-1
E.1.1	Funktionelle Einheit.....	E-1
E.1.2	Systemgrenzen	E-3
E.1.2.1	Allgemeine Angaben zur Herstellung Putze und Einbettmörtel.....	E-3
E.1.2.2	Herstellung organische Putze und Einbettmörtel	E-3
E.1.2.3	Herstellung mineralische Putze und Einbettmörtel.....	E-5
E.1.2.4	Herstellung von Gipsputzen	E-7
E.1.2.5	Aushärtung Putze und Einbettmörtel	E-8
E.1.2.6	Herstellung Weisszement	E-8
E.1.2.7	Herstellung Verpackung.....	E-10
E.1.2.8	Regionallager Schweiz.....	E-10
E.1.2.9	Entsorgung.....	E-10
E.1.3	Allokation	E-11
E.1.4	Marktsituation Schweiz	E-11
E.1.5	Abschneidekriterien	E-12
E.1.6	Zeitliche und geografische Gültigkeit	E-12
E.1.7	Datenquellen und Datenqualität.....	E-15
E.1.7.1	Putze.....	E-15
E.1.7.2	Weisszement	E-16
E.1.7.3	Verpackung.....	E-17
E.2	Sachbilanzdaten.....	E-17
E.2.1	Putze und Einbettmörtel ab Werktor	E-17
E.2.2	Putze und Einbettmörtel ausgehärtet.....	E-34
E.2.3	Entsorgung Putze und Einbettmörtel	E-36
E.2.4	Weisszement	E-37
E.2.5	Verpackung.....	E-41
E.3	Resultate	E-45
E.3.1	Putze und Einbettmörtel.....	E-45
E.3.2	Weisszement	E-47
E.3.3	Verpackung.....	E-47
E.4	Diskussion	E-48
E.4.1	Putze und Einbettmörtel ab Werktor	E-48
E.4.2	Ausgehärtete Putze und Einbettmörtel.....	E-50
E.4.3	Zusammenfassung der Putz-Datensätze für die KBOB-Empfehlung	E-51
E.4.4	Vergleich mit bestehenden Daten in der KBOB-Empfehlung	E-52
E.4.5	Weisszement	E-54
E.5	Literaturverzeichnis	E-55

E Putze

E.1 Untersuchungsrahmen

Auf dem Markt wird eine grosse Anzahl von Putzarten, Putzrezepturen und Putzprodukten angeboten. Die Rezepturen werden massgeschneidert auf die Anforderungen an die Optik und die Dauerhaftigkeit, sowie ausgerichtet auf absehbare Umwelteinflüssen und die Beschaffenheit des Untergrunds. Bereits die Anzahl gebräuchlicher Rezepturen ist zu gross, um separate Ökobilanzen für alle Putzarten zu ermöglichen. Hinzu kommt der mehrschichtige Aufbau verschiedener Putz zu einem System, der eine ausserordentliche Vielfalt von Kombinationen zulässt.

Für die Erstellung von Ökobilanzen ist eine Klassenbildung deshalb unumgänglich. Diese orientiert sich an der gebräuchlichen Einteilung der Putze nach Hauptbindemitteln. Für jede Putzklasse wurde mit Branchenvertretern eine Musterrezeptur erarbeitet, die als Grundlage für die Ökobilanz dient und die entsprechende Klasse repräsentieren soll. Aufgrund der Ergebnisse der Ökobilanzierung wird in der Diskussion eine weitere Zusammenfassung von Datensätzen für die Aufnahme in die KBOB-Empfehlung vorgeschlagen.

Zusätzlich zu den Ökobilanzen der Putze wurde jeweils ein Datensatz für Weisszement, einen Kunststoff-Eimer 18 l als Verpackung von flüssig gelieferten Putzen und einen mittleren Putzsack als Verpackung von Trockenmischungen bilanziert. Beide Verpackungsdatensätze beinhalten die Transportverpackung auf Paletten. Die Sachbilanzen und Ergebnisse dieser Datensätze werden ebenfalls in diesem Teilbericht dokumentiert. Für die Ökobilanzierung konnten Angaben aus den Hintergrundberichten der deutschen Herstellerverbände verwendet werden. Im Falle der Gipsputze erfolgten diese Angaben vertraulich. Für die Sachbilanzen der Gipsputze wurde deshalb ein separater Teilbericht verfasst, der nicht öffentlich einsehbar ist. Leider fand sich kein Anbieter von Lehmputzen, der bereit war, Informationen zur Zusammensetzung von Werkmörteln für Lehmputze zu liefern. Für Lehmputze konnten deshalb keine Ökobilanzen erstellt werden.

E.1.1 Funktionelle Einheit

Alle Putze werden pro Kilogramm ab Werkton bilanziert. Nicht berücksichtigt wird das Anmachwasser auf der Baustelle, eine Abschätzung des dadurch eingeführten Fehlers wird in E.1.5 vorgenommen. Eine Bilanzierung der Putze pro Quadratmeter verputzter Fläche wäre wünschenswert, um direkt vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Aus praktischen Gründen muss leider darauf verzichtet werden. Je nach Untergrundbeschaffenheit, gewünschter Optik und Umgebungsbedingungen unterscheiden sich die Putzaufbauten und -dicken auch innerhalb derselben Produktgruppe. Damit ein Anwender den passenden Aufbau für ein konkretes Gebäude auswählen könnte, müsste eine Vielzahl von Putzaufbauten bilanziert werden. Im

Rahmen der KBOB-Empfehlung werden jedoch Ökobilanzdaten von Baustoffen ausgewiesen, während Bauteile darauf aufbauend bilanziert werden können. In Analogie dazu sollten die Putzaufbauten als Bauteile verstanden werden, die für den konkreten Anwendungsfall aus den hier bereit gestellten Daten berechnet werden können.

Die bilanzierten Putze sind in der folgenden Tabelle 1 aufgeführt. Für alle Produkte wird die Trockenrohichte nach der Aushärtung angegeben. Die Angaben zur Rohdichte stammen im Falle der organischen Putze aus einer Erhebung der sto, die an jeweils einem Produkt der genannten Produktgruppe die Trockenfilmdichte bestimmt haben (Messow, 2016). Diese Angabe musste speziell erhoben werden, da für organische Putze üblicherweise nur die Dichte des flüssigen Produkts ab Werk angegeben wird, wie z. B. auch im Hintergrundbericht zur EPD des Verbands der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e.V. (Kosińska et al., 2014). Der Hersteller weist darauf hin, dass die Trockenfilmdichten der Produkte anderer Hersteller von den hier rapportierten abweichen können. Für die mineralischen Putze stammen die Daten aus dem Hintergrundbericht zur EPD des Industrieverbands Werkmörtel, der die Trockenrohichten des ausgehärteten Produkts ausweist (Kosińska et al., 2013). Die Angaben zur Rohdichte für die Gipsputze stammen aus dem Gips-Datenbuch (BV Gips, 2006). Für den "Baukleber und Einbettmörtel mineralisch mit Leichtzuschlag" sowie für den Sumpfkalkputz stammen die Rohdichten direkt von den involvierten Herstellern (Blumer, 2015; Kreppelt, 2015).

Tabelle 1: Übersicht bilanzierter Putze und Vorprodukte

Bilanzierte Produktgruppe	Rohdichte nach der Aushärtung [kg/m ³]	Funktionelle Einheit
Baukleber und Einbettmörtel organisch, Herstellung	1'670	1 kg
Baukleber und Einbettmörtel mineralisch, Herstellung	<1'600	1 kg
Baukleber und Einbettmörtel mineralisch mit Leichtzuschlag, Herstellung	900-1'300	1 kg
Kunststoffputz (Dispersionsputz), Herstellung	1'540	1 kg
Dispersionssilikatputz (Silikatputz), Herstellung	1'880	1 kg
Silikonharzputz, Herstellung	1'670	1 kg
Kalk-Zement- & Zement-Kalk-Putze, Herstellung	1'300-1'800	1 kg
Zement-Putz, Herstellung	1'300-1'800	1 kg
Weisszementputz, Herstellung	1'300-1'800	1 kg
Leichtputz mineralisch, Herstellung	700-1'300	1 kg
Wärmedämmputz EPS, Herstellung	< 600	1 kg
Sumpfkalkputz, Herstellung	1'200-1'500	1 kg
Gipsputz (Weissputz), Herstellung	1'000-1'200	1 kg
Gips-Kalk-Putz, Herstellung	850-1'000	1 kg

Die funktionellen Einheiten der Vorprodukte unterschieden sich aufgrund der Datenverfügbarkeit. Weisszement wird pro kg Zement ab Werk ab bilanziert. Der Kunststoff-Eimer mit 18 Liter Inhalt wird pro Stück bilanziert, die Transportverpackung wird anteilig angerechnet. Bei den Putzsäcken liegt das Fassungsvermögen der bi-

lanzierten Exemplare zwischen 30 kg und 35 kg Trockenmischung. Deshalb wird die im Mittel benötigte Verpackung für ein Kilogramm verpackte Trockenmischung als funktionelle Einheit gewählt. Auch diesem Datensatz wird die Transportverpackung auf Paletten anteilig angerechnet.

Tabelle 2: Übersicht bilanzierter Vorprodukte und Verpackungen

Bilanzierte Produktgruppe	Schüttdichte [kg/m ³]	Funktionelle Einheit
Weisszement	1'100	1 kg
Kunststoff-Eimer 18l inkl. Transportverpackung, Herstellung	–	1 Stk.
Putzsack inkl. Transportverpackung, Herstellung	–	1 Stk.

E.1.2 Systemgrenzen

E.1.2.1 Allgemeine Angaben zur Herstellung Putze und Einbettmörtel

Der Herstellungsprozess umfasst den Abbau der Rohstoffe, die Aufbereitung der Rohstoffe zu Zwischenprodukten und die Herstellung des Endprodukts inklusive der Transportverpackung des verkaufsfertigen Produkts ab Fabrikator. Sämtliche Transporte in der Herstellungskette werden berücksichtigt. Der letzte Produktionsschritt in der Herstellung von Putzen besteht im Wesentlichen aus der Dosierung und Mischung der Grundstoffe. Für diesen Schritt sind Durchschnittsdaten aus der Umweltproduktdeklaration der mineralischen Mörtel und Putze (Kosińska et al., 2013) bekannt, die für alle Putzkategorien als Datengrundlage verwendet werden. Die Rohstoffe können sich je nach Produktgruppe unterscheiden. Allen gemeinsam sind eines oder mehrere Bindemittel, mineralische Füllstoffe und Additive. Die Herstellung der Putze wird im Folgenden getrennt nach organischen, mineralischen und Gips-Putzen beschrieben.

E.1.2.2 Herstellung organische Putze und Einbettmörtel

Organische Putze werden unter Beigabe von Wasser nass gemischt und als zähflüssige Masse abgepackt und ausgeliefert. Der Herstellungsprozess ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Als Bindemittel wird in allen Musterrezepturen Polyacrylat eingesetzt. Silikonharzputze enthalten zusätzlich Silikonharzemulsionen, Dispersionssilikatputze Kaliwasserglas als Bindemittel. Reine Silikatputze, die nur Kaliwasserglas als Bindemittel enthalten, werden zu den mineralischen Putzen gerechnet. Die hier bilanzierten Dispersionssilikatputze enthalten als Bindemittel mineralisches Kaliwasserglas und organisches Polymer zu etwa gleichen Teilen. Die Lieferung erfolgt wie bei den organischen Putzen in viskoser Form. Für die Ökobilanzierung ist der Herstellungsprozess also mit demjenigen der organischen Putze besser vergleichbar als mit demjenigen der mineralischen.

Als mineralische Füllstoffe kommen Gesteinsmehle, z. B. Kalksteinpulver oder Talkpulver zum Einsatz. Die wichtigsten mineralischen Additive sind Farb-Pigmente und das Flammschutzmittel Aluminiumhydroxid. Weitere organische oder silikatische

Additive regulieren die Filmbildung, die Dispersion, die Schaumbildung sowie die Viskosität der Mischung. Die hydrophoben und bioziden Eigenschaften des Produkts werden ebenfalls durch Additive erreicht. Beigemischte Fasern verringern die Rissbildung während der Trocknung. Wasser dient zur Einstellung der gewünschten Flieseigenschaften für die Verarbeitung.

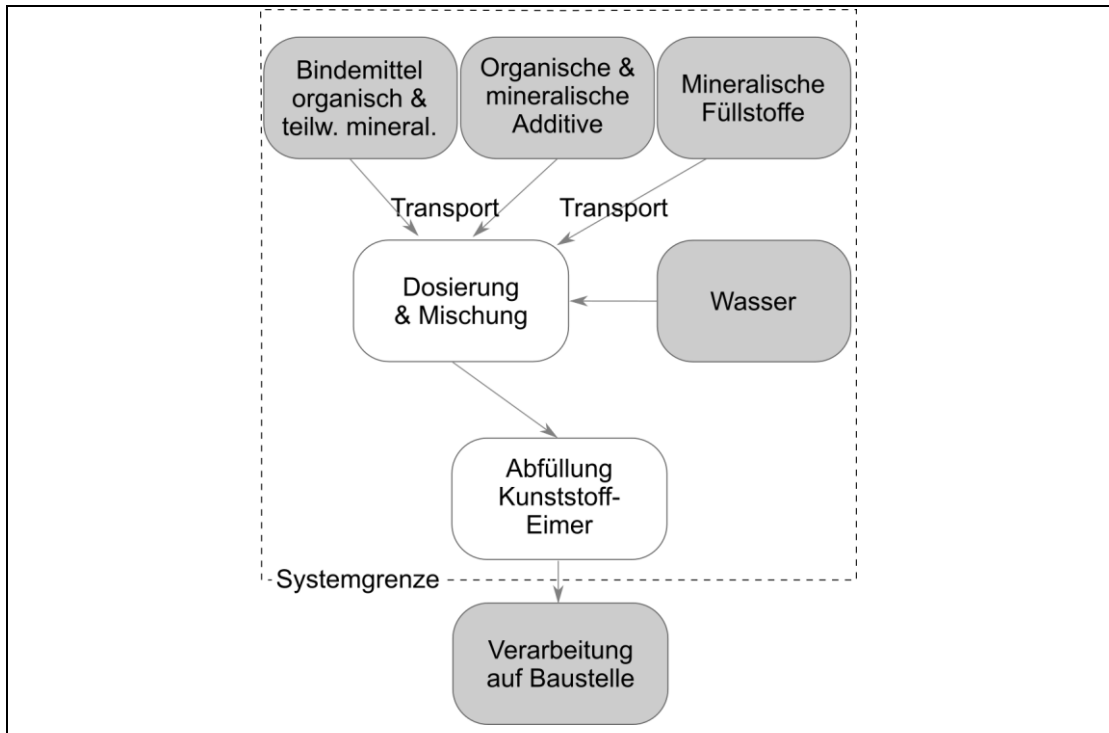


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Herstellung organischer Putze und Mörtel

Die Transportwege in der Produktionskette wurden durch die Mitglieder des Verbands der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie erfasst und durch den Verband als Durchschnittswerte zur Verfügung gestellt (Kosińska et al., 2014). Für die Schweizer Vertriebe wurden keine Transportdistanzen erhoben. Im Falle der Kunststoffputze werden die fertigen Putzmischungen importiert. Um diese Verhältnisse korrekt wieder zu geben ohne einen unverhältnismässigen Erhebungsaufwand bei den Herstellern auszulösen, werden die für Deutschland erfassten Transportdistanzen der Vorprodukte mit Ausnahme der Produktionsabfälle pauschal um 100 km verlängert. Die verwendeten Transportdistanzen sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Transportdistanzen in der Herstellungskette organischer Putze und Mörtel

Vorprodukt	Transportdistanz [km]
Mineralische Körnungen	400
Polymerdispersionen	500
Zusatzstoffe	900
Produktionsabfälle	15

E.1.2.3 Herstellung mineralische Putze und Einbettmörtel

Mineralische Putze werden praktisch ausschliesslich als Trockenmörtel vertrieben. Zwar ist eine Anlieferung von Zementputzen als Frischmörtel denkbar, aber in der Praxis nicht verbreitet. Alle mineralischen Putze werden deshalb als Trockenmörtel bilanziert. Somit müssen feuchte Ausgangsmaterialien – Sande und Gesteinsmehle – vor der Mischung zum fertigen Produkt getrocknet werden. Danach werden Bindemittel, Additive und Füllstoffe zudosiert und gemischt. Diese Herstellungsschritte sind in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

Die Verpackung und der Vertrieb der mineralischen Mörtel und Putze erfolgen in Silos oder Papiersäcken. Da für die Bereitstellung der Silos keine Daten zur Verfügung stehen und auch davon ausgegangen werden kann, dass der Beitrag zur Ökobilanz durch die Wiederverwendung der Silos sehr gering wäre, wurden sie nicht bilanziert. Der Verteilung des Vertriebs zwischen Sackware und Siloware wurde aus dem Hintergrundbericht des IWM (Kosińska et al., 2013) übernommen und wird in Tabelle 4 pro Putzart dokumentiert. Für die zusätzlich erstellten Mörtel- und Putzvarianten "Baukleber und Einbettmörtel mineralisch mit Leichtzuschlag", "Zement-Putz" und "Weisszementputz" wurde eine Annahme aufgrund der ähnlichsten Produkte in der Umweltproduktdeklaration getroffen.

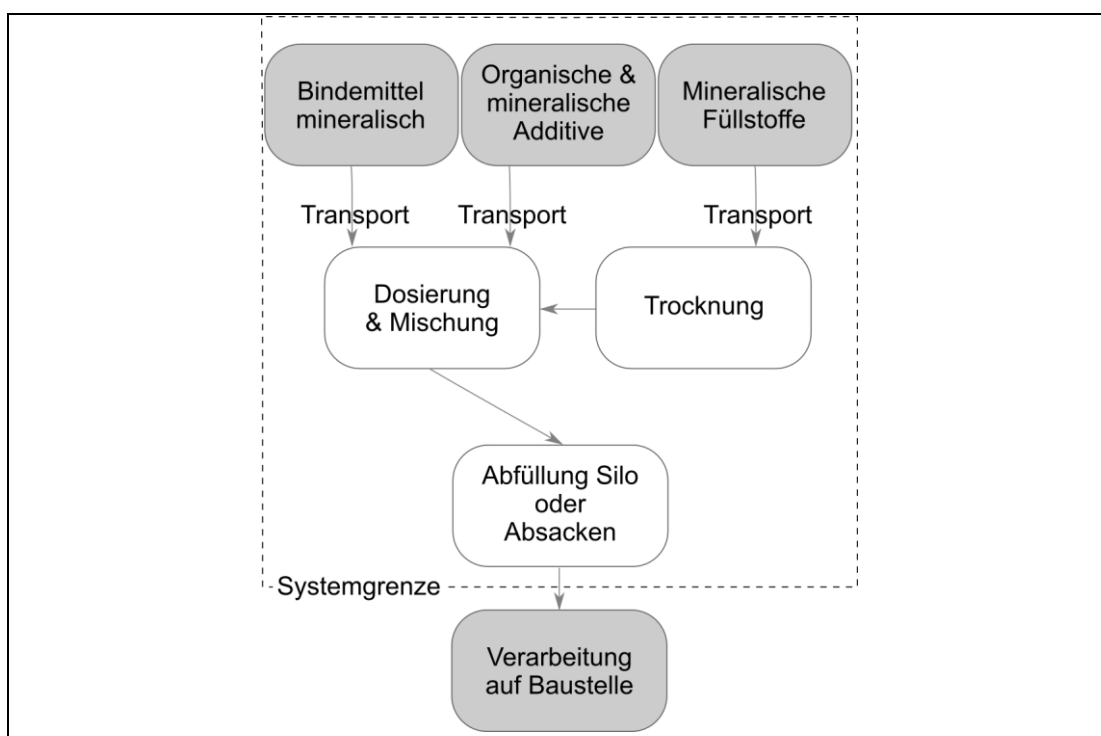


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Herstellung mineralischer Putze und Mörtel

Eine Ausnahme bei den mineralischen Putzen bezüglich Trocknung und Vertrieb stellen Sumpfkalkputze dar, die wie organische Putze in flüssiger Form und in Kunststoffeimern verpackt vertrieben werden. Diese Putze enthalten "eingesumpften" Kalk als Bindemittel. Der Prozess des Einsumpfens besteht im Wesentlichen in der Lagerung des gebrannten Kalkes in Wassertanks um die gewünschte Dispersi-

on des Kalks mit Wasser zu erreichen. Für die Ökobilanzierung wurden deshalb kein zusätzlicher Produktionsaufwand im Vergleich zur Frischmörtelproduktion angenommen. Das Produkt wird viskos in Kunststoff-Eimern ausgeliefert, die Trocknung der Rohstoffe ist deshalb nicht nötig. Im Herstellungsprozess entfällt also der Schritt der Trocknung und die Auslieferung erfolgt in Kunststoffeimern, ansonsten gilt das Schema in Abbildung 2 unverändert.

Tabelle 4: Bilanzierte Verpackung nach Putzvarianten

Putzvariante	Silo	Papiersack
Baukleber und Einbettmörtel mineralisch, Herstellung	20 %	80 %
Baukleber und Einbettmörtel mineralisch mit Leichtzuschlag, Herstellung	20 %	80 %
Kalk-Zement- & Zement-Kalk-Putze, Herstellung	30 %	70 %
Zement-Putz, Herstellung	30 %	70 %
Weisszementputz, Herstellung	30 %	70 %
Leichtputz mineralisch, Herstellung	30 %	70 %
Wärmedämmputz EPS, Herstellung	20 %	80 %

Für die Transporte in der Herstellungskette mineralischer Putze stehen die Distanzen im Hintergrundbericht zu den Umweltproduktdeklarationen (Kosińska et al., 2013) zur Verfügung. Für die Schweizer Produzenten wurden keine Transportdistanzen erhoben. Die starke internationale Verflechtung der Hersteller führt dazu, dass die Bindemittel oft importiert werden und in der Schweiz die mineralischen Füllstoffe zugemischt werden. Mineralische und Gips-Putze können auch als bereits fertige Mischungen importiert werden. Um diese Verhältnisse korrekt wieder zu geben ohne einen unverhältnismässigen Erhebungsaufwand bei den Herstellern auszulösen, wird für alle Vorprodukte mit Ausnahme der Sande, Gesteinsmehle und Produktionsabfälle die Transportdistanz um 100 km verlängert. Die verwendeten Transportdistanzen werden in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Transportdistanzen in der Herstellungskette mineralischer Putze und Mörtel

Vorprodukt	Transportdistanz [km]
Quarzsand	100
Natursand / Gesteinskörnungen	50
Natursand / Gesteinskörnungen für Oberputze	300
Kalksteinmehl	100
Zement	200
Kalkhydrat	400
Additive	600
Perlite	400
Blähglas	600
EPS	600
Produktionsabfälle	15

E.1.2.4 Herstellung von Gipsputzen

Gipsputze bestehen zur Hauptsache aus β -Halbhydrat, dem mineralische Füllstoffe und organische Additive beigelegt werden. Das β -Halbhydrat in Gipsputzen wird gemäss den Angaben der deutschen Quelle aus REA-Gips aus der Rauchgaswäsche von Kohlekraftwerken gewonnen. Dabei wird das Kristallwasser des REA-Gipses ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) teilweise ausgetrieben, womit das β -Halbhydrat ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) abbindefähig wird. Der REA-Gips gilt als Nebenprodukt der Rauchgaswäsche im Kohlekraftwerk und steht gemäss der ecoinvent-Bilanzierungsregeln frei Kraftwerk zur Verfügung (Dones et al., 2007). In die Bilanz der Putzherstellung fliesst der Transport vom Kraftwerk zum Gipswerk und die Aufbereitung zu Stuckgips (β -Halbhydrat) ein. Für Gipsputze in der Schweiz wird auch Naturgips aus Schweizer Abbau verwendet (Kreppelt, 2015), der wie jeder Rohstoff mit dem Aufwand für Abbau, Aufbereitung und Transport in die Bilanz einfliesst. Gips-Kalk-Putze enthalten darüber hinaus Kalkhydrat als Bindemittel. Die Sachbilanzdaten der Gipsputze wurden vom Gesamtverband der Gipsindustrie unter der Bedingung der vertraulichen Behandlung zur Verfügung gestellt (BV Gips, 2014a). Deshalb können in diesem Bericht keine detaillierten Angaben zu den Inhaltsstoffen der Gipsputze gemacht werden. Der Herstellungsprozess ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Der Vertrieb der Gipsputze wird aufgrund der Angaben des Verbandes zu einem Drittel in Papiersäcken und zu zwei Dritteln in Silos modelliert.

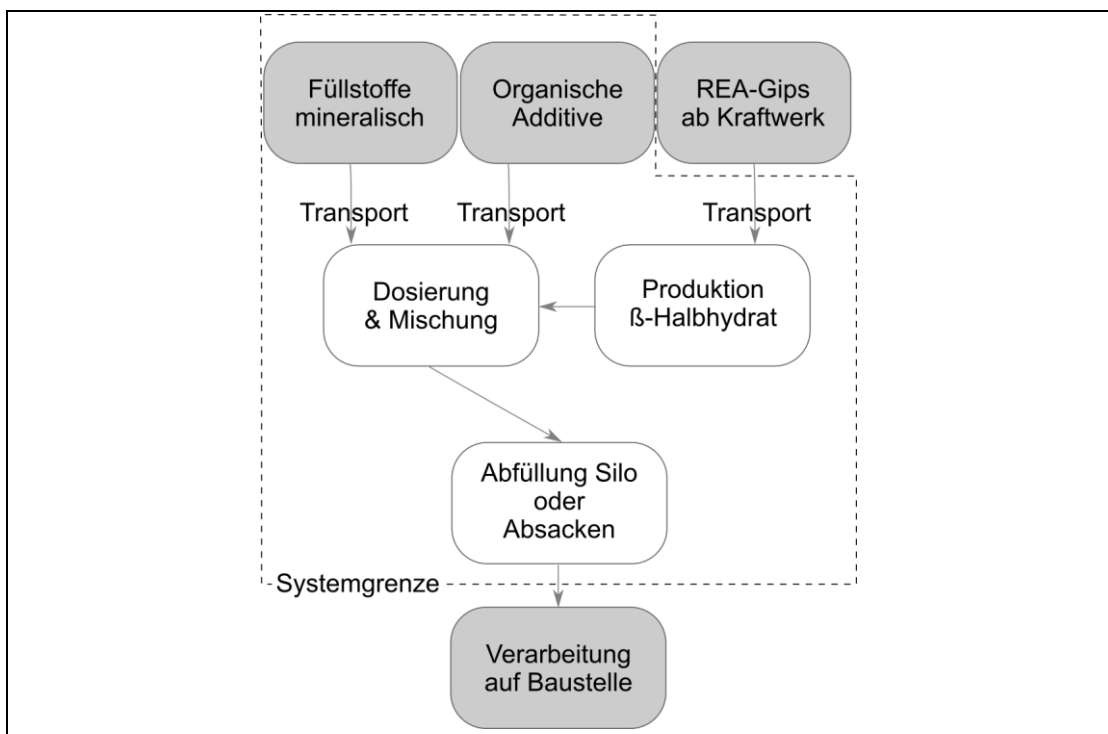


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Herstellungsprozesses für Gipsputze

E.1.2.5 Aushärtung Putze und Einbettmörtel

Damit die Putzdaten durch die Anwender richtig verwendet werden können, werden die bilanzierten Produkte ab Werk unter Berücksichtigung ihres Wassergehalts und des chemisch gebundenen Anmachwassers auf ausgehärtete Produkte umgerechnet. Aus organischen Putzen verdunstet das enthaltene Wasser während der Aushärtung vollständig. Mineralischen Putzen wird auf der Baustelle Anmachwasser beigefügt, von welchem ein Teil chemisch im Zement gebunden wird. Aus dem enthaltenen Kalkhydrat tritt im Gegensatz dazu während der Aushärtung Wasser aus. Gipsputze binden während der Aushärtung einen Teil des Anmachwassers als Kristallwasser. Diese Verhältnisse werden für jede Putzkategorie in einem Datensatz für die ausgehärteten Produkte berücksichtigt.

E.1.2.6 Herstellung Weisszement

Die Weisszementherstellung unterscheidet sich von der Herstellung von grauem Zement in zwei wesentlichen Punkten: Zum einen sind nicht alle Kalkstein-, Ton- und Sandvorkommen zur Herstellung von Weisszement geeignet. Gemäss Literaturangaben darf das Rohmehl für die Klinkerproduktion einen Eisen(III)-Oxid-Gehalt von 0.4 %, Chrom(III)-Oxid-Gehalt von 0.01 % und Mangan(III)-Oxid-Gehalt von 0.02 % nicht übersteigen (Schulz, 2003). Zum anderen muss der Klinker nach dem Brennen rasch auf unter 600 °C abgekühlt werden. Zu diesem Zweck kommen spezielle Weisszementkühler zum Einsatz. Diese kühlen den Klinker unmittelbar nach Verlassen des Drehrohrofens mit Wasser. Ein Teil der Wärme aus dem Klinker kann durch Kondensation des entstandenen Wasserdampfs rückgewonnen werden. Allerdings funktioniert diese Wärmerückgewinnung für grauen Zement besser, da er langsamer gekühlt werden kann. Die Weisszementherstellung verbraucht im Vergleich zur Herstellung von grauem Zement mehr Energie und zusätzliches Kühlwasser (Driemeier, 2015).

Der Herstellungsprozess von Weisszement ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt. Die Rohstoffe zur Weisszementherstellung sind häufig Kalkstein, Ton und Quarzsande. Diese werden in einer vertikalen Rollenmühle oder einer Kugelmühle zu Rohmehl vermahlen. Im Drehrohrföfen wird das Rohmehl zu Klinker gebrannt, wobei die Temperatur rund 100 °C über der Temperatur bei der Herstellung grauer Zemente liegt. Unmittelbar nach dem Verlassen des Drehrohrföfens wird der Weisszement-Klinker auf unter 600 °C gekühlt. Technisch kann dies entweder umgesetzt werden, indem der Klinker in ein Wasserbad fällt oder durch einblasen von Wasser in einen Rohrkühler. Auch kombinierte Systeme mit Wasserkühlung und anschliessender Luftkühlung sind im Einsatz (Schulz, 2003).

Der gekühlte Klinker wird mit mineralischen Füllstoffen wie z. B. REA-Gips versetzt, die als Abfallprodukte anderer Industrieprozesse in ecoinvent nicht bilanziert werden. Zugesezte Additive regulieren die Produkteigenschaften des fertigen Pulvers. Für Weisszement sind zu diesem letzten Prozessschritt keine Angaben der Hersteller verfügbar.

Zur Weiterverarbeitung gelangt der Zement entweder abgepackt in Papiersäcken, als Siloware oder lose transportiert in Schiffen, Last- oder Eisenbahnwagen.

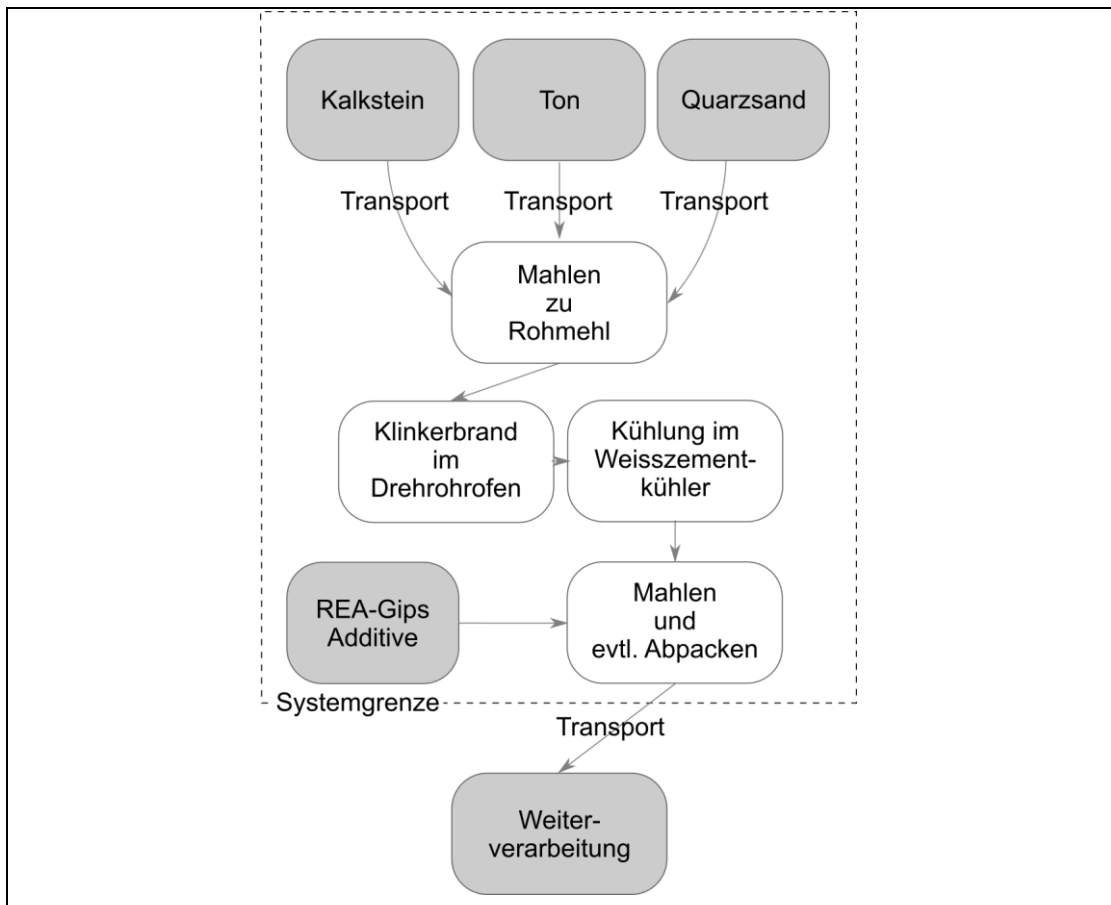


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Herstellungsprozesses für Weisszement

Für die weitere Verwendung in den Ökobilanzen der Putze wird die Ökobilanz des Weisszements im Regionallager Schweiz erstellt. Somit fliesst der Transport des Zements in die Schweiz in die Bilanzierung mit ein. Die Distanzen für den Transport des Zements in die Schweiz wurden für den Strassentransport von Aabenraa nach Bern per Routenplaner eruiert und für den Schiffstransport von Aalborg nach Aabenraa mit der Webseite sea-distances.org, deren Urheberschaft nicht bekannt ist, da der Domainname auf einen Anonymisierungsdienst registriert ist. Daraus ergeben sich gewisse Vorbehalte zur Zuverlässigkeit dieser Daten. Die verwendeten Distanzen für den Zementtransport in die Schweiz werden in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Transportdistanzen für den Transport von Weisszement in die Schweiz

Vorprodukt	Transportdistanz [km]
Schiff Aalborg → Aabenraa	370
Strasse Aabenraa → Bern	1074

E.1.2.7 Herstellung Verpackung

Die Herstellungsdaten für den Kunststoffeimer wurden aus dem Hintergrundbericht zur Umweltproduktdeklaration übernommen (Kosińska et al., 2014), ein Beschrieb des Herstellungsverfahrens ist in der Quelle nicht verfügbar. Die Papiersäcke wurden aufgrund der Materialzusammensetzung bilanziert. Zum Herstellungsprozess sind keine Angaben verfügbar.

E.1.2.8 Regionallager Schweiz

Alle Putze und Verpackungen werden für den Produktionsstandort Schweiz bilanziert. Der Import von Vorprodukten und teilweise Fertigprodukten wird in den Transportwegen der Rohstoffe berücksichtigt, wie in Kapitel E.1.2.1 erläutert.

In der Schweiz wird kein Weisszement hergestellt. Gemäss Branchenangaben wird Weisszement von der Firma Aalborg Cement in Dänemark importiert (jura cement, 2015). Für den Datensatz ab Regionallager Schweiz wird ein Transport per Schiff bis Aabenraa und von dort per LKW bis Bern bilanziert.

E.1.2.9 Entsorgung

Putze werden im Rückbau nicht separat gesammelt. Sie gelangen entweder als Anhaftungen an den Bruchstücken der Wände oder als Feinfraktion in die Betonabbruch-, Holz- oder die Mischabbruchmulde. Ihr Entsorgungsweg wird durch die Materialien bestimmt, auf denen sie anhaften. Falls der Putz auf Holzbauteilen anhaftet, wird er in eine Verbrennung gelangen. Falls er auf mineralischen Materialien wie Beton oder Ziegeln anhaftet oder als Feinfraktion vorliegt, wird er in die Wiederaufbereitung oder auf die Inertstoffdeponie gelangen. Eine detaillierte Erhebung der effektiven Aufteilung dieser Entsorgungswege fehlt und dürfte auch nur mit erheblichem Aufwand durchführbar sein. Aufgrund der vorhandenen Bausubstanz kann davon ausgegangen werden, dass heute und in naher Zukunft die Inertstoffdeponie als Entsorgungsweg dominiert.

In ecoinvent werden mineralische, silikatische und organische Abfälle in die Inertstoffdeponie mit denselben Lasten pro Gewicht bilanziert. Für alle viskos angelieferten Putze kann somit ein Datensatz "Putz viskos, Entsorgung" erstellt werden. Anmachwasser wird diesen Putzen in geringen Mengen zur Flüssigkeitsregulierung beigegeben, verdunstet nach der Applikation jedoch wieder. Für Trockenmörtel muss das Anmachwasser berücksichtigt werden, das ihnen während der Verarbeitung beigemischt wird und im Zement gebunden wird. Ein Kilogramm eingesetzter Trockenmörtel resultiert in mehr als einem Kilogramm ausgehärtetem Mörtel in die Entsorgung. Der Anteil des Anmachwassers ist abhängig vom Zement- und Kalkhydratanteil im Putz. Zudem ist ein gewisser Überschuss nötig, damit der Trockenmörtel vollständig durchfeuchtet und gut verarbeitungsfähig wird. Die genaue Bestimmung des Entsorgungsgewichts pro Kilogramm Trockenmörtel müsste also für jede Putzkategorie getrennt durchgeführt werden. Angesichts der geringen Bedeutung der Umweltbelastungen der Entsorgung im Vergleich zur Herstellung erscheint dieser Aufwand unverhältnismässig. Zur Bestimmung eines realistischen Anmachwasseranteils wurden die Technischen Markblätter zweier Hersteller für Kalk-Zement-Putze ausgewertet. Die so erhaltenen Extremwerte sind in Tabelle 7

aufgeführt. Im Sinne einer konservativen Abschätzung wird ein Entsorgungsdatensatz für alle Trockenmörtel erstellt, in dem von einer Gewichtszunahme von 33 % ausgegangen wird. Es werden also 1.33 kg Putz in die Inertstoffdeponie pro kg eingesetztem Trockenmörtel bilanziert.

Tabelle 7: Anmachwasseranteile in Kalk-Zement-Putzen

Putzkategorie	Anzahl ausgewertete Merkblätter	Anmachwasseranteil
Zement- & Kalk-Zement-Putze	11	21-33 %

Ebenfalls separat bilanziert werden die Gipsputze. Diese nehmen in der Verarbeitung rund 18.4 % Kristallwasser auf, das im Entsorgungsdatensatz korrigiert werden muss. Ein Kilogramm eingesetzter Gipsputz respektive Gips-Kalk-Putz ergeben ungefähr 1.19, respektive 1.17 kg Putz in die Entsorgung. Deshalb werden zwei weiteren Entsorgungsdatensätze "Gipsputz (Weissputz), Entsorgung – CH" und "Gips-Kalk-Putz, Entsorgung – CH" erstellt. Allerdings sind Gipsputze auch keine Inertstoffe im allgemeinen Sinne. Sie sind wasserlöslich und können in Deponien Langzeitsulfatmissionen im Deponieabwasser verursachen. Diese werden mit den vorhandenen Datensätzen in ecoinvent 2.2 jedoch nicht abgedeckt.

Für Weisszement wird kein Entsorgungsdatensatz erstellt, da er als Zwischenprodukt verwendet wird.

E.1.3 Allokation

Die Formulierung (Endfertigung) der Putze wurde als Prozess mit einem einzigen Produkt modelliert. Eine Allokation erübrigt sich. In den verwendeten Umweltproduktdeklarationen wird ebenfalls angegeben, dass die Produktion der Putze als Prozesse mit jeweils einem Endprodukt vorgenommen wird (Kosińska et al., 2013, 2014)

Die Weisszementdaten wurden aus mehreren Datenquellen zusammen getragen. Je nach Quelle kamen unterschiedliche Allokationsregeln zum Einsatz. Siehe dazu das Kapitel E.2.2 zur Sachbilanz von Weisszement. In den Quellen vorgenommene Gutschriften für die Lieferung von Energie an Wärmenetze wurden in der Modellierung für die KBOB-Liste nicht berücksichtigt.

E.1.4 Marktsituation Schweiz

Der Putzmarkt ist geprägt von einer Vielzahl von Putzkategorien mit zahlreichen Varianten. Eine Bilanzierung aller vorhandenen Varianten inklusive Markterhebung würde einen Erhebungsaufwand darstellen, der in keinem Verhältnis zur gewonnenen Genauigkeit der Ergebnisse stehen würde. Als Folge davon wurden die Putze zu Kategorien zusammengefasst, wobei die Produkte nach eingesetzten Bindemitteln kategorisiert werden. Den einzelnen Bilanzen zugrunde liegen Musterrezepturen, welche im Konsens der beteiligten Hersteller erstellt wurden. Die konkreten Produkte werden immer mehr oder weniger von den bilanzierten Musterrezepturen abweichen. Somit kann die Marktsituation mit dem gewählten Vorgehen nicht berücksich-

tigt werden. Die Datensätze versuchen jedoch, einen durchschnittlichen Putz pro Bindemitteltyp zu repräsentieren und so den aktuellen Marktmix so gut als möglich wiederzugeben.

Laut Herstellerangaben wird Weisszement aus Dänemark importiert. Der Zweitgrösste Zementhersteller jura cement vertreibt ausdrücklich Aalborg Weisszement. Weitere Bezugsquellen für den Schweizer Markt sind die Hersteller Dyckerhoff in Deutschland und Italcementi in Italien (Kreppelt, 2015). Die Transportwege und Marktanteile der Weisszemente der verschiedenen Hersteller konnten im Rahmen dieses Projekts, das in erster Linie die Bilanzierung der Putze aktualisieren sollte, nicht abgeklärt werden. Die bilanzierte Transportdistanz für das Werk Aalborg kann als konservative Abschätzung verstanden werden.

E.1.5 Abschneidekriterien

Alle verfügbaren Daten wurden genutzt. Es wurden keine Daten vernachlässigt wegen zu geringer Relevanz für die Ökobilanzergebnisse. Bilanziert wurden Putzmischungen ab Werk. Aus diesen werden aufgrund theoretischer Überlegungen zur Aushärtung Datensätze für ausgehärtete Putze berechnet.

E.1.6 Zeitliche und geografische Gültigkeit

Die Putzdaten wurden mit Vertretern aller wesentlicher Marktteilnehmer in der Schweiz geprüft und wo nötig aktualisiert. Sie können für die Produktion im Jahr 2015 als repräsentativ gelten.

Die Weisszementdaten basieren teilweise auf dem Umweltbericht des Herstellers für das Jahr 2013, fehlende Angaben zu den Inhaltstoffen, den Transporten und den Emissionen wurden aus dem ecoinvent-Datensatz "portland cement Z 52.5, at plant – CH" und "clinker, at plant – CH" mit Erstellungsdatum 2007 übernommen.

Die verwendeten Hintergrunddaten aus ecoinvent 2.2 sind unterschiedlich aktuell. In Tabelle 8 werden die Referenzzeiträume für sämtliche Ecoinvent-Datensätze aufgelistet, die in der Bilanzierung der Putze verwendet wurden.

Tabelle 8: Aktualität der Hintergrunddaten aus Ecoinvent zur Herstellung von Putzen

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Quarzsand / Sand getrocknet Marmorsand	sand, at mine – CH	1997
Kalksteinmehl Gesteinskörnungen / Füllstoffe	limestone, milled, loose, at plant – CH	2000
Branntkalk	quicklime, milled, loose, at plant – CH	2000
Perlit	expanded perlite, at plant – CH	1995
EPS-Granulat	polystyrene foam slab, at plant – RER	2003
Zement CEM I 42.5 Tonerdezement	portland cement, strength class Z 42.5, at plant – CH	1997
Weisskalkhydrat	lime, hydrated, loose, at plant – CH	2000
Bindemittel / Polymerdispersion Verdicker Acrylat	acrylic binder, 34% in H2O, at plant – RER	1995

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenz-jahr
Kaliwasserglas/Kieselsool	sodium silicate, furnace liquor, 37% in H2O, at plant – RER	1995
Flammschutzmittel / Aluminiumhydroxid	aluminium hydroxide, at plant – RER	1995
Pigmente TiO ₂	titanium dioxide, production mix, at plant – RER	1997
Dispersionspulver Vinylacetat- / Ethylen-Dispersion	ethylene vinyl acetate copolymer, at plant – RER	2000
Glasfaser od. PE-Faser Fasern	glass fibre, at plant – RER	2000
Celluloseether	carboxymethyl cellulose, powder, at plant – RER	1993
Stärkeether Verdicker / Polysaccharide	modified starch, at plant – RER	2000
Luftporenbildner	alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant – RER	1992
Hydrophobiermittel Zinkstearat / Natriumoleat	chemicals inorganic, at plant – GLO	2000
Hydrophobierungsmittel / Cyclische Siloxane Entschäumer	silicone product, at plant – RER	1997
Dispergierhilfsmittel / Phosphat-Polyacrylat-Mischung	polymethyl methacrylate, beads, at plant – RER	1996
Dispergierhilfsmittel / Phosphat-Polyacrylat-Mischung	sodium tripolyphosphate, at plant – RER	1986
Filmbildehilfsmittel	ethylene glycol monoethyl ether, at plant – RER	2000
Filmschutzmittel Topfkonservierung	chemicals organic, at plant – GLO	2000
Wasser	tap water, at user – RER	2000
Hilfsstoffe Verarbeitung	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenz-jahr
Schmieröl	lubricating oil, at plant – RER	2000
Prozesswasser	tap water, at user – CH	2000
Druckluft	compressed air, average installation, <30kW, 8 bar gauge, at supply network	2006
Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenz-jahr
Produktionsverluste Inertstoffe zur Deponie	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	1995
Prozesswasser in Abwasserreinigung	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3 – CH	1994
Entsorgung Gipsanteil	disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill	1995
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid – CH	2004
Thermische Energie aus Erdgas	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW – RER	2000
Thermische Energie aus Heizöl	heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW – RER	2000

Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Strassentransporte	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	2005
Transport Vorprodukte CH	transport, lorry 20-28t, fleet average – CH	2005
Transporte Abfälle Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	2005
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Produktionsmaschine	Industrial machine, heavy, unspecified, at plant – RER	1999

Für die Weisszementproduktion werden die Hintergrunddatensätze aus Ecoinvent 2.2. in Tabelle 9 ausgewiesen.

Tabelle 9: Aktualität der Hintergrunddaten aus Ecoinvent zur Weisszementherstellung

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Kalkstein	limestone, milled, loose, at plant – CH	2000
Kalkmergel	calcareous marl, at plant – CH	1997
Wasser Weisszementkühler Prozesswasser	tap water, at user – RER	2000
Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Ton	clay, at mine – CH	1992
Sand	sand, at mine – CH	1997
Ammoniak	ammonia, liquid, at regional storehouse – RER	2000
Hilfsstoff Zementmühle	ethylene glycol, at plant – RER	1997
Auskleidung Drehrohrofen	refractory, basic, packed, at plant – DE	1999
Auskleidung Drehrohrofen	refractory, high aluminium oxide, packed, at plant – DE	1999
Bauxit	bauxite, at mine – GLO	1994
Auskleidung Drehrohrofen	refractory, fireclay, packed, at plant – DE	1999
Materialabnutzung Mühle	steel, low-alloyed, at plant – RER	2000
Materialabnutzung Drehrohrofen	chromium steel 18/8, at plant – RER	2000
Schmiermittel	lubricating oil, at plant – RER	2000
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Referenzjahr
Ersatz Auskleidung Drehrohrofen	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	1995
Diverse Produktionsabfälle	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration – CH	1995
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Strom	electricity, medium voltage, at grid – DK	1992
Koks	petroleum coke, at refinery - RER	1980/2000
Kohle	hard coal, at regional storage – WEU	1977
Heizöl schwer	heavy fuel oil, at regional storage – RER	1989
Werksinterne Transporte	diesel, burned in building machine – GLO	1996

Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Transport Aabenraa->Bern Transport Rohstoffe	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	2005
Schiffstransport Aalborg->Aabenraa	transport, barge – RER	1998
Transport Rohstoffe	transport, freight, rail – RER	2000
Transport Rohstoffe	transport, lorry 16-32t, EURO4 - RER	2005
Transport Rohstoffe	transport, lorry 3.5-16t, fleet average - RER	2005
Transport Rohstoffe	transport, van <3.5t – RER	205
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Drehrohrofen	industrial machine, heavy, unspecified, at plant – RER	1999
Zementwerk	cement plant – CH	1997

E.1.7 Datenquellen und Datenqualität

E.1.7.1 Putze

Als Ausgangspunkt wurden die Putzrezepturen, Herstellungsdaten und Transportwege aus den Umweltproduktdeklarationen der deutschen Herstellerverbände verwendet (Kosińska et al., 2013, 2014). Diese wurden mit einer Fachgruppe von Vertretern der meisten wichtigen Putzhersteller der Schweiz diskutiert und an die in der Schweiz üblichen Produkte angepasst. Der Entwurf des vorliegenden Berichts wurde erneut in der Fachgruppe zirkuliert und die Kommentare berücksichtigt.

Die Datenqualität wird mit Hinblick auf den Schweizer Markt als mittel bis gut eingeschätzt. Einschränkungen ergeben sich in viererlei Hinsicht:

- Die Vielfalt der Rezepturen kann nur durch ein vereinfachtes Erhebungsverfahren mittels Musterrezepturen berücksichtigt werden.
- Die Importsituation ist nicht vollständig bekannt, ein Teil der Putze wird bereits als Fertigprodukte eingeführt, bei einigen werden nur die Bindemittel oder ein Teil der Bindemittel importiert und die fertigen Mischungen in der Schweiz erstellt und einige Produkte werden vollständig in der Schweiz gemischt. Auch innerhalb einer Produktgruppe können je nach Lieferant unterschiedliche Importsituationen vorliegen. Zudem werden Produkte gerne unter Eigenmarken verkauft, aber nur teilweise oder gar nicht selbst hergestellt, was die Orientierung über die effektiven Produktionsverhältnisse weiter erschwert.
- Die Herstellungsdaten stammen aus den deutschen Umweltproduktdeklarationen, Erhebungen für die Schweizer Verhältnisse wurden nicht vorgenommen. Der bedeutendste Schritt in der Endfertigung für die Ergebnisse der Ökobilanz von Trockenmörteln ist die Sandtrocknung. Die verfügbaren Daten zur Sandtrocknung zeigen je nach Datenquelle erhebliche Unterschiede und müssen als wenig gesichert beurteilt werden, siehe dazu auch E.2.1 und Tabelle 15.
- Ebenfalls für das Ergebnis bedeutend sind die Transportwege der Vorprodukte, die mit einer einfachen Annahme an die Schweizer Verhältnisse angepasst wurden (siehe dazu E.1.2.1).

Im Fall der Gipsputze basiert die Bilanzierung auf der Datenerhebung des Bundesverbands der Gipsindustrie bei seinen Mitgliedsunternehmen (BV Gips, 2014b). Aus den Ergebnissen dieser Erhebung wurden die Inputdaten für die EPD des Gipsverbandes hergeleitet, die ebenfalls zur Verfügung stehen (Stoffregen, 2015). Die Daten umfassen die Rezepturen, die benötigte Herstellungsenergie und die Transportdistanzen für die Rohstoffe. Da die Daten vertraulich sind, konnten Sie nicht in der Fachgruppe von Herstellervertretern diskutiert werden. Die Schweizer Herstellervertreter bestätigten jedoch, dass die Bindemittelmischung für Gipsputze teilweise von den deutschen Herstellern bezogen wird, die an der Erstellung der Daten durch den BV Gips beteiligt waren. Zusätzlich kommt in der Schweiz Naturgips aus Schweizer Minen zum Einsatz (Kreppelt, 2015). Es ist jedoch nicht bekannt, wie sich die Marktanteile zwischen den importierten Mischungen und dem Schweizer Gips aufteilen. In der Schweiz zugemischt werden die Füllstoffe.

In Tabelle 10 werden die Kennzahlen der Ökobilanzen für REA-Gips und für Naturgips für die Indikatoren der KBOB-Liste einander gegenübergestellt.

Tabelle 10: Vergleich der Ökobilanzindikatoren der β -Halbhydrate nach Herkunft

Datensatz	β -Halbhydrat aus REA-Gips	Naturgips (ecoinvent 2.2)
UBP total [UBP]	81.9	165
Primärenergie nicht-erneuerbar [MJ]	1.88	1.67
Primärenergie total [MJ]	1.91	1.69
Treibhausgaspotential [kg CO ₂ -eq]	0.110	0.097

Für β -Halbhydrat aus REA-Gips resultieren deutlich tiefere UBPs, alle anderen Indikatoren liegen rund 10 bis 20 % höher als für Naturgips. Da die Lasten des REA-Gipses mit Ausnahme der UBPs in der Ökobilanzierung eher höher sind als diejenigen des Naturgipses, wird als konservative Annahme davon ausgegangen, dass nur REA-Gips als Rohstoff eingesetzt wird. Eine Analyse der Ökobilanzindikatoren für die Herstellung von Gipsputz zeigt, dass das β -Halbhydrat rund 30 % zur Gesamtumweltbelastung des Gipsputzes in UBPs beiträgt. Wegen des geringen Einflusses auf das Ergebnis wird auf eine weitere Differenzierung in Putze mit REA-Gips und Putze mit Naturgips als Bindemittel verzichtet.

E.1.7.2 Weisszement

Die Bilanzierung des Weisszements basiert auf den öffentlich verfügbaren Daten eines Herstellers. Der dänische Hersteller von Weisszement veröffentlicht einen ausführlichen Umweltbericht mit Kennzahlen zum Energieverbrauch, den CO₂- und NO_x-Emissionen der Weissklinker-Herstellung (aalborg, 2014). Gemäss einer Experten-Schätzung (Saunders, 2014) verfügt das Werk in Aalborg über eine Produktionskapazität für Weisszement von 1.61 Mt/a. Der Umweltbericht von Aalborg (aalborg, 2014) weist im Mittel für die Jahre 2009-2013 eine Gesamtproduktion von herkömmlichem und Weisszement von 1.72 Mt/a aus. Somit würde der Anteil Weisszement an der Produktion rund 95 % betragen. Aus den Energiekennzahlen im Umweltbericht lässt sich dagegen ein Weisszementanteil an der Produktion von 72 % ableiten und eine Jahresproduktion von ca. 1.2 Mt/a. Im Vergleich zur globa-

len Produktionskapazität von ca. 13.3 Mt/a (Saunders, 2014) repräsentiert der Hersteller 9-13 % der globalen Produktion. Die Daten des Herstellers repräsentieren also einen nennenswerten Anteil der Weltproduktion. Der ermittelte Energieverbrauch für die Weisszementherstellung kann für den dänischen Hersteller als relativ gut bekannt angesehen werden. Insgesamt ist die Qualität der Daten jedoch sehr beschränkt, da wichtige Angaben zu den Prozessen und insbesondere den Emissionen fehlen. Es ist zudem nicht bekannt, wie die Bilanzen der weiteren Lieferanten von Weisszement im Schweizer Markt ausfallen würden. Die Datenqualität und -repräsentativität muss als beschränkt aussagekräftig eingestuft werden.

E.1.7.3 Verpackung

Zur Herstellung der beiden Verpackungen "Kunststoff-Eimer" und "Papiersack" wurden keine Daten erhoben. Die Ökobilanzen basieren im Fall des Papiersacks auf einer gemittelten Materialbilanz von drei Putzsäcken, die von einem Hersteller zur Verfügung gestellt wurden (Kreppelt, 2015). Die Daten zum Kunststoffeimer stammen aus der Umweltproduktdeklaration für Putze (Kosińska et al., 2014), wobei das Stückgewicht nach Rücksprache mit einem Hersteller gegenüber der Annahme in der Umweltproduktdeklaration massiv nach oben korrigiert werden musste (Bannwitz, 2015).

Kunststoffeimer sind im Verhältnis zum Füllgewicht relativ schwer. Wegen der Anhaftungen nach dem Entleeren können sie zudem kaum wiederverwendet werden. In der heutigen Praxis werden die Kunststoffeimer nach dem Gebrauch in der KVA entsorgt. Eine Analyse der dadurch ausgelösten Umweltbelastungen zeigt, dass diese einen relevanten Beitrag zur Ökobilanz der Herstellung in der Grössenordnung von 5 % leisten. Nach den Vorgaben der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich muss die Entsorgung der Verpackung den Herstellungsdaten angerechnet werden, wenn diese einen signifikanten Einfluss auf die Ökobilanzergebnisse hat (Frischknecht, 2015). Somit wird in der Putzbilanzierung in Abweichung von anderen Datensätzen in der KBOB-Liste die Entsorgung der Kunststoffeimer berücksichtigt.

E.2 Sachbilanzdaten

E.2.1 Putze und Einbettmörtel ab Werktor

Organische Putze und Mörtel werden immer aus denselben Grundstoffen gemischt. Dasselbe gilt für die Gruppe der mineralischen Putze und Mörtel sowie die Gipsputze. Die Unterschiede zwischen den Produkten ergeben sich aus unterschiedlichen Mischungsverhältnissen, zusätzlichen Bindemitteln oder unterschiedlichen Füllstoffen. Dementsprechend wiederholen sich zahlreiche Inhaltsstoffe in den Sachbilanzen. Diese werden jeweils beim Auftreten in der ersten Sachbilanz in diesem Kapitel erläutert. Wenn sie in weiteren Sachbilanzen auftreten, werden die Erläuterungen nicht wiederholt.

Die Verluste in der Produktion wurden für alle Datensätze auf 0.5 % abgeschätzt. Die Schätzung entspricht der Angabe im Hintergrundbericht zu den Umweltproduktdeklarationen für mineralische Putze und Mörtel (Kosińska et al., 2013).

In Tabelle 11 wird die Sachbilanz für "organische Baukleber und Einbettmörtel" ausgewiesen. Organische Baukleber und Einbettmörtel bestehen hauptsächlich aus mineralischen Füllstoffen, wobei Kalksteinpulver überwiegt und wenig Talkpulver beigemischt werden kann. Bilanziert wird der Füllstoff mit demecoinvent-Datensatz "limestone, milled, loose, at plant – CH". Wegen der grossen Mengen, die verarbeitet werden, kann davon ausgegangen werden, dass die Gesteinskörnungen lose transportiert werden.

Als Bindemittel kommen Polyacrylat-Dispersionen zum Einsatz. Diese werden mit demecoinvent-Datensatz "acrylic binder, 34% in H₂O, at plant – RER" berücksichtigt. Obwohl der Datensatz als 34 %-Dispersion betitelt ist, bezieht er sich auf das Gewicht des Acrylates. Dementsprechend wurde die Masse der 50 %-Dispersion in der Datenquelle für die Bilanzierung mit demecoinvent-Datensatz halbiert und das Dispersionswasser zum ausgewiesenen Wasser addiert. Die Wasserzugabe dient der Viskositätsregulierung und als Lösemittel für die Komponenten. In der Ökobilanz wurde derecoinvent-Datensatz "tap water, at user – RER" verwendet.

Gemessen am Masseanteil zweitwichtigste Komponente ist das Flammschutzmittel Aluminiumhydroxid, für das derecoinvent-Datensatz "aluminium hydroxide, at plant – RER" existiert. Für das Filmbildehilfsmittel wird Ethylenglykolmonoethylether als Annäherung verwendet. Mögliche Filmbildehilfsmittel sind z. B. n-Hexylglykol (BASF, 2014) oder Methoxypropylacetat (BASF, 2008). Die eingesetzten Fasern werden in den Umweltproduktdeklarationen des Verbands der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie (Kosińska et al., 2014) zu 50 % als Polyacrylonitril-Fasern und zu 50 % als Glasfasern bilanziert.ecoinvent hält lediglich einen Datensatz für Glasfasern bereit ("glass fibre, at plant – RER"), weshalb die Fasern zu 100 % als Glasfasern modelliert werden. Da Polyacrylonitril-Fasern in der Herstellung energieintensiver sind als Glasfasern, resultiert daraus eine Unterschätzung des Herstellungsaufwands. Für den Primärenergiebedarf wird im Folgenden eine Abschätzung des eingeführten Fehlers vorgenommen: Für das chemisch zu Polyacrylonitril verwandte Polyamid publiziert Plastics Europe im Eco-Profile einen Primärenergieaufwand der Herstellung von 140 MJ/kg (PlasticsEurope, 2014). Im Vergleich dazu weist die Glasfaser inecoinvent 2.2 einen Primärenergieaufwand der Herstellung von 46 MJ/kg auf. Somit ergibt sich eine Differenz von grosszügig gerundeten 100 MJ/kg Fasern zwischen Glasfasern und Polyacrylonitril-Fasern. Das Gewicht der Fasern beträgt in allen Musterrezepturen rund 0.01 kg pro kg Putz. Die Ergebnisse für den Primärenergiebedarf Total würden also bei der Verwendung von 50 % Polyacrylonitril-Fasern statt Glasfasern in der Bilanzierung maximal 0.5 MJ/kg höher liegen. Der so eingeführte Fehler macht für alle davon betroffenen Putze maximal 4 % aus.

Als Verdicker werden Polysaccharide eingesetzt, die hier mit dem Datensatz für modifizierte Stärke "modified starch, at plant – RER" eingesetzt werden. Zur Topfkonservierung kann eine Vielzahl von Bioziden verwendet werden. Aus eigenen Arbeiten (Kasser et al., 2015) wissen wir, dass Benzoisothiazolinon (BIT) und Methylisothiazolinon (MIT) in Putzen häufig eingesetzt werden. Für beide existieren keine

ecoinvent-Datensätze, weshalb der generische Datensatz "chemicals organic, at plant – GLO" zum Einsatz kommt.

Titandioxid wird als Weisspigment beigemischt und ist in der Ökobilanz mit dem ecoinvent-Datensatz "titanium dioxide, production mix, at plant – RER" berücksichtigt. Die Entschäumungsmittel modelliert die EPD mit 50% silikatischer Emulsion und 50% ethoxylierten Fettsäuren. Eine kurze Literaturstudie (BASF Dispersions & Pigments, 2015) ergibt jedoch keine Hinweise auf den Einsatz ethoxylierter Fettsäuren, weshalb hier nur der bereits recht unspezifische ecoinvent-Datensatz "silicone product, at plant – RER" eingesetzt wird. Als Dispergierhilfsmittel werden Phosphat-Polyacrylat-Mischungen angegeben. Diese werden mit den beiden ecoinvent-Datensätzen "polymethyl methacrylate, beads, at plant – RER" und "sodium tripolyphosphate, at plant – RER" im Verhältnis 50:50 berücksichtigt. Beide eingesetzten Datensätze sind als Ersatz für Polyacrylate und Polyphosphate zu verstehen, die Produkte mit wesentlich anderen Eigenschaften beschreiben.

Organische Mörtel und Putze werden als hochviskose Flüssigkeiten in Kunststoff-Eimern mit Metallbügel ausgeliefert. Dominant im Markt sind Eimer mit 18 Litern Fassungsvermögen, was zirka 25 kg Mörtel oder Putz entspricht. Diese werden als Verpackung bilanziert. Die Erstellung der Ökobilanz für diese Kunststoff-Eimer ist im Kapitel E.2.5 dokumentiert. In der Sachbilanz berücksichtigt sind Herstellung und Entsorgung der Kunststoffeimer, aufgrund der Vorgaben der Fachgruppe der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich (Frischknecht, 2015).

Die Strassentransporte wurden mit den Transportdistanzen aus Tabelle 3 berechnet.

Tabelle 11: Sachbilanzdaten Baukleber und Einbettmörtel organisch, Herstellung – CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Gesteinskörnungen / Füllstoffe (95% Kalkstein, 5% Talk)	limestone, milled, loose, at plant – CH	kg	0.549
Flammschutzmittel / Aluminiumhydroxid	aluminium hydroxide, at plant – RER	kg	0.151
Wasser	tap water, at user – RER	kg	0.146
Bindemittel / Polymerdispersion	acrylic binder, 34% in H ₂ O, at plant – RER	kg	0.101
Filmbildungshilfsmittel	ethylene glycol monoethyl ether, at plant – RER	kg	0.0201
Fasern	glass fibre, at plant – RER	kg	0.0101
Verdicker / Polysaccharide	modified starch, at plant – RER	kg	0.0101
Topfkonservierung / BIT, MIT	chemicals organic, at plant – GLO	kg	0.0050
Pigmente TiO ₂	titanium dioxide, production mix, at plant – RER	kg	0.0050
Entschäumer	silicone product, at plant – RER	kg	0.0030
Dispergierhilfsmittel / Phosphat-Polyacrylat-Mischung	polymethyl methacrylate, beads, at plant – RER	kg	0.0025

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Dispergierhilfsmittel / Phosphat-Polyacrylat-Mischung	sodium triphosphate, at plant – RER	kg	0.0025
Herstellungsaufwand inkl. Infrastruktur	Herstellungsaufwand Frischmörtel, pro kg Mörtel	kg	1
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsverluste	Putz, Entsorgung – CH	kg	0.005
Verpackung	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Kunststoff-Eimer	Kunststoff-Eimer 18 l inkl. Transportverpackung, Herstellung – RER	Stk.	0.04
Entsorgung Kunststoff-Eimer	Kunststoff-Eimer 18 l, Entsorgung – CH	Stk.	0.04
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Strassentransporte	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	t*km	0.485
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Baukleber und Einbettmörtel organisch, Herstellung – CH	kg	1

Der Produktionsaufwand für die Mischung der Putze ist aus den verfügbaren Unterlagen des VdL nicht ersichtlich. Ersatzweise wurden die Angaben zur Frischmörtelproduktion aus dem Hintergrundbericht des IWB (Kosińska et al., 2013) übernommen. Die Herstellungsprozesse zur Mischung organischer Putze und von Frischmörteln entsprechen sich fast vollständig, womit diese Annahme gut gerechtfertigt werden kann. Der Hintergrundbericht des VdL (Kosińska et al., 2014) weist die zugesetzten Wassermengen in den Rezepturen der Putze aus, weshalb das Prozesswasser, welches für die Frischmörtelproduktion ausgewiesen wurde (Kosińska et al., 2013), hier nicht übernommen wird. Die Angaben zum Schmieröl und der eingesetzten Energie stammen aus dem Hintergrundbericht. Für die Infrastruktur fehlen Angaben der Hersteller, weshalb ersatzweise die technischen Daten eines Putzmischers herangezogen werden (Uelzener-UMS, 2006) um das Gewicht abzuschätzen, wobei eine Lebensdauer von 72'000 Betriebsstunden, respektive ca. 10 Jahren angenommen wurde. Für den Herstellungsaufwand der Frischmörtelproduktion wurde ein eigener Datensatz erstellt: "Herstellungsaufwand Frischmörtel, pro kg Mörtel". Die Sachbilanz dieses Datensatzes ist in Tabelle 12 ausgewiesen. Für die Elektrizität wurde der Datensatz für die Schweiz verwendet. Aufgrund der zahlreichen international tätigen Akteure in diesem Bereich wird ein Teil der Produktion jedoch auch in den europäischen Nachbarländern stattfinden.

Tabelle 12: Sachbilanzdaten Herstellungsaufwand Frischmörtel, pro kg Mörtel – CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Schmieröl	lubricating oil, at plant – RER	kg	2.46*10 ⁻⁶
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid – CH	kWh	0.013
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Mischer	industrial machine, heavy, unspecified, at plant – RER	kg	0.00055
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Herstellungsaufwand Frischmörtel, pro kg Mörtel – CH	kg	1

Tabelle 13 weist die Sachbilanz für mineralische Einbettmörtel aus. Mineralische Einbettmörtel bestehen wie ihre organischen Pendanten zur Hauptsache aus mineralischen Füllstoffen, wobei gemäss Umweltproduktdeklarationen des deutschen Industrieverbandes Werkmörtel (Kosińska et al., 2013) im Kleber vor allem Quarzsand eingesetzt wird ("sand, at mine – CH"), und etwas weniger Kalksteinmehl ("limestone, milled, loose, at plant – CH"). Der ecoinvent-Datensatz "silica sand, at plant – DE" scheint im ersten Moment passender für den Quarzsand. Dieser Datensatz enthält jedoch bereits eine Annahme über die Trocknungsenergie des Sandes. Diese Energie wurde in den Umweltproduktdeklarationen ebenfalls bei den Herstellern erhoben und ist bezüglich der eingesetzten Energieträger differenzierter. Für die Herstellungsenergie wird deshalb eine Abschätzung unter Berücksichtigung beider Datenquellen erstellt, wie weiter unten erläutert wird. Eine weitere Annahme trifft der Datensatz "silica sand, at plant – DE" bezüglich der Verluste, indem er als Rohstoff-Input 1.04 kg "sand, at mine" verwendet. Die Verluste werden jedoch ebenfalls auf der Ebene der Mörtel, bzw. Putzproduktion berücksichtigt. Somit ist hier die Verwendung des Datensatzes "sand, at mine" angebracht.

Im Unterschied zu den organischen Klebern ist das Bindemittel in mineralischen Klebern Zement ("portland cement, strength class Z 42.5, at plant – CH"). Für das ebenfalls als Füllstoff verwendete Blähglas sind leider keine Ökobilanzdaten verfügbar. Deshalb wird der ebenfalls im Projekt QualiBOB erarbeitete Datensatz für Schaumglas "Misapor Schaumglas, Herstellung – CH" verwendet. Der Herstellungsprozess ist demjenigen des Blähglas ähnlich, wobei nach Auskunft von Branchenvertretern das für Putze geeignete Blähglas aus kugelförmigen Perlen besteht, Misapor Schaumglas hingegen ist ein grobkörniger Schotter. Es kann vermutet werden, dass die Blähglasproduktion wegen der höheren Qualitätsanforderungen an das Produkt eher aufwändiger ist als die Herstellung des Schaumglasschotters. Weisskalkhydrat wird mineralischen Putzen beigegeben, um die Helligkeit des fertigen Putzes zu verbessern. In der Ökobilanz wird es mit dem Datensatz "lime, hydrated, loose, at plant – CH" aus ecoinvent 2.2 berücksichtigt. Als Dispersionspulver können Pulver auf Basis von Vinylacetat-Ethylen-Copolymeren eingesetzt werden (Wacker, 2011), für das der ecoinvent-Datensatz "ethylene vinyl acetate copolymer, at plant – RER" existiert. Für die eingesetzten Fasern wird wie schon bei den organischen Produkten der ecoinvent-Datensatz für Glasfasern "glass fibre, at plant – RER" verwendet. Celluloseether, bilanziert mit dem ecoinvent-Datensatz "carboxy-

methyl cellulose, powder, at plant – RER" werden zur Regulation der Viskosität eingesetzt. Zur Beeinflussung der Konsistenz werden zudem modifizierte Stärkeether verwendet, welche mit dem ecoinvent-Datensatz für modifizierte Stärke "modified starch, at plant – RER" berücksichtigt werden. Als Luftporenbildner können Olefin-sulfonate zum Einsatz kommen, für die als Näherung der ecoinvent-Datensatz "alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant – RER" verwendet wird. Die Hydrophobiermittel Zinkstearat und Natriumoleat – beides Metallseifen – können nur mit dem generischen Datensatz für anorganische Chemikalien "chemical inorganic, at plant – GLO" berücksichtigt werden.

Mineralische Mörtel und Putze können in Silos oder als Sackware ausgeliefert werden. Der Anteil als Sackware ausgelieferter Baukleber und Einbettmörtel gemäss Tabelle 4 wird verwendet, um die Verpackung mit dem Datensatz "Putzsack inkl. Transportverpackung, Herstellung – CH" zu bilanzieren. Da sich der Datensatz auf ein Kilo verpackten Putz bezieht, entspricht das Gewicht in der Sachbilanz nicht dem Gewicht des Papiersacks, sondern dem Anteil in Papiersäcken verpackten Putzes. Die Sachbilanz für den Papiersack wird in Kapitel E.2.5 dokumentiert. Die Strassentransporte wurden mit den Transportdistanzen aus Tabelle 5 berechnet.

Tabelle 13: Sachbilanzdaten Baukleber und Einbettmörtel mineralisch, Herstellung – CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Quarzsand / Sand getrocknet	sand, at mine – CH	kg	0.312
Zement CEM I 42.5 R	portland cement, strength class Z 42.5, at plant – CH	kg	0.251
Kalksteinmehl	limestone, milled, loose, at plant – CH	kg	0.248
Blähglas	Misapor Schaumglas, Herstellung – CH	kg	0.101
Weisskalkhydrat	lime, hydrated, loose, at plant – CH	kg	0.05
Dispersionspulver Vinylacetat- / Ethylen-Dispersion	ethylene vinyl acetate copolymer, at plant – RER	kg	0.03
Glasfaser od. PE-Faser	glass fibre, at plant – RER	kg	0.01
Celluloseether	carboxymethyl cellulose, powder, at plant – RER	kg	0.002
Stärkeether	modified starch, at plant – RER	kg	0.001
Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Luftporenbildner	alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant – RER	kg	0.0004
Hydrophobiermittel Zinkstearat / Natriumoleat	chemicals inorganic, at plant – GLO	kg	0.0003
Herstellungsaufwand inkl. Infrastruktur	Herstellungsaufwand Trockenmörtel, pro kg Mörtel	kg	1
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsverluste	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	0.005
Verpackung	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Papiersack	Putzsack inkl. Transportverpackung, Herstellung – CH	Stk.	0.024

Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Strassentransporte	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	t*km	0.211
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Baukleber und Einbettmörtel mineralisch, Herstellung – CH	kg	1

Der Verarbeitungsaufwand der Trockenmörtelproduktion wird im Hintergrundbericht als Durchschnittsdatensatz über alle Mörtelarten präsentiert (Kosińska et al., 2013). Als Hilfsstoffe in der Verarbeitung werden Schmieröle ("lubricating oil, at plant – RER") und Druckluft ("compressed air, average installation, <30 kW, 8 bar gauge, at supply network – RER") eingesetzt. Da keine konkreten Angaben über das eingesetzte Druckniveau bekannt sind, wurde der ecoinvent-Datensatz mit dem mittleren Druck von 8 bar eingesetzt. Die Datenquelle enthält keine weiteren Angaben, welche Prozessschritte die ausgewiesene Herstellungsenergie konsumieren. Aus direkter Kommunikation mit dem Verband ist bekannt (Riechers, 2015), dass der grösste Beitrag zur Herstellungsenergie aus der Trocknung des Sandes stammt, dessen natürliche Feuchte zuerst ausgetrieben werden muss. Auch mit diesen Zusatzinformationen muss jedoch festgestellt werden, dass die Trockenmörtelherstellung gemäss den Angaben in der EPD eine erstaunlich hohe Menge Elektrizität (0.109 kWh/kg) benötigt. Mehrere Rückfragen beim Industrieverband Werkmörtel ergaben keine Klärung des Sachverhalts. Durch Vergleich mit den Angaben zur Frischmörtelproduktion in derselben Datenquelle, einer weiteren Publikation zur Trocknungsenergie (Corradini et al., 1999), älteren Herstellerangaben zum Energiebedarf der Sandtrocknung (Fixit AG, Putz- und Mörtelwerke Weiach, 1997) und dem bestehenden Ecoinvent-Datensatz für Quarzsand wurde der Energiebedarf neu abgeschätzt und nach unten korrigiert. Die Energiemengen nach Datenquellen und die verwendete Abschätzung sind in Tabelle 14 dokumentiert.

Tabelle 14: Trocknungsenergie für Sande pro kg Sand aus verschiedenen Datenquellen

Datenquelle	Elektrizität [MJ/kg] / [kWh/kg]	Erdgas [MJ/kg]	Erdöl [MJ/kg]	Gesamt [MJ/kg]
(Kosińska et al., 2013) Trockenmörtelproduktion	0.392 / 0.109	0.038	0.008	0.438
(Kosińska et al., 2013) Frischmörtelproduktion	0.0468 / 0.013	0	0	0.0468
(Corradini et al., 1999)	–	–	–	0.0557
(Fixit AG, Putz- und Mörtelwerke Weiach, 1997)	0.00204 / 0.000565	0	0.195	0.197
Ecoinvent 2.2, Datensatz " silica sand, at plant – DE	–	–	–	0.2
Abschätzung für vorliegende Bilanzierung Putze	0.063 / 0.0175	0.038	0.157	0.258

Für die Neuabschätzung wurde die Gesamtenergie aus Ecoinvent verwendet und dazu die Elektrizität der Frischmörtelproduktion addiert, um die weiteren Aufwendungen neben der Trocknung abzubilden. Für die Aufteilung auf die Energieträger wurde für Erdgas die Angabe aus der EPD und für Heizöl die Angabe aus den Her-

stellerangaben übernommen minus der Energie, die das Erdgas liefert. Der Elektrizitätsverbrauch ergibt sich dann aus der Differenz zur Gesamtsumme.

In den vorliegenden Datensätzen wird nun mit einem Herstellungsaufwand für Trockenmörtel gemäss Tabelle 15 gerechnet. Die Infrastruktur wird mit einer Abschätzung des Verschleisses für den Mischer berücksichtigt, die wie beim Herstellungsaufwand für Frischmörtel auf den technischen Daten eines Mixers (Uelzener-UMS, 2006) unter der Annahme einer Betriebsdauer von 72'000 Stunden basiert.

Tabelle 15: Sachbilanzdaten Herstellungsaufwand Trockenmörtel, pro kg Mörtel – CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Schmieröl	lubricating oil, at plant – RER	kg	1.05*10 ⁻⁶
Prozesswasser	tap water, at user – CH	kg	0.015
Druckluft	compressed air, average installation, <30kW, 8 bar gauge, at supply network	m ³	0.038
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Abwasser	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3 – CH	m ³	1.5*10 ⁻⁵
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid – CH	kWh	0.0175
Thermische Energie aus Erdgas	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW – RER	MJ	0.038
Thermische Energie aus Heizöl	heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW – CH	MJ	0.157
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Mischer	industrial machine, heavy, unspecified, at plant – RER	kg	0.00055
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Herstellungsaufwand Trockenmörtel, pro kg Mörtel – CH	kg	1

Der Baukleber und Einbettmörtel mit Leichtzuschlag unterscheidet sich durch die Zugabe von Kügelchen aus expandiertem Polystyrol (EPS) vom bereits diskutierten "Baukleber und Einbettmörtel mineralisch". Die Sachbilanz zur Herstellung des "Bauklebers und Einbettmörtels mineralisch mit Leichtzuschlag" ist in Tabelle 16 dokumentiert. Bei den mineralischen Füllstoffen wird etwas mehr Kalksteinmehl als Quarzsand bilanziert, der Zementanteil ist mit 25 % gleich gross wie beim vorherigen Kleber. Das EPS-Granulat wird mit dem ecoinvent-Datensatz "polystyrene foam slab, at plant – RER" bilanziert, da es sich bei den Kügelchen um vollständig expandiertes EPS handelt. Der ebenfalls verfügbare ecoinvent-Datensatz "polystyrene, expandable, at plant" bezieht sich im Gegensatz dazu auf das erst vorexpanzierte EPS-Granulat und ist hier nicht geeignet. Wegen der geringen Rohdichte des EPS entspricht der bilanzierte Masseanteil von 1 % einem Volumenanteil von rund 40-50 %. Die Strassentransporte wurden mit den Transportdistanzen aus Tabelle 5 berechnet.

Tabelle 16: Sachbilanz Baukleber und Einbettmörtel mineralisch mit Leichtzuschlag, Herstellung – CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Kalksteinmehl	limestone, milled, loose, at plant – CH	kg	0.338
Quarzsand / Sand getrocknet	sand, at mine – CH	kg	0.312
Zement CEM I 42.5 R	portland cement, strength class Z 42.5, at plant – CH	kg	0.251
Weisskalkhydrat	lime, hydrated, packed, at plant – CH	kg	0.05
Dispersionspulver Vinylacetat- / Ethylen-Dispersion	ethylene vinyl acetate copolymer, at plant – RER	kg	0.03
Glasfaser od. PE-Faser	glass fibre, at plant – RER	kg	0.01
EPS-Granulat	polystyrene foam slab, at plant – RER	kg	0.01
Celluloseether	carboxymethyl cellulose, powder, at plant – RER	kg	0.002
Stärkeether	modified starch, at plant – RER	kg	0.0006
Luftporenbildner	alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant – RER	kg	0.0004
Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Hydrophobiermittel Zinkstearat / Natriumoleat	chemicals inorganic, at plant – GLO	kg	0.0003
Herstellungsaufwand inkl. Infrastruktur	Herstellungsaufwand Trockenmörtel, pro kg Mörtel	kg	1
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsverluste	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	0.005
Verpackung	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Papiersack	Putzsack inkl. Transportverpackung, Herstellung – CH	Stk.	0.024
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Strassentransporte	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	t*km	0.175
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Baukleber und Einbettmörtel mineralisch mit Leichtzuschlag, Herstellung – CH	kg	1

Die Sachbilanz für Kunststoffputz ist in Tabelle 17 wiedergegeben. Gegenüber dem organischen Kleber dazu gekommen sind die Biozide als Filmschutzmittel und zur Topfkonservierung. Als Filmschutzmittel am häufigsten eingesetzt werden die Wirkstoffe Diuron, Terbutryn, 2-Octyl-3-Isothiazolinon (OIT) und Zinkpyrithion (Kasser et al., 2015). Diese Mittel sollen den Bewuchs der Fassade mit Algen und Pilzen verhindern. Die Topfkonservierer wirken dagegen als Schutzmittel vor Mikroorganismen während der Produktlagerung. Die häufigsten Wirkstoffe nach derselben Quelle sind Isothiazolinon-Derivate (Chlormethylisothiazolinon (CMIT), Methylisothiazolinon (MIT), Benzisothiazolinon (BIT)). Für alle diese Wirkstoffe existieren keine ecoinvent-Datensätze, weshalb sie mit dem unspezifischen Datensatz für organische Chemikalien "chemicals organic, at plant – GLO" berücksichtigt werden mussten. Nicht alle Kunststoffputze enthalten Filmschutzmittel, der hier bilanzierte Re-

zepturanteil von 1 % ist ein Mittelwert für Putze mit Filmschutzmittel, die zwischen ca. 0.5 % bis ca. 2 % Filmschutzmittel enthalten können (Burkhardt et al., 2013; Kasser et al., 2015). Die Strassentransporte wurden mit den Transportdistanzen aus Tabelle 3 berechnet.

Tabelle 17: Sachbilanz Kunststoffputz (Dispersionsputz), Herstellung – CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Gesteinskörnungen / Füllstoffe (95% Kalkstein, 5% Talk)	limestone, milled, loose, at plant – CH	kg	0.563
Wasser	tap water, at user – RER	kg	0.143
Flammschutzmittel / Aluminiumhydroxid	aluminium hydroxide, at plant – RER	kg	0.101
Bindemittel / Polymerdispersion	acrylic binder, 34% in H ₂ O, at plant – RER	kg	0.0704
Pigmente TiO ₂	titanium dioxide, production mix, at plant – RER	kg	0.0402
Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Filmbildehilfsmittel	ethylene glycol monoethyl ether, at plant – RER	kg	0.0201
Verdicker / Polysaccharide	modified starch, at plant – RER	kg	0.0201
Filmschutzmittel	chemicals organic, at plant – GLO	kg	0.0101
Fasern	glass fibre, at plant – RER	kg	0.0101
Hydrophobierungsmittel / Cyclische Siloxane	silicone product, at plant – RER	kg	0.0101
Entschäumer	silicone product, at plant – RER	kg	0.0101
Topfkonserverung	chemicals organic, at plant – GLO	kg	0.00302
Dispergierhilfsmittel / Phosphat-Polyacrylat-Mischung	polymethyl methacrylate, beads, at plant – RER	kg	0.00251
Dispergierhilfsmittel / Phosphat-Polyacrylat-Mischung	sodium triphosphate, at plant – RER	kg	0.00251
Herstellungsaufwand inkl. Infrastruktur	Herstellungsaufwand Frischmörtel, pro kg Mörtel	kg	1
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsverluste	Putz, Entsorgung – CH	kg	0.005
Verpackung	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Kunststoff-Eimer	Kunststoff-Eimer 18 l inkl. Transportverpackung, Herstellung – RER	Stk.	0.04
Entsorgung Kunststoff-Eimer	Kunststoff-Eimer 18 l, Entsorgung – CH	Stk.	0.04
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Strassentransporte	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	t*km	0.486
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Kunststoffputz (Dispersionsputz), Herstellung – CH		

Dispersionssilikatputze enthalten Wasserglas (ecoinvent-Datensatz "sodium silicate, furnace liquor, 37% in H₂O, at plant – RER") als zusätzliches Bindemittel und können im Vergleich zu Kunststoffputzen mit einem geringeren Anteil Polymerdispersion gefertigt werden. Die Angabe in der Datenquelle bezieht sich auf eine 30 %-Dispersion, deren Menge auf die Konzentration im ecoinvent-Datensatz umgerechnet wurde. Das fehlende Dispersionswasser wurde zur Wasserzugabe addiert. Wie aus Tabelle 18 ebenfalls ersichtlich wird, ist der Anteil des Hydrophobierungsmittels etwas höher als in Kunststoffputzen. Dazu eingesetzt werden cyclische Siloxane, die hier mit dem ecoinvent-Datensatz "silicone product, at plant – RER" abgebildet werden. Die Strassentransporte wurden mit den Transportdistanzen aus Tabelle 3 berechnet.

Tabelle 18: Sachbilanz Dispersionssilikatputz (Silikatputz), Herstellung - CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Gesteinskörnungen / Füllstoffe (95% Kalkstein, 5% Talk)	limestone, milled, loose, at plant – CH	kg	0.537
Wasser	tap water, at user – RER	kg	0.127
Kaliwasserglas/Kieselsool	sodium silicate, furnace liquor, 37% in H ₂ O, at plant – RER	kg	0.114
Bindemittel / Polymerdispersion	acrylic binder, 34% in H ₂ O, at plant – RER	kg	0.0503
Flammschutzmittel / Aluminiumhydroxid	aluminium hydroxide, at plant – RER	kg	0.0503
Pigmente TiO ₂	titanium dioxide, production mix, at plant – RER	kg	0.0302
Filmbildehilfsmittel	ethylene glycol monoethyl ether, at plant – RER	kg	0.0201
Verdicker / Polysaccharide	modified starch, at plant – RER	kg	0.0201
Hydrophobierungsmittel / Cyclische Siloxane	silicone product, at plant – RER	kg	0.0201
Filmschutzmittel	chemicals organic, at plant – GLO	kg	0.0101
Fasern	glass fibre, at plant – RER	kg	0.0101
Entschäumer	silicone product, at plant – RER	kg	0.0101
Dispergierhilfsmittel / Phosphat-Polyacrylat-Mischung	polymethyl methacrylate, beads, at plant – RER	kg	0.00251
Dispergierhilfsmittel / Phosphat-Polyacrylat-Mischung	sodium tripolyphosphate, at plant – RER	kg	0.00251
Topfkonservierung	chemicals organic, at plant – GLO	kg	0.00101
Herstellungsaufwand inkl. Infrastruktur	Herstellungsaufwand Frischmörtel, pro kg Mörtel	kg	1
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsverluste	Putz, Entsorgung – CH	kg	0.005
Verpackung	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Kunststoff-Eimer	Kunststoff-Eimer 18 l inkl. Transportverpackung, Herstellung – RER	Stk.	0.04
Entsorgung Kunststoff-Eimer	Kunststoff-Eimer 18 l, Entsorgung – CH	Stk.	0.04

Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Strassentransporte	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	t*km	0.47
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Dispersionssilikatputz (Silikatputz), Herstellung – CH	kg	1

Aus der Sachbilanz des Silikonharzputzes in Tabelle 19 kann man ablesen, dass er als zusätzliches Bindemittel Silikonharzemulsion enthält. Diese wird hier mangels Alternativen in Ecoinvent mit dem unspezifischen Datensatz "silicone product, at plant – RER" modelliert. Als weiteres Bindemittel werden Acrylate in etwa derselben Menge wie in Kunststoffputzen beigegeben. Die Strassentransporte wurden mit den Transportdistanzen aus Tabelle 3 berechnet.

Tabelle 19: Sachbilanz Silikonharzputz, Herstellung - CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Gesteinskörnungen / Füllstoffe (95% Kalkstein, 5% Talk)	limestone, milled, loose, at plant – CH	kg	0.525
Wasser	tap water, at user – RER	kg	0.121
Flammschutzmittel / Aluminiumhydroxid	aluminium hydroxide, at plant – RER	kg	0.101
Bindemittel / Polymerdispersion	acrylic binder, 34% in H ₂ O, at plant – RER	kg	0.0704
Silikonharzemulsion	silicone product, at plant – RER	kg	0.0402
Pigmente TiO ₂	titanium dioxide, production mix, at plant – RER	kg	0.0402
Hydrophobierungsmittel / Cyclische Siloxane	silicone product, at plant – RER	kg	0.0302
Filmbildehilfsmittel	ethylene glycol monoethyl ether, at plant – RER	kg	0.0201
Verdicker / Polysaccharide	modified starch, at plant – RER	kg	0.0201
Filmschutzmittel	chemicals organic, at plant – GLO	kg	0.0101
Fasern	glass fibre, at plant – RER	kg	0.0101
Entschäumer	silicone product, at plant – RER	kg	0.0101
Topfkonservierung	chemicals organic, at plant – GLO	kg	0.00302
Dispergierhilfsmittel / Phosphat-Polyacrylat-Mischung	polymethyl methacrylate, beads, at plant – RER	kg	0.00251
Dispergierhilfsmittel / Phosphat-Polyacrylat-Mischung	sodium tripolyphosphate, at plant – RER	kg	0.00251
Herstellungsaufwand inkl. Infrastruktur	Herstellungsaufwand Frischmörtel, pro kg Mörtel	kg	1
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsverluste	Putz, Entsorgung – CH	kg	0.005

Verpackung	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Kunststoff-Eimer	Kunststoff-Eimer 18l inkl. Transportverpackung, Herstellung – RER	Stk.	0.04
Entsorgung Kunststoff-Eimer	Kunststoff-Eimer 18 l, Entsorgung – CH	Stk.	0.04
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Strassentransporte	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	t*km	0.525
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Silikonharzputz, Herstellung – CH	kg	1

Die mineralischen Füllstoffe Kalksteinmehl und Quarzsand machen fast 80 % des Gewichts von Kalk-Zement- und Zement-Kalk-Putzen aus. Dies zeigt die Sachbilanz in Tabelle 20. Im Gegensatz zu den mineralischen Klebern wird in den Putzen vorwiegend Kalksteinmehl und deutlich weniger Quarzsand eingesetzt. Da der Datensatz sowohl für Kalk-Zement- wie auch für Zement-Kalk-Putze gelten soll, werden die Anteile des Zements und des Weisskalkhydrates in der Musterrezeptur für die Ökobilanzierung auf gleiche Werte gesetzt. Verpackt werden die Kalk-Zement- und Zement-Kalk-Putze zu 70 % in Papiersäcken, 30 % der Lieferungen erfolgen in Silos (Kosińska et al., 2013). Die Strassentransporte wurden mit den Transportdistanzen aus Tabelle 5 berechnet.

Tabelle 20: Sachbilanz Kalk-Zement- & Zement-Kalk-Putze, Herstellung

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Kalksteinmehl	limestone, milled, loose, at plant – CH	kg	0.644
Quarzsand	sand, at mine – CH	kg	0.151
Weisskalkhydrat	lime, hydrated, loose, at plant – CH	kg	0.101
Zement CEM I 42.5 R	portland cement, strength class Z 42.5, at plant – CH	kg	0.101
Dispersionspulver Vinylacetat- / Ethylen-Dispersion	ethylene vinyl acetate copolymer, at plant – RER	kg	0.005
Celluloseether	carboxymethyl cellulose, powder, at plant – RER	kg	0.002
Hydrophobiermittel Zinkstearat / Natriumoleat	chemicals inorganic, at plant – GLO	kg	0.002
Stärkeether	modified starch, at plant – RER	kg	0.0003
Luftporenbildner	alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant – RER	kg	0.0002
Herstellungsaufwand inkl. Infrastruktur	Herstellungsaufwand Trockenmörtel, pro kg Mörtel	kg	1
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsverluste	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	0.005
Verpackung	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Papiersack	Putzsack inkl. Transportverpackung, Herstellung – CH	Stk.	0.021

Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Strassentransporte	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	t*km	0.113
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Kalk-Zement- & Zement-Kalk-Putze, Herstellung – CH	kg	1

Die Sachbilanz für Zement-Putz in Tabelle 21 unterscheidet sich dadurch von der Sachbilanz für Kalk-Zement-Putz, dass nur Zement als Bindemittel eingesetzt wird. Dessen Anteil ist mit 25 % dafür deutlich höher als in der Musterrezeptur für Kalk-Zement-Putze. Der Anteil der mineralischen Füllstoffe beträgt fast 75 %, die weiteren Additive tragen weniger als 1 % zum Gewicht der Mischung bei. Auch Zementputze werden zu 70 % in Papiersäcken ausgeliefert. Die Strassentransporte wurden mit den Transportdistanzen aus Tabelle 5 berechnet.

Tabelle 21: Sachbilanz Zement-Putz, Herstellung – CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Kalksteinmehl	limestone, milled, loose, at plant – CH	kg	0.593
Zement CEM I 42.5 R	portland cement, strength class Z 42.5, at plant – CH	kg	0.251
Quarzsand	sand, at mine – CH	kg	0.151
Dispersionspulver Vinylacetat- / Ethylen-Dispersion	ethylene vinyl acetate copolymer, at plant – RER	kg	0.005
Celluloseether	carboxymethyl cellulose, powder, at plant – RER	kg	0.002
Hydrophobiermittel Zinkstearat / Natriumoleat	chemicals inorganic, at plant – GLO	kg	0.002
Stärkeether	modified starch, at plant – RER	kg	0.0003
Luftporenbildner	alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant – RER	kg	0.0002
Herstellungsaufwand inkl. Infrastruktur	Herstellungsaufwand Trockenmörtel, pro kg Mörtel	kg	1
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsverluste	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	0.005
Verpackung	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Papiersack	Putzsack inkl. Transportverpackung, Herstellung – CH	Stk.	0.021
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Strassentransporte	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	t*km	0.101
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Zement-Putz, Herstellung – CH	kg	1

Die Musterrezeptur für den Weisszementputz basiert auf der Musterrezeptur für Kalk-Zement- und Zement-Kalkputze. Jedoch wurde der Zement durch Weisszement ersetzt und eigens ein Datensatz für Weisszement-Herstellung hergeleitet. Die

Sachbilanz des Weisszement-Datensatzes ist in Kapitel E.2.2 dokumentiert. Für den Weisszementputz ergibt sich die Sachbilanz gemäss Tabelle 22. Die Strassentransporte wurden mit den Transportdistanzen aus Tabelle 5 berechnet.

Tabelle 22: Sachbilanz Weisszementputz, Herstellung – CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Kalksteinmehl	limestone, milled, loose, at plant – CH	kg	0.644
Quarzsand	sand, at mine – CH	kg	0.151
Weisskalkhydrat	lime, hydrated, loose, at plant – CH	kg	0.101
Weisszement CEM I 42.5 R	Weisszement, Herstellung – CH	kg	0.101
Dispersionspulver Vinylacetat- / Ethylen-Dispersion	ethylene vinyl acetate copolymer, at plant – RER	kg	0.005
Celluloseether	carboxymethyl cellulose, powder, at plant – RER	kg	0.002
Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Hydrophobiermittel Zinkstearat / Natriumoleat	chemicals inorganic, at plant – GLO	kg	0.002
Stärkeether	modified starch, at plant – RER	kg	0.0003
Luftporenbildner	alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant – RER	kg	0.0002
Herstellungsaufwand inkl. Infrastruktur	Herstellungsaufwand Trockenmörtel, pro kg Mörtel	kg	1
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsverluste	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	0.005
Verpackung	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Papiersack	Putzsack inkl. Transportverpackung, Herstellung – CH	Stk.	0.021
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Strassentransporte	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	t*km	0.089
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Weisszementputz, Herstellung – CH	kg	1

Mineralischer Leichtputz wird als Unterputz für poröse Untergründe verwendet. Er weist kaum wärmedämmende Eigenschaften auf. Vom später dokumentierten Wärmedämmputz EPS unterscheidet er sich durch den geringeren Anteil des EPS-Granulates und das ebenfalls als Leichtzuschlag vorhandene Blähglas. Aus der Sachbilanz in Tabelle 23 ist auch ersichtlich, dass expandiertes Perlit als dritter Leichtzuschlag eingesetzt werden kann, für das der Ecoinvent-Datensatz "expanded perlite, at plant – CH" existiert. Als Füllstoff enthält der bilanzierte Leichtputz ausschliesslich Kalksteinmehl. In realen Produkten kann dieser Anteil auch teilweise durch Sand ersetzt werden. Die Strassentransporte wurden mit den Transportdistanzen aus Tabelle 5 berechnet.

Tabelle 23: Sachbilanz Leichtputz mineralisch, Herstellung – CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Kalksteinmehl	limestone, milled, loose, at plant – CH	kg	0.613
Zement CEM I 42.5 R	portland cement, strength class Z 42.5, at plant – CH	kg	0.196
Blähglas	Misapor Schaumglas, Herstellung – CH	kg	0.101
Weisskalkhydrat	lime, hydrated, loose, at plant – CH	kg	0.058
Perlit	expanded perlite, at plant – CH	kg	0.022
EPS-Granulat	polystyrene foam slab, at plant – RER	kg	0.01
Glasfaser od. PE-Faser	glass fibre, at plant – RER	kg	0.0024
Celluloseether	carboxymethyl cellulose, powder, at plant – RER	kg	0.0013
Luftporenbildner	alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant – RER	kg	0.0003
Stärkeether	modified starch, at plant – RER	kg	0.0003
Hydrophobiermittel Zinkstearat / Natriumoleat	chemicals inorganic, at plant – GLO	kg	0.0002
Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Herstellungsaufwand inkl. Infrastruktur	Herstellungsaufwand Trockenmörtel, pro kg Mörtel	kg	1
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsverluste	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	0.005
Verpackung	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Papiersack	Putzsack inkl. Transportverpackung, Herstellung – CH	Stk.	0.021
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Strassentransporte	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	t*km	0.257
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Leichtputz mineralisch, Herstellung – CH	kg	1

Der hier bilanzierte Wärmedämmputz EPS ist ein reiner Zementputz mit EPS-Granulat als Füllstoff. Aus der Sachbilanz in Tabelle 24 geht hervor, dass der Gewichtsanteil des EPS-Granulates 4.6 % beträgt. Je nach eingesetzter Dichte für das EPS-Granulat ergibt dies einen Volumenanteil des EPS am Gesamtvolumen des Putzes von rund 65-75 %. Da im Wärmedämmputz EPS keine mineralischen Füllstoffe vorkommen, entfällt auch der Produktionsschritt der Sandtrocknung. Somit entspricht der Produktionsaufwand demjenigen eines Frischmörtels. Deshalb wird der Datensatz für die Frischmörtelproduktion verwendet. Die Strassentransporte wurden mit den Transportdistanzen aus Tabelle 5 berechnet.

Tabelle 24: Sachbilanz Wärmedämmputz EPS, Herstellung – CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Zement CEM I 42.5 R	portland cement, strength class Z 42.5, at plant – CH	kg	0.953
EPS-Granulat	polystyrene foam slab, at plant – RER	kg	0.046
Hydrophobiermittel Zinkstearat / Natriumoleat	chemicals inorganic, at plant – GLO	kg	0.0038
Celluloseether	carboxymethyl cellulose, powder, at plant – RER	kg	0.0019
Herstellungsaufwand inkl. Infrastruktur	Herstellungsaufwand Frischmörtel, pro kg Mörtel	kg	1
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsverluste	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	0.005
Verpackung	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Papiersack	Putzsack inkl. Transportverpackung, Herstellung – CH	Stk.	0.024
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Strassentransporte	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	t*km	0.222
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Wärmedämmputz EPS, Herstellung – CH	kg	1

Eine weitere Sachbilanz wurde für Sumpfkalkputze erstellt. Diese ist in Tabelle 25 ausgewiesen. Die Rezeptur beruht auf den Angaben eines Branchenvertreters (Blumer, 2015). Diese Putze enthalten "eingesumpften" gebrannten Kalk als Bindemittel. Dabei wird der Branntkalk mit Wasser im Überschuss gelöscht. Es entsteht Kalkhydrat, das über einige Wochen im Wasser reifen muss. Bei diesem Vorgang nimmt der Branntkalk pro Kilogramm 321 Gramm Wasser auf. Der gereifte Sumpfkalk wird als Dispersion verwendet. In der Sachbilanz wird Branntkalk ("quicklime, milled, loose, at plant – CH") und Wasser ("tap water, at user – CH") bilanziert, da die Sumpfkalkherstellung im Gegensatz zur Kalkhydratherstellung kaum Energie benötigt. Als Füllstoff werden Marmorsande eingesetzt, die nach Herstellerangaben aus Norditalien bezogen werden. Durch die Verwendung des speziellen Füllstoffs verlängert sich die Transportdistanz im Vergleich zu normalem Sand auf gemittelte 425 km. Der Marmorsand wird als Trockenprodukt geliefert. In ecoinvent ist kein spezifischer Datensatz für Marmorsand enthalten. Der am besten vergleichbare Datensatz ist der für gemahlene Kalkstein ("limestone, milled, loose, at plant – CH"), der in der Herstellung wie auch Marmorsand gebrochen und getrocknet werden muss. Deshalb wird die Herstellung des Sumpfkalkputzes als Trockenmörtel bilanziert, obwohl das Produkt in viskoser Form vertrieben wird.

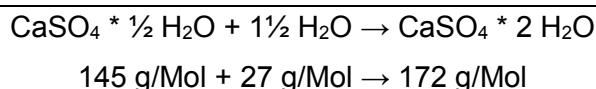
Tabelle 25: Sachbilanz Sumpfkalkputz, Herstellung – CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Marmorsand	limestone, milled, loose, at plant – CH	kg	0.653
Wasser	tap water, at user – CH	kg	0.253
Branntkalk (Rohstoff für Sumpfkalk)	quicklime, milled, loose, at plant – CH	kg	0.0931
Verdicker Celluloseether	carboxymethyl cellulose, powder, at plant – RER	kg	0.00402
Verdicker Acrylat	acrylic binder, 34% in H ₂ O, at plant – RER	kg	0.00101
Entschäumer	silicone product, at plant – RER	kg	0.00101
Herstellungsaufwand inkl. Infrastruktur	Herstellungsaufwand Trockenmörtel, pro kg Mörtel – CH	kg	1
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsverluste	Putz, Entsorgung – CH	kg	0.005
Verpackung	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Kunststoff-Eimer	Kunststoff-Eimer 18 l inkl. Transportverpackung, Herstellung – RER	Stk.	0.04
Entsorgung Kunststoff-Eimer	Kunststoff-Eimer 18 l, Entsorgung – CH	Stk.	0.04
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Strassentransporte	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	t*km	0.343
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Sumpfkalkputz, Herstellung – CH	kg	1

Die Sachbilanzdaten der Gipsputze wurden vom Gesamtverband der Gipsindustrie vertraulich zur Verfügung gestellt (BV Gips, 2014a) und werden im separaten Anhang Y dokumentiert.

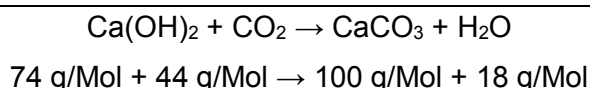
E.2.2 Putze und Einbettmörtel ausgehärtet

Aus den Herstellungsdatensätzen für Putze ab Werktor werden aufgrund theoretischer Überlegungen zur Aushärtung Datensätze für ausgehärtete Putze hergeleitet. Für organische Putze besteht die Aushärtung darin, dass das Wasser aus dem Putz verdunstet und das dispergierte Bindemittel als Polymer im Putz verleiht. Mineralische und Gips-Putze härten zum einen aus, indem der enthaltene Zement respektive Gips mit dem zugegebenen Wasser abbindet. Aus der Fachliteratur ist bekannt, dass das chemisch gebundene Wasser einem Wasser/Zement-Wert von 40 % entspricht (Holcim, 2010). Im ausgehärteten Zement sind also zusätzlich zum Eigengewicht des abbindefähigen Zements 40 % Wasser chemisch gebunden. Auch das β -Halbhydrat im Gipsputz bindet ab, indem es anderthalb Wassermoleküle pro Molekül β -Halbhydrat einlagert. Die Formel 1 bildet diese Reaktion ab. Aus der Stöchiometrie der Reaktion folgt, dass aus 1 Kilogramm β -Halbhydrat 1.186 Kilogramm Gips entstehen.



Formel 1: Reaktionsgleichung der Aushärtung von Gips mit Molgewichten

Das enthaltene Kalkhydrat bindet hingegen mit dem Kohlendioxid der Luft ab und gibt dabei 0.243 kg Wasser pro kg Kalkhydrat ab. Dieses Verhältnis folgt aus der Stöchiometrie des Abbindevorgangs wie in Formel 2 dargestellt.



Formel 2: Reaktionsgleichung der Aushärtung von Kalkhydrat mit Molgewichten

Die Gesamtbilanz des gebundenen Wasser im ausgehärteten Putz entspricht also der Differenz zwischen chemisch gebundenem Anmachwasser und Verdunstung aus dem Kalkhydrat. In Tabelle 26 wird die Bilanz der Aushärtung für jede Produktgruppe aufgelistet, jeweils bezogen auf ein Kilogramm ausgehärteten Putz. In den Datensätzen wird eine Nettozugabe von Wasser mit dem ecoinvent-Datensatz für "tap water, at user – CH" bilanziert. Eine Nettowasserabgabe wird als Emission von Wasser in die Luft (water, air unspecified) berücksichtigt. Für alle Datensätze gilt gleichermaßen, dass keine Restfeuchte im ausgehärteten Putz berücksichtigt wird.

Tabelle 26: Rohstoffinputs pro kg ausgehärtetem Putz

Bilanzierte Produktgruppe	Produkt ab Werk [kg]	Chemisch gebundene Wasserzugabe [kg]	Wasserabgabe an Umgebung [kg]	Wasserbilanz netto [kg]
Baukleber und Einbettmörtel organisch, ausgehärtet	1.17	0	0.172	-0.172
Baukleber und Einbettmörtel mineralisch, ausgehärtet	0.919	0.0923	0.0112	0.0811
Baukleber und Einbettmörtel mineralisch mit Leichtzuschlag, ausgehärtet	0.919	0.0923	0.0112	0.0811
Kunststoffputz (Dispensionsputz), ausgehärtet	1.17	0	0.166	-0.166
Dispersionssilikatputz (Silikatputz), ausgehärtet	1.15	0	0.146	-0.146
Silikonharzputz, ausgehärtet	1.14	0	0.137	-0.137
Kalk-Zement- & Zement-Kalk-Putze, ausgehärtet	0.984	0.0404	0.0245	0.0159
Zement-Putz, ausgehärtet	0.909	0.0912	0.000	0.0912
Weisszementputz, ausgehärtet	0.984	0.0404	0.0245	0.0159
Leichtputz mineralisch, ausgehärtet	0.940	0.0737	0.0132	0.0604
Wärmedämmputz EPS, ausgehärtet	0.724	0.276	0.000	0.276
Sumpfkalkputz, ausgehärtet	1.34	0.000	0.339	-0.339
Gipsputz (Weissputz), ausgehärtet	0.8	0.15	0.000	0.2
Gips-Kalk-Putz, ausgehärtet	0.9	vertraulich	vertraulich	0.1

E.2.3 Entsorgung Putze und Einbettmörtel

Die Sachbilanz des Entsorgungsdatensatzes für ausgehärtete Putze wird in Tabelle 27 ausgewiesen. Die Bilanz ist denkbar einfach und besteht nur aus der Verknüpfung mit dem ecoinvent-Datensatz "disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH" plus der ecoinvent-Standarddistanz in die Entsorgung von 15 km gemäss der KBOB-Methodik (Frischknecht, 2013). Für alle Putztypen wird die Entsorgung in der Inertstoffdeponie modelliert, da dies nach aktuellem Stand der Technik der wahrscheinlichste Entsorgungsweg ist. Die Bilanzen gelten pro kg ausgehärtetem Putz, eine Korrektur für das gebundene Anmachwasser ist somit nicht nötig.

Tabelle 27: Sachbilanz Putz organisch und mineralisch ausgehärtet, Entsorgung – CH

Input	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Inertstoffe zur Deponie	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	1
Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	tkm	0.015
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Putz organisch und mineralisch ausgehärtet, Entsorgung – CH	kg	1

Die Sachbilanz in Tabelle 28 weist die Entsorgung für Gipsputz nach, die für ein Kilogramm ausgehärteten Putz berechnet wird. Für Gips-Kalk-Putz wird die Sachbilanz in Tabelle 29 ausgewiesen. Der Gipsanteil ist mit dem Datensatz "disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill" berücksichtigt. Dazu kommen die Inertstoffanteile und der Kalkanteil in den Putzen (disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH). Die Bilanz der Entsorgung des Gips-Kalk-Putzes weist eine etwas andere Verteilung zwischen enthaltenem Gips und Inertstoffen auf (Tabelle 29). Die Transportdistanz wird gemäss der KBOB-Methodik (Frischknecht, 2013) mit 15 Kilometern eingesetzt.

Tabelle 28: Sachbilanz Gipsputz und Weissputz, Entsorgung – CH

Input	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Entsorgung Gipsanteil	disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill	kg	0.98
Entsorgung Inertstoffanteil	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	0.02
Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	tkm	0.015
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gipsputz und Weissputz, Entsorgung – CH	kg	1

Tabelle 29: Sachbilanz Gips-Kalk-Putz, Entsorgung – CH

Input	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Entsorgung Gipsanteil	disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill	kg	0.9
Entsorgung Inertstoffanteil	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	0.1
Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	tkm	0.015
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Gips-Kalk-Putz, Entsorgung – CH	kg	1

E.2.4 Weisszement

Aus dem Umweltbericht des Weisszementherstellers Aalborg Cement (aalborg, 2014) konnten die Verbrauchsdaten der Energieträger Kohle, Petroleum-Koks, Heizöl und Alternativbrennstoffe sowie der Elektrizitätsbedarf für die Jahre 2009-2013 für die gesamte Zementproduktion entnommen werden. Ebenfalls publiziert ist der spezifische Energiebedarf der Weisszement-Herstellung. Dieser wird im Umweltbericht um die Lieferungen an das lokale Fernwärmenetz nach unten korrigiert. Da diese Gutschrift für die Abwärme nicht der ecoinvent-Methodik entspricht, ist der Energiebedarf der Zementherstellung inklusive der Abwärme gesucht. Mit den Angaben des Umweltberichts konnte dieser gesamte Energiebedarf inklusive der Abwärme berechnet werden. Gemäss den Abschätzungen in E.1.7.2 stellt das Werk mehrheitlich bis fast ausschliesslich Weisszement her. Der Energiemix der Brennstoffe kann also in guter Näherung als repräsentativ für die Weisszementproduktion angenommen werden. Ausgehend vom Gesamtenergiebedarf wurden die Brennstoff-Inputs und der Elektrizitätsbedarf für die Weisszementherstellung hergeleitet. Tabelle 30 weist die Berechnung der benötigten Energieträger aus. Kursiv gesetzte Zahlen sind das Ergebnis der vorgenommenen Berechnungen, während die Daten aus dem Bericht gerade gesetzt sind. Die Nutzenergie der Brennstoffe wurde aus den Angaben in (Frischknecht et al., 2007) zum Brennwert berechnet. Für die Bilanzierung der Energieträger im Datensatz "Weisszement, Herstellung" wurden die Massen der Energieträger Kohle, Heizöl und Koks wiederum unter Verwendung derselben Angaben zum Brennwert berechnet. Wie im ecoinvent 2.2-Datensatz für die Klinkerproduktion ("clinker, at plant – CH"), werden die Brennstoffe in die Bilanz eingesetzt und nicht die daraus erzeugte Wärme. Die Emissionen der Brennstoffnutzung sind in den Emissionen des Datensatzes "Weisszement, Herstellung" enthalten. Aus dem Datensatz zur Klinkerproduktion ergänzt wurde die Dieserverbrauch für werksinterne Transporte, da sich dafür keine Angabe im Umweltbericht findet.

Tabelle 30: Berechnung der Energiekennzahlen der Weisszementproduktion in Aalborg

Energie	Mittelwerte Gesamtproduktion 2009-2013		Mittelwerte Weisszement 2009-2013	Anteil [%]
	[kg/TCE]	[MJ/TCE]	[MJ/TCE]	
Gesamt (mit Abzug der Fernwärme)		5.99	6.80	
Kohle	0.0315	0.958	1.09	14 %
Petrol Koks	0.112	4.1	4.60	61 %
Heizöl	0.00388	0.170	0.192	3 %
Alternativbrennstoffe	0.0491	0.981	1.11	15 %
Energie	[kWh/TCE]	[MJ/TCE]	[MJ/TCE]	
Elektrizität	0.139	0.499	0.57	7%
Summe ohne Korrektur		6.83	7.56	
Heat recovery district heating		0.668	0.76	
Summe korr. um district heating		5.99	6.80	

Die Dokumentation zu ecoinvent 2.2 beschreibt die Zementherstellung ausführlich (Kellenberger et al., 2007). Verschiedene Zementarten unterschieden sich vor allem in ihrem Klinkeranteil. Klinker ist gebrannter Kalkstein, der durch Abspaltung von Kohlendioxid abbindefähig wird. Wird dem Klinker Wasser beigegeben, so bindet er ab zu Calciumsilikathydraten, die den festen Zementstein bilden. Weisszement der Firma Aalborg ist ein Portlandzement. Der Hersteller macht keine Angaben zum Klinkeranteil im Zement. Gemäss europäischer Norm SN EN 197-1 hat Portland-Zement einen Klinkeranteil von über 95 %. In Vergleich dazu wird im Ecoinvent-Datensatz zu Portland-Zement mit Festigkeitsklasse Z 52.5 ein Klinker-Anteil von 91.2 % bilanziert. Für die vorliegende Bilanzierung wurden alle Angaben zu den eingesetzten Rohstoffen, den Hilfsstoffen, dem Verschleiss der Anlage und der Infrastruktur aus den Datensätzen "clinker, at plant - CH" und "portland cement Z 52.5, at plant - CH" übernommen. Entsprechend wurde auch der Klinkeranteil mit 91.2 % eingesetzt und die Inputs des Datensatzes "clinker, at plant - CH" mit dem Klinkerinput im Datensatz "portland cement Z 52.5, at plant - CH" von 0.912 kg Klinker/kg Zement multipliziert. Beide Datensätze sind in (Kellenberger et al., 2007) ausführlich dokumentiert. Die fehlenden 88 g/kg sind Füllstoffe wie REA-Gips. Diese werden hier nicht bilanziert, da davon ausgegangen wird, dass es sich um Recyclingprodukte handelt.

Für die Transporte der Rohstoffe wurden die Distanzen aus den ecoinvent 2.2-Datensätzen "clinker, at plant - CH" und "portland cement Z 52.5, at plant - CH" übernommen, die Transport-Datensätze jedoch durch die europäischen Pendants ersetzt. Im einzelnen wurde die Datensätze wie folgt ersetzt:

- "transport, lorry 20-28t, fleet average – CH" durch "transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER",
- "transport, lorry 3.5-20t, fleet average – CH" durch "transport, lorry 3.5-16t, fleet average – RER" und
- "transport, lorry >28t, fleet average – CH" durch "transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER".

Die Transporte des Weisszements in die Schweiz wurden gemäss den Angaben in E.1.2.6 berücksichtigt.

Die Emissionen stammen aus den bestehenden ecoinvent-Datensätzen "clinker, at plant - CH" und "portland cement Z 52.5, at plant - CH". Wiederum wurden die Inputs des Datensatzes "clinker, at plant - CH" mit dem Klinkerinput im Datensatz "portland cement Z 52.5, at plant - CH" von 0.912 kg Klinker/kg Zement multipliziert. Ausnahmen von dieser Regel sind die Abwärme, Wasserdampf, CO₂ und NO_x. Die Abwärme wurde aus dem Energieverbrauch neu hergeleitet. Die Wasserdampf-Emissionen stammen aus dem Wasserbedarf des Weisszementkühlers. Für CO₂ und NO_x macht der Umweltbericht Angaben zu den spezifischen Emissionen der Weisszementherstellung. Allerdings sind diese wie schon der Energieverbrauch mit einer Gutschrift für die Energielieferungen in das Fernwärmenetz versehen, die nicht näher erläutert wird. Aufgrund der Angaben im Umweltbericht zu den Gesamtemissionen, der abgeschätzten Produktionsmenge und den oben hergeleiteten Energiekennzahlender der Weisszementproduktion konnte die Gutschrift jedoch abgeschätzt werden. Die spezifischen Emissionen im Umweltbericht wurden aufgrund dieser Abschätzung mit einem Faktor 1.4 für CO₂ und 1.1 für NO_x multipliziert. Somit ergibt sich die Sachbilanz gemäss Tabelle 31.

Tabelle 31: Sachbilanzdaten für Weisszement, Herstellung – CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Kalkstein	limestone, milled, loose, at plant – CH	kg	0.767
Kalkmergel	calcareous marl, at plant – CH	kg	0.425
Wasser Weisszementkühler	tap water, at user – RER	kg	0.319
Prozesswasser	tap water, at user – RER	kg	0.310
Ton	clay, at mine – CH	kg	0.302
Sand	sand, at mine – CH	kg	8.45*10 ⁻³
Ammoniak	ammonia, liquid, at regional storehouse – RER	kg	8.28*10 ⁻⁴
Hilfsstoff Zementmühle	ethylene glycol, at plant – RER	kg	3.50*10 ⁻⁴
Auskleidung Drehrohrofen	refractory, basic, packed, at plant – DE	kg	1.73*10 ⁻⁴
Auskleidung Drehrohrofen	refractory, high aluminium oxide, packed, at plant – DE	kg	1.25*10 ⁻⁴
Bauxit	bauxite, at mine – GLO	kg	1.09*10 ⁻⁴
Auskleidung Drehrohrofen	refractory, fireclay, packed, at plant – DE	kg	7.49*10 ⁻⁵
Materialabnutzung Mühle	steel, low-alloyed, at plant – RER	kg	6.00*10 ⁻⁵
Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Materialabnutzung Drehrohrofen	chromium steel 18/8, at plant – RER	kg	5.34*10 ⁻⁵
Schmiermittel	lubricating oil, at plant – RER	kg	4.30*10 ⁻⁵
Prozesswasser	Water, process, unspecified natural origin	m ³	1.48*10 ⁻³
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Ersatz Auskleidung Drehrohrofen	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	7.30*10 ⁻⁵
Diverse Produktionsabfälle	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration – CH	kg	4.10*10 ⁻⁵

Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Strom	electricity, medium voltage, at grid – DK	kWh	0.156
Koks	petroleum coke, at refinery - RER	kg	0.129
Kohle	hard coal, at regional storage – WEU	kg	0.0355
Heizöl schwer	heavy fuel oil, at regional storage – RER	kg	4.37*10 ⁻³
Werksinterne Transporte	diesel, burned in building machine – GLO	MJ	0.0122
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transport Aabenraa->Bern	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	t*km	1.07
Schiffstransport Aalborg->Aabenraa	transport, barge – RER	t*km	0.370
Transport Rohstoffe	transport, freight, rail – RER	t*km	0.0226
Transport Rohstoffe	transport, barge – RER	t*km	6.58*10 ⁻³
Transport Rohstoffe	transport, lorry 16-32t, EURO4 - RER	t*km	4.37*10 ⁻³
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transport Rohstoffe	transport, lorry 3.5-16t, fleet average - RER	t*km	7.85*10 ⁻⁵
Transport Rohstoffe	transport, van <3.5t – RER	t*km	6.47*10 ⁻⁵
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Drehrohrofen	industrial machine, heavy, unspecified, at plant – RER	kg	3.43*10 ⁻⁵
Zementwerk	cement plant – CH	Stk.	5.46*10 ⁻¹¹
Emissionen	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Abwärme Energie	Heat, waste – Elementary flows/air/unspecified	MJ	7.56
Fossiles Kohlendioxid	Carbon dioxide, fossil	kg	1.356
Wasserdampf	Water – air/unspecified	kg	0.32
Biogenes Kohlendioxid	Carbon dioxide, biogenic – Elementary flows/air/unspecified	kg	0.0137
Stickoxide	Nitrogen oxides – Elementary flows/air/unspecified	kg	2.15*10 ⁻³
Fossiles Kohlenmonoxid	Carbon monoxide, fossil – Elementary flows/air/unspecified	kg	4.30*10 ⁻⁴
Schwefeldioxid	Sulfur dioxide – Elementary flows/air/unspecified	kg	3.24*10 ⁻⁴
Flüchtige organische Substanzen ohne Methan	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin – Elementary flows/air/unspecified	kg	5.14*10 ⁻⁵
Feinstaub	Particulates, < 2.5 um – Elementary flows/air/low population density	kg	2.20*10 ⁻⁵
Ammoniak	Ammonia – Elementary flows/air/unspecified	kg	2.08*10 ⁻⁵
Fossiles Methan	Methane, fossil – Elementary flows/air/unspecified	kg	8.10*10 ⁻⁶
Feinstaub	Particulates, > 2.5 um, and < 10um – Elementary flows/air/low population density	kg	7.22*10 ⁻⁶
Salzsäure	Hydrogen chloride – Elementary flows/air/unspecified	kg	5.75*10 ⁻⁶
Feinstaub	Particulates, > 10 um – Elementary flows/air/low population density	kg	5.16*10 ⁻⁶
Blei	Lead – Elementary flows/air/unspecified	kg	7.75*10 ⁻⁸
Zink	Zinc – Elementary flows/air/unspecified	kg	5.47*10 ⁻⁸
Quecksilber	Mercury – Elementary flows/air/unspecified	kg	3.01*10 ⁻⁸

Emissionen	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Kupfer	Copper – Elementary flows/air/unspecified	kg	1.28*10 ⁻⁸
Thalium	Thallium – Elementary flows/air/unspecified	kg	1.19*10 ⁻⁸
Arsen	Arsenic – Elementary flows/air/unspecified	kg	1.09*10 ⁻⁸
Zinn	Tin – Elementary flows/air/unspecified	kg	8.21*10 ⁻⁹
Cadmium	Cadmium – Elementary flows/air/unspecified	kg	6.38*10 ⁻⁹
Nickel	Nickel – Elementary flows/air/unspecified	kg	4.56*10 ⁻⁹
Vanadium	Vanadium – Elementary flows/air/unspecified	kg	4.56*10 ⁻⁹
Kobalt	Cobalt – Elementary flows/air/unspecified	kg	3.65*10 ⁻⁹
Beryllium	Beryllium – Elementary flows/air/unspecified	kg	2.74*10 ⁻⁹
Antimon	Antimony – Elementary flows/air/unspecified	kg	1.82*10 ⁻⁹
Selen	Selenium – Elementary flows/air/unspecified	kg	1.82*10 ⁻⁹
Chrom	Chromium – Elementary flows/air/unspecified	kg	1.32*10 ⁻⁹
Chrom VI	Chromium VI – Elementary flows/air/unspecified	kg	5.02*10 ⁻¹⁰
Dioxine	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	kg	8.76*10 ⁻¹³
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Weisszement, Herstellung - CH	kg	1

E.2.5 Verpackung

Der Herstellungsdatensatz für Kunststoffeimer enthält Angaben zur Transportverpackung. Diese bezieht sich auf den Versand der mit Putz befüllten Kunststoffeimer, nicht auf die Transportverpackung der leeren Kunststoffeimer, wenn sie zum Putzhersteller gelangen. Diese Transportverpackung wird vernachlässigt. Der Energieaufwand der Endfertigung der Eimer sowie die dazu benötigte Infrastruktur sind nicht bekannt und werden ebenfalls nicht bilanziert. Es handelt sich also um eine reine Materialbilanz des Eimers. Nach Angabe eines Herstellers (Bannwitz, 2015) beträgt das Gewicht eines 18 Liter-Eimers 0.677 kg, wobei der Metallbügel 0.05 kg zum Gewicht beiträgt. Die Umweltproduktdeklaration (Kosińska et al., 2014) rechnet im Gegensatz dazu mit einem Stückgewicht pro Eimer von 0.278 kg. Die Angaben in der EPD zum Rohstoff-Input mussten also mit dem korrigierten Stückgewicht nach oben angepasst werden. Die Transportwege der Vorprodukte stammen ebenfalls aus der Umweltproduktdeklaration und wurden auch an das höhere Stückgewicht angepasst. Zusätzlich wurde die Verpackung für den Versand berücksichtigt. Pro Palette werden 24 Eimer gestapelt. Dies entspricht 600 kg Putz. Als Paletten werden Einwegpaletten verwendet, deren Stückgewicht auf 11 kg abgeschätzt wird. Dies entspricht dem Gewicht einer halben Mehrwegpalette in ecoinvent 2.2. Die Ladung auf der Palette mit einer Höhe von 85 cm wird mit Stretchfolie umwickelt (Bannwitz, 2015). Der Umfang der Palette beträgt 4 Meter und es wird davon ausgegangen, dass die Stretchfolie zweilagig appliziert wird. Die so erhaltenen Sachbilanz wird in Tabelle 32 ausgewiesen.

Tabelle 32: Sachbilanz Kunststoff-Eimer 18l inkl. Transportverpackung, Herstellung – CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Polyethylen-Granulat	polyethylene, HDPE, granulate, at plant – RER	kg	0.561
Polypropylen-Granulat	polypropylene, granulate, at plant – RER	kg	0.0834
Stahl-Bügel	sheet rolling, steel – RER	kg	0.05
	steel, low-alloyed, at plant – RER	kg	0.05
Prozesswasser	tap water, at user – RER	kg	0.0335
Druckluft	compressed air, average installation, <30 kW, 8 bar gauge, at supply network – RER	m ³	0.0437
Transportverpackung	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Paletten	EUR-flat pallet – RER	Stk.	0.000833
Stretchfolie	packaging film, LDPE, at plant – RER	kg	0.000181
Produktionsabfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Abwasser	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3 – CH	l	0.0335
Abfall Polyethylen	disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration – CH	kg	0.0163
Produktionsabfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Abfall Polypropylen	disposal, polypropylene, 15.9% water, to municipal incineration – CH	kg	0.0012
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Schiff	transport, transoceanic freight ship – OCE	t*km	0.335
Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	t*km	0.332
Eisenbahn	transport, freight, rail – RER	t*km	0.083
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Kunststoff-Eimer 18l inkl. Transportverpackung, Herstellung – CH	Stk.	1

Für die Transportverpackung im Datensatz für die Papiersäcke gilt dasselbe wie bei den Kunststoffeimern: Die bilanzierte Transportverpackung bezieht sich auf den Versand der mit Putz befüllten Papiersäcke, nicht auf die Transportverpackung der leeren Papiersäcke, wenn sie zum Putzhersteller gelangen. Diese Transportverpackung wird vernachlässigt. Der Energieaufwand der Endfertigung der Papiersäcke sowie die dazu benötigte Infrastruktur ist nicht bekannt und wird nicht bilanziert. Es handelt sich also um eine reine Materialbilanz der Papiersäcke. Zu den Transporten der Vorprodukte Papier und Plastikfolie in der Herstellungskette sind keine Angaben bekannt. Auch ecoinvent gibt keine Hinweise auf Standarddistanzen für Packpapiere. Somit können keine Transporte im Datensatz berücksichtigt werden. Auf das Ergebnis der Ökobilanzen für Putze hat diese Vernachlässigung keine signifikante Auswirkung. Auf die Ergebnisse der Bilanz der Papiersäcke selbst hat diese Datenlücke jedoch einen signifikanten Einfluss.

Die Materialgewichte für Kraftpapier, weisses Kraftpapier und die Folie stammen aus der Wägung dreier Putzsäcke, die von einem Hersteller zur Verfügung gestellt wurden (Kreppelt, 2015). Die Wägung ergab die Gewichte gemäss Tabelle 33, die auch die Daten zum Fassungsvermögen der Säcke bereithält.

Tabelle 33: Gewichtsbestimmung Papiersäcke für Putze

Aufdruck Papiersack	Kalk-Zement-Grundputz	Zement-Mörtel	Weissputz	Mittelwert
Fassungsvermögen Sack [kg]	35	35	30	33.3
Gewicht Sack [kg]	0.1077	0.0974	0.1398	0.115
Kraftpapier braun [kg]	0.1036	0.0508	0.0746	0.0763
Kraftpapier weiss [kg]		0.0418	0.0597	0.051
Folie LDPE [kg]	0.0042	0.0038	0.0053	0.00443
Gewicht gesamt / kg Putz [kg]	3.08E-03	2.78E-03	4.66E-03	0.00351

Aus den Mittelwerten der Gewichtsbestimmung wurde die nachstehende Sachbilanz in Tabelle 34 erstellt. Die Verschnittabfälle wurden aus dem Schnittmuster der Säcke abgeschätzt. Für die Anwendung der Verpackungsbilanz in den Sachbilanzen der Putze wird mit einem mittleren Füllgewicht von 33.3 kg Putz /Stk. gerechnet. Die Transportverpackung besteht aus einer Einwegpalette mit 11 kg Gewicht, die mit durchschnittlich 1'104 kg Putz beladen wird. Diese Zahl wurde aus der Preisliste eines Baustofflieferanten für 35 mineralische Mörtel ermittelt (Cementwaren Kobler, 2013). Die Palette wird mit Stretchfolie eingewickelt, die Beladungshöhe beträgt rund 1.2 Meter. Alle weiteren Annahmen sind dieselben wie für die KS-Eimer.

Tabelle 34: Sachbilanz Putzsack inkl. Transportverpackung, Herstellung – CH

Roh-, Ausgangs- und Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Kraftpapier / Kraftliner	kraft paper, unbleached, at plant – RER	kg	0.0774
Kraftpapier weiss	kraft paper, bleached, at plant – RER	kg	0.0357
Folie Putzsack LDPE	packaging film, LDPE, at plant – RER	kg	0.00455
Transportverpackung	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Paletten	EUR-flat pallet – RER	Stk.	0.0151
Stretchfolie	packaging film, LDPE, at plant –RER	kg	0.00464
Produktionsabfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Verschnitt Papier	disposal, packaging paper, 13.7% water, to municipal incineration – CH	kg	0.00131
Verschnitt Folien	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration – CH	kg	5.37*10 ⁻⁵
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Putzsack inkl. Transportverpackung, Herstellung – CH	Stk.	1

Für die viskosen Putze muss nach den Regeln der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich auch die Entsorgung der Verpackung der Herstellung angerechnet werden. Nachfolgend ist die Entsorgungsbilanzen für Kunststoffeimer in Tabelle 35 wiedergegeben. Nicht enthalten sind die Transportpaletten und Stretchfolien da diese für die meisten Baustoffe nicht die Herstellungsbilanz einfließen, wie auch die Transporte in die Entsorgung, da diese bei keinem Baustoff in die Herstellungsbilanz einfließen. Es wird also nur diejenige zusätzliche Umweltbelastung in der Entsorgung bilanziert, die durch den Entscheid für eine aufwändige Verpackung verur-

sacht wird. Der Metallbügel bleibt nach den Regeln der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich wie alle Metalle in der Entsorgung frei von Lasten.

Tabelle 35: Kunststoff-Eimer 18 l, Entsorgung – CH

Input	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Entsorgung PP-Anteil	disposal, polypropylene, 15.9% water, to municipal incineration	kg	0.099
Entsorgung PE-Anteil	disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration	kg	0.563
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Kunststoff-Eimer 18 l, Entsorgung – CH	Stk.	1

E.3 Resultate

E.3.1 Putze und Einbettmörtel

Die Resultate der Ökobilanzierung sind in Tabelle 36 für die Herstellung, in Tabelle 37 für die ausgehärteten Putze und in Tabelle 38 für die Entsorgung der Putze ausgewiesen. Die Diskussion der Ergebnisse erfolgt im eigenen Kapitel E.4.1.

Tabelle 36: Ökobilanzergebnisse Mörtel und Putze, Herstellung

Ökobilanz-Datensatz - Region	Rohdichte ausgehärtet [kg/m ³]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
Baukleber und Einbettmörtel organisch, Herstellung	1'670	kg	738	13.3	12.9	0.579
Baukleber und Einbettmörtel mineralisch, Herstellung	<1'600	kg	436	7.07	6.51	0.415
Baukleber und Einbettmörtel mineralisch mit Leichtzuschlag, Herstellung	900-1'300	kg	425	7.01	6.47	0.434
Kunststoffputz (Dispensionsputz), Herstellung	1'540	kg	932	16.8	16.2	0.712
Dispersionssilikatputz (Silikatputz), Herstellung	1'880	kg	942	16.8	16.1	0.750
Silikonharzputz, Herstellung	1'670	kg	1'094	20.7	19.6	0.869
Kalk-Zement- & Zement-Kalk-Putze, Herstellung	1'300-1'800	kg	213	3.07	2.61	0.233
Zement-Putz, Herstellung	1'300-1'800	kg	252	3.14	2.68	0.275
Weisszementputz, Herstellung	1'300-1'800	kg	272	3.98	3.50	0.312
Leichtputz mineralisch, Herstellung	700-1'300	kg	358	5.68	5.18	0.366
Wärmedämmputz EPS, Herstellung	< 600	kg	800	10.1	9.52	1.009
Sumpfkalkputz, Herstellung	1'200-1'500	kg	293	4.99	4.71	0.330
Gipsputz (Weissputz), Herstellung	1'000-1'200	kg	130	3.01	2.77	0.158
Gips-Kalk-Putz, Herstellung	850-1'000	kg	134	2.93	2.68	0.163

Tabelle 37: Ökobilanzergebnisse Mörtel und Putze, ausgehärtet

Ökobilanz-Datensatz - Region	Rohdichte ausgehärtet [kg/m ³]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
Baukleber und Einbettmörtel organisch, ausgehärtet	1'670	kg	865	15.6	15.1	0.679
Baukleber und Einbettmörtel mineralisch, ausgehärtet	<1'600	kg	400	6.50	5.99	0.381
Baukleber und Einbettmörtel mineralisch mit Leichtzuschlag, ausgehärtet	900-1'300	kg	390	6.44	5.94	0.399
Kunststoffputz (Dispersionsputz), ausgehärtet	1'540	kg	1'087	19.6	18.9	0.831
Dispersionssilikatputz (Silikatputz), ausgehärtet	1'880	kg	1'079	19.2	18.4	0.860
Silikonharzputz, ausgehärtet	1'670	kg	1'244	23.5	22.3	0.988
Kalk-Zement- & Zement-Kalk-Putze, ausgehärtet	1'300-1'800	kg	209	3.03	2.57	0.230
Zement-Putz, ausgehärtet	1'300-1'800	kg	230	2.86	2.44	0.250
Weisszementputz, ausgehärtet	1'300-1'800	kg	268	3.92	3.45	0.307
Leichtputz mineralisch, ausgehärtet	700-1'300	kg	336	5.34	4.87	0.344
Wärmedämmputz EPS, ausgehärtet	< 600	kg	579	7.35	6.89	0.731
Sumpfkalkputz, ausgehärtet	1'200-1'500	kg	392	6.68	6.30	0.441
Gipsputz (Weissputz), ausgehärtet	1'000-1'200	kg	110	2.55	2.34	0.134
Gips-Kalk-Putz, ausgehärtet	850-1'000	kg	116	2.53	2.32	0.141

Tabelle 38: Ökobilanzergebnisse Mörtel und Putze, Entsorgung

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
Putz organisch und mineralisch ausgehärtet, Entsorgung	kg	15.2	0.234	0.232	0.00811
Gipsputz (Weissputz), Entsorgung	kg	18.1	0.279	0.276	0.00966
Gips-Kalk-Putz, Entsorgung	kg	17.9	0.275	0.273	0.00955

E.3.2 Weisszement

Die Ergebnisse der Ökobilanzierung der Weisszementherstellung sind in Tabelle 39 ausgewiesen. Einige Aspekte der Resultate werden im Kapitel E.4.5 diskutiert.

Tabelle 39: Ökobilanzergebnisse Weisszement, Herstellung

Ökobilanz-Datensatz - Region	Rohdichte [kg/m ³]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Weisszement, Herstellung	1'100 ¹	kg	1'213	13.5	13.1	1.61

E.3.3 Verpackung

Die Kennzahlen der Verpackungsbilanzen werden in Tabelle 40 dargestellt. Wenig überraschend schneidet der Putzsack besser ab als der Kunststoffeimer. Es ist allerdings zu beachten, dass der Putzsack aus technischen Gründen als Verpackungsmaterial für flüssige Putze nicht geeignet wäre.

Die Entsorgung der Kunststoffeimer hat die grösseren Umweltauswirkungen gemessen in UB und erzeugt auch höhere CO₂-Emissionen als die Herstellung. Beide Kennzahlen werden durch die Emissionen der Verbrennung in der KVA verursacht.

Tabelle 40: Ökobilanzergebnisse Verpackung

Ökobilanz-Datensatz - Region	Rohdichte [kg/m ³]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Kunststoff-Eimer 18l inkl. Transportverpackung, Herstellung	–	Stk.	1'292	52.8	51.7	1.42
Kunststoff-Eimer 18l inkl. Transportverpackung, Entsorgung	–	Stk.	1'347	0.148	0.144	1.93
Putzsack inkl. Transportverpackung, Herstellung	–	Stk.	400	17.9	5.31	0.219

¹ Schüttdichte

E.4 Diskussion

E.4.1 Putze und Einbettmörtel ab Werktor

Aufgrund der grossen Anzahl von Datensätzen bietet die graphische Darstellung der Resultate in den folgenden Abbildungen eine bessere Übersicht als tabellarische Aufstellungen. Für alle Resultate gilt, dass ein Vergleich der verschiedenen Putzsysteme auf Gebäudeebene anhand konkreter Putzaufbauten und deren Flächengewicht pro Quadratmeter Wandfläche vorgenommen werden muss. Die hier dargestellten Verhältnisse zwischen den Putzen lassen keine Aussage zur Ökobilanz unterschiedlicher Putzsysteme zu, können jedoch als Grundlage zu deren Berechnung verwendet werden. Zu beachten ist ferner, dass sich die hier verglichenen Daten auf die Putze ab Werktor beziehen. Falls Flächengewichte ausgehärteter Systeme zur Verfügung stehen, sollten die ebenfalls zur Verfügung stehenden Werte für ausgehärtete Putze verwendet werden.

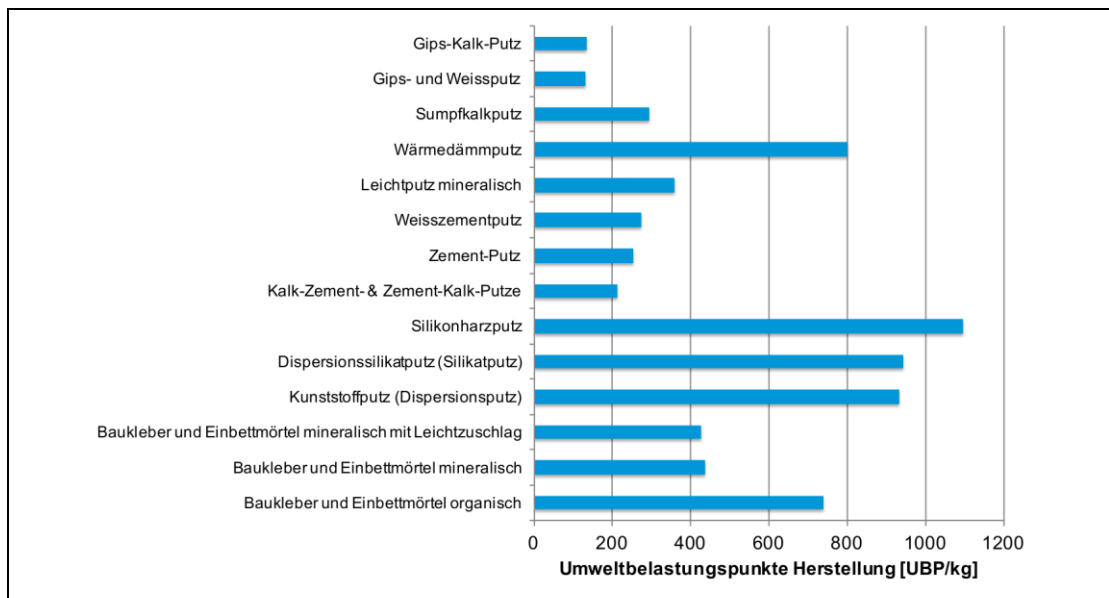


Abbildung 5: Umweltbelastungspunkte für die Herstellung der bilanzierten Putzvarianten

In Abbildung 5 werden die Umweltbelastungspunkte dargestellt. Es zeigt sich, dass die Gipsputze die wenigsten UBP pro Kilogramm aufweisen. Die Zement- und Kalk-Zement-Putze liegen ungefähr 50-100 % höher. Deutlich mehr UBP verursacht die Herstellung der organischen Putze sowie des Wärmedämmputzes. Der Wärmedämmputz enthält pro Kilogramm sehr viel Zement, was sich in der Umweltbelastung deutlich zeigt. Für den Wärmedämmputz ist jedoch speziell zu beachten, dass er eine sehr geringe Dichte im Vergleich zu den anderen Putzen aufweist und er im Vergleich pro verputzte Fläche deutlich besser abschneiden würde. Die erhöhte Belastung der kunststoffbasierten Putze wird durch die Herstellung des enthaltenen Kunststoffs verursacht. Auch die Herstellung und Entsorgung der Kunststoffeimer tragen über 10 % zu den UBP der organischen Putze bei. Zwischen den Ergebnissen der mineralischen und der organischen Putze liegen die Baukleber und Ein-

bettmörtel. Im Falle der mineralischen Einbettmörtel verursacht der höhere Zementanteil die höheren Kennzahlen im Vergleich zu den Putzen. Der organische Einbettmörtel hat einen höheren Bindemittelanteil als der Kunststoffputz, bezüglich des Dispersionssilikat- und des Silikonharzputzes ist der Bindemittelanteil geringer. Die grössere Summe UBP für die organischen Putze wird verursacht durch das Weisspigment Titandioxid, welches dem Einbettmörtel fehlt.

Die Abbildung 6 zeigt den Primärenergieaufwand der Herstellung total und nicht-erneuerbar. Das Bild ist demjenigen der UBP sehr ähnlich. Es fällt auf, dass der Energiebedarf in der Herstellung der Gipsputze, der Zement- und Kalk-Zement-Putze sehr ähnlich ausfällt. Etwas höher liegt der Sumpfkalkputz wegen des relativ hohen Anteils gebrannten Kalks von rund 10 %. Der höhere Energiebedarf der organischen Putze und Einbettmörtel ist auf den höheren Energieinhalt der enthaltenen Kunststoffe zurückzuführen. Der Unterschied zwischen organischem Einbettmörtel und organischen Putzen wird erneut durch das Weisspigment Titandioxid verursacht. Leichtputz und Wärmedämmputz EPS weisen wegen des enthaltenen EPS und des hohen Bindemittelanteils eine höhere Herstellungsenergie als die mineralischen Putzen auf. Der Vergleich zwischen Weisszementputz und Kalk-Zement- & Zement-Kalk-Putz zeigt den erhöhte Energiebedarf der Weisszementherstellung im Vergleich zur Herstellung von grauem Zement.

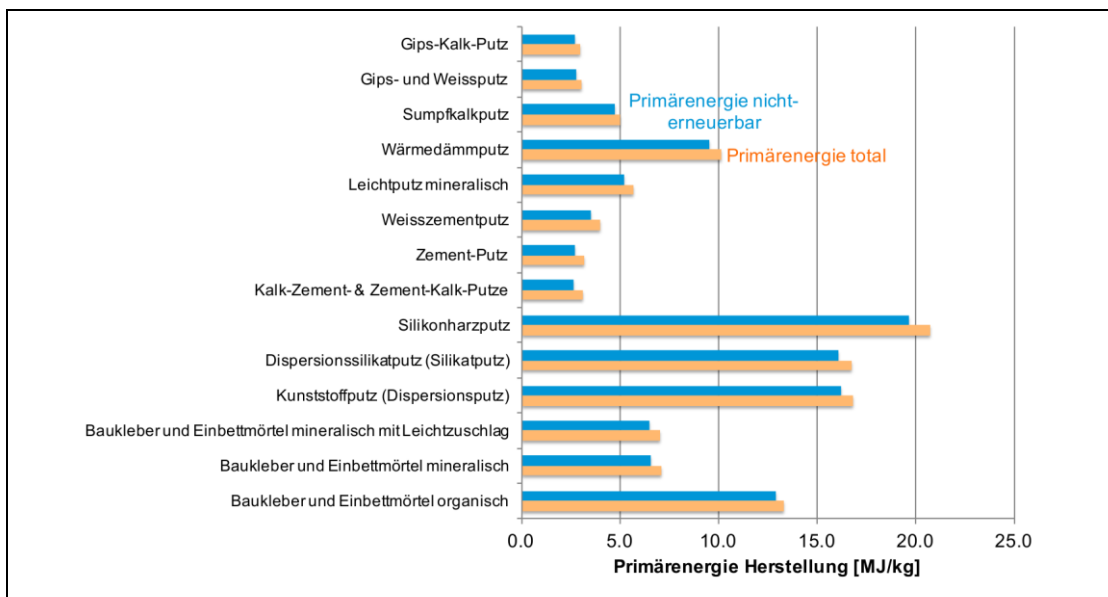


Abbildung 6: Primärenergiebedarf der Herstellung der bilanzierten Putzvarianten

Die Treibhausgasemissionen der Putz- und Mörtel-Herstellung sind in Abbildung 7 einander gegenübergestellt. Auffällig ist der hohe Wert des Wärmedämmputzes EPS, der durch den hohen Bindemittelanteil verursacht wird. In Anbetracht der sehr tiefen Rohdichte des Wärmedämmputzes würde ein volumetrischer Vergleich deutlich anders ausfallen. Gemäss Abbildung 7 sind die Unterschiede zwischen zement- und kunststoffgebundenen Putzen etwas geringer als bei der Energie. Dies ist auf die zusätzlichen CO₂-Emissionen bei der Zementherstellung zurückzuführen, wo neben dem fossilen Treibhausgasen aus den Brennstoffen auch geogenes CO₂

emittiert wird. Stark ins Gewicht fällt bei den organischen Putzen die Herstellung und Entsorgung der Kunststoffeimer, die bis zu knapp 20 % zu den CO₂-Emissionen beitragen.

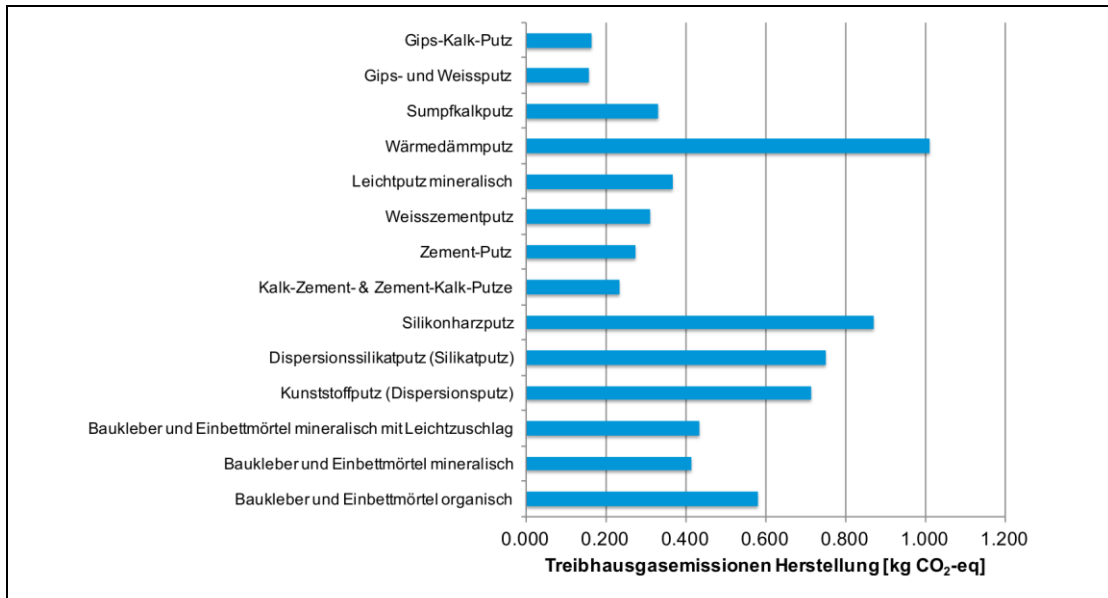


Abbildung 7: Treibhausgasemissionen der Herstellung der balanzierten Putzvarianten

E.4.2 Ausgehärtete Putze und Einbettmörtel

Die Berechnung der Ökobilanzen pro Kilogramm ausgehärteten Putzen verstärkt die Unterschiede zwischen mineralischen und organischen Putzen. Dies liegt an den gegensätzlichen Wasserbilanzen bei der Aushärtung von mineralischen und organischen Putzen: Mineralische Putze nehmen beim Abbinden netto Wasser auf. Somit wird weniger als ein Kilogramm Trockenmischung pro Kilogramm ausgehärtetem Putz benötigt. Organische Putze geben bei der Aushärtung netto Wasser an die Umgebung ab. Für ein Kilogramm ausgehärteten Putz wird deshalb mehr als ein Kilogramm Putz ab Werk benötigt. Die Abbildung 8 zeigt die Energiekennzahlen der ausgehärteten Putze. Am markantesten ist die Differenz im Vergleich zum Produkt ab Werk (Abbildung 6) für den Wärmedämmputz. Dieser enthält ab Werk pro Kilogramm 953 Gramm Zement und nimmt bei der Aushärtung 381 Gramm Wasser auf. Für ein Kilogramm ausgehärteten Putz werden deshalb nur 724 Gramm Trockenmischung benötigt. Somit reduzieren sich auch die Kennzahlen der Ökobilanz auf 72 % der Bilanz für den Trockenmörtel. Man beachte hier den Basiswechsel von einem Kilogramm Trockenmischung auf ein Kilogramm ausgehärteten Putz. Die Kennzahlen der organischen Putze nehmen alle um etwa 15 % zu, da sie um die 15 % Wasser abgeben. Am stärksten nehmen die Kennzahlen für Sumpfkalkputz im Vergleich zur Mischung ab Werk zu. Sumpfkalkputz enthält ausschliesslich Sumpfkalk(hydrat) als Bindemittel. Dieses gibt bei der Aushärtung sein Hydrat in Form von Wasser ab und der Sumpfkalkputz verliert über 33 % seines Gewichts.

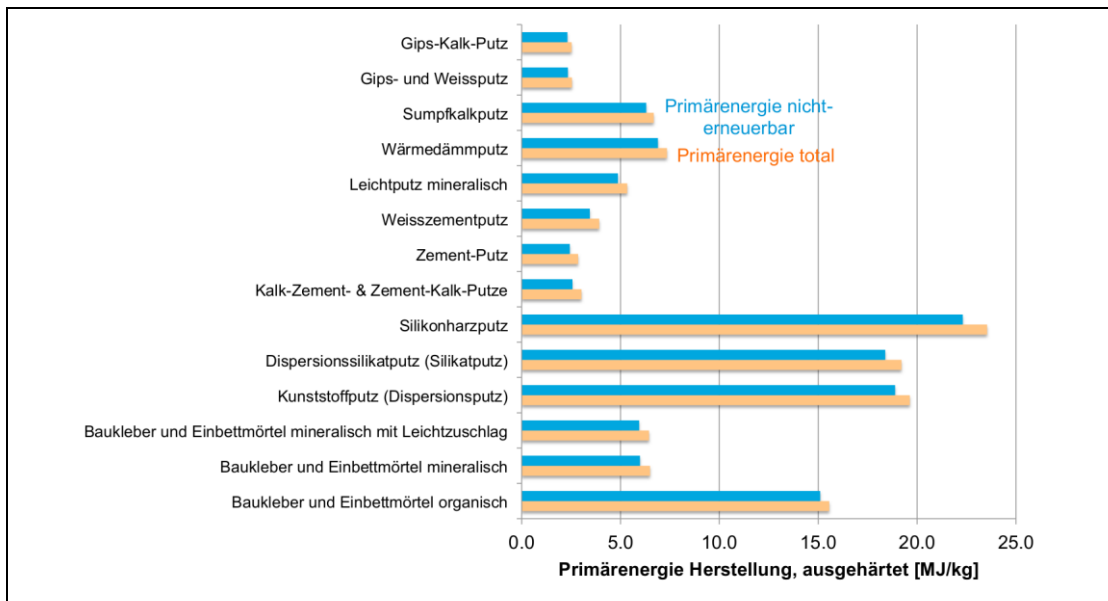


Abbildung 8: Primärenergiebedarf der Herstellung der ausgehärteten Putzvarianten

Die Umweltbelastungspunkte wie auch die Treibhausgasemissionen entwickeln sich in denselben Verhältnissen zu den Produkten ab Werktor wie der Primärenergiebedarf. Die bereits für den Primärenergiebedarf erläuterten Punkte gelten somit auch für diese Kennzahlen unverändert.

E.4.3 Zusammenfassung der Putz-Datensätze für die KBOB-Empfehlung

In dieser Studie werden die Ökobilanzen von 14 Putzvarianten jeweils ab Werktor und als ausgehärtete Putze berechnet. Für die KBOB-Liste ist diese Anzahl zugunsten einer einfacheren Handhabung zu reduzieren. Eine wichtige Anwendung der Daten in der KBOB-Liste findet während der Planungsphase statt, um die ökologischen Auswirkungen von Material- und Bauteilentscheiden abschätzen zu können. Da Planer vermutlich eher mit den Daten für ausgehärtete Systeme rechnen dürfen, sollen diese Kennzahlen in die Liste aufgenommen werden. Zudem ist eine detaillierte Unterscheidung aller möglichen Putzvarianten zu diesem Zeitpunkt kaum möglich und oft gar nicht gewünscht. Eine Reduktion der Putzvarianten mit sehr ähnlichen Ökobilanz-Kennzahlen macht also Sinn. Für die Reduktion wird ein konservativer Ansatz gewählt. Die Putzvariante mit den höchsten Kennzahlen soll stellvertretend für eine gesamte Gruppe stehen. Folgende Vereinfachungen werden vorgeschlagen:

- Der Datensatz "Gips-Kalk-Putz" kann auch den Datensatz "Gipsputz (Weissputz)" umfassen. Neuer Name: "Gips-Kalk- und Gipsputze (Weissputze)".
- "Zement-Putz" steht für alle Putzvarianten von Zement-Putz bis Kalk-Zement-Putz inklusive Weisszementputz. Die Datensätze "Kalk-Zement- & Zement-Kalk-Putz" sowie "Weisszementputz" können entfallen. Neuer Name für den Datensatz "Zement-Putz": "Zement-, Zement-Kalk- und Kalk-Zement-Putz".
- Der Leichtputz mineralisch entfällt wegen zu geringer Bedeutung am Markt.

- "Dispersionssilikatputz (Silikatputz)" wird durch den Datensatz "Kunststoffputz (Dispensionsputz)" hinreichend abgebildet. Der Datensatz "Kunststoffputz (Dispensionsputz)" wird neu benannt als: "Kunststoff- und Dispersionssilikatputz".
- Der Datensatz "Baukleber und Einbettmörtel mineralisch mit Leichtzuschlag" unterscheidet sich kaum vom Datensatz "Baukleber und Einbettmörtel mineralisch" und entfällt.

Somit ergibt sich folgender Vorschlag für die Integration der Putzdaten in die KBOB-Empfehlung (Tabelle 41). Die Tabelle enthält auch einen Vorschlag für die Dichteangaben in der KBOB-Liste. Diese besteht jeweils aus dem Mittelwert der Putzgruppen, welche durch einen Datensatz erfasst werden, gerundet auf 100 kg/m³. Die bestehenden Datensätze für Lehmputz, Kunststoffmörtel und Zementmörtel in der KBOB-Liste können ergänzend zu den oben aufgeführten bestehen bleiben.

Tabelle 41: Vorgeschlagene Datensätze für die KBOB-Liste

Datensatz-Name KBOB-Empfehlung	Datensatz-Name QualiBOB	Rohdichte KBOB-Liste [kg/m ³]
Gips-Kalk- und Gipsputze (Weissputze)	Gips-Kalk-Putz	1'000
Zement-, Zement-Kalk- und Kalk-Zement-Putze	Zement-Putz	1'600
Wärmedämmputz EPS	Wärmedämmputz EPS	600
Kunststoff- und Dispersionssilikatputze	Kunststoffputz (Dispensionsputz)	1'700
Silikonharzputz	Silikonharzputz	1'700
Sumpfkalkputz	Sumpfkalkputz	1'400
Baukleber und Einbettmörtel mineralisch	Baukleber und Einbettmörtel mineralisch	1'600
Baukleber und Einbettmörtel organisch	Baukleber und Einbettmörtel organisch	1'700

E.4.4 Vergleich mit bestehenden Daten in der KBOB-Empfehlung

In der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 bestehen bereits sieben Datensätze für Putze. Die vorgeschlagene Einteilung der neuen Putzdatensätze in E.4.2 entspricht weitgehend den bestehenden Datensätzen. Neu hinzu kommen der Silikonharzputz und die Baukleber und Einbettmörtel. Für den Lehmputz konnten keine neueren Daten erhoben werden. Der bestehende Datensatz für "Kunststoffmörtel" basiert auf demecoinvent 2.2-Datensatz "adhesive mortar, at plant" und bezieht sich auf einen zweikomponentigen Fliesenkleber (Kellenberger et al., 2007). Die Bezeichnung Kunststoffmörtel in der KBOB-Liste ist zu prüfen. Der Zementmörtel in der KBOB-Liste beschreibt nach den Angaben in der ecoinvent-Dokumentation eher einen Mauermörtel (Kellenberger et al., 2007), wobei die Quelle in diesem Punkt unklar bleibt. Auch diese Bezeichnung in der KBOB-Liste verdient eine Überprüfung. Alle bestehenden Datensätze für Mörtel und Putze beziehen sich auf die Mischungen ab Werk (Kellenberger et al., 2007). In Tabelle 42 wird die Zuordnung der hier erar-

beiteten Datensätze zu den bestehenden für den nachfolgenden Vergleich der Resultate dokumentiert.

Tabelle 42: Zuordnung der Datensätze zwischen dieser Arbeit und der KBOB-Empfehlung

Datensatz QualiBOB	Datensatz KBOB 2009/1:2014
Kunststoffputz (Dispersionsputz)	Kunststoffputz
Wärmedämmputz EPS	Wärmedämmputz EPS
Zement-Putz	Zementputz
Gips-Kalk-Putz	Gips-/Weissputz
Silikonharzputz	–
Datensatz QualiBOB	Datensatz KBOB 2009/1:2014
Sumpfkalkputz	–
Baukleber und Einbettmörtel mineralisch	–
Baukleber und Einbettmörtel organisch	–
–	Lehmputz
–	Kunststoffmörtel
–	Zementmörtel

Die Ergebnisse für die Herstellung der neu erstellten Datensätze werden in Tabelle 43 mit den Ergebnissen der bestehenden Datensätze in der KBOB-Liste verglichen. Ausgewiesen wird das Verhältnis zwischen den neuen Datensätzen und den KBOB-Daten mit den KBOB-Daten jeweils als Basis für 100 %. Auffällig sind die sehr grossen Differenzen. Die neuen Datensätze weisen mit einer Ausnahme signifikant höhere Kennzahlen aus als die bestehenden.

Tabelle 43: Vergleich der bestehenden Putzdaten in der KBOB-Liste mit den neu erarbeiteten.

Datensatz KBOB 2009/1:2014	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
Kunststoffputz	kg	405 %	327 %	324 %	371 %
Wärmedämmputz EPS	kg	133 %	118 %	116 %	130 %
Zementputz	kg	132 %	185 %	182 %	129 %
Gips-/Weissputz	kg	93 %	171 %	178 %	206 %

Für den Kunststoffputz vervierfachen sich die Kennzahlen für UBP und CO₂ und verdreifachen sich die Energiekennzahlen im Vergleich zum bestehenden Datensatz. Bei den UBP tragen das Weisspigment und der Flammschutzmittel bereits 35 % zum Gesamtergebnis bei, die weiteren Additive zusammen nochmals 33 %. Alle diese Inhaltstoffe fehlen in der bisherigen Bilanzierung, die dafür einen höheren Sandanteil aufweist. Der Sand trägt jedoch nur marginal zu den UBP bei. Weitere wichtige Faktoren sind die längeren Transportwege und der Kunststoff-Eimer im neuen Datensatz. Die Energiekennzahlen für die Primärenergie gesamt werden im

neuen Datensatz grösser durch das Pigment (Anteil am Total von 21 %) und die Verpackung (13 %). Weiter wesentlich sind das Filmbildehilfsmittel, die Transporte und Entschäumer, Verdicker und Flammhemmer mit jeweils rund 8 %. Auch die CO₂-Emissionen werden durch dieselben Inputs in der Sachbilanz vergrössert wie die Energiekennzahlen, mit Unterschieden in den individuellen Anteilen. Besonders die Herstellung des Titandioxids (20 %), des Bindemittels (13 %), die Entsorgung des Kunststoffeimers (11 %) und die Transporte (10 %) haben einen grossen Einfluss auf das Ergebnis.

Beim Wärmedämmputz liegen die Kennzahlen näher zusammen. Die höheren Ergebnisse sind auf den höheren Zementanteil von 95 % im neu bilanzierten Wärmedämmputz EPS gegenüber unrealistischen 52 % im bestehenden Datensatz zurückzuführen.

Auch der neu erstellte Datensatz für Zementputz weist besonders bei der Energie höhere Kennzahlen aus als der bestehende Datensatz aus der KBOB-Liste. Dies liegt am höheren Energiebedarf der neu bilanzierten Trockenmörtel-Herstellung, die nun auch die Bereitstellung von Druckluft und eine differenzierte Betrachtung der Energieträger umfasst. Zudem ist der Zementanteil im neuen Datensatz etwas höher als im bestehenden.

Die Resultate für Gips-/Weissputz liegen bei der Energie und dem Treibhausgasausstoss wesentlich über den bisherigen Werten. Da die neuen Sachbilanzen für die Gips-Putze vertraulich sind, kann hier nicht im Detail auf Unterschiede in den Rezepturen eingegangen werden. Im neuen Datensatz sind sowohl Gipsanteil wie Kalkanteil höher als im bestehenden. Im Gegenzug dazu ist der Sandanteil geringer. Zudem wird der Stuckgips (β -Halbhydrat) im neuen Datensatz aus REA-Gips gewonnen, während der bisherige Datensatz von Naturgips ausgeht.

E.4.5 Weisszement

In der Tabelle 44 werden die Ökobilanzindikatoren für Weisszement und grauen Zement verglichen. Aufgeführt sind die Indikatoren der KBOB-Liste für die Weisszementherstellung wie in diesem Bericht bilanziert und den Ecoinvent 2.2-Datensatz "portland cement, strength class Z 52.5", der auch als Basis für die Bilanzierung der Weisszementherstellung verwendet wurde.

Da aufgrund der verfügbaren Daten nur die Bilanzierung des Energiebedarfs und die Emissionen von CO₂, NO_x, Wasserdampf und Abwärme der Herstellung von Weisszement gegenüber der Ökobilanz für Portlandzement verändert wurde, sind sämtliche Unterschiede in den Kennzahlen darauf zurückzuführen. Der Primärenergiebedarf der Weisszementherstellung liegt um mehr als den Faktor drei über demjenigen der Herstellung von grauem Zement. Ein wichtiger Grund dafür ist der hohe Anteil von Petroleumkoks in der Weisszementherstellung, das einen deutlich ungünstigeren Primärenergiefaktor aufweist als alle anderen Energieträger. Petroleumkoks liefert gemäss den Angaben des Herstellers eine Nutzenergie von 4.6 MJ/kg Weisszement, fliesst jedoch mit einem Primärenergieaufwand von 7.9 MJ/kg Weisszement in das Ergebnis ein. Der Umweltbericht des dänischen Herstellers weist einen gesamten Nutzenergiebedarf von 6.8 MJ/kg Weisszementklinker aus. Diese Zahl ist bereits grösser als der Primärenergiebedarf für Portland-Zement gemäss ecoinvent 2.2. Mangels weiterer Daten kann die Ursache für diese Diskre-

panz nicht geklärt werden. Rund 2 MJ/kg des gesamten Primärenergiebedarfs für Weisszement resultieren aus dem Transport des Zements ins Regionallager Schweiz.

Tabelle 44: Vergleich der Ökobilanzindikatoren für weissen und grauen Zement

Datensatz	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuer- bar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Weisszement QualiBOB	kg	1213	13.5	13.1	1.61
portland cement, strength class Z 52.5 Ecoinvent 2.2	kg	594	4.03	3.80	0.809

Für Weisszementputze fällt der Unterschied zu Putzen mit grauem Zement als Bindemittel relativ gering aus, da der Zementanteil im Putz nur 10 % beträgt und sowohl Sandtrocknung als auch Kalkhydrat ebenfalls wesentlich zur Herstellungsenergie beitragen. Etwas anders dürften die Verhältnisse beim Beton liegen. Dieser hat zum einen einen etwas höheren Zementanteil im Bereich von 15 % und zum anderen keinen Energieaufwand für die Trocknung der Rohstoffe. Für die Berechnung der Grauen Energie von Gebäuden ist dieser Unterschied bei der Verwendung von weissem oder farbigem Beton von Bedeutung. Die Graue Energie von Gebäuden aus weissem Sichtbeton wird heute mangels Alternativen mit den Kennzahlen für grauen Beton berechnet und somit massiv unterschätzt, falls die Unterschiede zwischen den Zementarten tatsächlich derart gross sind, wie der Vergleich in Tabelle 44 nahelegt.

E.5 Literaturverzeichnis

aalborg (Hrsg.) (2014) *ENVIRONMENTAL REPORT 2013 Environment and Health & Safety*. aalborg portland Cementir Holding.

R. Bannwitz (2015) *Persönliche Mitteilung*.

BASF (März 2008) *Technisches Merkblatt Methoxypropylacetat*. BASF SE, Unternehmensbereich Petrochemikalien, Regionale Geschäftseinheit Weichmacher und Lösemittel Europa, 67056 Ludwigshafen, Deutschland.

BASF (Juli 2014) *Technische Information n-Hexylglykol*. BASF SE, Unternehmensbereich Petrochemikalien, Regionale Geschäftseinheit Weichmacher und Lösemittel Europa, 67056 Ludwigshafen, Deutschland.

BASF Dispersions & Pigments (Hrsg.) (2015) *Schaum-Management - Verarbeitungseffizienz - Technologien*. Abgerufen von https://www.dispersionspigments.basf.com/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1_560427

R. Blumer (6. Januar 2015) *Persönliche Mitteilung*. St. Gobain-Weber, Winterthur.

M. Burkhardt & C. Dietschweiler (24. April 2013) *Mengenabschätzung von Bioziden in Schutzmitteln in der Schweiz*. Hochschule für Technik Rapperswil.

- BV Gips (2006) *GIPS-Datenbuch*. Bundesverband der Gipsindustrie e.V.
- BV Gips (4. Dezember 2014a) *Fragebogen Herstellerdaten Gipsfaserplatten, Gipsplatten, Gips-Wandbauplatten*. Bundesverband der Gipsindustrie e.V., Referat Umwelt, Kochstraße 6-7, D-10969 Berlin.
- BV Gips (4. Dezember 2014b) *Fragebogen Herstellerdaten Gipsputze*. Bundesverband der Gipsindustrie e.V., Referat Umwelt, Kochstraße 6-7, D-10969 Berlin.
- Cementwaren Kobler (Hrsg.) (2013) *Preisliste*.
- R. Corradini, C. Hutter & D. Köhler (Juli 1999) *Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen*. Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Am Blütenanger 71, 80995 München.
- R. Dones, C. Bauer & A. Röder (2007) *Kohle*. In Final report ecoinvent No. 6 -VI. Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- G. Driemeier (3. November 2015) *AW: Technische Daten Weisszementkühler*.
- Fixit AG, Putz- und Mörtelwerke Weiach (12. April 1997) *Energieverbrauch bei der Sandtrocknung*.
- R. Frischknecht (23. Juli 2013) *Memo: Regeln für Ökobilanzdaten im Baubereich gemäss der KBOB-Liste*. Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich.
- R. Frischknecht (26. August 2015) *Persönliche Mitteilung*.
- R. Frischknecht, N. Jungbluth, H.-J. Althaus, G. Doka, R. Dones, T. Heck, ... G. Wernet (2007) *Overview and Methodology*. In ecoinvent report No. 1, v2.0. Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Holcim (2010) *Betonpraxis*. Holcim (Süddeutschland) GmbH.
- jura cement (7. August 2015) *Jura Cement - Zement - CEM I 52.5 R Weisszement Aalborg White*. CEM I 52.5 R Weisszement. Abgerufen 8. Juli 2015, von <http://www.juracement.ch/html/907/de/CEM-I-52-5-R-Weisszement.htm?Produktgruppe=19282&Produkt=20345>
- U. Kasser, D. Savi & M. Klingler (16. März 2015) *Ökobilanzierung der Nutzungsphase von Baustoffen - Methodik zur Bewertung umweltrelevanter Baustoffbestandteile - Phase II: Anwendung der Methodik auf eine breite Palette von Baustoffen* (Schlussbericht). Zürich: Büro für Umweltchemie.
- D. Kellenberger, H.-J. Althaus, T. Künniger, N. Jungbluth, M. Lehmann & P. Thalmann (Dezember 2007) *Life Cycle Inventories of Building Products*. In Final report ecoinvent Data v2.0 No. 7. Dübendorf, CH: EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories,.
- I. Kosińska & J. Kreissig (Dezember 2013) *Hintergrundbericht zur Umwelt-Produktdeklaration (EPD) - Muster-Produktdeklarationen Werkmörtel*. (Industrieverband WerkMörtel e. V. IWB, Hrsg.). PE INTERNATIONAL AG, Hauptstraße 111 - 113, Leinfelden-Echterdingen.
- I. Kosińska & S. Weible (Oktober 2014) *Organische Putze, Haftvermittler und Unterputze* (Hintergrundbericht zur Ökobilanz) (S. 61). Frankfurt am Main, Leinfelden – Echterdingen: VdL – Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e.V. Mainzer Landstraße 55 60329 Frankfurt am Main, PE INTERNATIONAL AG Hauptstraße 111 – 113 70771 Leinfelden – Echterdingen.

- F. Kreppelt (2015) *Persönliche Mitteilung*. Fixit AG, Holderbank.
- E. Messow (11. Januar 2016) *Persönliche Mitteilung*. Sto SE & Co. KGaA, Ehrenbachstr. 1, D-79780 Stühlingen.
- PlasticsEurope (Hrsg.) (Februar 2014) *Eco-profile Polyamide 6.6*.
- H.-J. Riechers (5. Dezember 2015) *Persönliche Mitteilung*.
- A. Saunders (19. November 2014) *White cement review*. Global Cement Magazine. Abgerufen von <http://www.globalcement.com/magazine/articles/890-white-cement-review>
- D. Schulz (2003) *Technologie und Auslegung einer Weißzementanlage*. ZKG INTERNATIONAL, 56(2/2003).
- A. Stoffregen (20. Februar 2015) *Persönliche Mitteilung*.
- Uelzener-UMS (Hrsg.) (2006) *ESTROMAT 403 - Der Durchlaufmischer für Höchstleistungen*. UELZENER MASCHINEN GMBH, Stahlstrasse 26-28, D-65428 Rüsselsheim / Germany. Abgerufen von www.uelzener-ums.de
- Wacker (2011) *Make The Move to VAE Dispersions*. Wacker Chemie AG, Hanns-Seidel-Platz 4, 81737 München.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht, Januar 2016

Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich"

Projekt QualiBOB
Teilbericht F: Unterlagsböden

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Hochbauten Stadt Zürich
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Auftragnehmer:

Projektteam QualiBOB

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

Ueli Kasser, Büro für Umweltchemie, u.kasser@umweltchemie.ch (Projektleitung)
Matthias Klingler, Büro für Umweltchemie, m.klingler@umweltchemie.ch
Daniel Savi, Büro für Umweltchemie, d.savi@umweltchemie.ch

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG
Peter Gerber, BAFU, Fachbereich Ökobilanzen
Norbert Egli, Vertretung BAFU Sektion Konsum und Produkte, Tridee GmbH
Michael Pöll, AHB Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500996-01

BAFU-Vertrags- und Projektnummer: 10.0041.PJ / N043-0527, O022-2110

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

F	UNTERLAGSBÖDEN	F-1
F.1	Untersuchungsrahmen	F-1
F.1.1	Bilanzierte Produkte	F-1
F.1.2	Funktionelle Einheit	F-2
F.1.3	Systemgrenzen	F-4
F.1.3.1	Herstellung	F-4
F.1.3.2	Regionallager Schweiz	F-9
F.1.3.3	Entsorgung	F-9
F.1.4	Allokation	F-9
F.1.5	Marktsituation Schweiz	F-9
F.1.6	Abschneidekriterien	F-9
F.1.7	Zeitliche und geografische Gültigkeit	F-10
F.1.8	Datenquellen und Datenqualität	F-11
F.2	Sachbilanzdaten	F-11
F.2.1	Zementunterlagsboden	F-11
F.2.2	Anhydritunterlagsboden	F-14
F.3	Resultate	F-17
F.4	Diskussion	F-18
F.4.1	Datensätze zur Aufnahme in die KBOB-Empfehlung	F-18
F.4.2	Vergleich mit bestehenden ecoinvent-Datensätzen	F-19
F.5	Literaturverzeichnis	F-21

F Unterlagsböden

F.1 Untersuchungsrahmen

F.1.1 Bilanzierte Produkte

Schwimmende Unterlagsböden (UB) werden im Bodenaufbau als Schicht direkt unter dem Nutzbelag erstellt. Sie sind durch eine Trennschicht und möglicherweise eine Wärme- oder Trittschalldämmung von der Bodenplatte des Rohbaus getrennt. Eine Fussbodenheizung wird normalerweise vollständig in den Unterlagsboden eingebettet. Gemäss SN EN-Norm 13813 werden Unterlagsböden als Estriche bezeichnet. Gebräuchlich sind zum einen Zementunterlagsböden, die im Innen- und Aussenbereich sowie bei erhöhter Wasserbelastung eingesetzt werden können. Zum anderen werden Anhydritunterlagsböden, Norm-Bezeichnung Calciumsulfat-Estriche, im Trockenbereich und häuslichen Feuchtbereich eingesetzt.

Unterlagsböden werden auf der Baustelle in zäh- bis dünnflüssiger Form in den Raum eingebracht und härten vor Ort aus. Das fertige Bauteil entsteht also erst im Gebäude selbst. Die Zement- oder Anhydritmischung kann entweder als Trockenmörtel in Säcken oder Silos zur Baustelle gelangen, wo sie mit Wasser zum verarbeitungsfertigen Unterlagsboden vermischt wird, oder das Bindemittel gelangt in Säcken, als Siloware oder in Mischmobilen auf die Baustelle und wird direkt vor Ort mit Sand zur fertigen Unterlagsboden-Mischung verarbeitet.

Zement-Unterlagsböden sind in drei Varianten auf dem Markt erhältlich. Zum Ersten als konventionell eingebauter Unterlagsboden, der mit der Schaufel verteilt und dann geglättet wird. Zum Zweiten als Schnellzement-UB, der gleich appliziert wird wie ein herkömmlicher Zement-UB, jedoch durch Zugabe von Tonerdezement schneller abbindet. Zum Dritten als Zement-Fliessunterlagsboden, der so flüssig ist, dass er selbstnivellierend ausgebracht werden kann.



Abbildung 1: Anhydrit-UB. links: Einbau konventionell, rechts: Einbau Fließbelag (Bilder: KBS)

Anhydrit-Unterlagsböden können ebenfalls konventionell eingebaut werden, also mit der Schaufel verteilt und geglättet. Mehrheitlich werden Anhydrit-Unterlagsböden jedoch als selbstfließender und selbstnivellierender Fliessestrich eingebracht. Die Fließbeläge erfordern eine komplette Abdichtung des Untergrundes und der Seiten bis zur Belagshöhe. Sie erfordern also eine aufwändigere Vorbereitung. Unabhängig von der Verarbeitungsweise schwinden Anhydrit-Unterlagsböden weniger beim Trocknen und weisen im Endzustand eine höhere Biegezugfestigkeit auf als Zement-UB.

F.1.2 Funktionelle Einheit

Damit eine vergleichbare Bilanzierung aller UB-Varianten gewährleistet werden kann, werden die verarbeitungsfertigen Mischungen in Kilogramm bilanziert, wie sie in den Raum eingebracht werden. Diese Mischungen beinhalten das Bindemittel, die Zusätze, den Füllstoff und das Anmachwasser. Differenziert werden die Datensätze nach dem Bindemittel in Zement-Unterlagsböden und Anhydrit-Unterlagsböden. Für Zement-UB und für Anhydrit-UB wird jeweils ein Datensatz berechnet. Dieser weist eine Durchschnittsmischung am Markt aus. Die nachfolgend präsentierten Rezepturen beziehen sich immer auf diese "Durchschnittsmischung" am Markt und nicht auf ein konkretes Produkt. Die funktionellen Einheiten aller erstellten Datensätze werden in Tabelle 1 ausgewiesen.

Tabelle 1: Funktionelle Einheit und Kennzahlen

Datensatz-Name	Funktionelle Einheit	Wassergehalt
Zement-UB, verarbeitungsfertig	1 kg	8-12 %
Zement-UB, pro m ²	1 m ²	8-12 %
Zement-UB, ausgehärtet	1 kg	ca. 3-4 %
Anhydrit-UB, verarbeitungsfertig	1 kg	7-23 %
Anhydrit-UB, pro m ²	1 m ²	7-23 %
Anhydrit-UB, ausgehärtet	1 kg	ca. 0.3 %

Beim Wassergehalt der Anhydrit-UB variieren die Angaben in einem weiten Bereich. Für konventionell eingebrachte UB liegt das Verhältnis von Wasser zu Bindemittel laut Gips-Datenbuch bei 0.35-0.4 (BV Gips, 2006), das ergibt einen Wasseranteil im konventionellen Anhydrit-UB von rund 7 %. Laut Auskunft von Herstellervertretern liegt der Wassergehalt zwischen 10 % und 14 % (Blumer, 2015). Gemäss Produktdatenblatt eines Fliessestrichs werden 14 %-16 % Anmachwasser benötigt (Saint-Gobain Weber, 2015) und gemäss Gips-Datenbuch beträgt der Wasseranteil 15 %-23 %. Daraus resultiert die weite Spannweite von 7 %-23 % in der Tabelle 1.

Mittels der Normdicken für die unterschiedlichen Belagsarten gemäss SIA-Norm 251 / 2008 werden Datensätze pro m² Unterlagsboden erstellt. Aus diesen werden wiederum Datensätze pro kg ausgehärtetem Unterlagsboden hergeleitet. Da nur ein mittlerer Datensatz für Zement-UB und für Anhydrit-UB erstellt wird, müssen die Anmachwasser-Anteile der Belagsvarianten gemittelt werden. Die Herleitung dieser Mittelwerte ist in Tabelle 2 für Zement-UB und in Tabelle 5 für Anhydrit-UB ausgewiesen. Die Anhydrit-UB Varianten konventionell und Fliessestrich unterscheiden

sich zudem in den Normdicken und Rohdichten der Baustellenmischungen, deren Mittelwertberechnung in Tabelle 4 nachvollzogen werden kann.

Tabelle 2: Herleitung Wasseranteil Zement-UB

Unterlagsboden	Zement-UB konventionell [M-%]	Schnellzement-UB Mischung 1 [M-%]	Schnellzement-UB Mischung 2 [M-%]	Zugabe Anmachwasser bezogen auf Trockenmischung	Wasseranteil bezogen auf verarbeitungsfertige Mischung
Marktanteil	90 %	5 %	5 %		
Zugabe / Anteil Anmachwasser	9.0 %	9.0 %	11.4 %	9.12 %	8.36 %

Tabelle 3: Herleitung Wasseranteil Anhydrit-UB

Unterlagsboden	Anhydrit-UB konventionell [M-%]	Anhydrit Fliessestrich Mischmobil [M-%]	Anhydrit Fliessestrich Trockenmörtel [M-%]	Zugabe Anmachwasser bezogen auf Trockenmischung	Wasseranteil bezogen auf verarbeitungsfertige Mischung
Marktanteil	25 %	58 %	18 %		
Zugabe / Anteil Anmachwasser	7.2 %	15 %	15 %	13.05 %	11.54 %

Tabelle 4: Herleitung Mittlere Dicken und Rohdichten Anhydrit-UB

Unterlagsboden	Einheit	Anhydrit-UB konventionell [M-%]	Anhydrit Fliessestrich Mischmobil [M-%]	Anhydrit Fliessestrich Trockenmörtel [M-%]	Mit Marktanteilen gewichteter Mittelwert
Marktanteil	[%]	25 %	57.5 %	17.5 %	
Dicke UB	[mm]	70	55	55	58.75
Rohdichte Baustellenmischung ohne Anmachwasser	[kg/m ³]	1950	1900	1900	1912.5

Die mittleren Normdicken der Beläge gemäss SIA-Norm werden in Tabelle 5 in der dritten Spalte ausgewiesen. Mit der Rohdichte der Baustellenmischung (Kirchhofer, 2015) vor der Zugabe des Anmachwassers kann das Flächengewicht der trockenen Baustellenmischung pro Quadratmeter berechnet werden. Nach Addition des bilanzierten Anmachwassers ergibt sich das Flächengewicht der verarbeitungsfertigen Mischung, mit welchem der Datensatz pro Kilogramm in einen Datensatz mit der Bezugsgrösse Quadratmeter umgerechnet werden kann. Zu beachten ist beim Vergleich der Flächengewichte in Tabelle 5, dass der Wasseranteil der verarbeitungsfertigen Mischung ausgewiesen wird und nicht die prozentuale Zugabe zur Baustellenmischung ohne Anmachwasser.

Tabelle 5: Kennzahlen zur Berechnung der Ökobilanzen pro Quadratmeter UB

Unterlagsboden verarbeitungsfertig	Anteil Anmachwasser [%]	Dicke UB [mm]	Rohdichte Baustellenmischung ohne Anmachwasser [kg/m ³]	Flächengewicht Baustellenmischung ohne Anmachwasser [kg/m ²]	Flächengewicht Baustellenmischung verarbeitungsfertig [kg/m ²]
Zement-UB	8.4 %	85	1950	165.75	180.9
Anhydrit-UB	11.5 %	58.75	1912.5	112.5	127.2

Aus dem Datensatz pro Quadratmeter UB kann mit der Rohdichte des ausgehärteten Unterlagsbodens ein Datensatz für den ausgehärteten UB pro Kilogramm berechnet werden (Tabelle 6). Dazu wird das Flächengewicht des ausgehärteten Unterlagsbodens mithilfe der Rohdichte berechnet und der Datensatz pro Quadratmeter durch diese Kennzahl dividiert.

Tabelle 6: Kennzahlen der ausgehärteten Unterlagsböden

Unterlagsboden ausgehärtet	Dicke UB [mm]	Rohdichte UB ausgehärtet [kg/m ³]	Flächengewicht UB ausgehärtet [kg/m ²]
Zement-UB	85	2'100	178.5
Anhydrit-UB	58.75	2'050	120.4

F.1.3 Systemgrenzen

F.1.3.1 Herstellung

Um die Verarbeitungsvarianten in der Bilanz der Unterlagsböden gleichwertig zu berücksichtigen, wird in Abweichung von anderen Datensätzen nicht das Produkt ab Werk, sondern die verarbeitungsfertige Mischung auf der Baustelle bilanziert. Da in der KBOB-Liste Ökobilanzdaten für die Produktion ohne Verarbeitungsaufwand ausgewiesen werden, wird dennoch kein Transport zur Baustelle und auch kein Energiebedarf für das Pumpen auf der Baustelle berücksichtigt. Der Herstellungsprozess umfasst den Abbau der Rohstoffe, die Aufbereitung der Rohstoffe zu Zwischenprodukten und die Herstellung des Endprodukts. Der Energieaufwand der Mischung des Produkts entweder im Werk oder auf der Baustelle wird in der Bilanzierung berücksichtigt. Sämtliche Transporte in der Herstellungskette werden berücksichtigt.

Bei der Herstellung von Unterlagsböden gilt es zu unterscheiden zwischen der werkseitigen Produktion von Trockenmörtel, der Herstellung der Mischung auf der Baustelle und der Anlieferung von Frischmörtel ab Werk.

In der Trockenmörtelproduktion (Abbildung 3) wird der feuchte Sand nach dem Abbau getrocknet. Diese Trocknung trägt den grössten Beitrag zum Energieaufwand in der Herstellung bei. Danach werden die Rohstoffe und Vorprodukte trocken gemischt. Die fertige Mischung wird dann als Silo- oder Sackware abgefüllt und trocken zur Baustelle transportiert. Auf der Baustelle wird dann der Trockenmörtel mit dem erforderlichen Anmachwasser versetzt.

Die Mörtelproduktion zur Verarbeitung auf der Baustelle (Abbildung 4) kann mit feuchtem Sand erfolgen, wodurch der Schritt der Sandtrocknung entfällt. Die Rohstoffe werden auf der Baustelle gemischt und das benötigte Anmachwasser wird zugegeben, wobei die Feuchtigkeit im Sand bereits einen Teil zur benötigten Wassermenge beisteuert (Abbildung 2).



Abbildung 2: Mischung des Bindemittels mit Sand auf der Baustelle (Bild: KBS, Veltheim)

Die Frischmörtelproduktion (Abbildung 5) kann ebenfalls mit feuchtem Sand erfolgen, wodurch der Schritt der Sandtrocknung entfällt. Die Rohstoffe werden feucht gemischt und das benötigte Anmachwasser wird bereits im Werk zugegeben. Der Frischmörtel wird dann per Fahrmischer zur Baustelle transportiert und ohne weitere Wasserzugabe verarbeitet.

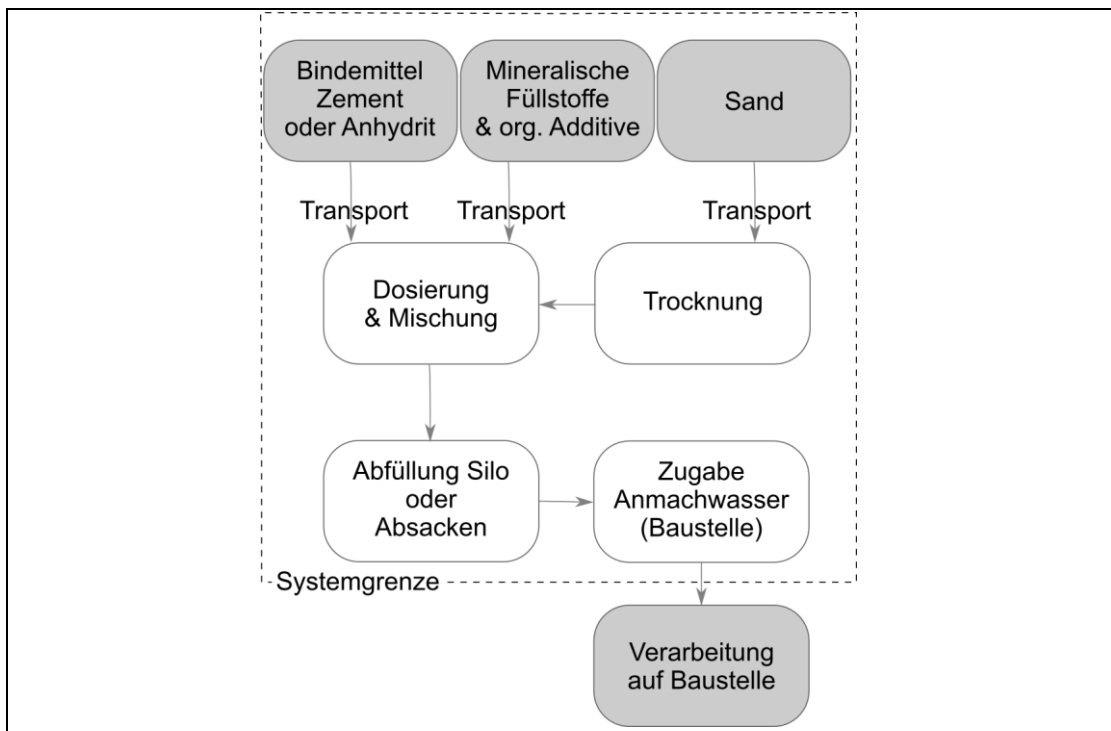


Abbildung 3: Produktionsschema Unterlagsböden als Trockenmörtel mit Systemgrenze

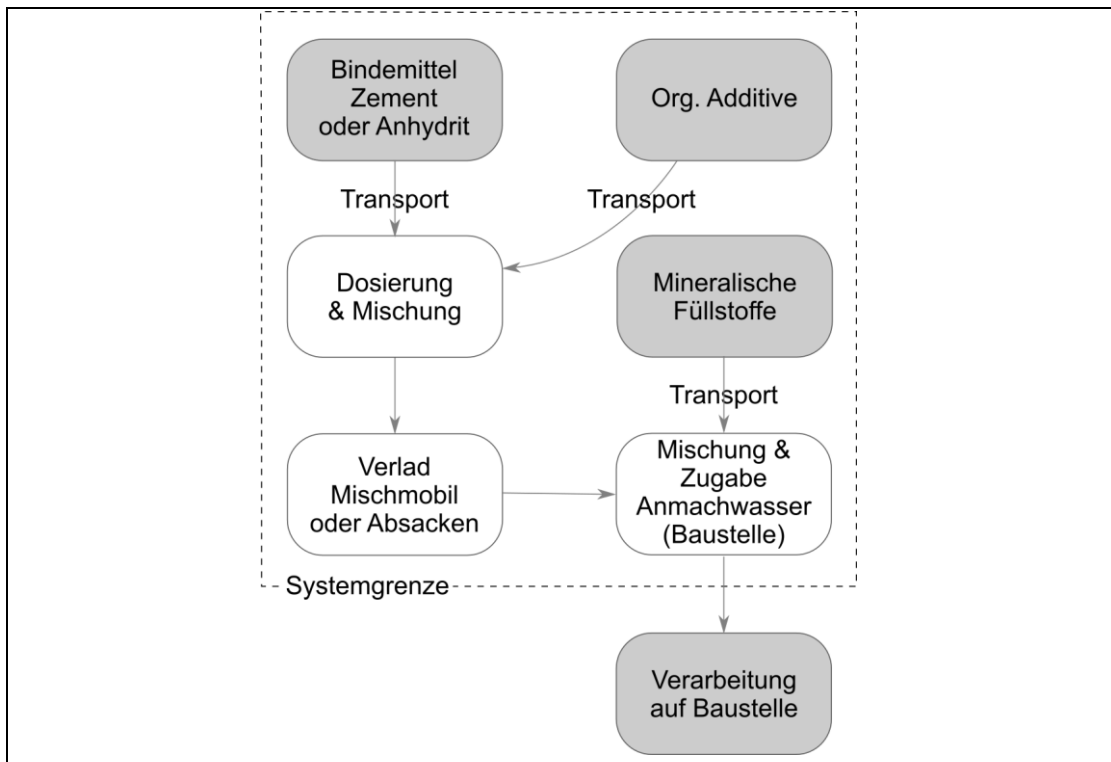


Abbildung 4: Produktionsschema Unterlagsböden Baustellen-Mischung mit Systemgrenze

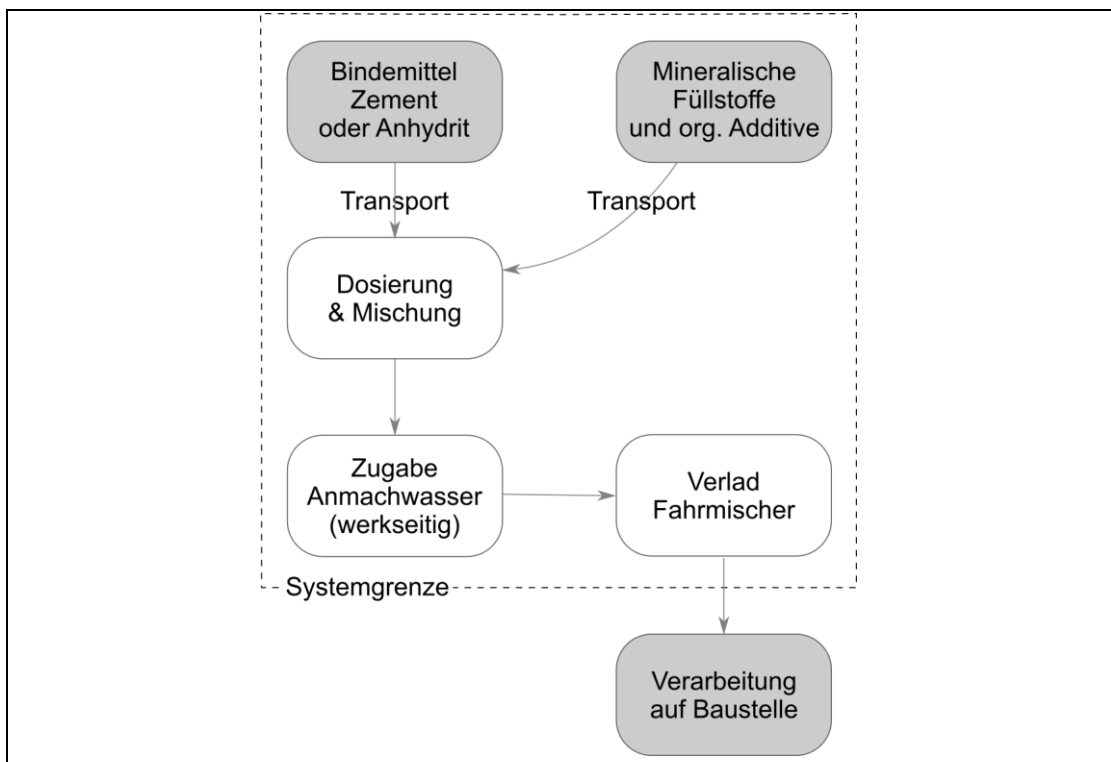


Abbildung 5: Produktionsschema Unterlagsböden als Frischmörtel mit Systemgrenze

In Tabelle 7 werden die üblichen Verpackungsarten für die UB-Varianten ausgewiesen. Die Zementmischungen für Zement-UB werden in Papiersäcken mit eingelegter Kunststoffolie ausgeliefert, der Sand gelangt auf Kippladern zur Baustelle. Ein Teil der Zement-UB wird als Frischmörtel direkt ab den Zementwerken geliefert. Genauere Angaben zum Marktanteil des Frischmörtels sind nicht bekannt, wird durch Hersteller-Vertreter jedoch als gering eingestuft (Blumer et al., 2015). Für die beiden Varianten Baustellen-Mischung und Frischmörtel unterscheidet sich die Ökobilanz lediglich in der Verpackung, da für den Frischmörtel die Auslieferung in Papiersäcken entfällt.

Das Bindemittel für den konventionell eingebauten Anhydrit-UB gelangt im Papiersack mit eingelegter Plastikfolie zur Baustelle, der Sand direkt im Kipplader. Das Bindemittel für Fliessestriche wird zu rund 75 % in Mischmobilen angeliefert und der Sand direkt in Kippladern zur Baustelle geliefert. Zu 25 % werden fertige Trockenmörtelmischungen eingesetzt, die den Sand bereits enthalten und zu 95 % in Silos ausgeliefert werden. Weitere 5 % gelangen in Papiersäcken mit eingelegter Kunststoffolie zur Verarbeitung. (Blumer et al., 2015)

Da für die Bereitstellung der Silos wie auch der Mischmobile und Fahrmiter keine Daten zur Verfügung stehen und auch davon ausgegangen werden kann, dass der Beitrag zur Ökobilanz durch die Wiederverwendung der Fahrzeuge, respektive Silos sehr gering wäre, wurden sie nicht bilanziert.

Tabelle 7: Bilanzierte Verpackung nach UB-Varianten

UB-Variante	Produkt	Silo	Mischmobil / Kipplader	Papiersack
Zement-UB konventionell	Bindemittel & Additive			100 %
	Sand		100 %	
Schnellzement-UB	Bindemittel & Additive			100 %
	Sand		100 %	
Anhydrit-UB konventionell	Bindemittel & Additive			100 %
	Sand		100 %	
Fließanhydrit-UB	Bindemittel & Additive		75 %	
	Sand		75 %	
	Trockenmörtel	23.75 %		1.25 %

Unabhängig von der Verwendung von Trockenmörtel oder der Mischung auf der Baustelle entsteht als verarbeitungsfähiges Produkt im Fall der konventionellen Verarbeitung eine pastöse bis zähflüssige Masse, im Fall des Fließunterlagsbodens eine flüssige Masse. Die Bereitstellung dieser Masse bildet die Systemgrenze für die Ökobilanzierung der Herstellung.

Die Zusammensetzung der Unterlagsböden wird in Tabelle 8 ausgewiesen. Gemessen am Trockengewicht ohne Anmachwasser beträgt der Zementanteil in konventionellen Zement-UB rund 15 %. Schnellzement kann sehr unterschiedlich zusammengesetzt sein. Die Palette bekannter Mischungen reicht von 15 % Portland- und Tonerdezement (Kosińska et al., 2013) bis zu 28 % Tonerdezement, Portlandzement, Anhydrit und α - oder β -Halbhydrat (Blumer, 2015). Als mineralischer Füllstoff wird Sand (Blumer et al., 2015) verwendet. Die weiteren Zugaben wie MF-Harz als

Plastifizierer und Bentonit machen weniger als 0.1 % am Trockengewicht aus. Im konventionellen Anhydrit-UB ist der Bindemittelanteil nur leicht höher als in einem konventionell eingebauten Zement-UB, wobei rund 16 % Fluoro-Anhydrit & 2 % Natur-Anhydrit sowie 1 % Zement eingesetzt werden. Der Anhydrit-Fliessunterlagsboden enthält rund ein Drittel Bindemittel. Für den Anhydrit-UB ab Mischmobil setzt der wichtigste Marktteilnehmer eine Mischung aus 20 % Anhydrit aus REA-Gips, 10 % Naturanhydrit und 3 % α -Halbhydrat ein (Kirchhofer, 2015). Das Bindemittel in Trockenmörteln wird gemäss Absprache mit den Hersteller-Vertretern mit 26 % Anhydrit aus REA-Gips und 7 % α -Halbhydrat bilanziert. Dazu kommt rund 1 % Zement. Die weiteren Additive machen erneut nur einen geringen Anteil am Gesamtgewicht von ca. 0.2 % aus (Kosińska et al., 2013). Das zusätzlich zugegebene Anmachwasser ist aus Tabelle 1 ersichtlich. Die benötigte Wassermenge hängt insbesondere von der Sandqualität ab und variiert je nach Lieferwerk und Charge (Kirchhofer, 2015).

Tabelle 8: Zusammensetzung der Unterlagsböden gemessen am Trockengewicht

Unterlagsboden	Zement-UB konventionell	Schnellzement-UB	Anhydrit-UB konventionell	Anhydrit-Fliess-UB
Bindemittel-Anteil (Zement / Anhydrit & Gips-halbhydrate)	15 %	15-28 %	19 %	34 %
Sandanteil / Steinmehl	85 %	72-85 %	80 %	66 %
Additive	< 0.1 %	< 0.1 %	0.2 %	0.2 %

Die Transportwege der Vorprodukte variieren je nach Hersteller und Produkt stark. Für Zementunterlagsböden kann der Zement aus inländischer Produktion oder den Nachbarländern stammen. Der Anteil des Zements aus der Schweiz wird auf 75 % geschätzt (Blumer et al., 2015). Der Sand kommt gemäss Einschätzung derselben Hersteller-Vertreter immer aus der Schweiz. Für Anhydritunterlagsböden wird das Bindemittel vor allem aus Deutschland importiert. Der Sand wird wiederum in der Schweiz beigemischt (Tabelle 9). Die Transportdistanzen der obenstehenden Bestandteile wurden in Absprache mit den Herstellervertretern abgeschätzt. Für die Additive wurde die Transportdistanz aus dem Hintergrundbericht der EPD übernommen (Kosińska et al., 2013).

Tabelle 9: Transportwege Rohstoffe und Vorprodukte in Kilometern

Rohstoff	Zement-UB konventionell	Schnellzement-UB	Anhydrit-UB konventionell	Anhydrit-Fliess-UB
Anhydrit (alle Varianten) / Gips	–	–	450 km	
Sand	20 km			Mischmobil: 20 km Trockenmörtel: 0 km
Zement Schweiz (75 %)	100 km			
Zement Europa (25 %)	300 km			
Additive	500 km			

F.1.3.2 Regionallager Schweiz

Die Unterlagsböden werden als verarbeitungsfertige Mischung bilanziert. Somit gilt der Herstellungsdatensatz ab Regionallager Schweiz.

F.1.3.3 Entsorgung

In der Entsorgung gelangt der Unterlagsboden in die Mischabbruchmulde (Schneider, 2015). Daraufhin wird er grösstenteils in der Inertstoffdeponie abgelagert. In der Bilanzierung der Entsorgung wird der Anhydritanteil im Anhydritunterlagsboden als Gips berücksichtigt. Die Entsorgung wird mit den Standarddistanzen von ecoinvent 2.2 für Transporte modelliert, gemäss den Methodenvorgaben der KBOB-Liste (Frischknecht, 2013).

F.1.4 Allokation

Die modellierten Herstellungsprozesse weisen keine Nebenprodukte auf. Entsprechend erfolgt keine Allokation des Produktionsaufwandes auf verschiedenen Haupt- und Nebenprodukte.

F.1.5 Marktsituation Schweiz

Herkömmliche Zement-Unterlagsböden stammen meist aus einheimischen Zementwerken. Der Anteil des importierten Zements wird von Marktteilnehmern auf ca. 25 % geschätzt. Für den Zementunterlagsboden wird eine Marktmischung aus 90 % konventionellem Zement-UB und 10 % Schnellzement-UB bilanziert. Die verwendeten Marktanteile sind in Tabelle 10 festgehalten. Bei den Zement-UB dominiert der konventionelle Einbau deutlich. Zement-Fliessunterlagsboden wird in der Schweiz praktisch nicht verwendet (Blumer et al., 2015) und in der Ökobilanzierung nicht berücksichtigt. Anhydrit-UB wird zu drei Vierteln als Fliess-UB angewendet, wobei davon wiederum rund 75 % mit Mischmobilen und rund 25 % als Trockenmörtel angeliefert werden. Alle Angaben zu den Marktverhältnissen basieren auf den Einschätzungen von Branchenvertretern (Blumer et al., 2015).

Tabelle 10: Marktanteile der Zement-UB-Varianten

UB-Varianten	Konventioneller Einbau	Schnellzement	Fliessanhydrit
Marktanteil an Zement-UB	90 %	10 %	–
Marktanteil an Anhydrit-UB	25 %	–	Mischmobil: 57.5 % Trockenmörtel: 17.5 %

F.1.6 Abschneidekriterien

Alle verfügbaren Daten wurden für die Bilanzierung verwendet. Keine Daten waren für die Verpackung im Silo oder im Mischmobil verfügbar. Da die Silos und Mischmobile über zahlreiche Zyklen wiederverwendet werden, kann von einem sehr geringen Anteil an den Ökobilanzergebnissen ausgegangen werden. Im Output wird die Abwärme aus der Energienutzung vernachlässigt.

F.1.7 Zeitliche und geografische Gültigkeit

Die Datenerhebung zu den Herstellungsprozessen im Werk fand im Jahre 2006 statt (IWM, 2007). Die Angaben wurden für den vorliegenden Bericht im Kontakt mit Herstellern kontrolliert und auf die Schweizer Verhältnisse angepasst (Blumer et al., 2015; Kirchhofer, 2015). Die neu erhobenen Daten können also als aktuell für das Jahr 2015 gelten.

Die Hintergrunddaten für Rohstoffe und Prozesse stammen teilweise aus der Datenbank Ecoinvent 2.2 und unterscheiden sich in ihrer Aktualität, wie in Tabelle 11 für die Sachbilanzen ausgewiesen. Die Datensätze sind in der Reihenfolge ihres Erscheinens im nachfolgenden Kapitel F.2 aufgeführt.

Tabelle 11: Aktualität der Ecoinvent-Daten zur Herstellung von Unterlagsböden

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Sand 0-4mm	sand, at mine – CH	1997
Zement CEMII/a-L 42.5	portland calcareous cement, at plant – CH	1997
Zement CEM I 42.5 Tonerdezement	portland cement, strength class Z 42.5, at plant – CH	1997
Natürlicher Anhydrit	anhydrite rock, at mine – CH	1997
Plastifizierer MF-Harz	melamine formaldehyde resin, at plant – RER	1995
Bentonit	bentonite, at processing – DE	1997
PP-Faser	polypropylene, granulate, at plant	1999
	fleece production, polyethylene terephthalate – RER	1997
Anmach- + Prozesswasser	tap water, at user – CH	2000
Kaliumsulfat	potassium sulphate, as K ₂ O, at regional storehouse – RER	1999
Zitronensäure	chemicals organic, at plant – GLO	2000
Hilfsstoffe Verarbeitung	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Schmieröl	lubricating oil, at plant – RER	2000
Produktionsabfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Prozesswasser in Abwasserreinigung	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3 – CH	1994
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid – CH	2004
Erdgas	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW – RER	2000
Heizöl	heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW – RER	2000
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Transporte Vorprodukte EU	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	2005
Transport Vorprodukte CH	transport, lorry 20-28t, fleet average – CH	2005
Transporte Abfälle Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	2005
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Produktionsmaschine	industrial machine, heavy, unspecified, at plant – RER	1999

Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Inertstoffe in Inertstoffdeponie	disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill	1995
Gipsanteil in Inertstoffdeponie	disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill – CH	1995

F.1.8 Datenquellen und Datenqualität

Die Daten stammen aus der Erhebung für die Erstellung von Umweltproduktdeklarationen des deutschen Industrieverbandes Werkmörtel IWM unter seinen Mitgliedern (IWM, 2007). Im Kontakt mit Schweizer Branchenvertretern (Blumer et al., 2015; Kirchhofer, 2015) wurden umfangreiche Anpassungen vorgenommen bei den Bindemittelanteilen, der Sandherkunft, benötigten Anmachwasser und den Transportwegen. Die beteiligten Hersteller decken nach eigenen Angaben über die Hälfte des Schweizer Markts für Anhydrit-Unterlagsböden und über einen Drittel des Marktes für alle Unterlagsböden ab, womit die Angaben auch als repräsentativ für den Gesamtmarkt angesehen werden können. Die Anhydrit-Herstellung wurde im Rahmen des Projekts QualiBOB bilanziert. Die Bilanzierung dieser Rohstoffe ist im Teilbericht D dokumentiert. Die weiteren Hintergrunddaten stammen aus ecoinvent 2.2. Die verwendeten Datensätze sind in Tabelle 11 aufgelistet. Zu den Datenquellen und der Datenqualität der ecoinvent-Daten sei auf die umfangreiche Dokumentation zu ecoinvent 2.2 verwiesen.

F.2 Sachbilanzdaten

F.2.1 Zementunterlagsboden

Die ausgewiesene Sachbilanz bezieht sich auf die bereits beschriebene Markt-mischung für Zement-UB inklusive Anmachwasser. Als Bindemittel kommen gemäss den Daten des IWB (Kosińska et al., 2013) die Zementsorten Portlandzement (CEM I) und Portland-Kalksteinzement (CEM II/a-L) zum Einsatz. Für den Portland-Kalksteinzement konnte der Ecoinvent-Datensatz "portland calcareous cement, at plant – CH" verwendet und der Portlandzement mit dem ecoinvent-Datensatz "portland cement, strength class Z 42.5, at plant – CH" berücksichtigt werden. Für den Schnellzement-UB wird die Verwendung von Tonerdezement ausgewiesen. Diese nicht genormte Zementart besteht aus Bauxit, Kalk und Kieselsäure (Grün, 1927). Für die Bilanzierung wird ersatzweise der Datensatz für Portland-Zement "portland cement, strength class Z 42.5, at plant" eingesetzt. Da der Schnellzementunterlagsboden mit einem Marktanteil von 10 % in die Bilanz eingeht, beeinflusst diese unzureichende Bilanzierung des Tonerdezements das Ergebnis nur unwesentlich. Die PP-Fasern werden aus dem Datensatz für Polypropylen-Granulat "polypropylene, granulate, at plant – RER" und dem Datensatz für die Vliesherstellung "fleece production, polyethylene terephthalate – RER" modelliert.

Die Hilfsstoffe für die Verarbeitung werden in den Hintergrunddaten zur EPD angegeben. Für das Prozesswasser wird der schweizer Datensatz "tap water, at user – CH" eingesetzt, da die Produktion der Zementmörtel vorwiegend im Inland stattfindet.

det. Das benötigte Anmachwasser auf der Baustelle wurde für herkömmlichen Zement aus dem Wasser-/Zement-Wert von 0.6 hergeleitet (Kirchhofer, 2015) und ebenfalls mit dem ecoinvent-Datensatz "tap water, at user – CH" berücksichtigt.

Als Produktionsabfall fallen gemessen am Trockengewicht gemäss (Kosińska et al., 2013) 0.5 % Abschnitte an. Über den Verbleib des Prozesswassers wurden keine Angaben gefunden, es wird deshalb angenommen, dass es die Produktion über die Kanalisation verlässt.

Für die Herstellung werden die Energieaufwände aus der Umweltproduktdeklaration des deutschen Verbandes verwendet, wie in Tabelle X dargestellt. Da die Produktion der Zement-UB vorwiegend in der Schweiz statt findet, wird der Schweizer Strommix eingesetzt. Für die Infrastruktur musste eine einfache Abschätzung aufgrund der Daten eines Mischers für Putze vorgenommen werden (Uelzener-UMS, 2006). Die Transporte wurden mit den Distanzen in Tabelle 9 modelliert.

In der Tabelle 12 wird die Sachbilanz der verarbeitungsfertigen Mischung dokumentiert, Tabelle 13 enthält die Sachbilanz des Datensatzes pro Quadratmeter Zement-UB und Tabelle 14 die Umrechnung auf ein Kilogramm ausgehärteten Unterlagsboden. Die Rohdichte des ausgehärteten Bodens ist nur ungefähr bekannt, weshalb diese Umrechnung eine zusätzliche, schwer zu beziffernde Unsicherheit in die Ergebnisse einführt. Die Wasserdampf-Emissionen während der Aushärtung wurden mittels theoretischer Annahmen berechnet. Für den abgebundenen Zement wird mit einem Wasser/Zement-Wert von 0.25 gerechnet, dazu kommt eine Restfeuchte von 2 %.

Tabelle 12: Sachbilanz Zementunterlagsboden, verarbeitungsfertig

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Sand 0-4mm	sand, at mine – CH	kg	0.773
Zement CEMII/a-L 42.5	portland calcareous cement, at plant – CH	kg	0.124
Tonerdezement	portland cement, strength class Z 42.5, at plant – CH	kg	0.00802
Zement CEM I 42.5	portland cement, strength class Z 42.5, at plant – CH	kg	0.00756
Synthetischer Anhydrit (Fluoro)	Anhydrit aus Flusssäuresynthese, Herstellung – DE	kg	0.00138
Thermischer Anhydrit	Anhydrit aus REA-Gips – DE	kg	0.00138
Natürlicher Anhydrit	anhydrite rock, at mine – CH	kg	0.00138
Plastifizierer MF-Harz	melamine formaldehyde resin, at plant – RER	kg	1.88*10 ⁻⁴
Bentonit	bentonite, at processing – DE	kg	9.16*10 ⁻⁶
PP-Faser	polypropylene, granulate, at plant – RER	kg	9.16*10 ⁻⁶
	fleece production, polyethylene terephthalate – RER	kg	9.16*10 ⁻⁶
Anmach + Prozesswasser	tap water, at user – CH	kg	0.108
Hilfsstoffe Verarbeitung	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Schmieröl	lubricating oil, at plant – RER	kg	2.46*10 ⁻⁶
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsabfall in Deponie	Zement-UB, Entsorgung – CH	kg	0.00458
Prozesswasser in Abwasserreinigung	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3 – CH	m3	2.40*10 ⁻⁵

Verpackung	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Verpackung Sackware	Putzsack inkl. Transportverpackung, Herstellung – CH	Stk.	4.18*10 ⁻³
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid – CH	kWh	0.0133
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Vorprodukte EU	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	t*km	0.0148
Transport Vorprodukte CH	transport, lorry 20-28t, fleet average – CH	t*km	0.0253
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Produktionsmaschine	industrial machine, heavy, unspecified, at plant – RER	kg	3.45*10 ⁻⁷
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Zementunterlagsboden, verarbeitungsfertig – CH	kg	1

Tabelle 13: Sachbilanz Zementunterlagsboden, pro m²

Roh- und Ausgangsstoffe	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Zement-UB	Zement-UB, verarbeitungsfertig – CH	kg	180.9
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Zementunterlagsboden, pro m ² – CH	m ²	1

Tabelle 14: Sachbilanz Zementunterlagsboden, ausgehärtet

Roh- und Ausgangsstoffe	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Zement-UB	Zement-UB, pro m ² – CH	m ²	0.00560
Emissionen	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Wasserdampf	Water – Elementary flows/air/high population density	kg	0.0294
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Zementunterlagsboden, ausgehärtet – CH	kg	1

Die Entsorgung der Zementunterlagsböden wird mit dem Entsorgungsdatensatz für Beton aus ecoinvent 2.2 "disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill" approximiert (siehe Tabelle 15). Da der Wasseranteil im Entsorgungsdatensatz ziemlich genau den realen Verhältnissen im UB entspricht, muss keine Wasserkorrektur vorgenommen werden. Dazu kommt die Transportdistanz gemäss der KBOB-Methodik (Frisknecht, 2013). Auch der Entsorgungsdatensatz wird zusätzlich pro Quadratmeter ausgehärtetem Unterlagsboden ausgewiesen (Tabelle 16).

Tabelle 15: Sachbilanz Zementunterlagsboden, Entsorgung

Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Inertstoffe in Inertstoffdeponie	disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	1
Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	tkm	0.015
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Zement-UB, Entsorgung	kg	1

Tabelle 16: Sachbilanz Zementunterlagsboden, Entsorgung, pro m²

Input	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Zement-UB, Entsorgung	Zement-UB, Entsorgung – CH	kg	178.5
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Zement-UB, Entsorgung – CH	m ²	1

F.2.2 Anhydritunterlagsboden

Für die Sachbilanz des Anhydritunterlagsboden wurden die Vorprodukte Gips- α -Halbhydrat, synthetischer Anhydrit aus der Flusssäuresynthese und thermischer Anhydrit aus REA-Gips eigens bilanziert. Die Dokumentation der Datensätze dieser Vorprodukte findet sich im Anhang D "Gipswerkstoffe". Für Zitronensäure musste ersatzweise der generische Datensatz für organische Chemikalien "chemicals organic, at plant – GLO" verwendet werden. Für die Hilfsstoffe und die Produktionsabfälle gelten die Anmerkungen für Zementunterlagsböden unverändert. Das Bindemittel wird mehrheitlich aus Deutschland importiert, die Mischung der Trockenmörtel erfolgt in der Schweiz. Mangels besserer Angaben werden die Daten zum Herstellungsaufwand im Werk aus dem Hintergrundbericht der EPD verwendet (Kosińska et al., 2013), jedoch der Strommix der Schweiz eingesetzt. Die Trockenmörtelherstellung benötigt gemäss den Angaben in der EPD eine erstaunlich hohe Menge Elektrizität (0.109 kWh/kg). Mehrfache Rückfragen beim Industrieverband Werkmörtel ergaben keine Klärung des Sachverhalts. Durch Vergleich mit weiteren Publikationen (Corradini et al., 1999) und dem bestehenden Ecoinvent-Datensatz für Quarzsand wurde der Strombedarf neu abgeschätzt und nach unten korrigiert. Im vorliegenden Datensatz wird nun mit den Energien gemäss Tabelle 17 gerechnet. Für den Mischer auf der Baustelle konnten die Angaben eines Verarbeiters in der Schweiz verwendet werden (Kirchhofer, 2015).

Tabelle 17: Herstellungsenergie für die Frischmörtelproduktion, Baustellenmischung und Trockenmörtelproduktion

Herstellungsenergie pro kg UB	Frischmörtel-Produktion / Baustellenmischung	Trockenmörtel-Produktion
Elektrizität Baustellenmischer [kWh]	0.00025	0.00025
Elektrizität Werk [kWh]	0.013	0.059
Thermische Energie aus Erdgas [MJ]	0	0.038
Thermische Energie aus Heizöl [MJ]	0	0.008

Die Transporte wurden mit den Distanzen in Tabelle 9 modelliert. Für die Infrastruktur musste eine einfache Abschätzung aufgrund der Daten eines Mixers für Putze vorgenommen werden (Uelzener-UMS, 2006).

In der Tabelle 18 wird die Sachbilanz der verarbeitungsfertigen Mischung dokumentiert, Tabelle 19 enthält die Sachbilanz des Datensatzes pro Quadratmeter Anhydrit-UB und Tabelle 20 die Umrechnung auf ein Kilogramm ausgehärteten Unterlagsboden. Die Wasserdampf-Emissionen während der Aushärtung wurden mittels theoretischer Annahmen berechnet. Für den ausgehärteten Anhydritunterlagsboden wird mit einer Ausgleichsfeuchte von 0.3 % gerechnet (BV Gips, 2006).

Tabelle 18: Sachbilanz Anhydritunterlagsboden, verarbeitungsfertig

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Sand 0-4mm	sand, at mine – CH	kg	0.625
Gips α -Halbhydrat	Gips α -Halbhydrat aus REA-Gips – DE	kg	0.0245
Synthetischer Anhydrit	Anhydrit aus Flusssäuresynthese, Herstellung – DE	kg	0.0354
Thermischer Anhydrit	Anhydrit aus REA-Gips – DE	kg	0.129
Naturanhydrit	anhydrite rock, at mine – CH	kg	0.0502
Zement CEM I 42.5	portland cement, strength class Z 42.5, at plant – CH	kg	0.00885
Plastifizierer MF-Harz	melamine formaldehyde resin, at plant – RER	kg	8.18*10 ⁻⁴
Kaliumsulfat	potassium sulphate, as K ₂ O, at regional storehouse – RER	kg	0.00142
Zitronensäure	chemicals organic, at plant – GLO	kg	1.55*10 ⁻⁴
Bentonit	bentonite, at processing – DE	kg	0.01
Anmachwasser	tap water, at user – CH	kg	0.115
Hilfsstoffe Verarbeitung	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Schmieröl	lubricating oil, at plant – RER	kg	2.21*10 ⁻⁶
Prozesswasser	tap water, at user – CH	kg	0.0224
Druckluft	compressed air, average installation, <30kW, 8 bar gauge, at supply network – RER	m ³	0.00665
Produktionsabfälle	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktionsabfall in Deponie	Anhydrit-UB, Entsorgung – CH	kg	0.00442
Prozesswasser in Abwasserreinigung	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3 – CH	m ³	2.24*10 ⁻⁵
Verpackung	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Als Sackware ausgelieferte Mischungen	Putzsack inkl. Transportverpackung pro kg Putz, Entsorgung – CH	Stk.	1.55*10 ⁻³
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Elektrizität Werk	electricity, medium voltage, at grid – CH	kWh	0.0211
Elektrizität Baustellenmischer	electricity, medium voltage, at grid – CH	kWh	2.50*10 ⁻⁴
Erdgas	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW – RER	MJ	0.00665
Heizöl	heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW – RER	MJ	0.0014
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Vorprodukte EU	transport, lorry 16-32t, EURO4 – RER	t*km	0.114
Transport Vorprodukte CH	transport, lorry 20-28t, fleet average – CH	t*km	0.0113
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Produktionsmaschine	industrial machine, heavy, unspecified, at plant – RER	kg	3.45*10 ⁻⁷
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Anhydritunterlagsboden, verarbeitungsfertig – CH	kg	1

Tabelle 19: Sachbilanz Anhydritunterlagsboden, pro m²

Roh- und Ausgangsstoffe	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Anhydrit-UB	Anhydrit -UB, verarbeitungsfertig – CH	kg	127.2
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Anhydritunterlagsboden, pro m ² – CH	m ²	1

Tabelle 20: Sachbilanz Anhydritunterlagsboden, ausgehärtet

Roh- und Ausgangsstoffe	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Anhydrit-UB	Anhydrit -UB, pro m ² – CH	m ²	0.00831
Emissionen	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Wasserdampf	Water – Elementary flows/air/high population density	kg	0.1189
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Anhydritunterlagsboden, ausgehärtet – CH	kg	1

Die Entsorgung der Anhydritunterlagsböden wird für den Sand und Zementanteil mit dem Entsorgungsdatensatz für Beton aus ecoinvent 2.2 "disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill" approximiert. Der Anhydrit- und Gipsaldehyd-Teil im Sinne einer konservativen Abschätzung mit dem Entsorgungsdatensatz für Gips "disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill – CH". Da die Ausgleichsfeuchte im Anhydrit-UB nur rund 0.3 % beträgt, wurde der höhere Wasseranteil in den Entsorgungsdatensätzen korrigiert. Das Gesamtgewicht der Inputs im Entsorgungsdatensatz berechnet sich dadurch zu 1.092 kg. Dazu kommt die Transportdistanz gemäss der KBOB-Methodik (Frischknecht, 2013). Auch der Entsorgungsdatensatz wird in Tabelle 22 zusätzlich pro Quadratmeter Unterlagsboden ausgewiesen. Die Umrechnung erfolgt aufgrund des Flächengewichts des ausgehärteten UB.

Tabelle 21: Sachbilanz Anhydritunterlagsboden, Entsorgung

Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Gipsanteil in Inertstoffdeponie	disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill – CH	kg	0.295
Inertstoffe in Inertstoffdeponie	disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill – CH	kg	0.797
Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	tkm	0.015
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Anhydrit-UB, Entsorgung – CH	kg	1

Tabelle 22: Sachbilanz Anhydritunterlagsboden, Entsorgung, pro m²

Input	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Anhydrit-UB, Entsorgung	Anhydrit-UB, Entsorgung – CH	kg	120.4
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Anhydrit-UB, Entsorgung – CH	m ²	1

F.3 Resultate

Die Resultate der Ökobilanz werden in Tabelle 23 für den Zement-UB und in Tabelle 24 für den Anhydrit-UB ausgewiesen. Als Flächengewicht wird dasjenige des ausgehärteten Unterlagsbodens ausgewiesen. Dies ist von der Herleitung der Datensätze pro m² zwar nicht korrekt, da diese den frisch verarbeiteten UB beschreiben und somit das Flächengewicht des feuchten UBs zugrunde liegt. Für den Anwender wäre diese Angabe jedoch sehr verwirrend und würde zwangsläufig zu Umrechnungsfehlern führen, wenn die Bilanzen auf andere Dicken angepasst werden sollen.

Tabelle 23: Ökobilanzergebnisse Zement-UB

Ökobilanz-Datensatz - Region	Rohdichte [kg/m ³] / Flächengewicht [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Zementunterlagsboden, verarbeitungsfertig – CH	2'100 / –	kg	116	0.878	0.777	0.111
Zementunterlagsboden, pro m ² – CH	2'100 / 178.5	m ²	20'900	159	140	20.0
Zementunterlagsboden, ausgehärtet – CH	2'100 / 178.5	kg	117	0.889	0.787	0.112
Zementunterlagsboden, Entsorgung – CH	2'100 / –	kg	15.2	0.234	0.232	0.00811
Zementunterlagsboden, Entsorgung, pro m ² – CH	2'100 / 178.5	m ²	2'707	41.8	41.4	1.45

Tabelle 24: Ökobilanzergebnisse Anhydrit-UB

Ökobilanz-Datensatz - Region	Rohdichte [kg/m ³] / Flächengewicht [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Anhydritunterlagsboden, verarbeitungsfertig – CH	2'100 / –	kg	101	1.40	1.34	0.0659
Anhydritunterlagsboden, pro m ² – CH	2'050 / 120.4	m ²	12'851	178	171	8.38
Anhydritunterlagsboden, ausgehärtet – CH	2'050 / 120.4	kg	107	1.48	1.42	0.0696
Anhydritunterlagsboden, Entsorgung – CH	2'050 / –	kg	16.3	0.252	0.250	0.00869
Anhydritunterlagsboden, Entsorgung, pro m ² – CH	2'050 / 120.4	m ²	1'966	30.4	30.1	1.05

F.4 Diskussion

F.4.1 Datensätze zur Aufnahme in die KBOB-Empfehlung

Ein Vergleich der beiden Bindemittel-Varianten für Unterlagsböden kann nur sinnvoll mit Bezug zur erstellten Fläche erfolgen. Es wird empfohlen die Datensätze pro m² in die KBOB-Empfehlung Ökobilanzdaten im Baubereich aufzunehmen. Das ausgewiesene Flächengewicht ermöglicht die Umrechnung pro Kilogramm ausgehärtetem Belag. Mit diesem Vorgehen gehen zwar die Wasserdampfemissionen der hier berechneten Datensätze pro kg ausgehärtetem UB verloren. Der Einfluss dieser Emissionen ist jedoch sehr gering und in den Resultaten nicht sichtbar. In der Tabelle 25 werden die Kennzahlen der empfohlenen Datensätze für die Herstellung und Entsorgung gegenübergestellt.

Tabelle 25: Ökobilanzdaten zur Aufnahme in die KBOB-Empfehlung

Ökobilanz-Datensatz - Region	Rohdichte [kg/m ³] / Flächengewicht [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Zementunterlagsboden, pro m ² – CH	2'100 / 178.5	m ²	20'900	159	140	20.0
Zementunterlagsboden, Entsorgung, pro m ² – CH	2'100 / 178.5	m ²	2'707	41.8	41.4	1.45
Anhydritunterlagsboden, pro m ² – CH	2'050 / 120.4	m ²	12'851	178	171	8.38
Anhydritunterlagsboden, Entsorgung, pro m ² – CH	2'050 / 120.4	m ²	1'966	30.4	30.1	1.05

Der Vergleich der UBP für die beiden Bindemittelvarianten zeigt auf, dass der Zement-UB pro Quadratmeter sowohl in der Herstellung wie in der Entsorgung etwas höhere Umweltbelastungen verursacht.

Werden die Herstellungsenergien der UB-Varianten pro Quadratmeter verglichen, so ergeben sich Vorteile für den Zement-Unterlagsboden in der Herstellung und Nachteile in der Entsorgung. Insgesamt über Herstellung und Entsorgung liegt der gesamte Primärenergieaufwand der Zement-UB 4 % unter demjenigen der Anhydrit-UB. Der gesamte Primärenergiebedarf des Anhydrit-UB wird zu 23 % durch die Anhydrit-Herstellung aus REA-Gips verursacht. Anhydrit wird aus dem Gips erbrannt, entsprechend werden relativ grosse Wärmemengen benötigt, die aus Erdgas bereitgestellt werden. Weitere 23% tragen die Transporte der Vorprodukte ins Werk bei. Rund 15 % des Primärenergiebedarfs stammen aus dem Elektrizitätsbedarf der Herstellung.

Umgekehrt sind die Verhältnisse bei den Treibhausgasemissionen. Die Zement-UB erzeugen in der Herstellung mehr als doppelt so hohe Treibhausgasemissionen wie die Anhydrit-UB, wiederum bezogen auf einen Quadratmeter erstellten Unterlags-

boden. Dies liegt an den CO₂-Emissionen, die bei der Klinkerherstellung aus Kalkstein unvermeidlich sind und dem höheren Flächengewicht der Zement-UB.

Der Unterschied in den UB der Herstellung werden denn auch durch die höheren CO₂-Emissionen des Zement-UB bestimmt. Diese tragen im Falle des Zement-UB 9'580 UB zum Gesamtergebnis pro m² bei, beim Anhydrit-UB im Vergleich dazu lediglich 4'285 UB/m². Weiterhin steuert die Entnahme mineralischer Primärressourcen beim Zement-UB 4'508 UB/m² bei, wobei keine potentiellen Rückgewinnungsraten in einem möglichen Recycling angerechnet wurden. Diese Entnahme mineralischer Ressourcen wird beim Anhydrit-UB mit deutlich geringeren 2'778 UB/m² bewertet. Die beiden Grössen Treibhausgasemissionen und Entnahme mineralischer Ressourcen erklären also den Unterschied zwischen den Bindemittelvarianten zu über 90 %.

Bezüglich der Entsorgungsdatensätze hat die Unterscheidung zwischen Anhydritanteil und weiteren Inertstoffen bei den Anhydrit-UB einen sichtbaren Einfluss auf die Kennzahlen pro Kilogramm. Dieser Unterschied wird durch die Feuchtigkeitskorrektur im Datensatz zur Gipsentsorgung hervorgerufen, wodurch das Inputgewicht im Entsorgungsdatensatz für Anhydrit-UB mehr als ein Kilogramm beträgt. Die Belastungen der Entsorgung werden vor allem durch die Bereitstellung und den Betrieb der Inertstoffdeponie verursacht.

F.4.2 Vergleich mit bestehenden ecoinvent-Datensätzen

Die bestehenden Datensätze aus ecoinvent 2.2 für die Herstellung von Unterlagsböden werden auch in der aktuellen KBOB-Liste verwendet. Für den Zement-UB besteht der Datensatz "cement cast plaster floor, at plant" und für den Anhydrit-UB der Datensatz "anhydrite floor, at plant". Die aktuellen Kennzahlen in der KBOB-Liste sind in Tabelle 26 abgebildet.

Tabelle 26: Kennzahlen der bestehenden Datensätze für UB in der KBOB-Empfehlung von 2014

Ökobilanz-Datensatz - Region	Rohdichte [kg/m ³]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgasemissionen [kg CO ₂ -eq]
Unterlagsboden Zement, Herstellung	1'850	kg	162	1.16	0.984	0.171
Unterlagsboden Zement, Entsorgung	1'850	kg	26.2	0.196	0.190	0.00959
Unterlagsboden Anhydrit, Herstellung	2'000	kg	95.6	1.24	1.06	0.0425
Unterlagsboden Anhydrit, Entsorgung	2'000	kg	33.0	0.285	0.282	0.0130

Zunächst fällt die deutlich tiefere Rohdichte für den Zement-UB auf. Aufgrund der neu erhobenen Herstellerangaben wird empfohlen, den neuen Wert für Zement-UB zu verwenden.

Wesentlich geringer fällt im neuen Datensatz für den Zement-UB die Herstellungsenergie aus. Der Unterschied erklärt sich zum einen daraus, dass der bestehende Datensatz mit 18 % Zementanteil rechnet, der neue mit 14 %. Zudem wird im be-

stehenden Datensatz für den gesamten Zement-UB eine Verpackung in Papiersäcken gerechnet (inkl. Sand), im neuen wird nur das Bindemittel verpackt. Beide Einflüsse machen einen Unterschied von je ca. 0.15 MJ / kg aus. Auch die Unterschiede in den übrigen Kennzahlen erklären sich aus dem deutlich geringeren Energieverbrauch des neuen Datensatzes. Die Entsorgung wird in der KBOB-Empfehlung mit dem "Entsorgungsmix, Zement (in Beton) und Mauermörtel" gerechnet. In diesem Bericht wurde ein spezifischer Datensatz für Zement-UB erstellt. Der Herkunft der unterschiedlichen Kennzahlen wurde nicht im Detail nachgegangen.

Die Kennzahlen des Anhydrit-UB liegen für die Herstellung rund 10 %-20 % über den bestehenden. Auch für den Anhydrit-UB wird im bestehenden Datensatz im Gegensatz zur Praxis im Bauwesen für die Gesamtmenge mit einer Verpackung in Papiersäcken gerechnet. Zudem wird für das gesamte Bindemittel Naturanhydrit eingesetzt, währenddessen der neue Datensatz mit den in diesem Projekt hergeleiteten Datensätzen für Anhydrit aus REA-Gips, bzw. der Flusssäureproduktion rechnet. Beide Datensätze weisen einen höheren Primärenergiebedarf aus als der Abbau von Naturanhydrit. Die Entsorgung wird in der KBOB-Empfehlung mit dem "Entsorgungsmix, Vollgipsplatte / Gipsputz" gerechnet. In diesem Bericht wurde ein spezifischer Datensatz für Anhydrit-UB erstellt. Den Ursachen der unterschiedlichen Kennzahlen wurde nicht im Detail nachgegangen.

F.5 Literaturverzeichnis

- R. Blumer (6. Januar 2015) *Persönliche Mitteilung*. St. Gobain-Weber, Winterthur.
- R. Blumer & R. Kirchhofer (27. Mai 2015) *Arbeitstreffen Bilanzierung Zement-Unterlagsböden*.
- BV Gips (2006) *GIPS-Datenbuch*. Bundesverband der Gipsindustrie e.V.
- R. Corradini, C. Hutter & D. Köhler (Juli 1999) *Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen*. Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Am Blütenanger 71, 80995 München.
- R. Frischknecht (23. Juli 2013) *Memo: Regeln für Ökobilanzdaten im Baubereich gemäss der KBOB-Liste*. Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich.
- D. R. Grün (1927) *Bindemittel aus geschmolzenen Rohstoffen: Tonerdezement*. In *Der Zement* (S. 45–49). Springer Berlin Heidelberg. Abgerufen von http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-47506-1_6
- IWM (2007) *Hintergrundbericht zur Umwelt-Produktdeklaration für Werkmörtel. Erarbeitung von Muster-Produktdeklarationen. Projektteil „Ökobilanz“*. PE International.
- R. Kirchhofer (2015) *Persönliche Mitteilung*. KBS Kirchhofer-Bodensysteme AG, Veitheim.
- I. Kosińska & J. Kreissig (Dezember 2013) *Hintergrundbericht zur Umwelt-Produktdeklaration (EPD) - Muster-Produktdeklarationen Werkmörtel*. (Industrieverband WerkMörtel e. V. IWB, Hrsg.). PE INTERNATIONAL AG, Hauptstraße 111 - 113, Leinfelden-Echterdingen.
- Saint-Gobain Weber (Hrsg.) (2015) *Datenblatt weber.floor 480*.
- Schneider (Hrsg.) (2015) *Preisliste*. Schneider Umweltservice AG, Meilen.
- Uelzener-UMS (Hrsg.) (2006) *ESTROMAT 403 - Der Durchlaufmischer für Höchstleistungen*. UELZENER MASCHINEN GMBH, Stahlstrasse 26-28, D-65428 Rüsselsheim / Germany. Abgerufen von www.uelzener-ums.de



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht, Januar 2016

Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich"

Projekt QualiBOB
Teilbericht G: Verglasungen

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Hochbauten Stadt Zürich
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Auftragnehmer:

Projektteam QualiBOB

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

Matthias Klingler, Büro für Umweltchemie, m.klingler@umweltchemie.ch
Daniel Savi, Büro für Umweltchemie, d.savi@umweltchemie.ch
Ueli Kasser, Büro für Umweltchemie, u.kasser@umweltchemie.ch (Projektleitung)

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG
Peter Gerber, BAFU, Fachbereich Ökobilanzen
Norbert Egli, Vertretung BAFU Sektion Konsum und Produkte, Tridee GmbH
Michael Pöll, AHB Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500996-01

BAFU-Vertrags- und Projektnummer: 10.0041.PJ / N043-0527, O022-2110

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

G	VERGLASUNGEN	G-1
G.1	Untersuchungsrahmen	G-1
G.1.1	Untersuchte Systeme	G-1
G.1.2	Datenquellen	G-3
G.1.3	Funktionelle Einheit	G-4
G.1.4	Systemgrenzen.....	G-5
G.1.4.1	Herstellung.....	G-5
G.1.4.2	Entsorgung.....	G-5
G.1.5	Allokation	G-6
G.1.5.1	Härten von Flachglas – Produktion ESG.....	G-6
G.1.5.2	Verbundsicherheitsglas.....	G-6
G.1.5.3	Wärmeschutzbeschichtung	G-6
G.1.5.4	Isolierglas.....	G-6
G.1.6	Abschneidekriterien	G-6
G.1.7	Zeitliche und geografische Gültigkeit.....	G-7
G.1.8	Datenqualität	G-7
G.2	Sachbilanzdaten.....	G-8
G.2.1	Flachglas unbeschichtet	G-8
G.2.2	Härten von Flachglas – Produktion ESG	G-10
G.2.3	Verbundsicherheitsglas	G-12
G.2.4	Flachglasbeschichtung	G-15
G.2.5	Isolierglas	G-17
G.3	Resultate	G-33
G.4	Literaturverzeichnis	G-36

G Verglasungen

G.1 Untersuchungsrahmen

G.1.1 Untersuchte Systeme

Es wurden aktuelle Daten erhoben für die Herstellung von:

- Flachglas
- Beschichtung von Flachglas (Wärmeschutz, Sonnenschutz)
- Einscheibensicherheitsglas (ESG)
- Verbundsicherheitsglas (VSG)
- Isolierglas

In einer Startsituation mit Vertretern von Flachglas Schweiz AG, Glas Trösch und dem Schweizerischen Institut für Glas am Bau (SIGAB) wurden die für den Markt gängigsten Isolierglasvarianten bestimmt für welche Ökobilanzdaten erarbeitet werden sollen. Es handelt sich um 5 Varianten für Doppelverglasungen (2-IV) und 6 Varianten für Dreifachverglasungen (3-IV). Tabelle 1 zeigt den Aufbau, den U-Wert und g-Wert der untersuchten Isoliergläser.

Die untersuchten Isoliergläser bestehen aus zwei bis drei Gläser. Bei den eingesetzten Gläsern handelt es sich um Flachglas (Float), Einscheibensicherheitsglas (ESG) und Verbundsicherheitsglas (VSG). Die Glasstärken sind bei Flachglas und ESG 4 mm. Das Verbundsicherheitsglas besteht aus zweimal 4 mm Flachglas welches durch eine 0.76 mm starke Folie aus Polyvinylbutyral (PVB) verbunden wird. Bei den Isoliergläsern ist jeweils das innere Glas und manchmal zusätzlich das äusserste Glas beschichtet (Low E 1.1). Wobei Low E für einen niedrigen Emissionsgrad steht, welcher bewirkt, dass langwellige Strahlung (Heizwärme) ins Rauminnere reflektiert wird und somit den U-Wert der Isoliergläser verringert. Die Scheibenzwischenräume der untersuchten Isoliergläser sind 12, 14 und 16 mm dick. Die Zwischenräume sind mit den wärmedämmenden Edelgasen Argon (Ar) oder Krypton (Kr) gefüllt. Da Krypton in der Atmosphäre in viel geringerer Konzentration auftritt als Argon ist die Gewinnung von Krypton durch die Verflüssigung von Luft deutlich aufwendiger. Die Kosten von Krypton sind deshalb höher, weshalb das Edelgas seltener eingesetzt wird als Argon.

Tabelle 1: Untersuchte Isoliergläser

Typ	Glas 1	Scheibenzwischenraum (SZR) 1	Füllung SZR	Glas 2	Scheibenzwischenraum (SZR) 2	Füllung SZR	Glas 3	U-Wert [W/m ² k]	G-Wert [%]
2-IV	4 mm Float	16 mm	Ar	4 mm Float, Low E 1.1.	–	–	–	1.1	60
2-IV	4 mm Float	10 mm	Kr	4 mm Float, Low E 1.1	–	–	–	1.1	60
2-IV	4 mm ESG	16 mm	Ar	4 mm Float, Low E 1.1	–	–	–	1.1	60
2-IV	4 mm Float	16 mm	Ar	VSG, 2x4mm, 0,76mm PVB, Low E 1.1	–	–	–	1.1	60
2-IV	4 mm ESG	16 mm	Ar	VSG, 2x4mm, 0,76mm PVB, Low E 1.1	–	–	–	1.1	60
3-IV	4 mm Float, Low E 1.1	14 mm	Ar	4 mm Float	14 mm	Ar	4 mm Float, Low E 1.1	0.6	50-53
3-IV	4 mm Float, Low E 1.1	12 mm	Kr	4 mm Float	12 mm	Kr	4 mm Float, Low E 1.1	0.5	50-53
3-IV	4 mm ESG, Low E 1.1	14 mm	Ar	4 mm Float	14 mm	Ar	4 mm ESG, Low E 1.1	0.6	50-53
3-IV	4 mm ESG, Low E 1.1	14 mm	Ar	4 mm ESG	14 mm	Ar	4 mm ESG, Low E 1.1	0.6	50-53

Typ	Glas 1	Scheibenzwischenraum (SZR) 1	Füllung SZR	Glas 2	Scheibenzwischenraum (SZR) 2	Füllung SZR	Glas 3	U-Wert [W/m ² k]	G-Wert [%]
3-IV	4 mm Float, Low E 1.1	14 mm	Ar	4 mm Float	14 mm	Ar	VSG, 2x4mm, 0,76mm PVB, Low E 1.1	0.6	50-53
3-IV	4 mm ESG, Low E 1.1	14 mm	Ar	4 mm Float	14 mm	Ar	VSG, 2x4mm, 0,76mm PVB, Low E 1.1	0.6	50-53

Mit den Herstellern wurde diskutiert, ob neben der Verglasungsgrösse von 1.18m x 0.72m, welche den bereits vorhandenen Daten in ecoinvent und in der KBOB-Liste zugrunde liegt, auch grössere Dimensionen berücksichtigt werden sollten. Seitens der Hersteller wurde argumentiert, dass die durchschnittliche Fläche von Verglasungen immer noch ca. bei 1m² liegt, obwohl im Neubau heute auch deutlich grössere Verglasungen eingebaut werden. Bei grösseren Verglasungen ist der Einfluss des Randverbunds pro m² Verglasung geringer, jedoch müssten in diesem Fall auch höhere Glasdicken (6mm anstatt 4mm) berücksichtigt werden. Es wurde deshalb entschieden, dass sich die Angaben der Hersteller, analog zu früheren Datenerhebungen, auf Gläser der Dimension 1.18m x 0.72m beziehen sollten.

G.1.2 Datenquellen

Für die Datenerhebung wurden die drei wichtigsten Hersteller für den Schweizer Markt kontaktiert: Flachglas Schweiz AG, Glas Trösch und Glassolutions Saint-Gobain. Obwohl Saint-Gobain schon mehrere Umweltproduktdeklarationen für Isoliergläser erstellt hat, konnten die entsprechenden Daten aus den Hintergrundberichten aus Vertraulichkeitsgründen für die vorliegende Studie nicht bereitgestellt werden. Somit beruhen die Ökobilanzen mit Ausnahme der Daten für Flachglas auf Datenerhebungen bei Flachglas Schweiz AG (1 Werk) und Glas Trösch (1 Werk). Sämtliche Daten beziehen sich auf das Produktionsjahr 2013. Daten zur materiellen Zusammensetzung und zur Herstellung von Isoliergläsern wurden bei beiden Unternehmen erhoben. Daten zur Herstellung von ESG und zur Beschichtung wurden bei Glas Trösch erhoben. Die Basisdaten für die Herstellung von VSG wurden von Flachglas Schweiz bereitgestellt (siehe auch Tabelle 2).

Tabelle 2: Datenherkunft

Prozess	Glas Trösch	Flachglas Schweiz
Herstellung ESG	✓	
Herstellung VSG		✓
Beschichtung	✓	
Materielle Zusammensetzung der Isolierverglasungen	✓	✓
Herstellung Isolierverglasung	✓	✓

Für die Herstellung von Flachglas nach dem Float-Verfahren wurden, in Absprache mit Flachglas Schweiz und Glas Trösch, die Sachbilanzdaten aus einer Studie im Auftrag des europäischen Verbands (Usbeck, 2010) genutzt.

G.1.3 Funktionelle Einheit

Die Ökobilanzen für Flachglas, ESG und die Beschichtung von Flachglas wurden pro kg Glas erstellt (siehe auch Tabelle 3). Dabei ist zu beachten, dass sich die Daten für ESG (Härten von Flachglas) und die Beschichtung auf die Verarbeitung von Flachglas beziehen. Das bedeutet der Datensatz beinhaltet kein Flachglas als Input ausser jenem welches bei diesem Prozess als Verschnitt anfällt.

Die Daten für VSG und Isoliergläser beziehen sich auf 1m² Glasfläche. Das bilanzierte Verbundsicherheitsglas besteht aus zwei Glastafeln (2x4mm Flachglas), wovon eine beschichtet ist. Diese Gläser werden mit 0.76mm PVB-Folie verbunden. Analog zu den bereits vorhandenen Isolierverglasungen in der KBOB-Liste wurden die aktualisierten und erweiterten Daten für Verglasungen pro m² sichtbarer Glasfläche (Glasfläche im Licht) bilanziert. Dabei entspricht 1 m² sichtbare Glasfläche 1.06 m² Glasfläche brutto. Diese Annahme wurde aus der ecoinvent-Dokumentation (Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007) zu den Verglasungen die bereits bilanziert wurden, übernommen.

Tabelle 3: Prozesse und funktionelle Einheiten

Prozess	Funktionelle Einheit	Kommentar
Flachglas	kg	
Härten von Flachglas	kg	Verarbeitung von Flachglas zu ESG, Input Flachglas berücksichtigt nur Verschnitt
VSG	m2	2 x 4mm Flachglas, 0.76 mm PVB, einseitig beschichtet
Beschichtung Flachglas	kg	Verarbeitung, Input Flachglas berücksichtigt nur Verschnitt
Isolierglas	m2	Sichtbare Glasfläche (entspricht 1.06 m2 Glasfläche brutto)

G.1.4 Systemgrenzen

G.1.4.1 Herstellung

Der Herstellungsprozess von Isolierglas umfasst mehrere Prozessschritte. Dazu gehören: Die Herstellung von Flachglas (Floatglas), die Verarbeitung von Flachglas zu Einscheibensicherheitsglas (ESG) und Verbundsicherheitsglas (VSG). Die verschiedenen Gläser werden teilweise beschichtet und in bestimmten Kombinationen zu Doppel- oder Dreifachisolierverglasungen zusammengebaut (siehe auch Abbildung 1). Die Ökobilanzen der Isolierverglasungen umfassen:

- Die Rohstoffbereitstellung und –Verarbeitung sowie Verarbeitungsprozesse von als Input dienenden Sekundärstoffen
- Die Transporte zum Hersteller
- Die Herstellung

Sämtliche Material- und Energieinputs liefernden Prozesse sowie die Behandlung aller Abfälle und die Emissionen in die Luft, die durch diese Prozesse entstehen, sind Teil des Systems.

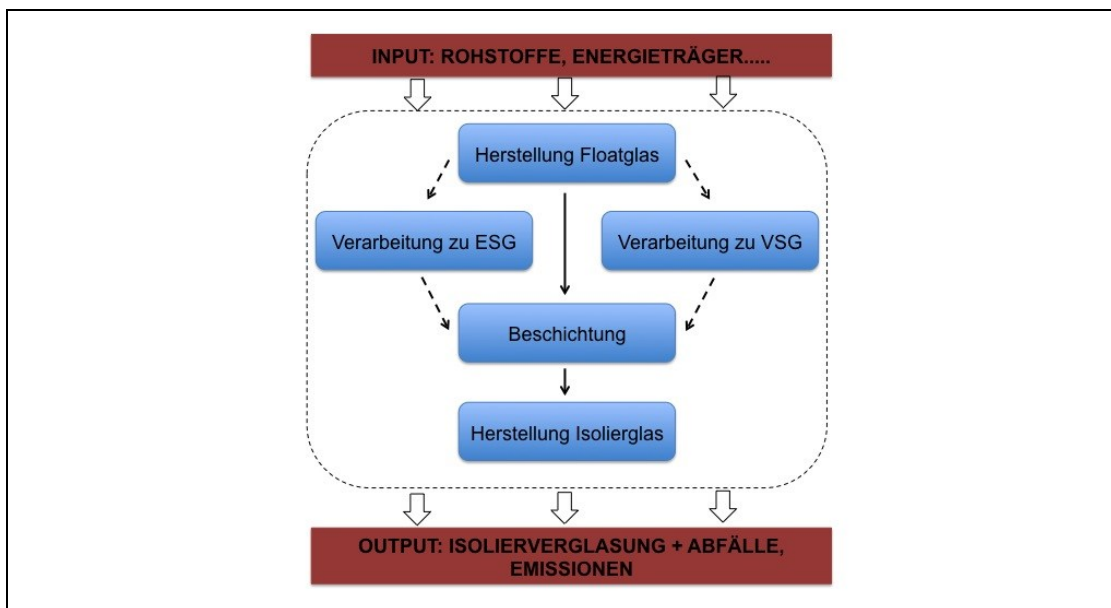


Abbildung 1: Prozessschritte Isolierglasherstellung

G.1.4.2 Entsorgung

Für die Entsorgung am Ende des Lebenszyklus der Isoliergläser wurde davon ausgegangen, dass die Isoliergläser geshreddert werden, das Glas in einer Inertstoffdeponie entsorgt und die Kunststoffe in der KVA verbrannt werden. Heute wird Isolierglas auch in der Hohlglasproduktion recycelt. Dies wurde hier nicht berücksichtigt.

G.1.5 Allokation

G.1.5.1 Härten von Flachglas – Produktion ESG

Die Datenerhebung umfasst nebst ESG auch teilvorgespanntes Glas (TVG). Sämtliche Inputs wurden über die Masse den zwei Produkten zugeordnet.

G.1.5.2 Verbundsicherheitsglas

Im Werk von Flachglas Schweiz AG in Wikon werden Verbundsicherheitsgläser und Isoliergläser hergestellt. Der Output der gesamten Produktion wird in Quadratmeter erfasst. Gewisse Inputs wie Strom, Gas, Verpackungsmaterial und Abfälle konnten nicht getrennt nach Produkten erfasst werden. Deshalb wurden diese Inputs proportional zu den hergestellten Quadratmeter den Produkten VSG und Isolierglas zugeordnet. Nach Rücksprache mit dem Hersteller wurde eine Korrektur bei der Allokation des Stromverbrauchs vorgenommen. Es wird davon ausgegangen, dass der Stromverbrauch pro Quadratmeter VSG doppelt so hoch ist wie beim Isolierglas.

G.1.5.3 Wärmeschutzbeschichtung

Die Sachbilanzdaten für die Beschichtung konnten separat erhoben werden. Es wurden deshalb keine Allokationen vorgenommen. Sämtliche Stoff- und Energieströme der Erhebung wurden pro Kilogramm beschichtetes Glas berechnet.

G.1.5.4 Isolierglas

Da der gesamte Output der Herstellung von VSG und Isolierglas bei Flachglas Schweiz in Quadratmeter erfasst wird, mussten die erhobenen Daten zur Isolierglasherstellung über die Produktionsmenge in Quadratmeter alloziert werden. Wie schon oben erwähnt, wurde nach Rücksprache mit Flachglas Schweiz AG die Allokation für den Strom korrigiert (der Stromverbrauch für die Herstellung von VSG pro m² ist doppelt so hoch wie pro m² Isolierglas). Die Daten zur Isolierglasproduktion von Glas Trösch hingegen wurden getrennt von anderen Herstellungsprozessen erfasst. Der Output von Produkten wurde in Tonnen und in Quadratmetern erhoben. Ausser Strom und Gas wurden die Inputs über die Fläche der hergestellten Produkte zugeordnet. Für Strom und Gas wurde ein Verbrauch pro Kilogramm Output berechnet.

G.1.6 Abschneidekriterien

Zur Infrastruktur wurden bei Flachglas Schweiz AG und Glas Trösch keine Daten erhoben. Diese sollten aber weniger als 1% der betrachteten Umwelteinwirkungen ausmachen.

Bei den Daten zur Flachglas-Herstellung vom europäischen Verband handelt es sich um ein gate-to-gate Inventory. Deshalb wurde die Sachbilanz mit den Transporten für die Bereitstellung der Ausgangsstoffe ergänzt.

Die Entsorgung der Verpackungsmaterialien der Isoliergläser wurde nicht betrachtet. Bezogen auf die fertigen, verpackten Produkte beträgt der Anteil der Verpackung weniger als 0.2 Massen-%. Es wurde deshalb davon ausgegangen, dass der Einfluss der Entsorgung dieser Materialien auf die Resultate sehr gering ist deshalb und vernachlässigt werden kann.

G.1.7 Zeitliche und geografische Gültigkeit

Die Daten von Flachglas Schweiz AG und Glas Trösch beziehen sich auf die Jahresproduktion 2013 in den Schweizer Werken Wikon und Bützberg. Die Herstellung von Flachglas mittels Float-Verfahren wurde mit den Daten vom europäischen Verband bilanziert (Glass for Europe 2011). Diese Daten beziehen sich auf das Jahr 2005 und sind Mittelwerte für die Herstellung von Flachglas aus 25 verschiedenen Werken in Europa. Da in der Schweiz kein Flachglas hergestellt wird und die Isoliergläserhersteller sämtliches verarbeitetes Flachglas von Werken in Deutschland oder Frankreich beziehen, sollten die europäischen Daten für Flachglas auch für die Schweiz repräsentativ sein.

G.1.8 Datenqualität

Im Allgemeinen kann die Datenqualität als gut eingestuft werden. Allerdings war die in den Daten vorhandene Differenzierung bei den beteiligten Herstellern unterschiedlich. Deshalb waren teilweise Annahmen notwendig um die Daten für die Sachbilanz aufzuschlüsseln oder um Mittelwerte zu bilden. Die Berechnungen und zugrundeliegenden Annahmen werden im folgenden Kapitel beschrieben.

Die wichtigsten Defizite in der Datenqualität sind:

Stromverbrauch VSG: Der Stromverbrauch bei Flachglas Schweiz konnte nur für die Gesamtproduktion (Isolierglas und VSG) des Werks in Wikon erhoben werden. Daraus liess sich nur ein Strominput pro m² Produkt berechnen, d.h. der Stromverbrauch für die Herstellung von 1 m² VSG oder Isolierglas wäre identisch. Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass das Laminieren von Flachglas in der VSG Herstellung deutlich energieintensiver ist, als das Verbinden der Gläser und die Gasbefüllung in der Produktion der Isoliergläser. Deshalb wurde in Rücksprache mit Flachglas Schweiz davon ausgegangen, dass der Stromverbrauch pro m² VSG doppelt so hoch ist wie pro m² Isolierglas.

Verschnitt VSG: Da die Produktionsmengen nur in m² erfasst wurden, konnte der Verschnitt nur aus dem Verhältnis Glasfläche Input zu Glasfläche Output berechnet werden. Dadurch konnte nicht berücksichtigt werden, dass die hergestellten Verbundsicherheitsgläser unterschiedliche Glasdicken aufweisen.

Verbrauch Füllgas IV: Der durchschnittliche Verbrauch von Füllgasen (Argon und Krypton) pro m² Isolierglas liegt gemäss den erhobenen Daten bei den beiden Herstellern um einen Faktor 10 auseinander. Bei Glas Trösch wurde ein Füllgasverbrauch von durchschnittlich 0.27 m³ pro m² Isolierglas erhoben. Da der Scheibenzwischenraum der hergestellten Gläser zwischen 1 bis ca. 3 cm liegt (0.01 – 0.03 m³/m²) scheint der Füllgasverbrauch extrem hoch. Es konnte nicht eruiert werden ob es sich hierbei tatsächlich um Verluste handelt oder um einen Fehler in der Erhebung. Es wurden deshalb nur der Verbrauch von Füllgas gemäss der Erhebung von Flachglas Schweiz berücksichtigt.

Glasverschnitt IV: Aus den Angaben von Flachglas Schweiz konnte der Glasverschnitt nur für die VSG-Herstellung abgeleitet werden (siehe oben). Es wurde angenommen, dass der Verschnitt bei der Herstellung von Isolierglas etwa gleich ist. Aus den Daten von Glas Trösch ist der Verschnitt der IV-Herstellung ersichtlich. Das Verhältnis der Massen Glas Input zu Verglasung Output beträgt ca. 1.5 (der Einfluss der Masse des Randverbunds ist gering). Da die Daten von den beiden Herstellern unterschiedlich erhoben wurden, ergeben sich gewisse Unsicherheiten.

Für die Modellierung der Sachbilanzen wurden wo möglich regional spezifische Hintergrunddaten aus ecoinvent v2.2 verwendet. Die Ökobilanzdaten im Baubereich in der KBOB-Liste hingegen werden mit den aktuelleren Hintergrunddaten aus ecoinvent v2.2+ berechnet. Aus diesem Grund dürften die Daten welche in der KBOB-Liste veröffentlicht werden von den Ökobilanzresultaten im vorliegenden Bericht abweichen.

G.2 Sachbilanzdaten

G.2.1 Flachglas unbeschichtet

Die Herstellung von Flachglas mittels Float-Verfahren wurde mit den Daten vom europäischen Verband bilanziert. Die Daten der Sachbilanz wurden direkt aus dem Hintergrundbericht übernommen (J. Pflieger et al. 2011). Tabelle 4 zeigt die Daten der Sachbilanz sowie ihre Modellierung mit Hintergrunddaten aus ecoinvent v2.2 (Datenbestand 2010). Da es sich um ein gate-to-gate Inventory handelt, wurden die Daten mit Transporten für die Bereitstellung der Ausgangsstoffe ergänzt. Für die Transportdistanzen wurden die ecoinvent-Standard-Distanzen eingesetzt.

Tabelle 4: Sachbilanz Flachglas unbeschichtet [kg]

Kategorie	Sachbilanz	Menge	Modelliert mit ecoinvent-Datensatz v2.2
Roh- und Ausgangsstoffe	Sand [kg]	6.50E-01	silica sand, at plant, DE [kg]
	Soda (sodium carbonate) [kg]	2.00E-01	soda, powder, at plant, RER [kg]
	Dolomite [kg]	1.70E-01	dolomite, at plant, RER, [kg]
	Glass cullet (external) [kg]	4.00E-02	glass cullets, sorted, at sorting plant, RER, [kg]
	Limestone [kg]	4.00E-02	limestone, milled, packed, at plant, CH [kg]
	Sodium sulphate [kg]	1.00E-02	sodium sulphate, powder, production mix, at plant, RER, [kg]
	Feldspar [kg]	4.38E-03	feldspar, at plant, RER, [kg]
	Nitrogen [kg]	9.00E-02	nitrogen, liquid, at plant, RER [kg]
	Oxygen [kg]	1.00E-02	oxygen, liquid, at plant, RER, [kg]
	Hydrogen [kg]	3.67E-04	hydrogen, liquid, at plant, RER [kg]
	Sodium chloride [kg]	5.40E-05	sodium chloride, powder, at plant, RER, [kg]
	Slag [kg]	2.00E-02	Abfallprodukt ev. Aus dem Prozess (nicht bilanziert)
	Coal [kg]	7.53E-05	hard coal, at regional storage, WEU, [kg]
Energie	Natural gas [MJ]	6.10E+00	natural gas, high pressure, at consumer, RER [MJ]
	Electricity from grid [kWh]	2.22E-01	electricity, medium voltage, production UCTE, at grid [kWh]
	Heavy fuel oil [MJ]	2.10E+00	heavy fuel oil, at regional storage, RER [kg] Umrechnung mit oberem Heizwert von 42.3 MJ/kg → 0.05 kg
Wasser	Water [kg]	1.44E+00	Water, cooling, unspecified natural origin [m3] 0.00144 m ³
Infrastruktur	ergänzt	2.41E-10	flat glass plant, RER [unit] Annahme jährliche Produktion 83'000t und Lebensdauer der Fabrik 50 Jahre.
Transporte	ergänzt gemäss ecoinvent Standarddistanzen	6.13E-02	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]
	ergänzt gemäss ecoinvent Standarddistanzen	1.61E-02	transport, freight, rail, RER, [tkm]
Abfälle	Disposed waste [kg]	4.74E-03	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill, CH [kg]
	Waste for recovery [kg]	5.86E-03	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration, CH [kg]
	Hazardous waste [kg]	1.11E-03	disposal, hazardous waste, 25% water, to hazardous waste incineration, CH [kg]
	Non hazardous waste [kg]	9.67E-03	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration, CH [kg]
	Land filled waste [kg]	3.70E-03	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill, CH [kg]
Emissionen in die Luft	Carbon dioxide [kg]	7.00E-01	Carbon dioxide, fossil [kg]
	Carbon monoxide [kg]	3.60E-04	Carbon monoxide, fossil [kg]
	Sulphur dioxide [kg]	2.60E-03	Sulfur dioxide [kg]
	Sulphur trioxide [kg]	1.37E-04	nicht vorhanden als flow in ecoinvent

Kategorie	Sachbilanz	Menge	Modelliert mit ecoinvent-Datensatz v2.2
	Nitrogen dioxide [kg]	2.22E-04	Nitrogen dioxide [kg]
	Nitrogen oxides [kg]	4.21E-03	Nitrogen oxide [kg]
	VOC (non CH4) [kg]	2.80E-06	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin [kg]
	Chromium unspecified [kg]	1.00E-07	Chromium [kg]
	Dust [kg]	3.00E-04	Dust [kg]
	Hydrogen chloride [kg]	7.53E-05	Hydrogen chloride [kg]
	Hydrogen fluoride [kg]	1.15E-05	Hydrogen fluoride [kg]
	Lead (+II)	3.00E-07	Lead (+II) [kg]
	Nickel [kg]	4.00E-07	Nickel [kg]
Emissionen ins Wasser	Ammonia [kg]	3.50E-06	als flow to water nicht vorhanden in ecoinvent
	Solids (dissolved) [kg]	1.00E-02	Dissolved solids [kg]
	Solids (suspended) [kg]	3.48E-05	Suspended solids, unspecified [kg]
	COD [kg]	8.70E-05	COD, Chemical Oxygen Demand [kg]
	BOD [kg]	1.63E-05	BOD5, Biological Oxygen Demand [kg]
	Total organic bounded carbon [kg]	8.30E-06	als flow to water nicht vorhanden in ecoinvent
	Metals (unspecified) [kg]	1.00E-02	als flow to water nicht vorhanden in ecoinvent
	Chloride [kg]	2.93E-05	Chloride [kg]
	Fluorine [kg]	1.00E-07	als flow to water nicht vorhanden in ecoinvent
	Sulphate [kg]	1.70E-05	als flow to water nicht vorhanden in ecoinvent
	Phosphorus [kg]	7.00E-07	Phosphorus [kg]
	Nitrogen [kg]	5.20E-06	Nitrogen [kg]
	Nickel (+II)	1.00E-07	Nickel, ion [kg]
	Waste water [kg]	7.70E-01	treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2, CH [m3]
	Zinc (+II)	5.00E-07	Zinc, ion [kg]
	Oil (unspecified) [kg]	3.00E-07	Oils, unspecified [kg]

G.2.2 Härten von Flachglas – Produktion ESG

Tabelle 5 zeigt die Daten welche zur ESG Produktion bei Glas Trösch erhoben wurden.

Tabelle 5: Betriebsbilanz ESG Herstellung im Werk Bützberg 2013

Art der Daten	Stoff- und Energieflüsse	Einheit	Menge
1. Output Produktion	ESG / TVG	kg	5400000
2. Input Ausgangsstoffe und Rohstoffe	Flachglas	kg	7330000
3. Input Hilfsstoffe und Wasser	Wasser	m ³	10500
	Sand (Wasserstrahlschneiden)	t	17
4. Input Energieträger	Strom	kWh	5100000
5. Input Verpackungsmaterial	Paletten / Kisten aus Holz	kg	7100
	Karton	kg	6600
6. Transporte	Transport Flachglas, Lkw	km	500
	Transport Sand Lkw	km	6
7. Abfälle	Flachglas unsauber in Deponie	kg	420500
	Karton in KVA	kg	400
	Flachglas ins Recycling	kg	1500000
	Schleifabfälle und Sand in Deponie	kg	26500
8. Abwasser	Abwasser in Kläranlage	m ³	9900

Tabelle 6 zeigt wie die Herstellung von ESG mit Datensätzen aus ecoinvent modelliert wurde. Der Input von Flachglas unbeschichtet bezieht sich auf den Verschnitt, der während der Produktion anfällt. Wie aus Tabelle 5 ersichtlich ist, erfordert die Herstellung von 5'400 t ESG/TVG 7'330 t Flachglas als Input. Umgerechnet auf einen Output von 1 kg ESG sind es 1.357 kg Flachglas. Demzufolge entstehen bei diesem Prozess 0.357 kg Verschnitt pro Kilogramm gehärtetem Glas. Der grösste Teil von den Glasabfällen geht ins Recycling und wurde nicht weiter bilanziert (Cut-off). Die weiteren Daten in Tabelle 6 ergeben sich aus den Daten in Tabelle 5 durch Umrechnung der Inputs pro Kilogramm Output.

Tabelle 6: Sachbilanz Härten von Flachglas [kg]

Sachbilanz	Menge	Modelliert mit ecoinvent-Datensatz v2.2
Flachglas unbeschichtet	3.57E-01	Datensatz Glass for Europe [kg] (Verschnitt)
Wasser	1.94E+00	tap water, at user, CH, [kg]
Sand	3.15E-03	silica sand, at plant, DE, [kg]
Strom	9.44E-01	electricity, medium voltage, at grid, CH, [kWh]
Paletten / Kisten aus Holz	4.95E-05	EUR-flat pallet, RER, [unit] 26.55 kg pro Palett
Karton	1.22E-03	solid unbleached board, SUB, at plant, RER, [kg]
Transport Flachglas	1.79E-01	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]
Transport Sand	1.89E-05	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]
Glas in Deponie	7.79E-02	disposal, glass, 0% water, to inert material landfill, CH, [kg]
Karton in KVA	7.41E-05	disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to municipal incineration, CH, [kg]

Sachbilanz	Menge	Modelliert mit ecoinvent-Datensatz v2.2
Schleifabfälle und Sand in Deponie	4.91E-03	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill, CH, [kg]
Abwasser	1.83E-03	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2, CH [m3]

G.2.3 Verbundsicherheitsglas

Der Bilanz für Verbundsicherheitsglas liegt die Betriebsbilanz des Werks Wikon (Flachglas Schweiz AG) im Jahr 2013 zugrunde (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Betriebsbilanz Werk Wikon 2013

Art der Daten	Stoff- und Energieflüsse	Einheit	Menge
1. Output Produktion	VSG produziert	m ²	53'318
	VSG zugeschnitten	m ²	62'179
	Isolierglas	m ²	354'522
2. Input Ausgangsstoffe und Rohstoffe	VSG Bandmasse, laminierte Glastafeln (VSG Herstellung)	m ²	85'565
	Flachglas (VSG Herstellung)	m ²	106'636
	PVB Folie 0.38mm (VSG Herstellung)	m ²	128'006
	Flachglas (Herstellung Isolierglas)	m ²	863'285
	ESG (Herstellung Isolierglas)	m ²	69'124
	Ornamentglas (Herstellung Isolierglas)	m ²	13'200
	Abstandhalter (Herstellung Isolierglas)	m	1'832'317
	Sprossenprofile (Herstellung Isolierglas)	m	42'150
	Thiokol, Polysulfid (Herstellung Isolierglas)	l	136'080
	Silikon (Herstellung Isolierglas)	kg	5'040
	Butyl (Herstellung Isolierglas)	kg	7'016
	Argon (Herstellung Isolierglas)	l	11'370'000
	Krypton (Herstellung Isolierglas)	l	600'000
3. Input Hilfsstoffe und Wasser	Wasser (VSG Herstellung)	m ³	21'550
	Wasser (Herstellung Isolierglas)	m ³	6'880
4. Input Energieträger	Strom (Herstellung VSG und Isolierglas)	kWh	2'010'000
	Gas für Heizung (Herstellung VSG und Isolierglas)	kg	31'395
5. Input Verpackungsmaterial	Abdeckhauben Opak weiss, PET (VSG und Isolierglas)	Stk	10'000
	Kunststoffolie Stretchfolie PE (VSG und Isolierglas)	kg	8'000
	Kantenschutzprofile, Schaumprofile (VSG und Isolierglas)	m	25'000
	Styropor	kg	2'000
6. Transporte Ausgangsstoffe/Rohstoffe/Hilfsstoffe zum Werk	Flachglas (Herstellung VSG und Isolierglas)	km	430
	PVB	km	520

Art der Daten	Stoff- und Energieflüsse	Einheit	Menge
	ESG (Herstellung Isolierglas)	km	400
	VSG (Herstellung Isolierglas)	km	430
	Argon, Krypton (Herstellung Isolierglas)	km	30
	Abstandhalter (Herstellung Isolierglas)	km	600
	Dichtung (Herstellung Isolierglas)	km	315
7. Abfälle	Flachglas in Deponie (VSG und Isolierglas)	t	1'466
	Flachglas ins Recycling (VSG und Isolierglas)	t	2'088
	Kehricht in KVA (VSG und Isolierglas)	t	56
8. Abwasser und Emissionen	Abwasser VSG	m ³	9'465
	Abwasser IV	m ³	6'880

Tabelle 8 zeigt die Sachbilanz und die Modellierung in ecoinvent für 1 m² Verbund-sicherheitsglas. In den folgenden Abschnitten wird die Berechnung der Sachbilanz ausgehend von den Daten in Tabelle 7 erläutert.

Der Verbrauch von Flachglas unbeschichtet ergibt sich aus dem Flächengewicht der Gläser inklusive dem Verschnitt der bei der Herstellung anfällt. Flachglas hat eine Rohdichte von 2'500 kg/m³. Somit haben zwei Gläser mit 4 mm Stärke ein Flächengewicht von 20 kg/m². Wie aus Tabelle 7 ersichtlich werden bei der Herstellung von VSG Flachglas sowie bereits laminierte Glastafeln eingesetzt. Die laminierten Glastafeln (bestehend aus 2 Flachgläsern) werden im Werk nur noch auf die Ausmasse gemäss Kundenwunsch zugeschnitten. Die eingesetzten Mengen wurden in Wikon nur in m² erfasst. Der Verschnitt musste deshalb über das Verhältnis der Quadratmeter Input zu Output abgeschätzt werden. Dabei ist zu beachten, dass das hergestellte VSG sowie der Input „VSG Bandmasse“ aus zwei laminierten Gläser besteht. Der Verschnitt wurde wie folgt abgeschätzt:

$$\text{Verschnitt} \left[\frac{m^2}{m^2} \right] = \frac{\text{VSG Bandmasse} [m^2] + \frac{\text{Flachglas} [m^2]}{2}}{\text{VSG produziert} [m^2] + \text{VSG zugeschnitten} [m^2]} - 1$$

Formel 1: Abschätzung Verschnittanteil

Mit der obigen Formel 1 und der Angaben in Tabelle 7 ergibt sich ein Verschnitt von 20%. Demzufolge wurde der Flachglasinput von 20 kg/m² um 20% erhöht was einen Flachglasverbrauch von 24 kg pro Quadratmeter hergestelltem VSG ergibt (siehe Tabelle 8).

Beim untersuchten VSG ist ein Glas beschichtet. Deshalb wird die Hälfte des Flachglasinputs beschichtet. Dieser Prozess wird mit dem in Kapitel G.2.4 beschriebenen Datensatz modelliert. Der Flachglasverlust der bei der Beschichtung entsteht wurde im entsprechenden Datensatz berücksichtigt und dort als Input verbucht.

Gemäss den Daten in Tabelle 7 werden pro m² VSG 2.4 m² PVB Folie zu 0.38 mm Dicke verbraucht (128'006 m² / 53'318 m²). Das Flachglas wird mit einer Doppellage

dieser Folie laminiert. Somit werden pro m² VSG 1.2 m² PVB Folie à 0.76 mm verbraucht. Der Input von PVB in Kilogramm kann mit der Rohdichte von PVB (1'100 kg/m³) berechnet werden (1.2 m² * 0.76 mm * 1'100 kg/m³ = 1 kg/m²).

Der Wasserverbrauch pro m² hergestelltem VSG wurde berechnet indem der Verbrauch in Tabelle 7 durch die Anzahl Quadratmeter (VSG produziert + VSG zugeschnitten) dividiert wurde.

Der Stromverbrauch wurde mit den Angaben in Tabelle 7 (Strom VSG + Isolierglas, VSG hergestellt, Isolierglas hergestellt) und der Annahme abgeschätzt, dass bei der Herstellung von VSG doppelt so viel Strom verbraucht wird wie bei der Herstellung von Isolierglas. Der Stromverbrauch pro m² wurde wie folgt berechnet:

$$\text{Strom VSG} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] = 2 * \frac{\text{Strom VSG + Isolierglas [kWh]}}{2 * \text{VSG hergestellt [m}^2\text{]} + \text{Isolierglas hergestellt [m}^2\text{]}}$$

Formel 2: Abschätzung Stromverbrauch VSG

Dagegen wurde der Stromverbrauch für Isolierglasherstellung (IV) berechnet als:

$$\text{Strom IV} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] = \frac{\text{Strom VSG + Isolierglas [kWh]}}{2 * \text{VSG hergestellt [m}^2\text{]} + \text{Isolierglas hergestellt [m}^2\text{]}}$$

Formel 3: Abschätzung Stromverbrauch Isolierglasherstellung

Das eingesetzte Gas wird für die Beheizung der Fabrikhalle verbraucht. Der Gasverbrauch wurde durch die hergestellten Quadratmeter VSG und Isolierglas dividiert. Es ergibt sich somit ein Gasverbrauch von 67 g pro Quadratmeter Isolierglas und VSG. Umgerechnet mit dem oberen Heizwert von 43 MJ/kg Gas ergibt dies 2.87 MJ/m².

Die Transporte der Halbfabrikate Flachglas und PVB Folie in Tonnenkilometer wurden mit den Angaben zu den Transportdistanzen in Tabelle 7 und den entsprechenden Inputs in Tabelle 8 berechnet. Sämtliche Transporte erfolgen per Lkw.

Der Verbrauch von Verpackungsmaterial (Abdeckhauben, Strechfolie, Kantenschutzprofile, Styropor) konnte nur für die Produktion von VSG und Isolierglas zusammen erhoben werden. Der Verbrauch der Materialien wurde deshalb durch die Gesamtproduktion in Quadratmeter dividiert. Es ergibt sich somit pro m² VSG und Isolierglas ein identischer Verpackungsmaterialverbrauch. Um die Angabe zu den Kantenschutzprofilen in Kilogramm umzurechnen, wurde davon ausgegangen, dass die Profile ein Laufmetergewicht von 30 g/m aufweisen.

Das Abwasser pro m² VSG ergibt sich aus den Angaben in Tabelle 7 und den Angaben zur Gesamtproduktion in Quadratmeter.

Für die Abfälle (Glas in Deponie und Kehrlicht in KVA) wurden durchschnittliche Werte pro m² VSG und Isolierglas berechnet. Da diese Daten für die Produkte vom Werk in Wikon zusammen erfasst wurden, sind die anfallenden Abfälle pro Quadratmeter VSG und Isolierglas identisch.

Tabelle 8: Sachbilanz VSG, 2x4mm, 0.76mm PVB [m2]

Sachbilanz	Menge	Modelliert mit ecoinvent-Datensatz v2.2
Flachglas unbeschichtet [kg]	2.40E+01	Datensatz Glass for Europe Inkl. 20% Verschnitt
Flachglas beschichten [kg]	1.20E+01	Datensatz gemäss Erhebung Glas Trösch Einseitige Beschichtung
PVB-Folie 0.76 mm [kg]	1.00E+00	polyethylene, HDPE, granulate, at plant, RER, [kg]
Extrusion PVB-Folie [kg]	1.00E+00	extrusion, plastic film, RER, [kg]
Wasser [kg]	1.87E+02	tap water, at user, CH, [kg]
Strom [kWh]	6.87E+00	electricity, medium voltage, at grid, CH, [kWh]
Gas für Heizung [MJ]	2.87E+00	natural gas, burned in industrial furnace >100kW [MJ] Umgerechnet mit dem oberen Heizwert
Transport PVB LkW [tkm]	5.22E-01	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]
Transport Flachglas LkW [tkm]	1.03E+01	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]
Abdeckhauben Opak weiss (PET) [kg]	9.41E-03	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant, RER, [kg]
Extrusion Abdeckhauben [kg]	9.41E-03	extrusion, plastic film, RER, [kg]
Kunststoffolie Stretchfolie PE [kg]	1.70E-02	polyethylene, HDPE, granulate, at plant, RER, [kg]
Extrusion Stretchfolie [kg]	1.70E-02	extrusion, plastic film, RER, [kg]
Kantenschutzprofile (Schaumprofile) [kg]	1.60E-03	polyethylene, LDPE, granulate, at plant, RER, [kg] Annahme 30g/m
Herstellung PE-Schaum [kg]	1.60E-03	foaming, expanding, RER, [kg]
Styropor [kg]	4.26E-03	polystyrene foam slab, at plant, RER, [kg]
Abwasser [m3]	8.20E-02	treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2, CH [m3]
Glas in Deponie [kg]	3.12E+00	disposal, glass, 0% water, to inert material landfill, CH, [kg]
Div. Abfälle in KVA [kg]	1.19E-01	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration

G.2.4 Flachglasbeschichtung

Die Daten der Flachglasbeschichtung, welche bei Glas Trösch erhoben wurden, sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9: Angaben Beschichtung Glas Trösch, Werk Bützberg, 2013

Art der Daten	Stoff- und Energieflüsse	Einheit	Menge
1. Output Produktion	Beschichtetes Glas	t	38'809
2. Input Ausgangsstoffe und Rohstoffe	Flachglas	t	40'084
	Silber	kg	1'096
	Chrom	kg	75
	Nickel Chrom	kg	151

Art der Daten	Stoff- und Energieflüsse	Einheit	Menge
	Silizium	kg	233
	Zinn	kg	150
	Titan	kg	605
	Zink	kg	1'730
3. Input Hilfsstoffe und Wasser	Wasser	m ³	11'000
	Argon	m ³	6'200
	Sauerstoff	m ³	1'320
	Stickstoff	m ³	840
4. Input Energieträger (pro Jahr)	Strom	kWh	8'012'068
	Gas	Nm ³	15'708
5. Input Verpackungsmaterial	Papier	kg	7'200
	Kunststoffolie (PVC)	kg	8'580
	Kartonspacer	kg	180
6. Transporte Ausgangsstoffe/Hilfsstoffe zum Werk	Flachglas (Lkw)	km	100
	VSG, Farbglas, Weissglas (Lkw)	km	600
	Silber (Lkw)	km	400
	Chrom (Schiff)	km	10'000
	Nickel Chrom (Schiff)	km	10'000
	Silizium (Lkw)	km	500
	Zinn (Lkw)	km	700
	Titan (Lkw)	km	500
7. Abfälle	Flachglas (Deponie)	t	40
	Katron (KVA)	t	2
	Holz (Recycling)	t	4
	Flachglas (Recycling)	t	1'235
8. Abwasser und Emissionen	Abwasser in Kläranlage	m ³	9'500

Tabelle 10 zeigt die Sachbilanzdaten pro m² beschichtetem Flachglas sowie die Hintergrunddaten aus ecoinvent welche der Ökobilanz zugrunde liegen.

Der Input von Flachglas unbeschichtet bezieht sich auf den Verschnitt und wurde aus den Angaben in Tabelle 9 als Verhältnis zwischen der Differenz von Input Flachglas und Output beschichtetes Glas zu Output beschichtetes Glas berechnet.

Alle anderen Angaben in Tabelle 10 ergeben sich durch die Umrechnung der Daten in Tabelle 9 pro Kilogramm Output.

Tabelle 10: Sachbilanz Beschichtung Flachglas [kg]

Sachbilanz	Menge	Modelliert mit ecoinvent-Datensatz v2.2
Flachglas unbeschichtet	3.29E-02	Datensatz Glass for Europe [kg]
Silber	2.82E-05	silver, at regional storage, RER, [kg]
Chrom	1.93E-06	chromium, at regional storage, RER, [kg]
Nickel Chrom	3.89E-06	nickel, 99.5%, at plant, GLO, [kg]
Silizium	6.00E-06	MG-silicon, at plant, NO, [kg]
Zinn	3.87E-06	tin, at regional storage, RER, [kg]

Sachbilanz	Menge	Modelliert mit ecoinvent-Datensatz v2.2
Titan	1.56E-05	titanium dioxide, production mix, at plant, RER, [kg]
Zink	4.46E-05	zinc, primary, at regional storage, RER, [kg]
Wasser	2.83E-01	tap water, at user, CH, [kg]
Argon	2.85E-04	argon, liquid, at plant, RER, [kg]
Sauerstoff	4.86E-05	oxygen, liquid, at plant, RER, [kg]
Stickstoff	2.71E-05	nitrogen, liquid, at plant, RER, [kg]
Strom	2.06E-01	electricity, medium voltage, at grid, CH, [kWh]
Gas	1.46E-02	natural gas, burned in industrial furnace >100kW [MJ]
Papier	1.86E-04	kraft paper, unbleached, at plant, RER, [kg]
Kunststoffolie (PVC)	2.21E-04	polyvinylchloride, at regional storage, RER, [kg]
	2.21E-04	extrusion, plastic film, RER, [kg]
Kartonspacer	4.64E-06	solid unbleached board, SUB, at plant, RER, [kg]
Transport Flachglas	1.15E-02	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]
Transport Silber	1.13E-05	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]
Transport Chrom, Nickel	5.82E-05	transport, transoceanic freight ship, OCE, [tkm]
Transport Silizium	3.00E-06	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]
Transport Zinn	2.71E-06	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]
Transport Titan	7.79E-06	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]
Transport Zink	3.12E-05	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]
Glas in Deponie	1.03E-03	disposal, glass, 0% water, to inert material landfill, CH, [kg]
Karton in KVA	5.15E-05	disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to municipal incineration, CH, [kg]
Abwasser in Kläranlage	2.45E-04	treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2, CH [m3]

G.2.5 Isoliertes Glas

Für die Berechnung der Sachbilanzdaten für Isoliertes Glas wurden einerseits Angaben zur materiellen Zusammensetzung der Verglasungen von Flachglas Schweiz und Glas Trösch zur Verfügung gestellt. Die Angaben der Hersteller wichen nur geringfügig voneinander ab. Tabelle 11 zeigt die Mittelwerte der Angaben pro Quadratmeter Verglasung brutto.

Tabelle 11: Mittelwerte Zusammensetzung Verglasungen pro m² (Glasfläche brutto)

Verglasung	Glas [kg]	PVB [kg]	Füllgas [kg]	Randverbund [kg]	Gesamtgewicht [kg]
4 Float / 16 Ag / 4 Low E 1.1 Float	2.00E+01	0.00E+00	2.37E-02	1.12E+00	2.11E+01
4 Float / 10 Kr / 4 Low E 1.1 Float	2.00E+01	0.00E+00	3.10E-02	8.45E-01	2.09E+01
4 ESG / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float	2.00E+01	0.00E+00	2.37E-02	1.12E+00	2.11E+01
4 Float / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1	3.00E+01	9.96E-01	2.37E-02	1.12E+00	3.21E+01
4 ESG / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float	3.00E+01	9.96E-01	2.37E-02	1.12E+00	3.21E+01
4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / 4 Low E 1.1 Float	3.00E+01	0.00E+00	4.15E-02	1.78E+00	3.18E+01
4 Low E 1.1 Float / 12 Kr / 4 Float / 12 Kr / 4 Low E 1.1 Float	3.00E+01	0.00E+00	7.53E-02	1.50E+00	3.16E+01
4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / 4 Low E 1.1 ESG	3.00E+01	0.00E+00	4.15E-02	1.78E+00	3.18E+01
4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 ESG / 14 Ar / 4 Low E 1.1 ESG	3.00E+01	0.00E+00	4.15E-02	1.78E+00	3.18E+01
4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float	4.00E+01	9.96E-01	4.15E-02	1.78E+00	4.28E+01
4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float	4.00E+01	9.96E-01	4.15E-02	1.78E+00	4.28E+01

Zudem wurden von den Herstellern Angaben zur Zusammensetzung des Randverbunds gemacht (siehe Tabelle 12 und Tabelle 13).

Tabelle 12: Angaben Randverbund Flachglas Schweiz AG

Komponente	Material	Gewicht [kg]	Kommentar
Abstandhalter	Silikonschaum	7.59E-03	pro Meter/pro mm Scheibenzwischenraum
Entfeuchtungsmittel	3 A Molekularsieb		Inkludiert im Abstandhalterprofil
Dichtung	Polysulfid	7.04E-03	pro Meter/pro mm Scheibenzwischenraum, bei 4 mm Versiegelungstiefe
Dichtung	Butyl	6.00E-03	kg pro Meter und SZR

Wie aus den Daten von Glas Trösch hervorgeht, werden zwei unterschiedliche Abstandhalter eingesetzt (Abstandhalter aus Edelstahl und Silikonschaum). Beim Abstandhalter aus Edelstahl wird ein Entfeuchtungsmittel eingesetzt. Beim Abstandhalter aus Silikonschaum handelt es sich um ein integriertes System ohne zusätzliches Entfeuchtungsmittel. Mit den Angaben wurde für jede untersuchte Verglasungsvariante eine durchschnittliche Zusammensetzung des Randverbunds bestimmt.

Tabelle 13: Angaben Randverbund von Glas Trösch

Komponente	Material	Gewicht [kg/lm]	Kommentar
Abstandhalter	Chromatech Ultra 14-er	5.40E-02	Angaben pro Laufmeter
Entfeuchtungsmittel 50%	Phonosorb 551	4.00E-02	
Dichtung	Butyl	5.00E-03	
Eckverbinder	Kunststoff PA	5.00E-03	
Abstandhalter	Silikon ACS Plus 12er	6.70E-02	integriertes System
Abstandhalter	Silikon ACS Plus 16er	9.00E-02	integriertes System

Ferner wurden von den Herstellern Daten in den Betrieben erhoben.

In der Erhebung von Flachglas Schweiz wurden die Daten teilweise zusammen mit der Herstellung von VSG erfasst. Dies betrifft die Verbräuche von Strom, Gas, Verpackungsmaterialien und die Entsorgung von Abfällen. Diese Daten konnten für die Produkte Isolierglas und VSG nicht getrennt ausgewiesen werden. Die Daten welche bei Flachglas Schweiz im Werk Wikon erhoben wurden, sind deshalb in Tabelle 7 im Kapitel G.2.3 ausgewiesen.

Die Daten welche bei Glas Trösch erhoben wurden, finden sich in Tabelle 14.

Tabelle 14: Datenerhebung Isolierglasproduktion, Glas Trösch, Werk Bützberg, 2013

Art der Daten	Stoff- und Energieflüsse	Einheit	Menge
1. Output Produktion	Brandschutzglas	t	53
	Vogelschutzglas	t	109
	Sonnenschutz 2/3-fach	t	208
	Sicherheitsglas 2/3-fach	t	1'595
	Schallschutz 2/3-fach	t	589
	Standard 3-fach	t	1'066
	Standard 2-fach	t	251
	Div. Handel	t	295
	Total	t	4'166
2. Input Ausgangsstoffe und Rohstoffe	Flachglas	t	1'800
	Glas beschichtet	t	2'286
	Gussglas	t	16
	Div. Glas	t	9
	ESG/TVG (4-6mm)	t	1'170
	VSG (Basis 9/2)	t	1'083
	Sprossen Aluminium	t	2
	Brandschutzglas	t	56
	Dichtstoff, PIB Polyisobutylene	t	6
	Dichtstoff, PU Polyurethan	t	104
	Härter PU	t	10
	Dichtstoff Silikon	t	34
	Gase (Argon, Krypton) Fülldruck 200 bar	l	270'000
	Abstandhalter div. Mat.	t	109
	Entfeuchtungsmittel	t	2

Art der Daten	Stoff- und Energieflüsse	Einheit	Menge
	3. Input Hilfsstoffe und Wasser		
	Schmieröl, Schneidöl	l	250
	<i>Wasser ergänzt</i>	<i>m³</i>	<i>6'194</i>
4. Input Energieträger	Strom	kWh	1'196'900
	Gas	kWh	972'500
5. Input Verpackungsmaterial	Karton, Kartonschutzwinkel	kg	4'680
	Kunststoffolie (LD-PE)	kg	684
	Strapex Band, PP	kg	3'231
6. Transporte Ausgangsstoffe/Hilfsstoffe zum Werk	Flachglas (Lkw)	km	258
	ESG (Lkw)	km	119
	VSG (Lkw)	km	200
	Gase (Lkw)	km	30
	Abstandhalter (Lkw)	km	560
	Sprossen Alu (Lkw)	km	1'230
	Dichtstoffe (Lkw)	km	1'400
7. Abfälle	Kehricht (KVA)	t	70
	Glas (Deponie)	t	769
	Holz (KVA)	t	7.2
	Karton/Papier (Recycling)	t	12
	Glas (Recycling)	t	1'494
	Kunststoffolie, PE (Recycling)	t	5.8
	Aluminium (Recycling)	t	0.12
	Alt-Eisen (Recycling)	t	7.4
8. Abwasser und Emissionen	Abwasser Kläranlage	m ³	6'194

Wie schon in Kapitel G.1.8 angemerkt, scheint der Füllgasverbrauch (Argon und Krypton) sehr hoch und beträgt rund 0.27 Nm^3 pro m^2 Verglasung. Da der Scheibenzwischenraum bei den meisten Isoliergläsern im Bereich von 1 – 3 cm liegt, ergäbe dies einen extrem hohen Füllgasverlust. Die Gründe für den hohen Füllgasverbrauch konnten nicht eruiert werden. Deshalb wurden in der Ökobilanz die Füllgasverluste nur basierend auf den Daten von Flachglas Schweiz berücksichtigt. Die Isolierverglasungen enthalten gemäss Angaben von Flachglas Schweiz durchschnittlich 37 g/m^2 Füllgas (Mittel der untersuchten Isoliergläser). Aus der Betriebsbilanz ergibt sich ein Einsatz von 59 g Füllgas pro m^2 hergestellter Isolierverglasung (Mittel über die Gesamtproduktion). Bezogen auf das Füllgas in der fertigen Verglasung braucht es in der Herstellung rund 160% als Input (Verlust 37%).

Zur Berechnung der Sachbilanzdaten in Tabelle 16, Tabelle 17 und Tabelle 18 wurden die Daten aus der Produktion von Flachglas Schweiz und Glas Trösch genutzt um die Verluste von Flachglas und Füllgas sowie die Verbräuche von Wasser, Hilfsstoffen und Energieträger pro m^2 sichtbare Glasfläche zu berechnen. Dabei entspricht 1 m^2 sichtbare Glasfläche 1.06 m^2 Glasfläche brutto (siehe Kapitel G.1.3). Ebenso wurden aus den Erhebungen in den Betrieben die Sachbilanzdaten für die Transporte, Verpackungsmaterialien, Abwasser und Abfälle abgeleitet. Aus den Angaben der beiden Hersteller wurden Mittelwerte gebildet. Tabelle 15 zeigt diese Daten pro m^2 Glasfläche brutto. Alle anderen Daten welche stoffliche Inputs bedingt

durch die materielle Zusammensetzung der untersuchten Verglasungsvarianten betroffen wurden aus Tabelle 11 übernommen.

Zur Berechnung der Inputs der Energieträger (Strom, Gas) pro m² Verglasung standen einerseits die Angaben von Flachglas Schweiz pro m² Verglasung zur Verfügung. Bei Flachglas Schweiz wurde die Gesamtproduktion nur über die produzierte Fläche der Verglasungen erfasst. Hier kann nur ein Wert für den Strom- und Gasverbrauch pro m² berechnet werden der für alle untersuchten Verglasungen gleich ist. Bei Glas Trösch wurden die Herstellungsmengen sowohl in Quadratmeter als auch in Kilogramm erhoben. Es scheint plausibel, dass der Stromverbrauch für das Zusammensetzen der Verglasungen nicht nur von der Fläche der Verglasungen abhängig ist, aber auch von ihrem Gewicht. Deshalb wurden für den Strom- und Gasverbrauch mit den Daten von Glas Trösch ein Wert pro Kilogramm Verglasung berechnet. In den Sachbilanzen der Verglasungen wurden die Daten zu den Energieträgern von Flachglas Schweiz und von Glas Trösch wie folgt gemittelt:

$$\begin{aligned}
 \text{Strom Input}_{\text{Verglasung } xy} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] &= \frac{\text{Strom IV}_{\text{Flachglas Schweiz}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] + \text{Strom}_{\text{Glas Trösch}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \right] * \text{Gesamtgewicht}_{\text{Verglasung } xy} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]}{2} \\
 \text{Gas Input}_{\text{Verglasung } xy} \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \right] &= \frac{\text{Gas}_{\text{Flachglas Schweiz}} \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \right] + \text{Gas}_{\text{Glas Trösch}} \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right] * \text{Gesamtgewicht}_{\text{Verglasung } xy} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]}{2}
 \end{aligned}$$

Formel 4: Mittelung des Energieverbrauchs pro Energieträger

Tabelle 15: Daten zur Herstellung von Isolierglas: Mittelwerte pro m² Glasfläche brutto

Input	Flachglas Schweiz	Glas Trösch	Mittelwert
Verschnitt Glas [m ² /m ²]	20.25%	54.13%	37.19%
Verluste Füllgas [kg*m ² /kg*m ²]	60.16%	Nicht berücksichtigt	60.16%
Wasser [m ³ /m ²]	1.94E-02	3.07E-02	2.50E-02
Schmieröl, Schneidöl [kg/m ²]	Keine Angabe	1.11E-03	1.11E-03
Strom [kWh/m ²]	3.43E+00	5.93E+00 (0.29 kWh/kg)	Berechnung in Abhängigkeit vom Gesamtgewicht der Verglasung
Gas [MJ/m ²]	2.87E+00	1.73E+01 (0.84 MJ/kg)	Berechnung in Abhängigkeit vom Gesamtgewicht der Verglasung

Input	Flachglas Schweiz	Glas Trösch	Mittelwert
Transporte			
Flachglas [km], Lkw	4.30E+02	2.58E+02	Hier wurden die Daten gemäss Bericht Marktsituation eingesetzt ¹ 4.10E+02
ESG [km], Lkw	4.00E+02	1.19E+02	
VSG [km], Lkw	4.30E+02	2.00E+02	
Argon, Krypton [km], Lkw	3.00E+01	3.00E+01	3.00E+01
Abstandhalter [km], Lkw	6.00E+02	5.60E+02	5.80E+02
Dichtung [km], Lkw	3.15E+02	1.40E+03	8.58E+02
Verpackung			
Abdeckhauben Opak weiss (PET) [kg]	9.41E-03	0:00E+00	4.71E-03
Kunststofffolie / Stretchfolie PE [kg]	1.70E-02	3.39E-03	1.02E-02
Kantenschutzprofile [kg]	1.60E-03	0.00E+00	7.98E-04
Styropor [kg]	4.26E-03	0.00E+00	2.13E-03
Karton, Kartonschutzwinkel [kg]	0.00E+00	2.32E-02	1.16E-02
Strapex Band, PP [kg]	0.00E+00	1.60E-02	8.00E-03
Abwasser, Abfälle			
Abwasser [m ³]	1.94E-02	3.07E-02	2.50E-02
Glas in Deponie [kg]	3.12E+00	3.81E+00	3.46E+00
Div. Abfälle in KVA [kg]	1.19E-01	3.82E-01	2.51E-01

Tabelle 16: Herstellung 2-IV [m²], sichtbare Glasfläche

	ecoinvent v2.2	4 Float / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m ²]	4 Float / 10 Kr / 4 Low E 1.1 Float [m ²]	4 ESG / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m ²]	4 Float / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 [m ²]	4 ESG / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float [m ²]
Input						
Ausgangsstoffe						
Flachglas unbeschichtet [kg]	Datensatz Glass for Europe	2.91E+01	2.91E+01	2.91E+01	1.45E+01	1.45E+01
Flachglas beschichten [kg]	Datensatz gemäss Erhebung Glas Trösch	1.45E+01	1.45E+01	1.45E+01	–	–
Verarbeitung ESG [kg]	Datensatz gemäss Erhebung Glas Trösch	–	–	1.45E+01	–	1.45E+01

¹ L.Tschümperlin, R. Frischknecht, Marktsituation Flachglas und Gipsbaustoffe, siehe Teilbericht A

	ecoinvent v2.2	4 Float / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Float / 10 Kr / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 ESG / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Float / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 [m2]	4 ESG / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float [m2]
VSG beschichtet [m2]	Datensatz gemäss Erhebung Flachglas Schweiz	–	–	–	1.45E+00	1.45E+00
Argon [kg]	argon, liquid, at plant, RER, [kg]	4.03E-02	–	4.03E-02	4.03E-02	4.03E-02
Krypton [kg]	krypton, gaseous, at regional storage, RER, [kg]	–	5.26E-02	–	–	–
Abstandhalter Sili- konschaum [kg]	silicone product, at plant, RER, [kg]	5.01E-01	3.13E-01	5.01E-01	5.01E-01	5.01E-01
Polysulfid [kg]	polysulphide, sealing compound, at plant, RER, [kg]	2.67E-01	1.67E-01	2.67E-01	2.67E-01	2.67E-01
Butylkautschuk [kg]	polybutadie- ne, at plant, RER, [kg]	2.61E-02	2.61E-02	2.61E-02	2.61E-02	2.61E-02
Silikondichtstoff [kg]	silicone product, at plant, RER, [kg]	9.01E-02	9.01E-02	9.01E-02	9.01E-02	9.01E-02
PU Dichtstoff [kg]	polyuretha- ne, rigid foam, at plant, RER, [kg]	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01
Hilfsstoffe und Wasser						
Wasser [kg]	tap water, at user, CH, [kg]	2.65E+01	2.65E+01	2.65E+01	2.65E+01	2.65E+01
Schmieröl, Schneidöl [kg]	lubricating oil, at plant, RER, [kg]	1.18E-03	1.18E-03	1.18E-03	1.18E-03	1.18E-03

	ecoinvent v2.2	4 Float / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Float / 10 Kr / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 ESG / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Float / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 [m2]	4 ESG / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float [m2]
Energieträger						
Strom [kWh]	electricity, medium voltage, at grid, CH, [kWh]	4.99E+00	4.95E+00	4.99E+00	6.67E+00	6.67E+00
Gas für Heizung [MJ]	natural gas, burned in industrial furnace >100kW [MJ]	1.08E+01	1.07E+01	1.08E+01	1.57E+01	1.57E+01
Transporte						
Transport Flachglas [tkm]	transport, lorry >16t, fleet avera- ge, RER [tkm]	1.19E+01	1.19E+01	5.96E+00	5.96E+00	–
Transport ESG [tkm]	transport, lorry >16t, fleet avera- ge, RER [tkm]	–	–	5.96E+00	–	5.96E+00
Transport VSG [tkm]	transport, lorry >16t, fleet avera- ge, RER [tkm]	–	–	–	1.19E+01	1.19E+01
Transport Argon, Krypton [tkm]	transport, lorry >16t, fleet avera- ge, RER [tkm]	1.21E-03	1.58E-03	1.21E-03	1.21E-03	1.21E-03
Transport Abstand- halter [tkm]	transport, lorry >16t, fleet avera- ge, RER [tkm]	2.91E-01	1.82E-01	2.91E-01	2.91E-01	2.91E-01
Transport Dichtung [tkm]	transport, lorry >16t, fleet avera- ge, RER [tkm]	5.86E-01	5.00E-01	5.86E-01	5.86E-01	5.86E-01

	ecoinvent v2.2	4 Float / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Float / 10 Kr / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 ESG / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Float / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 [m2]	4 ESG / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float [m2]
Verpackungsmaterialien						
Abdeckhauben Opak weiss (PET) [kg]	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant, RER, [kg]	4.99E-03	4.99E-03	4.99E-03	4.99E-03	4.99E-03
Extrusion Abdeckhauben [kg]	extrusion, plastic film, RER, [kg]	4.99E-03	4.99E-03	4.99E-03	4.99E-03	4.99E-03
Kunststoffolie Stretchfolie PE [kg]	polyethylene, HDPE, granulate, at plant, RER, [kg]	1.08E-02	1.08E-02	1.08E-02	1.08E-02	1.08E-02
Extrusion Stretchfolie [kg]	extrusion, plastic film, RER, [kg]	1.08E-02	1.08E-02	1.08E-02	1.08E-02	1.08E-02
Kantenschutzprofile (Schaumprofile) [kg]	polyethylene, LDPE, granulate, at plant, RER, [kg]	8.46E-04	8.46E-04	8.46E-04	8.46E-04	8.46E-04
Herstellung PE-Schaum [kg]	foaming, expanding, RER, [kg]	8.46E-04	8.46E-04	8.46E-04	8.46E-04	8.46E-04
Styropor [kg]	polystyrene foam slab, at plant, RER, [kg]	2.26E-03	2.26E-03	2.26E-03	2.26E-03	2.26E-03
Karton, Kartonschutzwinkel [kg]	solid unbleached board, SUB, at plant, RER, [kg]	1.23E-02	1.23E-02	1.23E-02	1.23E-02	1.23E-02
Strapex Band, PP [kg]	polypropylene, granulate, at plant, RER, [kg]	8.48E-03	8.48E-03	8.48E-03	8.48E-03	8.48E-03
Extrusion Sprapex Band	extrusion, plastic film, RER, [kg]	8.48E-03	8.48E-03	8.48E-03	8.48E-03	8.48E-03

	ecoinvent v2.2	4 Float / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Float / 10 Kr / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 ESG / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Float / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 [m2]	4 ESG / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float [m2]
Abwasser und Abfälle						
Abwasser [m3]	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2, CH [m3]	2.65E-02	2.65E-02	2.65E-02	2.65E-02	2.65E-02
Glas in Deponie [kg]	disposal, glass, 0% water, to inert material landfill, CH, [kg]	3.67E+00	3.67E+00	3.67E+00	3.67E+00	3.67E+00
Div. Abfälle in KVA [kg]	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	2.66E-01	2.66E-01	2.66E-01	2.66E-01	2.66E-01
Output						
Isolierverglasung [m2 sichtbar]		1	1	1	1	1

Tabelle 17: Herstellung 3-IV[m2], sichtbare Glasfläche (Teil 1)

	ecoinvent v2.2	4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Low E 1.1 Float / 12 Kr / 4 Float / 12 Kr / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / 4 Low E 1.1 ESG [m2]
Input				
Ausgangsstoffe				
Flachglas unbeschichtet [kg]	Datensatz Glass for Europe	4.36E+01	4.36E+01	4.36E+01
Flachglas beschichten [kg]	Datensatz gemäss Erhebung Glas Trösch	2.91E+01	2.91E+01	2.91E+01
Verarbeitung ESG [kg]	Datensatz gemäss Erhebung Glas Trösch	–	–	2.91E+01
VSG beschichtet [m2]	Datensatz gemäss Erhebung Flachglas Schweiz	–	–	–
Argon [kg]	argon, liquid, at plant, RER, [kg]	7.05E-02	–	7.05E-02

	ecoinvent v2.2	4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Low E 1.1 Float / 12 Kr / 4 Float / 12 Kr / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / 4 Low E 1.1 ESG [m2]
Krypton [kg]	krypton, gaseous, at regional storage, RER, [kg]	–	1.28E-01	–
Abstandhalter Sili-konschaum [kg]	silicone product, at plant, RER, [kg]	5.04E-01	7.52E-01	5.04E-01
Abstandhalter Chormstahl [kg]	chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	2.56E-01	–	2.56E-01
	sheet rolling, chromium steel, RER, [kg]	2.56E-01	–	2.56E-01
Polysulfid [kg]	polysulphide, sealing compound, at plant, RER, [kg]	4.67E-01	4.01E-01	4.67E-01
Butylkautschuk [kg]	polybutadiene, at plant, RER, [kg]	5.22E-02	5.22E-02	5.22E-02
Silikondichtstoff [kg]	silicone product, at plant, RER, [kg]	9.01E-02	9.01E-02	9.01E-02
PU Dichtstoff [kg]	polyurethane, rigid foam, at plant, RER, [kg]	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01
Kunststoff PA [kg]	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant, RER, [kg]	2.37E-02	–	2.37E-02
Entfeuchtungsmittel [kg]	zeolite, powder, at plant, RER, [kg]	1.90E-01	–	1.90E-01
Hilfsstoffe und Wasser				
Wasser [kg]	tap water, at user, CH, [kg]	2.65E+01	2.65E+01	2.65E+01
Schmieröl, Schneidöl [kg]	lubricating oil, at plant, RER, [kg]	1.18E-03	1.18E-03	1.18E-03
Energieträger				
Strom [kWh]	electricity, medium voltage, at grid, CH, [kWh]	6.64E+00	6.59E+00	6.64E+00
Gas für Heizung [MJ]	natural gas, burned in industrial furnace >100kW [MJ]	1.56E+01	1.55E+01	1.56E+01
Transporte				
Transport Flachglas [tkm]	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	1.79E+01	1.79E+01	5.96E+00
Transport ESG [tkm]	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	–	–	1.19E+01
Transport VSG [tkm]	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	–	–	–
Transport Argon, Krypton [tkm]	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	2.12E-03	3.84E-03	2.12E-03
Transport Abstandhalter [tkm]	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	4.41E-01	4.36E-01	4.41E-01

	ecoinvent v2.2	4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Low E 1.1 Float / 12 Kr / 4 Float / 12 Kr / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / 4 Low E 1.1 ESG [m2]
Transport Dichtung [tkm]	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	9.63E-01	7.22E-01	9.63E-01
Verpackungsmaterialien				
Abdeckhauben Opak weiss (PET) [kg]	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant, RER, [kg]	4.99E-03	4.99E-03	4.99E-03
Extrusion Abdeckhauben [kg]	extrusion, plastic film, RER, [kg]	4.99E-03	4.99E-03	4.99E-03
Kunststoffolie Stretchfolie PE [kg]	polyethylene, HDPE, granulate, at plant, RER, [kg]	1.08E-02	1.08E-02	1.08E-02
Extrusion Stretchfolie [kg]	extrusion, plastic film, RER, [kg]	1.08E-02	1.08E-02	1.08E-02
Kantenschutzprofile (Schaumprofile) [kg]	polyethylene, LDPE, granulate, at plant, RER, [kg]	8.46E-04	8.46E-04	8.46E-04
Herstellung PE-Schaum [kg]	foaming, expanding, RER, [kg]	8.46E-04	8.46E-04	8.46E-04
Styropor [kg]	polystyrene foam slab, at plant, RER, [kg]	2.26E-03	2.26E-03	2.26E-03
Karton, Kartonschutzwinkel [kg]	solid unbleached board, SUB, at plant, RER, [kg]	1.23E-02	1.23E-02	1.23E-02
Strapex Band, PP [kg]	polypropylene, granulate, at plant, RER, [kg]	8.48E-03	8.48E-03	8.48E-03
Extrusion Sprapex Band	extrusion, plastic film, RER, [kg]	8.48E-03	8.48E-03	8.48E-03
Abwasser und Abfälle				
Abwasser [m3]	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2, CH [m3]	2.65E-02	2.65E-02	2.65E-02
Glas in Deponie [kg]	disposal, glass, 0% water, to inert material landfill, CH, [kg]	3.67E+00	3.67E+00	3.67E+00
Div. Abfälle in KVA [kg]	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	2.66E-01	2.66E-01	2.66E-01
Output				
Isolierverglasung [m2 sichtbar]		1	1	1

Tabelle 18: Herstellung 3-IV [m2], sichtbare Glasfläche (Teil 2)

	ecoinvent v2.2	4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 ESG / 14 Ar / 4 Low E 1.1 ESG [m2]	4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float [m2]	4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float [m2]
Input				
Ausgangsstoffe				
Flachglas unbeschichtet [kg]	Datensatz Glass for Europe	4.36E+01	2.91E+01	2.91E+01
Flachglas beschichtet [kg]	Datensatz gemäss Erhebung Glas Trösch	2.91E+01	1.45E+01	1.45E+01
Verarbeitung ESG [kg]	Datensatz gemäss Erhebung Glas Trösch	4.36E+01	–	1.45E+01
VSG beschichtet [m2]	Datensatz gemäss Erhebung Flachglas Schweiz	–	1.45E+00	1.45E+00
Argon [kg]	argon, liquid, at plant, RER, [kg]	7.05E-02	7.05E-02	7.05E-02
Krypton [kg]	krypton, gaseous, at regional storage, RER, [kg]	–	–	–
Abstandhalter Silikon-schaum [kg]	silicone product, at plant, RER, [kg]	5.04E-01	5.04E-01	5.04E-01
Abstandhalter Chormstahl [kg]	chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	2.56E-01	2.56E-01	2.56E-01
	sheet rolling, chromium steel, RER, [kg]	2.56E-01	2.56E-01	2.56E-01
Polysulfid [kg]	polysulphide, sealing compound, at plant, RER, [kg]	4.67E-01	4.67E-01	4.67E-01
Butylkautschuk [kg]	polybutadiene, at plant, RER, [kg]	5.22E-02	5.22E-02	5.22E-02
Silikondichtstoff [kg]	silicone product, at plant, RER, [kg]	9.01E-02	9.01E-02	9.01E-02
PU Dichtstoff [kg]	polyurethane, rigid foam, at plant, RER, [kg]	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01
Kunststoff PA [kg]	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant, RER, [kg]	2.37E-02	2.37E-02	2.37E-02
Entfeuchtungsmittel [kg]	zeolite, powder, at plant, RER, [kg]	1.90E-01	1.90E-01	1.90E-01
Hilfsstoffe und Wasser				
Wasser [kg]	tap water, at user, CH, [kg]	2.65E+01	2.65E+01	2.65E+01
Schmieröl, Schneidöl [kg]	lubricating oil, at plant, RER, [kg]	1.18E-03	1.18E-03	1.18E-03

	ecoinvent v2.2	4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 ESG / 14 Ar / 4 Low E 1.1 ESG [m2]	4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float [m2]	4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float [m2]
Energieträger				
Strom [kWh]	electricity, medium voltage, at grid, CH, [kWh]	6.64E+00	8.32E+00	8.32E+00
Gas für Heizung [MJ]	natural gas, burned in industrial furnace >100kW [MJ]	1.56E+01	2.05E+01	2.05E+01
Transporte				
Transport Flachglas [tkm]	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	–	1.19E+01	1.19E+01
Transport ESG [tkm]	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	1.79E+01	–	5.96E+00
Transport VSG [tkm]	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	–	1.19E+01	1.19E+01
Transport Argon, Krypton [tkm]	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	2.12E-03	2.12E-03	2.12E-03
Transport Abstandhalter [tkm]	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	4.41E-01	4.41E-01	4.41E-01
Transport Dichtung [tkm]	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	9.63E-01	9.63E-01	9.63E-01
Verpackungsmaterialien				
Abdeckhauben Opak weiss (PET) [kg]	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant, RER, [kg]	4.99E-03	4.99E-03	4.99E-03
Extrusion Abdeckhauben [kg]	extrusion, plastic film, RER, [kg]	4.99E-03	4.99E-03	4.99E-03
Kunststoffolie Stretchfolie PE [kg]	polyethylene, HDPE, granulate, at plant, RER, [kg]	1.08E-02	1.08E-02	1.08E-02
Extrusion Stretchfolie [kg]	extrusion, plastic film, RER, [kg]	1.08E-02	1.08E-02	1.08E-02
Kantenschutzprofile (Schaumprofile) [kg]	polyethylene, LDPE, granulate, at plant, RER, [kg]	8.46E-04	8.46E-04	8.46E-04
Herstellung PE-Schaum [kg]	foaming, expanding, RER, [kg]	8.46E-04	8.46E-04	8.46E-04
Styropor [kg]	polystyrene foam slab, at plant, RER, [kg]	2.26E-03	2.26E-03	2.26E-03
Karton, Kartonschutzwinkel [kg]	solid unbleached board, SUB, at plant, RER, [kg]	1.23E-02	1.23E-02	1.23E-02
Strapex Band, PP [kg]	polypropylene, granulate, at plant, RER, [kg]	8.48E-03	8.48E-03	8.48E-03
Extrusion Sprapex Band	extrusion, plastic film, RER, [kg]	8.48E-03	8.48E-03	8.48E-03

	ecoinvent v2.2	4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 ESG / 14 Ar / 4 Low E 1.1 ESG [m2]	4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float [m2]	4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float [m2]
Abwasser und Abfälle				
Abwasser [m3]	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2, CH [m3]	2.65E-02	2.65E-02	2.65E-02
Glas in Deponie [kg]	disposal, glass, 0% water, to inert material landfill, CH, [kg]	3.67E+00	3.67E+00	3.67E+00
Div. Abfälle in KVA [kg]	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	2.66E-01	2.66E-01	2.66E-01
Output				
Isolierverglasung [m2 sichtbar]		1	1	1

Die Entsorgung am Ende des Lebenszyklus der verschiedenen Verglasungsvarianten wurde wie folgt bilanziert:

- Das Glas wird in der Deponie entsorgt.
- Alle brennbaren Bestandteile (Rahmenverbund und PVB Folie) gelangen in eine Kehrrechtverbrennungsanlage.

Die Trennung der Verglasungen und die Transporte in die Sortieranlage respektive in die KVA oder Deponie wurden nicht berücksichtigt. Die entsprechenden Sachbilanzen finden sich in Tabelle 19, Tabelle 20 und Tabelle 21.

Tabelle 19: Entsorgung 2-IV [m2], sichtbare Glasfläche

	ecoinvent v2.2	4 Float / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Float / 10 Kr / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 ESG / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Float / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 [m2]	4 ESG / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float [m2]
Glas	disposal, glass, 0% water, to inert material landfill, CH [kg]	2.12E+01	2.12E+01	2.12E+01	3.18E+01	3.18E+01
Randverbund	disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.18E+00	8.96E-01	1.18E+00	1.18E+00	1.18E+00
PVB	disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration, CH, [kg]	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.06E+00	1.06E+00

Tabelle 20: Entsorgung 3-IV [m2], sichtbare Glasfläche (Teil 1)

		4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Low E 1.1 Float / 12 Kr / 4 Float / 12 Kr / 4 Low E 1.1 Float [m2]	4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / 4 Low E 1.1 ESG [m2]
Glas	disposal, glass, 0% water, to inert material landfill, CH [kg]	3.18E+01	3.18E+01	3.18E+01
Randverbund	disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.88E+00	1.59E+00	1.88E+00
PVB	disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration, CH, [kg]	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

Tabelle 21: Entsorgung 3-IV [m2], sichtbare Glasfläche (Teil 2)

		4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 ESG / 14 Ar / 4 Low E 1.1 ESG [m2]	4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float [m2]	4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float [m2]
Glas	disposal, glass, 0% water, to inert material landfill, CH [kg]	3.18E+01	4.24E+01	4.24E+01
Randverbund	disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.88E+00	1.88E+00	1.88E+00
PVB	disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration, CH, [kg]	0.00E+00	1.06E+00	1.06E+00

G.3 Resultate

Die Ökobilanzresultate der untersuchten Glasprodukte und Verarbeitungsverfahren sind in Tabelle 22 und Tabelle 23 dargestellt. Die Entsorgung wurde nur für die Verglasungsvarianten bilanziert, die in der KBOB-Liste veröffentlicht werden sollen.

Tabelle 22: Ökobilanzdaten Herstellung

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
Flachglas - RER	kg	1.11E+03	1.53E+01	1.49E+01	9.05E-01
Flachglas beschichten - CH	kg	2.00E+02	2.67E+00	2.36E+00	5.80E-02
Flachglas härten (ESG Herstellung) - CH	kg	7.44E+02	1.53E+01	1.39E+01	4.56E-01
VSG beschichtet - CH	m ²	3.57E+04	5.88E+02	5.63E+02	2.75E+01
4 Float / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float - CH	m ²	4.35E+04	6.57E+02	6.29E+02	3.39E+01
4 Float / 10 Kr / 4 Low E 1.1 Float - CH	m ²	4.92E+04	7.74E+02	7.39E+02	3.87E+01
4 ESG / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float - CH	m ²	5.43E+04	8.80E+02	8.30E+02	4.05E+01
4 Float / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 - CH	m ²	7.44E+04	1.24E+03	1.19E+03	5.99E+01
4 ESG / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float - CH	m ²	8.52E+04	1.46E+03	1.39E+03	6.66E+01
4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / 4 Low E 1.1 Float -CH	m ²	6.98E+04	1.00E+03	9.59E+02	5.15E+01
4 Low E 1.1 Float / 12 Kr / 4 Float / 12 Kr / 4 Low E 1.1 Float -CH	m ²	7.99E+04	1.28E+03	1.22E+03	6.25E+01
4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / 4 Low E 1.1 ESG - CH	m ²	9.17E+04	1.45E+03	1.36E+03	6.48E+01

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 ESG / 14 Ar / 4 Low E 1.1 ESG - CH	m ²	1.02E+05	1.67E+03	1.56E+03	7.14E+01
4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float - CH	m ²	1.01E+05	1.58E+03	1.52E+03	7.76E+01
4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float - CH	m ²	1.13E+05	1.82E+03	1.73E+03	8.50E+01

Tabelle 23: Ökobilanzdaten Entsorgung

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
4 Float / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float - CH	m ²	2.83E+03	5.13E+00	5.05E+00	3.83E+00
4 Float / 10 Kr / 4 Low E 1.1 Float - CH	m ²	2.22E+03	4.91E+00	4.84E+00	2.94E+00
4 ESG / 16 Ar / 4 Low E 1.1 Float - CH	m ²	2.83E+03	5.13E+00	5.05E+00	3.83E+00
4 Float / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 - CH	m ²	5.18E+03	7.47E+00	7.37E+00	7.07E+00
4 ESG / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float - CH	m ²	5.18E+03	7.47E+00	7.37E+00	7.07E+00
4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / 4 Low E 1.1 Float -CH	m ²	4.53E+03	7.78E+00	7.66E+00	6.09E+00
4 Low E 1.1 Float / 12 Kr / 4 Float / 12 Kr / 4 Low E 1.1 Float -CH	m ²	3.86E+03	7.55E+00	7.44E+00	5.18E+00
4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / 4 Low E 1.1 ESG - CH	m ²	4.48E+03	7.78E+00	7.66E+00	6.09E+00
4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 ESG / 14 Ar / 4 Low E 1.1 ESG - CH	m ²	4.48E+03	7.78E+00	7.66E+00	6.09E+00
4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float - CH	m ²	6.84E+03	1.01E+01	9.98E+00	9.32E+00
4 Low E 1.1 ESG / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float - CH	m ²	6.84E+03	1.01E+01	9.98E+00	9.32E+00

Abbildung 2 zeigt die nicht erneuerbare Primärenergie (Herstellung + Entsorgung) der untersuchten Verglasungen im Vergleich zu den bereits vorhandenen Verglasungsdaten der KBOB-Liste (Version 2014). Die nicht erneuerbare Primärenergie der neuen Daten ist teilweise deutlich höher. Dies lässt sich einerseits durch die materialintensiveren Varianten (z.B. 2-IV und 3-IV mit VSG) die untersucht wurden, er-

klären. Andererseits sind Glasverschnitt und Füllgasverluste in den neu erhobenen Daten signifikant höher als jene, die in ecoinvent v2.2 berücksichtigt wurden.

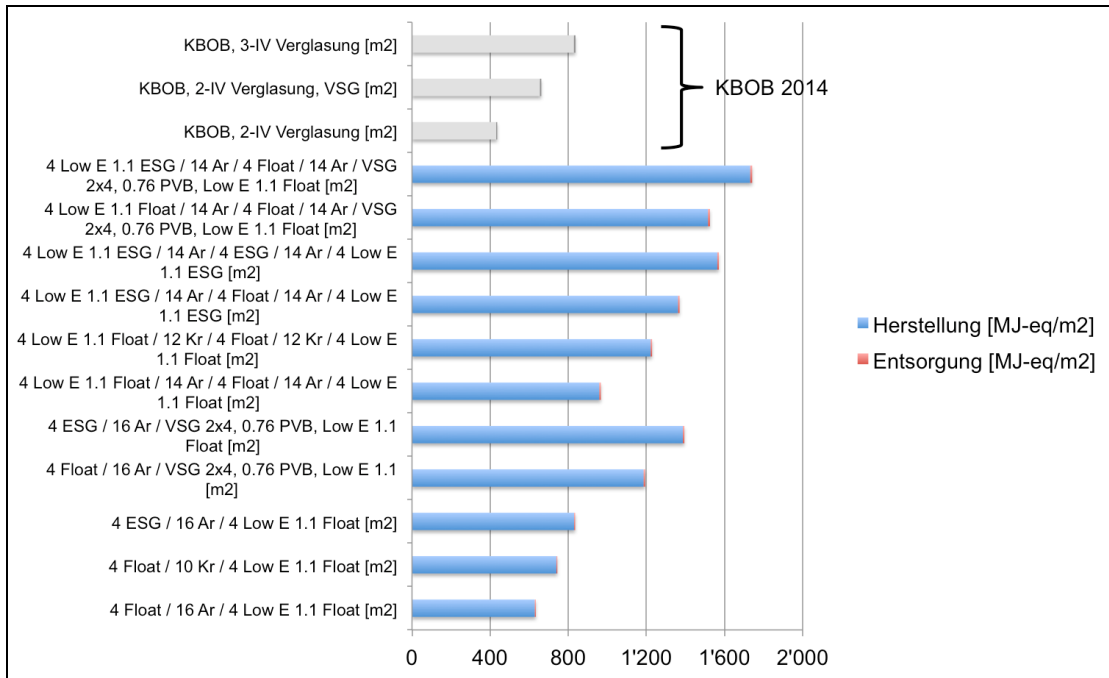


Abbildung 2: Primärenergie nicht erneuerbar Herstellung und Entsorgung [MJ-eq/m²]

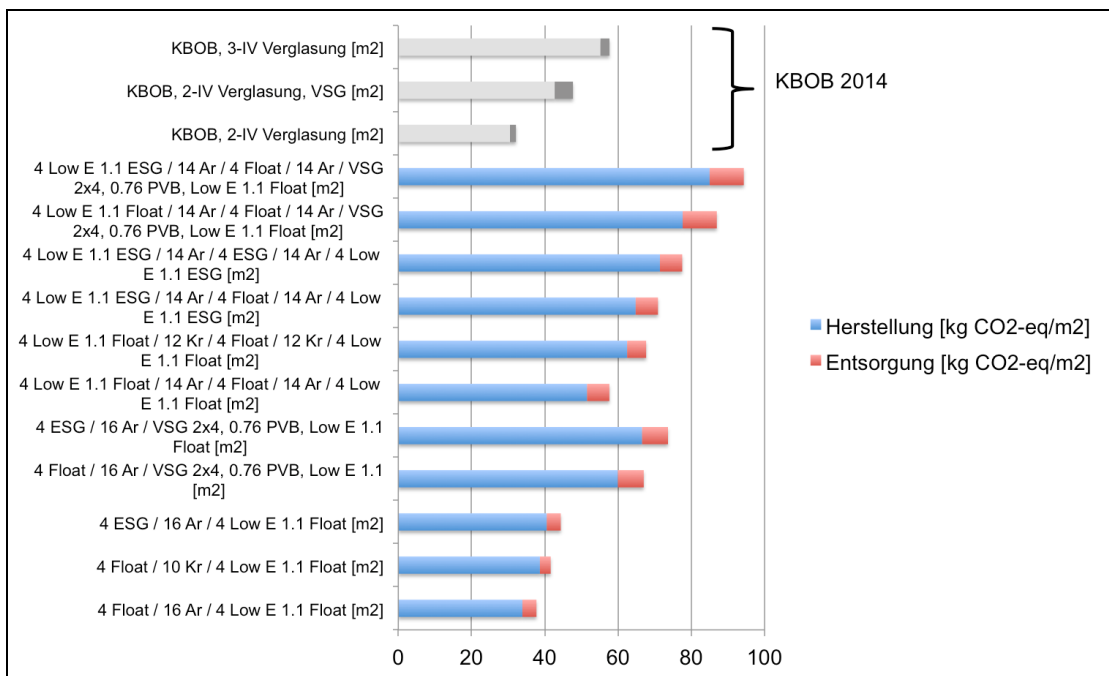


Abbildung 3: Treibhausgasemissionen Herstellung und Entsorgung [kg CO₂-eq/m²]

Der Vergleich der Treibhausgasemissionen der Verglasungen mit den bereits vorhandenen Daten in der KBOB-Liste zeigt ein ähnliches Bild wie der Vergleich der

nicht erneuerbaren Primärenergie (siehe Abbildung 3). Jedoch fällt bei der Bewertung der Treibhausgasemissionen die Entsorgung mehr ins Gewicht. Dies wird vor allem durch die Entsorgung von Bestandteilen des Randverbundes in der KVA verursacht.

Ein Vergleich der Umweltbelastungspunkte der neu bilanzierten Verglasungen mit jenen aus der KBOB-Liste (Version 2014) zeigt ähnliche Tendenzen wie beim Vergleich hinsichtlich der nicht erneuerbaren Primärenergie (siehe Abbildung 4). Die Umweltbelastungspunkte der im Rahmen der vorliegenden Studien untersuchten Isolierverglasungen sind höher als diejenigen aus älteren Ökobilanzen. Dies lässt sich mit den teilweise materialintensiveren Verglasungsvarianten sowie den anderen Verbrauchsdaten von Energie und Rohstoffen erklären.

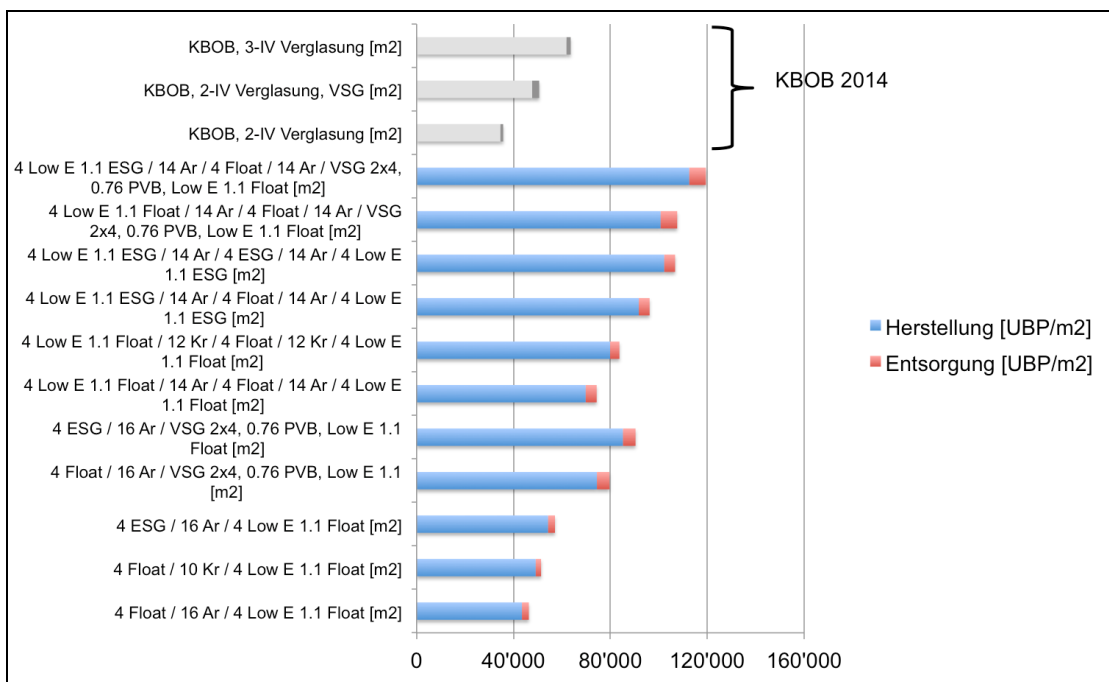


Abbildung 4: Umweltbelastungspunkte Herstellung und Entsorgung [UBP/m²]

G.4 Literaturverzeichnis

Swiss Centre for Life Cycle Inventories (2007) ecoinvent report No. 7, Life Cycle Inventories of Building Products, Part XXVI. Dübendorf.

V. Usbeck (2010) *Life Cycle Assessment of Float Glass*. PE International AG.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht, Januar 2016

Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich"

Projekt QualiBOB
Teilbericht H: Fensterprofile

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Hochbauten Stadt Zürich
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Auftragnehmer:

Projektteam QualiBOB

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

Matthias Klingler, Büro für Umweltchemie, m.klingler@umweltchemie.ch
Daniel Savi, Büro für Umweltchemie, d.savi@umweltchemie.ch
Ueli Kasser, Büro für Umweltchemie, u.kasser@umweltchemie.ch (Projektleitung)

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG
Peter Gerber, BAFU, Fachbereich Ökobilanzen
Norbert Egli, Vertretung BAFU Sektion Konsum und Produkte, Tridee GmbH
Michael Pöll, AHB Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500996-01

BAFU-Vertrags- und Projektnummer: 10.0041.PJ / N043-0527, O022-2110

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

H	FENSTERPROFILE	H-1
H.1	Untersuchungsrahmen	H-1
H.1.1	Bilanzierte Produkte	H-1
H.1.1.1	Allgemeines	H-1
H.1.1.2	Fensterprofile aus PVC	H-1
H.1.1.3	Fensterprofile aus Aluminium	H-2
H.1.1.4	Fensterprofile aus Holz und Holz/Metall	H-2
H.1.2	Funktionelle Einheit	H-3
H.1.3	Systemgrenzen	H-3
H.1.3.1	Herstellung	H-3
H.1.3.2	Entsorgung	H-3
H.1.4	Allokation	H-3
H.1.5	Abschneidekriterien	H-3
H.1.6	Zeitliche und geografische Gültigkeit	H-4
H.1.7	Datenquellen und Datenqualität	H-4
H.2	Sachbilanzdaten	H-4
H.2.1	Fensterprofile aus PVC	H-4
H.2.2	Fensterprofile aus Aluminium	H-7
H.3	Resultate	H-10
H.3.1	Fensterprofile aus PVC	H-10
H.3.2	Fensterprofile aus Aluminium	H-12
H.4	Literaturverzeichnis	H-14

H Fensterprofile

H.1 Untersuchungsrahmen

H.1.1 Bilanzierte Produkte

H.1.1.1 Allgemeines

In einer Sitzung mit Vertretern der Verbände PVCH (Arbeitsgemeinschaft der Schweizerischen PVC-Industrie), SZFF (Schweizerische Zentrale Fenster und Fassaden) und FFF (Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche) wurden für alle zu bilanzierenden Profiltypen folgende Eigenschaften definiert:

- Fenster mit 2 Flügeln (ohne Sprossen und Kämpfer)
- Aussenmasse 1750 x 1300 mm
- Flügelteilung je zur Hälfte
- Bautiefe variabel
- U_f -Wert variabel

Die Notwendigkeit Profile mit grösseren Ausmassen zu berücksichtigen wurde diskutiert. Die Vertreter der Verbände erachteten jedoch die Aussenmasse 1750 x 1300 mm als repräsentativ für die im Durchschnitt verbauten Fensterprofile. Die bereits vorhandenen Daten zu Fensterprofilen in der KBOB-Liste (Version 2014) basieren auf den Aussenmassen 1600 x 1300 mm.

H.1.1.2 Fensterprofile aus PVC

Die Datenerhebung erfolgte über die Arbeitsgemeinschaft der Schweizerischen PVC-Industrie. An der Erhebung haben die Hersteller mit den grössten Marktanteilen teilgenommen. Tabelle 1 zeigt die berücksichtigten Hersteller und Produkte. Die untersuchten PVC-Profile werden in Deutschland und Polen extrudiert. Dies entspricht der gegenwärtigen Marktsituation.

Tabelle 1: Hersteller und Produkte

Hersteller	Produkt	Herstellungsort
Aerni Fenster AG	InVitra	Pirmasens (D)
EgoKiefer	AS1	Srem (PL)
SwissWindows	imago + classico	Wittmund (D)

Die erhobenen Daten basieren auf den in Tabelle 2 ausgewiesenen Dimensionen und Eigenschaften. Für die untersuchten Rahmenprofile aus PVC wurde ein U-Wert

(U_f) von $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ vorausgesetzt. Gemäss Auskunft des Verbands PVCH entspricht dies dem aktuellen Standard für PVC-Profile. Die Nettogewichte (Gewicht des Profils ohne Verglasung) der berücksichtigten Fensterprofile liegen zwischen 23 kg bis 38 kg und weisen somit eine relativ grosse Spannweite auf. Das durchschnittliche Nettogewicht liegt knapp über 31 kg pro Profil.

Tabelle 2: Charakterisierung PVC-Profile

Eigenschaften	PVC-Fensterprofil
Höhe [m]	1.30
Breite [m]	1.75
Bautiefe [m]	0.07
Rahmenfläche im Licht [m ²]	0.40
U-Wert (U_f) [W/m ² K]	1.1
Durchschnittliches Nettogewicht [kg]	31.1

H.1.1.3 Fensterprofile aus Aluminium

Die Datenerhebung erfolgte über die Schweizerische Zentrale Fenster und Fassaden (SZFF). Dabei wurde ein Herstellerwerk in der Schweiz (Aeppli Metallbau AG) berücksichtigt. Es wurden Daten für zwei Profiltypen mit unterschiedlichen U-Werten (U_f) erhoben. Es handelt sich dabei um die Profile AWS 70 Hi und AWS 75 Si (siehe Tabelle 3). Die untersuchten Aluminium-Profile haben Bautiefen von 80 und 85 mm und U-Werte von 1.8 respektive $1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Nettogewichte der beiden Produkte sind beinahe identisch.

Tabelle 3: Eigenschaften Aluminiumprofile

Eigenschaften	AWS 70 Hi	AWS 75 Si	Mittelwert
Höhe [m]	1.30		
Breite [m]	1.75		
Bautiefe [m]	0.080	0.085	0.083
Rahmenfläche im Licht [m ²]	0.817	0.833	0.825
U-Wert (U_f) [W/m ² K]	1.8	1.2	1.5
Nettogewicht [kg]	38.6	38.8	38.7

H.1.1.4 Fensterprofile aus Holz und Holz/Metall

Die notwendigen Angaben und Daten konnten über den Verband FFF bei den Herstellern leider nicht erhoben. Die Daten für die Fensterprofile aus Holz und Holz/Metall konnten deshalb nicht aktualisiert werden. Wie in H.1.1.1 angemerkt wurde, sind die Dimensionen der bereits vorhandenen Ökobilanzdaten für Holz- und Holz/Metallprofile in der KBOB-Liste leicht anderes, als jene der PVC- und Aluminiumprofile die in der vorliegenden Studie bilanziert wurden. Jedoch sollte die Vergleichbarkeit der Daten immer noch gegeben sein. Die Bezugsgrösse ist die gleiche

geblieben. Ebenso dürfte sich das Verhältnis von Rahmenfläche absolut zu Rahmenfläche im Licht kaum verändert haben.

H.1.2 Funktionelle Einheit

Wie bei den bereits vorhandenen Daten für Fensterprofile (ecoinvent v2.2) werden die aktualisierten Ökobilanzen auf 1 m² Rahmenfläche im Licht bezogen. Genau genommen handelt es sich hierbei um eine deklarierte Einheit und nicht um eine funktionelle Einheit, da die untersuchten Rahmenprofile unterschiedliche U-Werte haben und aus diesem Grund die funktionelle Äquivalenz nicht gegeben ist. Auch die Daten für Fensterprofile in ecoinvent beziehen sich auf Rahmen mit unterschiedlichen U-Werten.

H.1.3 Systemgrenzen

H.1.3.1 Herstellung

Die Ökobilanzen wurden für Fensterprofile ab Werk (Systemgrenze cradle-to-gate) erstellt. Dabei wurden sämtliche Stoff- und Energie-liefernden Prozesse berücksichtigt. Die zur Bereitstellung der Ausgangsstoffe notwendigen Transporte wurden mit den Standarddistanzen von ecoinvent v2.2 modelliert (Frischknecht et al., 2007). Bei den PVC-Profilen die im Ausland hergestellt werden, wurde zusätzlich der Transport in die Schweiz miteinbezogen.

H.1.3.2 Entsorgung

Bei der Entsorgung wurden davon ausgegangen, sämtliche Metalle nach einer Aufbereitung in einer Sortieranlage ins Recycling gehen. Hier wurden nur die Aufwendungen für das Trennen der Metalle berücksichtigt. Für Kunststoffe, insbesondere PVC, wurde von einer Entsorgung in der KVA ausgegangen.

H.1.4 Allokation

Bei den erhobenen Daten waren keine Allokationen notwendig.

H.1.5 Abschneidekriterien

Alle erhobenen Daten wurden in den Sachbilanzen berücksichtigt. Datenlücken wurden mit Annahmen ergänzt (siehe Abschnitt H.2). Nicht berücksichtigt wurde die Entsorgung der Verpackungsmaterialien. Dies sind rund 200g Verpackungsmaterialien pro m² Rahmenprofil. Im Vergleich zu den Massen der Rahmenprofile von über 30 kg/m² wurden davon ausgegangen, dass die Umwelteinwirkung der Entsorgung der Verpackung vernachlässigbar ist.

H.1.6 Zeitliche und geografische Gültigkeit

Die erhobenen Daten beziehen sich auf das Jahr 2014 und entsprechen dem gegenwärtigen Stand der Technik. Bei den Daten für die PVC-Profile kann davon ausgegangen werden, dass sie repräsentativ für den Schweizer Markt sind, da die wichtigsten Hersteller in der Erhebung miteinbezogen wurden. Da bei den Aluminiumprofilen nur Daten von einem Hersteller vorliegen, sind die Ökobilanzresultate nur bedingt repräsentativ für den Schweizer Markt.

H.1.7 Datenquellen und Datenqualität

Die Vordergrunddaten wurden über die Verbände PVCH und SZFF erhoben (siehe auch Kapitel H.1.1). Sämtliche Hintergrunddaten mit denen die untersuchten Systeme modelliert wurden, stammen aus ecoinvent v2.2. Die Ökobilanzdaten im Baubereich in der KBOB-Liste hingegen werden mit den aktuelleren Hintergrunddaten aus ecoinvent v2.2+ berechnet. Aus diesem Grund dürften die Daten welche in der KBOB-Liste veröffentlicht werden von den Ökobilanzresultaten im vorliegenden Bericht abweichen.

Die bei den Herstellern erhobenen Daten betreffen in erster Linie die materielle Zusammensetzung der Fensterprofile. Für die Herstellung der Fenster aus Aluminium konnte zudem der Stromverbrauch bei der Herstellung erhoben werden. Aufgrund der Komplexität der Herstellungsprozesse war es den involvierten Produzenten nicht möglich Betriebsbilanzen zu erheben. Deshalb mussten diverse Prozesse wie z.B. die Extrusion von PVC-Profilen oder die Oberflächenbehandlung von Metallen mit generischen Daten aus ecoinvent v2.2 modelliert werden. Fehlende Daten wurden auch teilweise in Analogie zu den bereits bestehenden Datensätzen für Fensterprofile in ecoinvent ergänzt. Aus diesen Gründen ist die Datenqualität der neuen Ökobilanzen als mittelmässig einzustufen.

H.2 Sachbilanzdaten

H.2.1 Fensterprofile aus PVC

In Tabelle 4 und Tabelle 5 sind die Grundlagendaten ersichtlich welche von der Arbeitsgemeinschaft der Schweizerischen PVC-Industrie zur Verfügung gestellt wurden. Die Angaben beziehen sich auf drei Produkte von drei Herstellern. Diese betreffen die materielle Zusammensetzung und die Nettogewichte der Profile sowie die Transportdistanzen der Profile in die Schweiz.

Tabelle 4: Materialisierung, Angaben PVCH

Profil und Materialien (Angaben bezogen auf das Profil, pro Stk.)	von	bis	Mittelwert
PVC [kg]	16.75	26.68	22.12
Stahl [kg]	4.75	6.92	5.68
Aluminium [kg]	0.06	1.33	0.60
EPS [kg]	0.06	0.10	0.08
Beschläge aus Stahl [kg]	2.11	3.35	2.61
Nettogewicht [kg]	23.73	38.38	31.09

Tabelle 5: Herstellungsorte und Transportdistanzen, Angaben PVCH

Hersteller	Produkt	Herstellungs Ort	Distanz Schweiz [km]
Aerni Fenster AG	InVitra	Pirmasens (D)	350
EgoKiefer	AS1	Srem (PL)	1100
SwissWindows	imago	Wittmund (D)	890

Tabelle 6 zeigt die Sachbilanz der Herstellung von PVC-Profilen sowie die Modellierung mit Datensätzen aus ecoinvent v2.2. Die materiellen Inputs pro m² Rahmenfläche wurden aus den Mittelwerten abgeleitet, welche dem Autor vom Verband übermittelt wurden. Zur Umrechnung der Angaben pro Profil auf 1 m² Rahmenfläche wurden die Angaben durchschnittliches Nettogewicht und Rahmenfläche im Licht aus Tabelle 2 verwendet. Da sich die Angaben vom Verband auf die Zusammensetzung der fertigen Profile beziehen, wurde der Input von PVC um die angenommenen Verluste ergänzt, die bei der Extrusion sowie dem Schneiden und Schweißen der Profile anfallen. Die Verluste entsprechen jenen welche in den Datensätzen von ecoinvent v2.2 für die Kunststoffextrusion (0.4%) und die Herstellung von PVC-Fensterprofilen (8.4%) ausgewiesen werden. Für eine Masse von 55.4 kg PVC pro m² Profil ergibt sich somit ein Input von 60.7 kg PVC. Der Input von PVC berücksichtigt das PVC für die Profile und die Dichtungen. Die Dichtungen bestehen bei neueren PVC-Profilen nicht mehr aus Synthetikgummi sondern aus coextrudiertem PVC. Da keine Angaben für den Stromverbrauch erhoben werden konnten, wurde für die Verarbeitung der extrudierten Profile der Strominput sowie der Strommix aus dem ecoinvent-Datensatz „window frame, plastic (PVC), U=1.6 W/m²K, at plant, RER, [m²]“ übernommen (13.8 kWh/m²). Der Input von Stahl wird für aussteifende Metallprofile sowie für die Beschläge eingesetzt. Da sich der Datensatz in ecoinvent für das Verzinken von Stahl auf 1 m² verzinkte Oberfläche bezieht, musste hier eine Umrechnung vom Input in Kilogramm Stahl auf die zu verzinkende Oberfläche erfolgen. Dazu wurden die Angaben aus dem ecoinvent-Datensatz genutzt, wonach im Durchschnitt bei einem Input von 1 Tonne Stahl eine Fläche von 64 m² verzinkt wird. Somit ergibt sich für einen Input von 20.8 kg Stahl bei einer beidseitigen Beschichtung eine Fläche von 2.66 m². Für den Transport der Ausgangsstoffe waren vom Verband nur Angaben zum Transport der im Ausland extrudierten Profile in die Schweiz vorhanden. Die anderen Transporte (Bereitstellung von Kunststoffen und Metallen) wurden gemäss den ecoinvent Standarddistan-

zen (Frischknecht et al., 2007) berücksichtigt. Die zur Herstellung der Profile notwendige Infrastruktur wurde aus dem bereits in ecoinvent vorhandenen Datensatz (window frame, plastic (PVC), U=1.6 W/m²K, at plant, RER, [m²]) übernommen. Die Verpackung wurde mit ca. 2 m² Polyethylenfolie und 50 g Karton pro m² Rahmenfläche abgeschätzt (gleiche Annahme wie bei den Aluminiumprofilen siehe H.2.2).

Tabelle 6: Herstellung PVC-Profile, Angaben pro m² Rahmenfläche

Input	ecoinvent v2.2	PVC Rahmenprofil [m ²]	Kommentar
PVC inkl. Dichtung aus coextrudiertem PVC	polyvinylchloride, at regional storage, RER, [kg]	6.07E+01	Inklusive Verluste Extrusion 0.4% und 8.4% Verschnitt beim Schneiden und Schweißen (bezogen auf den Input, gemäss Datensatz für Extrusion in ecoinvent)
Extrusion Profil	extrusion, plastic pipes, RER, [kg]	6.07E+01	
Strom für schneiden und schweißen PVC Profile	electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]	1.38E+01	Übernommen aus ecoinvent v2.2, Datensatz PVC-Profil
Stahl und Verarbeitung	steel, low-alloyed, at plant, RER [kg]	2.08E+01	
	section bar rolling, steel, RER, [kg]	2.08E+01	
	zinc coating, coils, RER, [m ²]	2.66E+00	Gemäss ecoinvent wird pro Tonne Stahl eine Fläche von durchschnittlich 64 m ² verzinkt.
Aluminium und Verarbeitung	aluminium, production mix, at plant	1.50E+00	
	section bar extrusion, aluminium, RER [kg]	1.50E+00	
EPS	polystyrene foam slab, at plant, RER, [kg]	2.00E-01	Dämmung Profile
Transport PVC, EPS	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	6.09E+00	ecoinvent-Standard-Distanzen
	transport, freight, rail, RER,	1.22E+01	
Transport Metalle	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	2.23E+00	
	transport, freight, rail, RER,	4.45E+00	
Transport Fensterprofil in CH	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	6.08E+01	Durchschnittlicher Transport Ausland in die Schweiz gemäss Angaben PVCH
Infrastruktur	metal working factory, RER [unit]	4.32E-08	übernommen aus ecoinvent v2.2
Verpackung, Schutzfolie auf Profil	polyethylene, LDPE, granulate, at plant, RER, [kg]	1.98E-01	Ergänzt, PE Folie 0.1mm, Rohdichte PE 920 kg/m ³ , inkl. 0.4% Verlust bei Extrusion
	extrusion, plastic film, RER, [kg]	1.98E-01	

Input	ecoinvent v2.2	PVC Rahmenprofil [m2]	Kommentar
Karton, Schutz Druckstellen	solid unbleached board, SUB, at plant, RER, [kg]	5.00E-02	Ergänzt

Die Modellierung der Entsorgung in Tabelle 7 berücksichtigt die Aufbereitung der Metalle in einer Sortieranlage. Für die Entsorgung von Metallen wurden keine weiteren Aufwände bilanziert da davon ausgegangen wird, dass diese ins Recycling gelangen. Für die Kunststoffe (Profil und Dämmung) wurde teilweise von einer Entsorgung in der KVA ausgegangen. Gemäss den Auskünften des Verbandes PVCH existieren Rücknahmesysteme für Rahmenprofile. Allerdings sind die jährlichen Rückbaumengen noch eher gering. PVC-Profile die in der Schweiz rückgebaut werden, werden in der Regel nach Deutschland exportiert und dort von Organisationen wie Rewindo recycelt. Im Jahr 2014 wurden rund 250 Tonnen Altprofile aufbereitet. Gemäss den Auskünften des Verbandes PVCH wurde angenommen, dass im Bezug auf das PVC in den Profilen 50% ins Recycling gelangen. Für diesen Anteil wurden keine weiteren Aufwände bilanziert (Cut-off). Die verbleibenden 50% werden in der KVA entsorgt.

Tabelle 7: Entsorgung PVC-Profile, Angaben pro m² Rahmenfläche

Input	ecoinvent v2.2	PVC Rahmenprofil [m2]	Kommentar
Aufbereitung Stahl in Sortieranlage	disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	2.23E+01	Stahl geht ins Recycling (Cut-off)
Entsorgung EPS in KVA	disposal, expanded polystyrene, 5% water, to municipal incineration, CH [kg]	2.11E-01	
Entsorgung PVC in KVA	disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal, CH [kg]	2.77E+01	50% des PVC gehen ins Recycling (Cut-off)

H.2.2 Fensterprofile aus Aluminium

Zur Bilanzierung der Fensterprofile wurden von der Schweizerischen Zentrale Fenster und Fassaden die Daten in Tabelle 8 bereitgestellt (vergleiche auch Tabelle 3). Diese Daten wurden mit den Angaben aus Tabelle 3 pro m² Rahmenfläche umgerechnet.

Tabelle 8: Materialisierung und Stromverbrauch Herstellung, Angaben SZFF

Profil und Materialien (Angaben bezogen auf das Profil, pro Stk.)	AWS 70 Hi	AWS 75 Si	Mittelwert
Aluminium Profile [kg]	24.2	24.8	24.5
Isoliersteg aus Polyamid GFK oder Polythermid [kg]	6.2	5.5	5.8
Aluminium-Guss [kg]	3.6	3.6	3.6
Dichtungen EPDM [kg]	4.0	4.1	4.1
Andere Kunststoffe [kg]	0.5	0.8	0.6
Strom Verarbeitung [kWh]	2.1	2.1	2.1

Tabelle 9 zeigt die Sachbilanz der Aluminium-Profile und deren Modellierung mit Datensätzen aus ecoinvent v2.2. Da sich die Angaben des Verbands auf die materielle Zusammensetzung der Profile und den Stromverbrauch bei der Herstellung beschränken, mussten mehrere Grössen abgeschätzt werden. Diese betreffen die Verarbeitungsverluste, die Beschichtung der Profile, den Verbrauch von Klebstoff, die Transporte zur Bereitstellung der Ausgangsstoffe, die Infrastruktur und die Verpackungsmaterialien. Zur Berechnung des Inputs von Aluminium pro m² Rahmenfläche wurde zusätzlich ein Verlust von 2% bei der Extrusion berücksichtigt (gemäss dem Datensatz für die Extrusion von Aluminiumprofilen in ecoinvent). Für die Inputs von Aluminium wurde bei den Aluminiumprofilen ein Recyclatanteil von 32% und beim Aluminium-Guss ein Recyclatanteil von 80% berücksichtigt. Für Beschichtung der Aluminiumprofile wurde in Analogie zum bereits bestehenden Datensatz für Aluminiumfenster („window frame, aluminium, U=1.6 W/m²K, at plant, RER, [m²]“) in ecoinvent von einer Pulverbeschichtung ausgegangen. Aus den Daten in ecoinvent wurde eine beschichtete Aluminiumfläche von 0.247m² pro Kilogramm Aluminium hergeleitet. Fehlende Daten zum Klebstoffverbrauch und zur Infrastruktur wurden ebenfalls mit den bereits vorhandenen Daten für Aluminiumfenster in ecoinvent ergänzt. Der Stromverbrauch wurde mit dem durchschnittlichen Schweizer Verbrauchermix berücksichtigt. Für die Transporte zur Bereitstellung der Ausgangsstoffe (Aluminium und Kunststoffe) wurden die ecoinvent Standard Distanzen (Frischknecht et al., 2007) angenommen. Es wurden die identische Verpackung wie bei den PVC-Profilen berücksichtigt (vergleiche Abschnitt H.2.1).

Tabelle 9: Herstellung Aluminium-Profile, Angaben pro m² Rahmenfläche

Input	ecoinvent v2.2	Alu-Rahmenprofil [m ²]	Kommentar
Aluminiumprofile	aluminium, production mix, at plant, RER, [kg]	3.03E+01	Inkl. 2% Verlust bei der Extrusion (Annahme gemäss ecoinvent)
	section bar extrusion, aluminium, RER, [kg]	3.03E+01	
	powder coating, aluminium sheet [m ²]	7.48E+00	Ergänzt, 0.247 m ² /kg gemäss Datensatz „window frame, aluminium, U=1.6 W/m ² K, at plant, RER, [m ²]“ ecoinvent

Input	ecoinvent v2.2	Alu-Rahmenprofil [m2]	Kommentar
Isoliersteg	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant, RER, [kg]	7.08E+00	
Aluminium-Guss	aluminium, production mix, cast alloy, at plant, RER, [kg]	4.40E+00	
Metallverarbeitung Aluminium-Guss	aluminium product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	4.40E+00	
EPDM	synthetic rubber, at plant, RER, [kg]	4.91E+00	
Andere Kunststoffe	acrylonitrile-butadienestyrene copolymer, ABS, at plant, RER, [kg]	7.73E-01	
Klebstoff	adhesive for metals, at plant, DE [kg]	2.90E-01	Ergänzt, gemäss Datensatz „window frame, aluminium, U=1.6 W/m2K, at plant, RER, [m2]“ ecoinvent
Strom	electricity, medium voltage, at grid, CH, [kWh]	2.55E+00	
Transport Aluminium	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	3.47E+00	ecoinvent Standard Distanzen
	transport, freight, rail, RER,	6.94E+00	
Transport Kunststoffe	transport, lorry >16t, fleet average, RER [tkm]	5.68E-01	
	transport, freight, rail, RER,	1.14E+00	
Infrastruktur	metal working factory, RER [unit]	2.32E-08	ergänzt, gemäss Datensatz „window frame, aluminium, U=1.6 W/m2K, at plant, RER, [m2]“ ecoinvent
Verpackung, Schutzfolie auf Profil	polyethylene, LDPE, granulate, at plant, RER, [kg]	1.98E-01	Ergänzt, gleich wie bei PVC-Profil
	extrusion, plastic film, RER, [kg]	1.98E-01	
Karton, Schutz Druckstellen	solid unbleached board, SUB, at plant, RER, [kg]	5.00E-02	

Tabelle 10 zeigt die Modellierung der Entsorgung. Hier wird beim Aluminium (Profile und Beschläge) nur die Aufbereitung in einer Sortieranlage berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass das Aluminium ins Recycling gelangt. Sämtliche anderen

Bestandteile des Fensters (Kunststoffe und Gummidichtungen) werden in der KVA entsorgt.

Tabelle 10: Entsorgung Aluminium-Profile, Angaben pro m² Rahmenfläche

Input	ecoinvent v2.2	Alu-Rahmenprofil [m ²]	Kommentar
Entsorgung Kunststoffe in KVA	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.51E+01	
Aufbereitung Aluminium in Sortieranlage	disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	3.41E+01	Aluminium geht ins Recycling (Cut-off)

H.3 Resultate

H.3.1 Fensterprofile aus PVC

Die Ökobilanzindikatoren sind in Tabelle 11 dargestellt. Abbildung 1 bis Abbildung 3 zeigen die Dominanzanalysen für die nicht erneuerbare Primärenergie, die Treibhausgasemissionen und die Umweltbelastungspunkte. Daraus ist ersichtlich dass die untersuchten Umwelteinwirkungen zu 50% bis fast 70% vom Kunststoff PVC verursacht werden.

Tabelle 11: Ökobilanzresultate PVC-Profile

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
PVC-Profile Herstellung – CH	m ²	4.07E+05	5.70E+03	5.47E+03	2.15E+02
PVC-Profile Entsorgung – CH	m ²	6.29E+04	3.43E+02	3.22E+02	6.13E+01

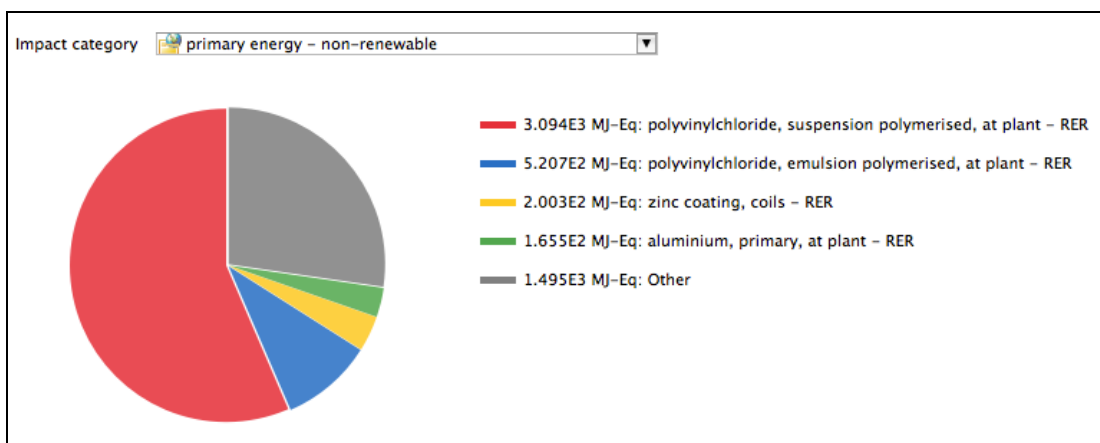


Abbildung 1: Dominanzanalyse Herstellung PVC Profile, Primärenergie nicht erneuerbar

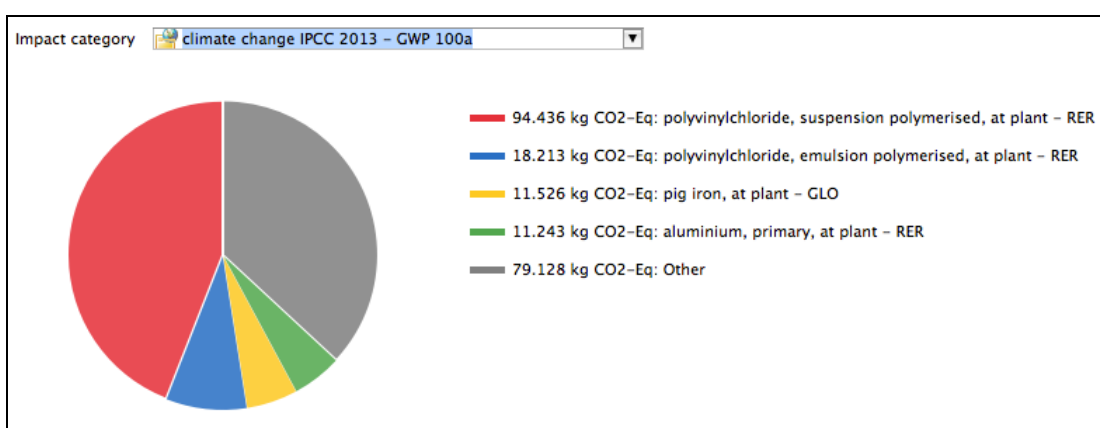


Abbildung 2: Dominanzanalyse Herstellung PVC Profile, Treibhausgasemissionen

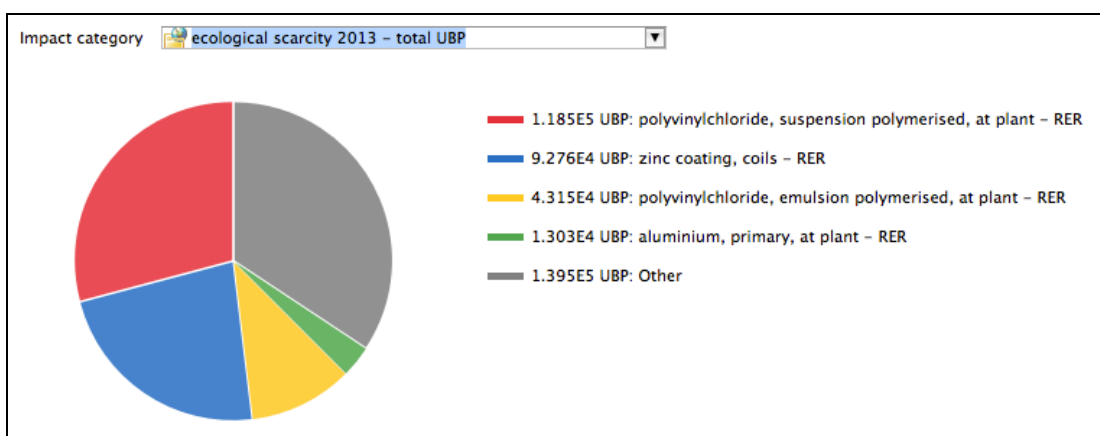


Abbildung 3: Dominanzanalyse Herstellung PVC-Profilen, Umweltbelastungspunkte

Im Vergleich zu den bestehenden Daten in der KBOB-Liste (KBOB, 2014) sind die Ergebnisse aus der vorliegenden Studie im Bezug auf alle Ökobilanzindikatoren der Herstellung etwas niedriger (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Vergleich mit den Daten aus der KBOB-Liste 2014

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
PVC-Profil Herstellung – CH	m ²	4.07E+05	5.70E+03	5.47E+03	2.15E+02
PVC-Profil Herstellung KBOB 2014	m ²	4.56E+05	5.79E+03	5.53E+03	2.44E+02

H.3.2 Fensterprofile aus Aluminium

Tabelle 13 zeigt die Ökobilanzresultate des untersuchten Aluminium-Profiles. Wie aus Abbildung 4 bis Abbildung 6 hervorgeht, werden die Ökobilanzindikatoren zu 50-60% von Primäraluminium beeinflusst. In der Bilanzierung wurde der durchschnittliche europäische Produktionsmix gemäss ecoinvent v2.2 mit einem Anteil an Sekundäraluminium von 32% für die Aluminiumprofile respektive ein Anteil von 80% Sekundäraluminium bei Aluminiumguss berücksichtigt.

Tabelle 13: Ökobilanzresultate Aluminium-Profile

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
Aluminium-Profil Herstellung – CH	m ²	4.71E+05	7.40E+03	6.52E+03	3.88E+02
Aluminium-Profil Entsorgung – CH	m ²	2.70E+04	1.36E+01	1.30E+01	3.54E+01

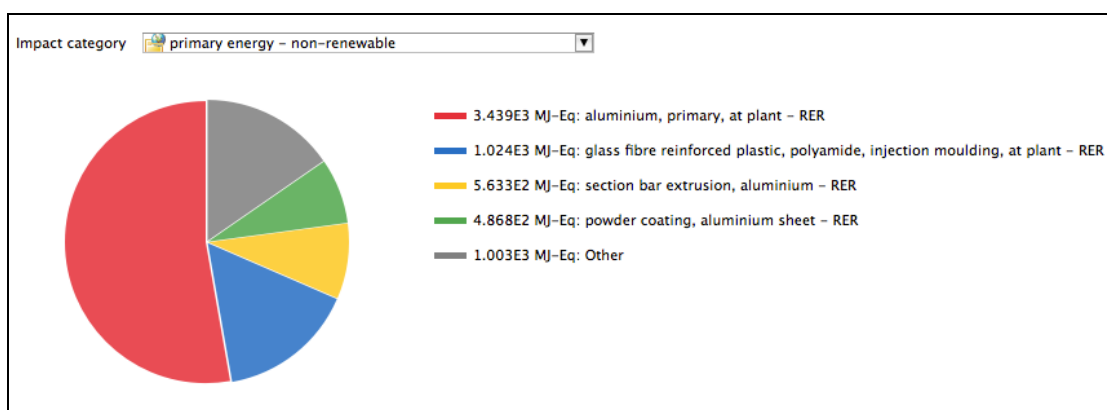


Abbildung 4: Dominanzanalyse Herstellung Aluminium-Profile, Primärenergie nicht erneuerbar

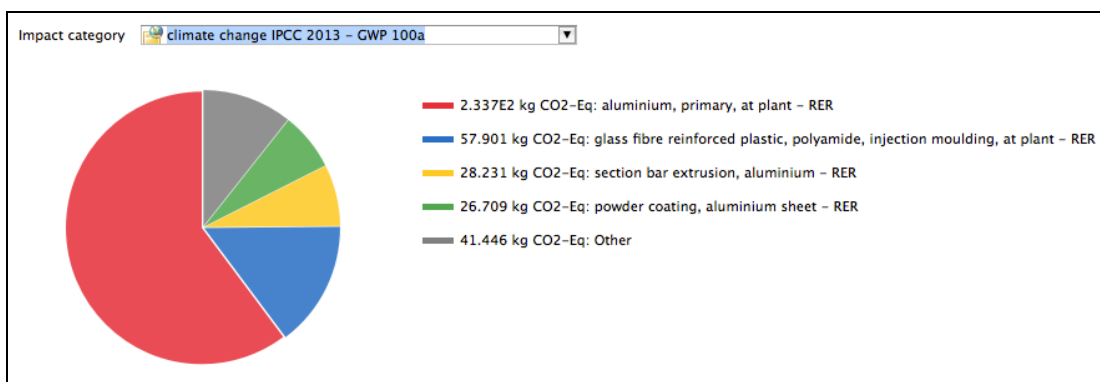


Abbildung 5: Dominanzanalyse Herstellung Aluminium-Profile, Treibhausgasemissionen

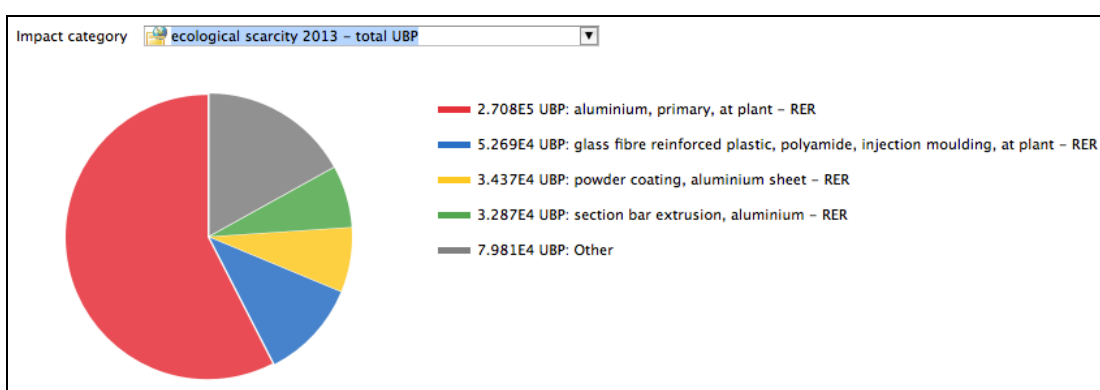


Abbildung 6: Dominanzanalyse Herstellung Aluminium-Profile, Umweltbelastungspunkte

Im Vergleich zu den bereits vorhandenen Daten für Aluminium-Profile in der KBOB-Liste (KBOB, 2014) sind die Ökobilanzindikatoren in der vorliegenden Studie 4-14% niedriger. Die grösste Differenz ergibt sich bei den Treibhausgasemissionen.

Tabelle 14: Vergleich mit den Daten aus der KBOB-Liste 2014

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
Aluminium-Profile Herstellung – CH	m ²	4.71E+05	7.40E+03	6.52E+03	3.88E+02
Aluminium-Profile Herstellung KBOB 2014	m ²	5.19E+05	8.02E+03	6.79E+03	4.50E+02

H.4 Literaturverzeichnis

R. Frischknecht, N. Jungbluth, H.-J. Althaus, G. Doka, R. Dones, T. Heck, ... G. Wernet (2007) *Overview and Methodology*. In ecoinvent report No. 1, v2.0. Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

KBOB (28. Juli 2014) *KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2014, Ökobilanzdaten im Baubereich*.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht, Januar 2016

Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich"

Projekt QualiBOB
Teilbericht I: Sonnenschutz

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Hochbauten Stadt Zürich
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Auftragnehmer:

Projektteam QualiBOB

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

Matthias Klingler, Büro für Umweltchemie, m.klingler@umweltchemie.ch
Daniel Savi, Büro für Umweltchemie, d.savi@umweltchemie.ch
Ueli Kasser, Büro für Umweltchemie, u.kasser@umweltchemie.ch (Projektleitung)

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG
Peter Gerber, BAFU, Fachbereich Ökobilanzen
Norbert Egli, Vertretung BAFU Sektion Konsum und Produkte, Tridee GmbH
Michael Pöll, AHB Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500996-01

BAFU-Vertrags- und Projektnummer: 10.0041.PJ / N043-0527, O022-2110

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

I	SONNENSCHUTZ	I-1
I.1	Untersuchungsrahmen	I-1
I.1.1	Untersuchte Systeme	I-1
I.1.1.1	Einleitung	I-1
I.1.1.2	Lamellenstoren	I-1
I.1.1.3	Ausstellstoren	I-2
I.1.1.4	Rollladen	I-3
I.1.2	Datenquellen	I-4
I.1.3	Funktionelle Einheit	I-4
I.1.4	Systemgrenzen	I-5
I.1.4.1	Herstellung	I-5
I.1.4.2	Entsorgung	I-6
I.1.5	Allokation	I-6
I.1.6	Abschneidekriterien	I-6
I.1.7	Zeitliche und geographische Gültigkeit	I-6
I.1.8	Datenqualität	I-7
I.2	Sachbilanzdaten	I-7
I.2.1	Lamellenstoren	I-7
I.2.2	Ausstellstoren	I-8
I.2.3	Rollladen	I-9
I.3	Resultate	I-11
I.4	Literaturverzeichnis	I-13

I Sonnenschutz

I.1 Untersuchungsrahmen

I.1.1 Untersuchte Systeme

I.1.1.1 Einleitung

Es wurden Lamellenstoren, Ausstellstoren (Austellmarkisen) und Rollläden bilanziert (siehe Tabelle 1). Die Systeme werden in den folgenden Abschnitten beschrieben. Die Daten wurden von der Firma Griesser bereitgestellt.

Tabelle 1: Sonnenschutzsysteme

Sonnenschutztyp	Produktname, Hersteller	Dimensionen	Materialisierung	Antrieb
Lamellenstoren	Lamisol 90, Griesser	Breite: 1.75m Höhe: 1.30 m	Aluminium, Stahl, Kunststoff	Motor
Ausstellstoren	Galleria, Griesser	Breite: 1.75m Höhe: 1.30 m	Acrylstoff, Aluminium, Stahl, Kunststoff, Blei	Motor
Rollläden	Alucolor 41, Griesser	Breite: 1.75m Höhe: 1.30 m	Aluminium, Stahl, Kunststoff	Motor

I.1.1.2 Lamellenstoren

Das Storensystem (siehe Abbildung 1) besteht aus:

- Lamellen aus einbrennlackiertem Aluminium, Kunststoffdichtungslippe, Führungsnippel
- Seitliche Führungsschienen aus Aluminium stranggepresst und farblos anodisiert
- Tragkanal aus verzinktem Stahlblech
- Die Lamellenstoren können mit einem 230 V/50 Hz Motor- oder Gelenkkurbelantrieb ausgestattet werden.

Lamisol ist für Breiten von 590 bis 4'500 mm, Höhen zwischen 400 und 4'300 mm und einer maximalen Fläche bis zu 10 m² einsetzbar.

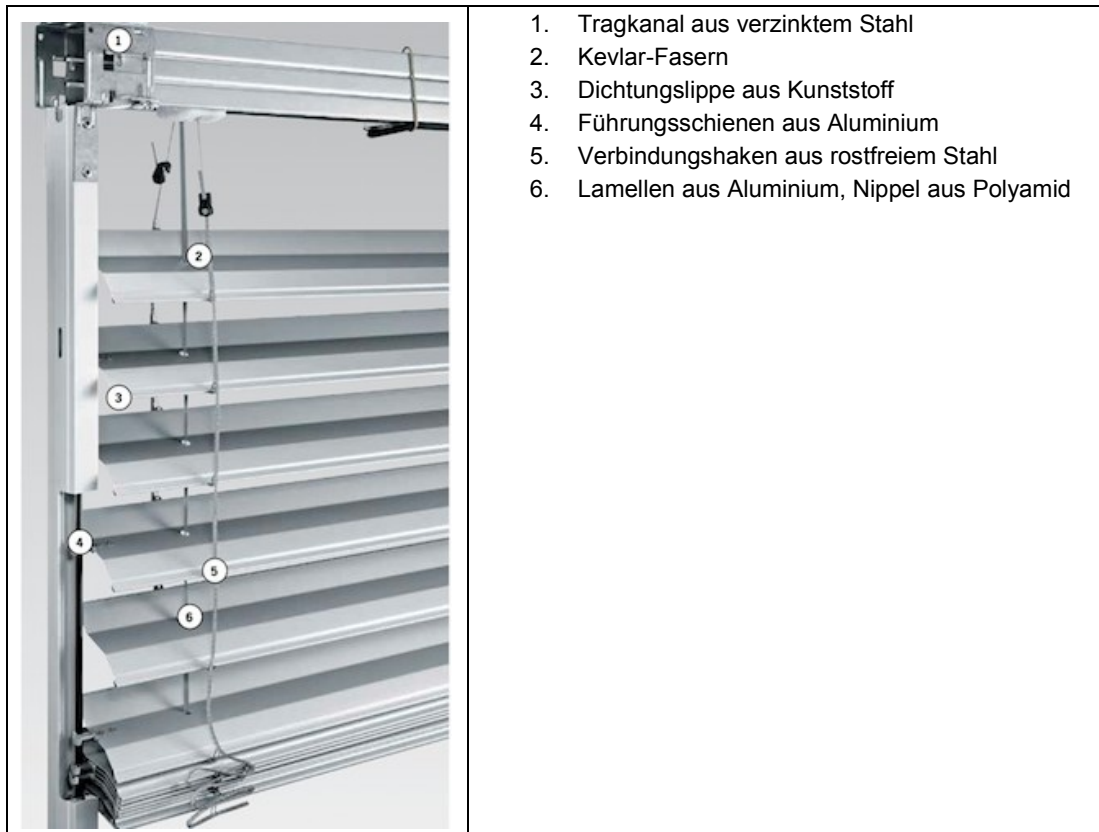


Abbildung 1: Lamellenstoren Lamisol von Griesser (griessergroup, 2015b)

I.1.1.3 Ausstellstoren

Der untersuchte Ausstellstoren (siehe Abbildung 2) setzt sich zusammen aus:

- Tuchwelle aus verzinktem Stahlrohr und Kedernut für die Befestigung des Stoffs
- Abdeckung aus stranggepresstem, farblos anodisiertem Aluminium
- Führungsschienen aus stranggepresstem, farblos anodisiertem Aluminium
- Ausstellarme 550 mm aus Druckguss (Aluminium)
- Fallrohr aus stranggepresstem, farblos anodisiertem Aluminium mit Beschwerung aus Blei
- Querrohr aus stranggepresstem, farblos anodisiertem Aluminium
- Kurbel oder Motor als Antrieb mit verschiedenen Steuerungsoptionen

Die Ausstellstore Galleria ist für Breiten von 400 bis 3'500 mm, Höhen zwischen 1'200 und 3'315 mm und einer maximalen Fläche bis zu 8 m² einsetzbar.

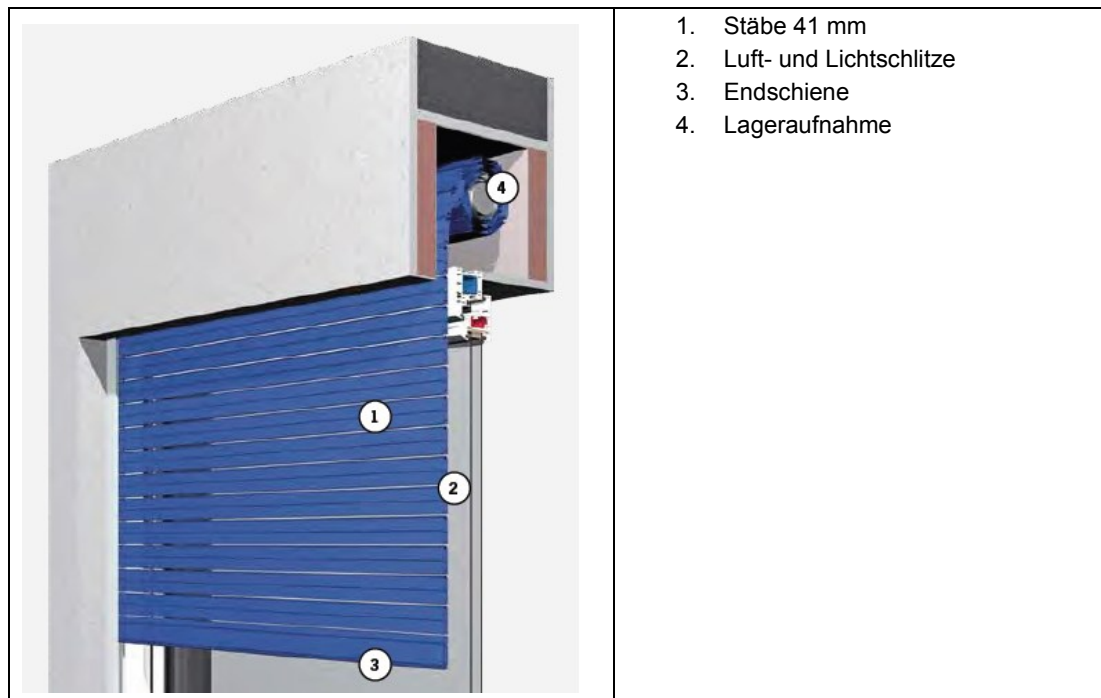


Abbildung 3: Rollläden Alucolor von Griesser (griessergroup, 2015c)

I.1.2 Datenquellen

Es wurden die Hersteller Schenker Storen und Griesser angefragt Daten für das Projekt bereitzustellen. Die Firma Griesser erklärte sich bereit Daten zu liefern.

Die Daten von Griesser wurden mit einem Formular erhoben. Allerdings war es dem Hersteller nur möglich Daten für die materielle Zusammensetzung der Systeme zu erheben. Für die Materialbilanzen und Verpackungen der Systeme wurden parametrisierte Excel-Dokumente erstellt, welche es erlauben den Materialverbrauch für Systeme mit unterschiedlichen Dimensionen zu berechnen. Andere Daten wie z.B. Angaben zum Verbrauch von Energie- und Hilfsstoffen oder zu Verarbeitungsabfällen und Emissionen konnten nicht erhoben werden.

I.1.3 Funktionelle Einheit

Die Sachbilanzen der Sonnenschutzsysteme wurden auf 1 m^2 (Fensterlichtmass) bezogen. Somit können die daraus resultierenden Ökobilanzdaten einfach in der Berechnung der Grauen Energie von Gebäuden angewendet werden.

Grundlage für die Ökobilanzen war in Analogie zu den Daten für Fensterprofile die Dimensionen des Standard-Fensters $1.30 \text{ m} \times 1.75 \text{ m}$ (siehe Tabelle 2). Storenkästen, Rollen, Lager und andere Vorrichtungen sind dabei berücksichtigt worden. Für alle untersuchten Systeme wurde als Antrieb ein Motor gewählt. Wie aus der Tabelle ersichtlich, hat der Ausstellstoren ein deutlich höheres Gesamtgewicht als der untersuchte Lamellenstoren. Dies ist auf die erforderliche Bleibeschwerung des Fallrohrs beim Ausstellstoren zurückzuführen.

Tabelle 2: Dimensionen als Grundlage für die Ökobilanz

Typ	Dimension [m x m]	Gesamtgewicht [kg]
Lamellenstoren	1.30 x 1.75	15.9
Ausstellstoren		21.5
Rollladen		19.9

I.1.4 Systemgrenzen

I.1.4.1 Herstellung

Abbildung 4 zeigt die bei der Modellierung angewendeten Systemgrenzen. Es handelt sich hierbei um eine „cradle-to-gate“-Bilanz. Berücksichtigt wurden die Herstellung der Ausgangsstoffe, die Transporte um diese bereitzustellen, die weitere Verarbeitung der Metalle und Kunststoffe zu Sonnenschutzsystemkomponenten, die Montage der Komponenten sowie die Verpackung der fertigen Produkte.

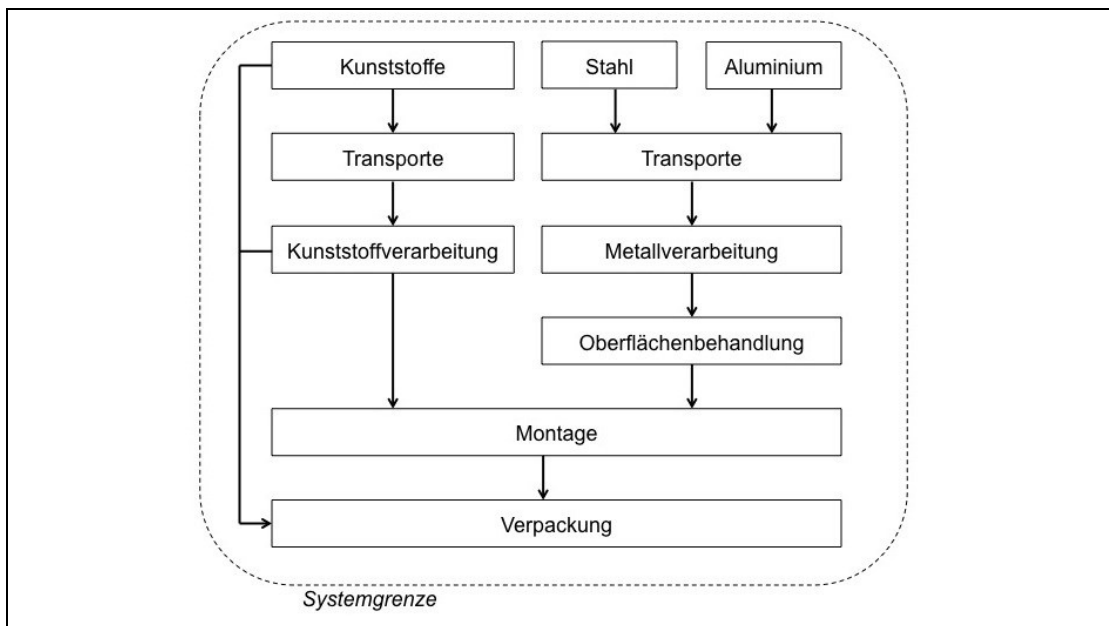


Abbildung 4: Systemgrenze Herstellung

Da beim Hersteller keine Daten zu den Verbräuchen an Energie und Hilfsstoffen sowie zu den Emissionen und Abfällen erhoben werden konnten, wurden diese mit Datensätzen für die Metallverarbeitung und Oberflächenbehandlung in ecoinvent modelliert. Die Verarbeitung der Ausgangsstoffe beinhaltet vor allem das Walzen und Formen von Blechen und Profilen, die Beschichtung oder Oberflächenbehandlung der Metallteile sowie die Montage. Die hierzu verwendeten Datensätze berücksichtigen Energieverbräuche, Infrastruktur, Verschnitt, Emissionen und Abfälle. Bei den generischen Datensätzen für die Verarbeitung von Aluminium und Stahl („steel product manufacturing, average metal working, RER, [kg]“ und „aluminium product manufacturing, average metal working, RER, [kg]“) werden in ecoinvent, zwecks Be-

rücksichtigung von Verschnitt, pro Kilogramm verarbeitetem Metall ein zusätzlicher Input von fast 230 g Stahl respektive Aluminium verbucht.

Für die zur Bereitstellung der Ausgangsstoffe notwendigen Transporte wurden die ecoinvent-Standarddistanzen eingesetzt (Frischknecht, R. et al., 2007).

I.1.4.2 Entsorgung

Für die Entsorgung am Ende des Lebenszyklus der Sonnenschutzsystem wurde davon ausgegangen, dass die Metalle nach der Trennung in einer Sortieranlage ins Recycling gehen (Cut-off) und die Kunststoffe in der KVA verbrannt werden. Die Motoren werden als elektronischer Abfall entsorgt und aufbereitet. Die Transporte in die Sortieranlage respektive in die KVA sind in den verwendeten ecoinvent-Datensätzen bereits berücksichtigt.

I.1.5 Allokation

Es wurden keine Allokationen vorgenommen.

I.1.6 Abschneidekriterien

Alle Daten vorhandenen Daten die erhoben wurden, wurden in den Bilanzen berücksichtigt. Es wurden also keine Daten absichtlich vernachlässigt. Allerdings wurden vom Hersteller nur Materialbilanzen zur Verfügung gestellt. Alle anderen Inputs in der Sachbilanz mussten mit generischen Datensätzen aus ecoinvent modelliert werden (siehe auch Abschnitt I.1.4.1).

I.1.7 Zeitliche und geographische Gültigkeit

Die Materialbilanzen der untersuchten Systeme beziehen sich auf Produkte die von der Firma Griesser gegenwärtig verkauft werden. Die Daten aus ecoinvent welche verwendet wurden um die Metallverarbeitung und Oberflächenbehandlung zu modellieren sind jedoch schon älteren Datums (siehe Tabelle 3). Es handelt sich hierbei um europäische Durchschnittsdaten.

Tabelle 3: ecoinvent Daten für Verarbeitungsprozesse

Prozess	ecoinvent-Datensatz	Referenzjahr
Blech walzen Aluminium	sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	2000 – 2002
Eloxieren Aluminium	anodising, aluminium sheet, RER, [m2]	1996 – 2003
Blech walzen Stahl	sheet rolling, steel, RER, [kg]	1997 – 2002
Stückverzinken	zinc coating, pieces, RER, [m2]	1996 – 2002
Durchschnittliche Verarbeitung Stahl	steel product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	2006 – 2007
Durchschnittliche Verarbeitung Aluminium	aluminium product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	2006 – 2007
Pulverbeschichtung	powder coating, aluminium sheet, RER, [m2]	1996 – 2003

I.1.8 Datenqualität

Da beim Hersteller nur Daten zur materiellen Zusammensetzung der Systeme erhoben werden konnten und sämtliche Verarbeitungsprozesse mit generischen Daten aus ecoinvent modelliert werden mussten, ist die Datenqualität als mittelmässig einzustufen. Die Stoff- und Energieverbräuche sowie die Emissionen welche durch die Verarbeitung der Ausgangsstoffe und die Montage verursacht werden, sind mit grösseren Unsicherheiten behaftet.

Für die Modellierung der Sachbilanzen wurden wo möglich regional spezifische Hintergrunddaten aus ecoinvent v2.2 verwendet. Die Ökobilanzdaten im Baubereich in der KBOB-Liste hingegen werden mit den aktuelleren Hintergrunddaten aus ecoinvent v2.2+ berechnet. Aus diesem Grund dürften die Daten welche in der KBOB-Liste veröffentlicht werden von den Ökobilanzresultaten im vorliegenden Bericht abweichen.

I.2 Sachbilanzdaten

I.2.1 Lamellenstoren

Tabelle 4 und Tabelle 5 zeigen die Sachbilanzen für die Herstellung und Entsorgung von Lamellenstoren pro m².

Tabelle 4: Sachbilanz Lamellenstoren Herstellung pro m²

ecoinvent v2.2-Datensatz	Menge	Kommentar
aluminium, production mix, at plant, RER, [kg]	3.434E+00	Aluminium Lamellen, Endschiene, Führung, Befestigungswinkel und Abdeckung
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	3.434E+00	Herstellung Aluminiumblech inkl. Infrastruktur
anodising, aluminium sheet, RER, [m2]	6.923E-01	Anodisieren Aluminium (27% des eingesetzten Aluminiums werden anodisiert), Annahme: Blechstärke Abdeckung 1 mm zur Umrechnung von kg in m ²
steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	2.311E+00	Tragkanal, Befestigung Motor, Montagebügel
sheet rolling, steel, RER, [kg]	2.311E+00	Herstellung Stahlblech inkl. Infrastruktur
zinc coating, pieces, RER, [m2]	9.058E-01	Alle Stahlteile werden verzinkt. Gemäss ecoinvent Datensatz beträgt die verzinkte Oberfläche 60m ² pro t Stahl im Durchschnitt. Annahme: Blechstärke 0.65mm zur Umrechnung von kg in m ² .
steel product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	2.311E+00	Verarbeitung für Stahl inkl. Infrastruktur, im Datensatz sind pro kg verarbeitetem Material ein Input von 227g Stahl enthalten (Verschnitt)
aluminium product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	3.434E+00	Verarbeitung für Aluminium inkl. Infrastruktur, im Datensatz sind pro kg verarbeitetem Aluminium ein Input von 227g Aluminium enthalten (Verschnitt)
polystyrene, high impact, HIPS, at plant, RER, [kg]	3.752E-01	Dichtungslippen, Kevlarfasern, Verpackungsmaterial

ecoinvent v2.2-Datensatz	Menge	Kommentar
injection moulding, RER, [kg]	3.752E-01	Verarbeitung Kunststoff inkl. Infrastruktur
powder coating, aluminium sheet, RER, [m2]	1.997E+00	Pulverbeschichtung Aluminium, Annahme: Blechstärke 0.65mm zur Umrechnung von kg in m ²
electric motor, electric vehicle, at plant, RER, [kg]	7.912E-01	Motor
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	4.590E-01	Transport Strasse für Ausgangsstoffe Aluminium, Stahl, Kunststoff gemäss ecoinvent Standarddistanzen
transport, freight, rail, RER, [tkm]	2.148E+00	Transport Bahn für Ausgangsstoffe Aluminium, Stahl, Kunststoff gemäss ecoinvent Standarddistanzen

Tabelle 5: Sachbilanz Lamellenstoren Entsorgung pro m²

ecoinvent v2.2-Datensatz	Menge	Kommentar
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	5.745E+00	Behandlung Metalle in der Sortieranlage, Annahme: Metalle gehen zu 100% ins Recycling
disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration, CH, [kg]	4.430E-01	Entsorgung Kunststoffe zu 100% in der KVA
shredding, electrical and electronic scrap, GLO	7.912E-01	Entsorgung Motor als elektronischer Abfall, Annahme: Metalle gehen zu 100% ins Recycling

I.2.2 Ausstellstoren

In Tabelle 6 und Tabelle 7 sind die Sachbilanzen für die Herstellung und Entsorgung der untersuchten Ausstellstoren ersichtlich.

Tabelle 6: Sachbilanz Herstellung Ausstellstoren pro m²

ecoinvent v2.2-Datensatz	Menge	Kommentar
aluminium, production mix, at plant, RER, [kg]	3.593E+00	Aluminium für Fallrohrprofil, Führungsprofil, Ausstellarm, Abdeckung
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	3.593E+00	Herstellung Aluminiumblech inkl. Infrastruktur
anodising, aluminium sheet, RER, [m2]	1.368E+00	Anodisieren Aluminium, Annahme: Durchschnittliche Blechstärke 1.5mm zur Umrechnung von kg in m ²
steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	1.999E+00	Stahl für Walze, Lager für Box, Führungsbüchse, Schrauben etc.
sheet rolling, steel, RER, [kg]	1.999E+00	Herstellung Metallblech inkl. Infrastruktur
zinc coating, pieces, RER, [m2]	7.836E-01	Gemäss ecoinvent Datensatz beträgt die verzinkte Oberfläche 60m ² pro t Stahl im Durchschnitt. Annahme: Blechstärke 0.65mm zur Umrechnung von kg in m ² .
lead, at regional storage, RER, [kg]	2.585E+00	Rundblei
steel product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	4.584E+00	Verarbeitung für Stahl inkl. Infrastruktur, im Datensatz sind pro kg verarbeitetem Stahl ein Input von 227g Stahl enthalten (Verschnitt)

ecoinvent v2.2-Datensatz	Menge	Kommentar
aluminium product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	3.593E+00	Verarbeitung für Aluminium inkl. Infrastruktur, im Datensatz sind pro kg verarbeitetem Aluminium ein Input von 227g Aluminium enthalten (Verschnitt)
polystyrene, high impact, HIPS, at plant, RER, [kg]	2.040E-01	Verschiedene Kunststoffteile (Führungsbüchse, Kapsel mit Stift, Laufrolle etc.) und Verpackung
injection moulding, RER, [kg]	2.040E-01	Verarbeitung Kunststoff inkl. Infrastruktur
powder coating, aluminium sheet, RER, [m ²]	9.387E-01	Annahme: Blechstärke 0.65mm zur Umrechnung von kg im m ²
butyl acrylate, at plant, RER, [kg]	3.000E-01	Kunststoff für Stoff Griesser Acryl
fleece production, polyethylene terephthalate, RER, [kg]	3.000E-01	Proxy für Stoffherstellung
electric motor, electric vehicle, at plant, RER, [kg]	7.648E-01	Motor
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	4.340E-01	Transport Strasse für Ausgangsstoffe Aluminium, Stahl, Kunststoff gemäss ecoinvent Standarddistanzen
transport, freight, rail, RER, [tkm]	3.570E+00	Transport Bahn für Ausgangsstoffe Aluminium, Stahl, Kunststoff gemäss ecoinvent Standarddistanzen

Tabelle 7: Sachbilanz Entsorgung Ausstellstoren pro m²

ecoinvent v2.2-Datensatz	Menge	Kommentar
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	8.177E+00	Behandlung Metalle in der Sortieranlage, Annahme: Alle Metalle gehen ins Recycling
disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration, CH, [kg]	5.950E-01	Entsorgung Kunststoffe in der KVA
shredding, electrical and electronic scrap, GLO, [kg]	7.648E-01	Entsorgung Motor als elektronischer Abfall, Annahme: Alle Metalle gehen ins Recycling

I.2.3 Rollladen

Tabelle 8 und Tabelle 9 zeigen die Sachbilanzen der Herstellung und Entsorgung von 1 m² Rollladen.

Tabelle 8: Sachbilanz Herstellung Rollladen pro m²

ecoinvent v2.2-Datensatz	Menge	Kommentar
aluminium, production mix, at plant, RER, [kg]	5.015E+00	Aluminium für Stäbe, Endschiende, Führung, Abdeckung etc.
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	5.015E+00	Herstellung Aluminiumblech inkl. Infrastruktur
anodising, aluminium sheet, RER, [m ²]	1.050E+00	Anodisieren Abdeckung, Annahme: Blechstärke 1.5mm zur Umrechnung von kg in m ²
steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	2.761E+00	Stahl für Walze, Befestigungsmaterial, Stabbeschwerung etc.

ecoinvent v2.2-Datensatz	Menge	Kommentar
sheet rolling, steel, RER, [kg]	2.761E+00	Herstellung Stahlblech inkl. Infrastruktur
zinc coating, pieces, RER, [m2]	1.082E+00	Gemäss ecoinvent Datensatz beträgt die verzinkte Oberfläche 60m ² pro t Stahl im Durchschnitt. Annahme: Blechstärke 0.65mm zur Umrechnung von kg in m ² .
steel product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	2.761E+00	Verarbeitung für Stahl, im Datensatz sind pro kg verarbeitetem Stahl ein Input von 227g Stahl enthalten (Verschnitt)
aluminium product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	5.015E+00	Verarbeitung für Aluminium inkl. Infrastruktur, im Datensatz sind pro kg verarbeitetem Aluminium ein Input von 227g Aluminium enthalten (Verschnitt)
polystyrene, high impact, HIPS, at plant, RER, [kg]	1.234E-01	Kunststoff für Gleiteinsätze, Walzenstift, Keder und Verpackungsmaterial
injection moulding, RER, [kg]	1.234E-01	Verarbeitung Kunststoff inkl. Infrastruktur
powder coating, aluminium sheet, RER, [m2]	1.850E+00	Annahme: Durchschnittliche Blechstärke 0.65mm zur Umrechnung von kg in m ²
electric motor, electric vehicle, at plant, RER, [kg]	7.912E-01	Motor
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	3.950E-01	Transport Strasse für Ausgangsstoffe Aluminium, Stahl, Kunststoff gemäss ecoinvent Standarddistanzen
transport, freight, rail, RER, [tkm]	2.684E+00	Transport Bahn für Ausgangsstoffe Aluminium, Stahl, Kunststoff gemäss ecoinvent Standarddistanzen

Tabelle 9: Sachbilanz Entsorgung Rollladen pro m²

ecoinvent v2.2-Datensatz	Menge	Kommentar
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH	7.776E+00	Behandlung Metalle in der Sortieranlage, Annahme: Alle Metalle gehen ins Recycling
disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.456E-01	Entsorgung Kunststoffe in der KVA
shredding, electrical and electronic scrap, GLO, [kg]	7.912E-01	Entsorgung Motor als elektronischer Abfall, Annahme: Alle Metalle gehen ins Recycling

I.3 Resultate

In Tabelle 10 und Tabelle 11 sind die Ökobilanzresultate der untersuchten Systeme aufgeführt.

Tabelle 10: Ökobilanzdaten Herstellung pro m²

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Lamellenstoren Herstellung – CH	m ²	120'817	1'223	1'090	64
Ausstellstoren Herstellung – CH	m ²	150'334	1'373	1'228	70
Rollladen Herstellung – CH	m ²	154'250	1'583	1'397	84

Tabelle 11: Ökobilanzdaten Entsorgung pro m²

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Lamellenstoren Entsorgung – CH	m ²	881	1.51	1.42	1.09
Ausstellstoren Entsorgung – CH	m ²	1'160	1.80	1.70	1.45
Rollladen Entsorgung – CH	m ²	361	1.47	1.38	0.40

Eine Dominanzanalyse der Herstellung (siehe Abbildung 5 bis Abbildung 7) zeigt, dass die Umweltbelastungspunkte der Sonnenschutzsysteme massgeblich von den Verarbeitungsprozessen (Verzinkung, allgemeine Verarbeitung von Aluminium, allgemeine Verarbeitung von Stahl) beeinflusst werden. Da die Verarbeitung in der vorliegenden Ökobilanz nur mit generischen ecoinvent-Datensätzen berücksichtigt werden konnte, ergibt sich hinsichtlich der Resultate eine grössere Unsicherheit. Die Ergebnisse sind demzufolge mit Vorsicht zu bewerten.

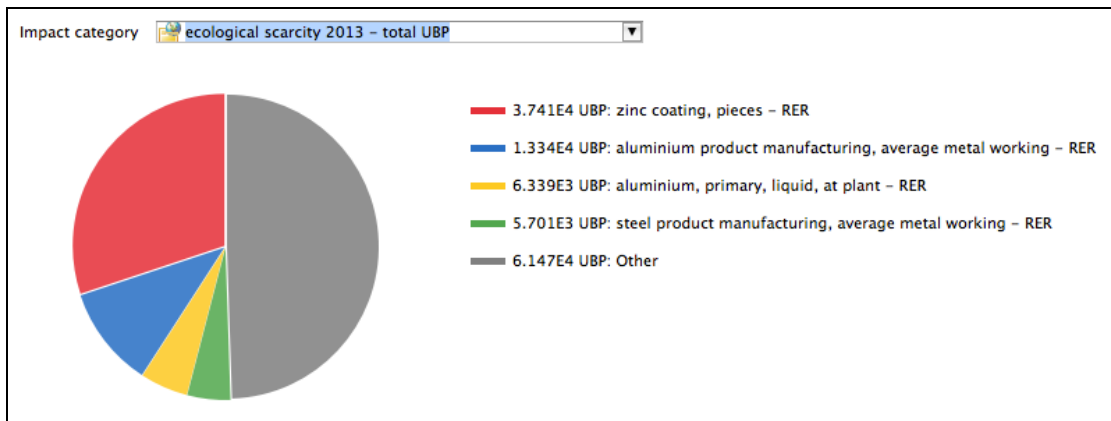


Abbildung 5: Dominanzanalyse Herstellung Lamellenstoren

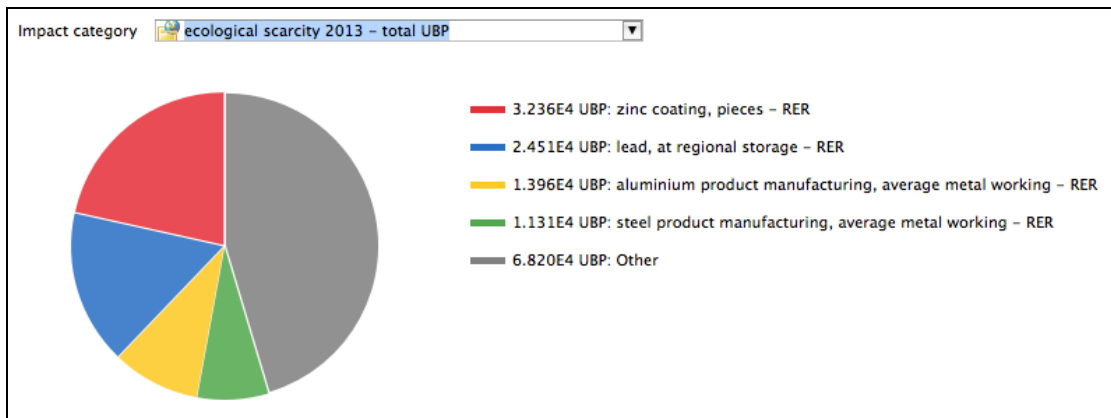


Abbildung 6: Dominanzanalyse Herstellung Ausstellstoren

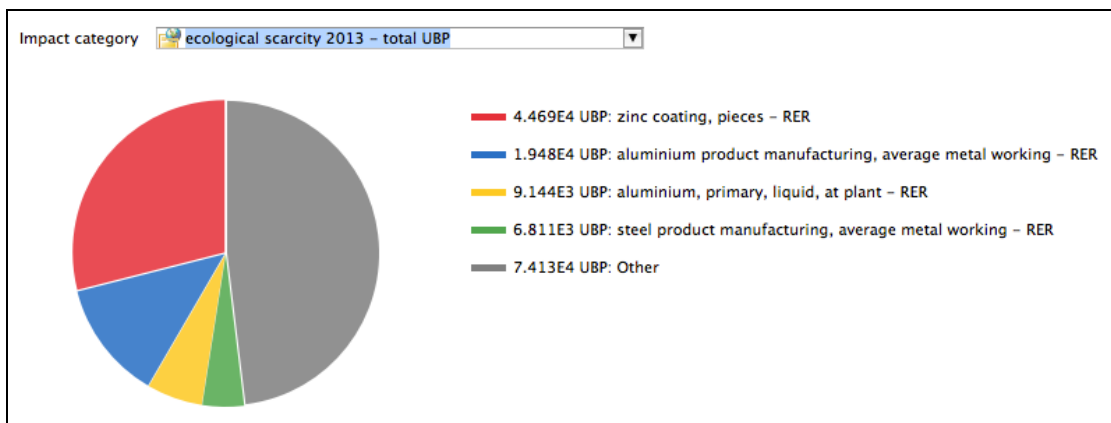


Abbildung 7: Dominanzanalyse Herstellung Rollladen

I.4 Literaturverzeichnis

Frischknecht, R. & Jungluth, N. (2007). Overview and Methodology, ecoinvent report No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

griessergroup. (2015a). Fassadenmarkiesen von Griesser, Galleria. Retrieved from <http://www.griesser.ch/downloads/487/de/pdf>

griessergroup. (2015b). Lamellenstoren von Griesser, Lamisol III. Retrieved from <http://www.griesser.ch/downloads/522/de/pdf>

griessergroup. (2015c). Rolladen von Griesser, Alucolor. Retrieved from <http://www.griesser.ch/downloads/526/de/pdf>



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht, Januar 2016

Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich"

Projekt QualiBOB
Teilbericht J: Fassadenbekleidungen

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Hochbauten Stadt Zürich
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Auftragnehmer:

Projektteam QualiBOB

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

Ueli Kasser, Büro für Umweltchemie, u.kasser@umweltchemie.ch (Projektleitung)
Matthias Klingler, Büro für Umweltchemie, m.klingler@umweltchemie.ch
Daniel Savi, Büro für Umweltchemie, d.savi@umweltchemie.ch

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG
Peter Gerber, BAFU, Fachbereich Ökobilanzen
Norbert Egli, Vertretung BAFU Sektion Konsum und Produkte, Tridee GmbH
Michael Pöll, AHB Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500996-01

BAFU-Vertrags- und Projektnummer: 10.0041.PJ / N043-0527, O022-2110

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

FASSADENBEKLEIDUNGEN.....	J-1
J.1 Untersuchungsrahmen.....	J-1
J.1.1 Bilanzierte Produkte	J-1
J.1.1.1 Übersicht	J-1
J.1.1.2 Alu-Verbundplatten.....	J-2
J.1.1.3 GFK-Platten.....	J-2
J.1.1.4 HPL-Platten	J-2
J.1.2 Funktionelle Einheit	J-2
J.1.3 Systemgrenzen Aluminium-Verbundplatten	J-3
J.1.3.1 Herstellung & Verpackung.....	J-3
J.1.3.2 Regionallager Schweiz	J-4
J.1.3.3 Entsorgung.....	J-5
J.1.4 Systemgrenzen GFK-Platten	J-5
J.1.4.1 Herstellung & Verpackung.....	J-5
J.1.4.2 Regionallager Schweiz	J-6
J.1.4.3 Entsorgung.....	J-6
J.1.5 Systemgrenzen HPL-Platten	J-7
J.1.5.1 Herstellung & Verpackung.....	J-7
J.1.5.2 Regionallager Schweiz	J-8
J.1.5.3 Entsorgung.....	J-8
J.1.6 Allokation	J-9
J.1.7 Marktsituation Schweiz	J-9
J.1.8 Abschneidekriterien	J-9
J.1.9 Zeitliche und geografische Gültigkeit Aluminium Verbundplatten	J-9
J.1.10 Zeitliche und geografische Gültigkeit GFK-Platten	J-10
J.1.11 Zeitliche und geografische Gültigkeit HPL-Platten.....	J-10
J.1.12 Datenquellen und Datenqualität Aluminium-Verbundplatten	J-12
J.1.13 Datenquellen und Datenqualität GFK-Platten.....	J-12
J.1.14 Datenquellen und Datenqualität HPL-Platten	J-12
J.2 Sachbilanzdaten Aluminium-Verbundplatten	J-12
J.3 Sachbilanzdaten GFK-Platten	J-18
J.4 Sachbilanzdaten HPL-Platten	J-20
J.5 Resultate Aluminium-Verbundplatten.....	J-25
J.6 Resultate GFK-Platten	J-25
J.7 Resultate HPL-Platten.....	J-26
J.8 Diskussion.....	J-26
J.8.1 Vergleich der Ökobilanzergebnisse der Fassadenplatten	J-26
J.8.2 Einfluss der Mittelwertbildung.....	J-27
J.8.3 Bestehende Bilanz für GFK-Platten in ecoinvent 2.2.....	J-29
J.9 Literaturverzeichnis	J-30

J Fassadenbekleidungen

J.1 Untersuchungsrahmen

J.1.1 Bilanzierte Produkte

J.1.1.1 Übersicht

Die Bilanzierung erstreckt sich über Aluminium-Verbundplatten (Alu-Verbundplatten), glasfaserverstärkte Kunststoff-Platten (GFK-Platten) und Hochdrucklaminat-Fassadenplatten (HPL-Platten). Alle drei Produktarten werden als Verkleidungen für hinterlüftete Fassaden eingesetzt und sind bisher in der KBOB-Liste nicht aufgeführt. Nur ein Hersteller von GFK-Platten war bereit, Produktionsdaten beizusteuern. Die Ökobilanzen von HPL-Platten und Alu-Verbundplatten wurden aufgrund verfügbarer Angaben aus Umweltproduktdeklarationen sowie technischen Datenblättern und öffentlich verfügbaren Prozessbeschrieben erstellt. In der Tabelle 1 sind die für die Bilanzierung verwendeten Produkte mit Angabe der Datengrundlagen aufgeführt.

Tabelle 1: Bilanzierte Produkte mit Datengrundlagen

Produkt	Hersteller	Herstellungsort	Verfügbare Daten
Alu-Verbundplatten			
Alu-Verbundplatte	GDA - Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V.	Deutschland und Frankreich	Umweltproduktdeklaration
Alucobond	3A composites	Singen, DE	Technische Datenblätter Umweltproduktdeklaration
Reynobond	alcoa	Merxheim, FR	Technische Datenblätter Umweltproduktdeklaration
laron PE	Alucoil	Miranda de Ebro, ES	Technische Datenblätter
Alu-Verbundplatten flammgeschützt			
Alucobond A2	3A composites	Singen, DE	Technische Datenblätter
Reynobond FR	alcoa	Merxheim, FR	Technische Datenblätter
laron FR	Alucoil	Miranda de Ebro, ES	Technische Datenblätter
GFK-Platten ungesättigte Polyester			
Scobaglas	Supramat-Swiss GmbH	Izmir, TR	Herstellerdaten
Scobalight	Supramat-Swiss GmbH	Izmir, TR	Herstellerdaten
HPL-Fassadenplatten			
Meteon	Trespa	Weert, NL	Umweltproduktdeklaration
Meteon FR	Trespa	Weert, NL	Umweltproduktdeklaration
Compact	FunderMax	St. Veit, AT	Umweltproduktdeklaration

Für die drei Produktarten Alu-Verbundplatten, HPL-Platten und GFK-Platten wurde je ein Datensatz für eine durchschnittliche Platte im Regionallager Schweiz aus den Produktvarianten hergeleitet.

J.1.1.2 Alu-Verbundplatten

Alu-Verbundplatten sind als Sandwich-Konstruktion aufgebaut mit Deckschichten aus Alublechen und einem Kunststoffkern, der mineralisch gefüllt sein kann. Ein Deckblech ist 0.5 mm dick, dazu kommt der Kern, der je nach Stärke des Endprodukts 2-5 mm dick sein kann.

J.1.1.3 GFK-Platten

Glasfaserverstärkte Kunststoffplatten bestehen aus Glasfaservliesen, die mit ungesättigten Polyester-Harzen (UP-Harzen) getränkt werden. Nach Aushärtung des UP-Harzes entstehen halbtransparente und schlagfeste Fassadenplatten wahlweise profiliert als Wellplatten oder flach. Die Platten können eingefärbt werden. Die flachen Platten (Handelsname scobaglas) werden in Dicken von 1.5 bis 9.5 mm angeboten. Die Wellplatten in Profilhöhen von 18 bis 57 mm.

J.1.1.4 HPL-Platten

Als HPL-Fassadenplatten werden witterungsbeständige Lamine bezeichnet, die sich für den Einsatz als Fassadenbekleidungen eignen. HPL steht für „high pressure laminates“, zu deutsch „Hochdruck-Lamine“. Die Platten bestehen im Kern aus mehreren Schichten Kraftpapier oder Holzschnitzeln, die mit einem Formaldehyd-Kondensationsharz getränkt werden. Auf den Kern wird beidseitig ein Dekorpapier aufgebracht, das beliebig gefärbt oder bedruckt sein kann. Das Dekorpapier wird ebenfalls mit Formaldehydharz auf den Kern geklebt. Auf dem Dekorpapier wird eine transparente Versiegelung aus Acrylat-Urethanharz aufgebracht. Derzeit sind für die Fassade geeignete Produkte der drei Hersteller Trespa, FunderMax und Resopal auf dem Schweizer Markt vertreten.

J.1.2 Funktionelle Einheit

Bilanziert wird ein Quadratmeter Fassadenbekleidung, geliefert ab Werk. Für alle Baustoffe wird die Verarbeitung nicht berücksichtigt. Somit ist kein Verschnittanteil aus der Montage auf der Baustelle in den Datensätzen enthalten. Für die Ökobilanzierung wird mit einer mittleren Plattendicke oder einem mittleren Flächengewicht aufgrund der vorhandenen Produktionsdaten der Hersteller, respektive einer Expertenannahme gerechnet. Bei den profilierten Platte bezieht sich die funktionelle Einheit auf die projizierte Fläche. Die folgende Tabelle 2 gibt die Kennzahlen wieder, welche in die Berechnung eingeflossen sind.

Tabelle 2: Funktionelle Einheit und Kennzahlen Für mittlere Platten im Regionallager Schweiz

Plattentyp	Alu-Verbundplatten	GFK-Platten	HPL-Platten
Funktionelle Einheit	1 m ² Platte	1 m ² Platte	1 m ² Platte
Flächengewicht [kg/m ²]	7.1	2.41	11.6
Mittlere Stärke [mm]	4	1.6	8.1
Rohdichte [kg/m ³]	1'776	1'500	1'425

J.1.3 Systemgrenzen Aluminium-Verbundplatten

J.1.3.1 Herstellung & Verpackung

Im Falle der Alu-Verbundplatten wurden getrennte Ökobilanzen für die Herstellung von Verbundplatten mit Polyethylen-Kern sowie flammhemmender Verbundplatten mit einem mineralisch gefüllten Kunststoffkern berechnet. Die Bilanzierung der Herstellung und Verpackung umfasst für beide Plattentypen die Bereitstellung der Ausgangsstoffe inklusive Abbau der Rohstoffe, sowie die Produktion der Alu-Verbundplatten bis zur Bereitstellung der fertigen Platten ab Fabrikator. Vergleiche dazu auch Abbildung 1.

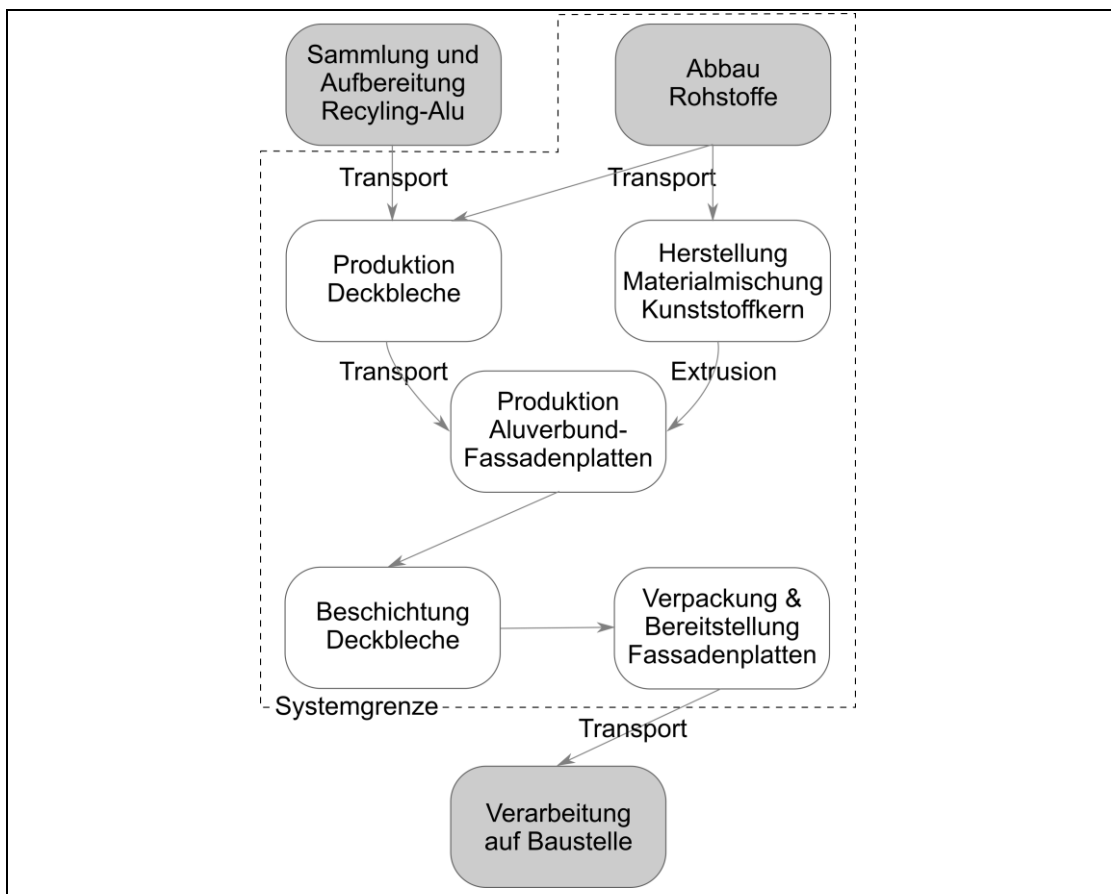


Abbildung 1: Schema des Herstellungsprozesses für Alu-Verbundplatten mit Systemgrenze

Bauxit und Recycling-Aluminium sind die Rohstoffe für die Aluminiumherstellung. Aus dem Bauxit wird Aluminiumhydroxid durch Zugabe von Natronlauge gelöst. Nach Ausfällung des Hydroxides aus der Lösung wird das Aluminiumhydroxid bei einer Temperatur von rund 1000 °C zu Aluminiumoxid kalziniert. Das Aluminiumoxid wird dann durch Elektrolyse zu flüssigem Rohaluminium veredelt. Dem flüssigen Rohaluminium können Recycling-Aluminium und Legierungsmetalle beigefügt werden. Möglich ist auch eine Produktion von Rohbarren, die dann für die Legierung erneut aufgeschmolzen werden. Das Produkt dieses Schrittes sind Aluminiumbarren in der gewünschten Qualität für die Weiterverarbeitung. Für die Blechproduktion werden die legierten Aluminiumbarren in einem mehrstufigen Prozess gewalzt, bis Bleche der gewünschten Dicke erhalten werden. Für Walzaluminium ist eine höhere Rohstoffqualität nötig als für Gussaluminium. Entsprechend beträgt der Anteil Recyclingaluminium für Walzaluminium weltweit im Mittel rund 10 %. (Classen et al., 2009)

Die Aluminiumbleche werden mit einem Schutzlack auf Polyvinylidenfluorid-Basis (PVDF) oder Fluorethylen-Alkylvinylether-Copolymer-Basis (FEVE) beschichtet. Zur Vorbereitung der Lackierung wird eine Grundierung aufgebracht, die Chromat- oder Chrom III-haltig sein kann. (GDA - Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V., 2013).

Zur Herstellung des Kerns wird der mineralische Füllstoff und der vermutlich entweder flüssige oder granuliert thermoplastische Kunststoff zu einer gut durchmischten Masse vermischt. Aus dieser wird dann durch Extrusion der Kern in der gewünschten Dicke hergestellt. Die Deckbleche werden vermutlich auf den noch weichen Kern aufgebracht, um eine stabile Verbindung zwischen Blechen und Kern zu erreichen. Zu den Einzelheiten der Produktion des Kerns und der Verbundplatten sind leider keine Quellen vorhanden, weshalb für die Bilanzierung diese Annahmen getroffen werden mussten.

Die Verbundplatten werden mit einer PE-Schutzfolie auf der sichtbaren Seite versehen (Alcoa, n. d.-b). Zur Transportverpackung sind keine Angaben vorhanden. Es wurden dieselben Annahmen verwendet wie für die HPL-Platten, die weiter unten beschrieben werden.

J.1.3.2 Regionallager Schweiz

Die Herstellungsbilanzen für Platten mit mineralisch gefülltem und reinem Polyethylen-Kern werden in einem Datensatz für das Regionallager Schweiz zu einer mittleren Platte kombiniert. Die Anteile der Platten mit mineralisch gefülltem und reinem Polyethylen-Kern wurden aus der Angabe des Durchschnittsgewichts in der Umweltproduktdeklaration des Verbandes und den Gewichten der Produkte aus Deutschland und Frankreich berechnet (siehe Tabelle 3).

Für die drei Hersteller aus Deutschland, Frankreich und Spanien mussten Marktanteile angenommen werden. Die Marktanteile der Produzenten in Deutschland und Frankreich wurden auf je 45 % und des Produzenten in Spanien auf 10 % geschätzt.

Tabelle 3: Berechnung des Marktanteils für flammgeschützte Alu-Verbundplatten

Plattentyp	Alu-Verbundplatten EPD GDA	Alu-Verbundplatten (nur Produktion DE & FR)	Alu-Verbundplatten flammgeschützt (nur DE & FR)
Funktionelle Einheit	1 m ² Platte	1 m ² Platte	1 m ² Platte
Flächengewicht [kg/m ²]	7.04	5.5	7.55
Mittlere Dicke [mm]	4	4	4
Rohdichte [kg/m ³]	1760	1'375	1'900
Marktanteil	-	25 %	75 %

J.1.3.3 Entsorgung

Die Entsorgung wird mit den Standarddistanzen von ecoinvent 2.2 für Transporte modelliert (Frischknecht et al., 2007). Metalle erhalten keine Lasten für die Entsorgung, gemäss den Methodenvorgaben der KBOB-Liste (Frischknecht, 2013). Somit erhalten die Aluschichten keine Lasten. Für den Kern wird die Entsorgung in einer KVA angenommen, inklusive der Standarddistanz gemäss ecoinvent. Der Aufwand für die Trennung von Kern und Deckschichten kann leider nicht abgeschätzt werden, da keine Angaben zu einem nutzbaren Verfahren vorliegen.

J.1.4 Systemgrenzen GFK-Platten

J.1.4.1 Herstellung & Verpackung

Die Vorprodukte der Herstellung von GFK-Platten sind Glasfaservliese, Polyesterfolien und UP-Harze (siehe Abbildung 2).

In der Herstellung von GFK-Platten werden die Glasfasern auf einer Polyesterfolie vorgelegt, die über ein Förderband kontinuierlich bereitgestellt wird. Im nächsten Prozessschritt werden die Glasfasern mit dem UP-Harz getränkt. Noch während der Aushärtung werden die Wellplatten in die gewünschte Profilform gepresst. Nach der Aushärtung werden die Platten abgelängt und die Kanten nachbearbeitet. Sowohl die Wellplatten als auch die flachen Platten werden im gleichen Werk hergestellt. Aufgrund der Herstellerangaben zu den Produktionsmengen beider Plattentypen werden die Produktionsdaten auf einen Quadratmeter Produktionsmix umgelegt und eine Ökobilanz für einen Quadratmeter Durchschnittsplatte erstellt.

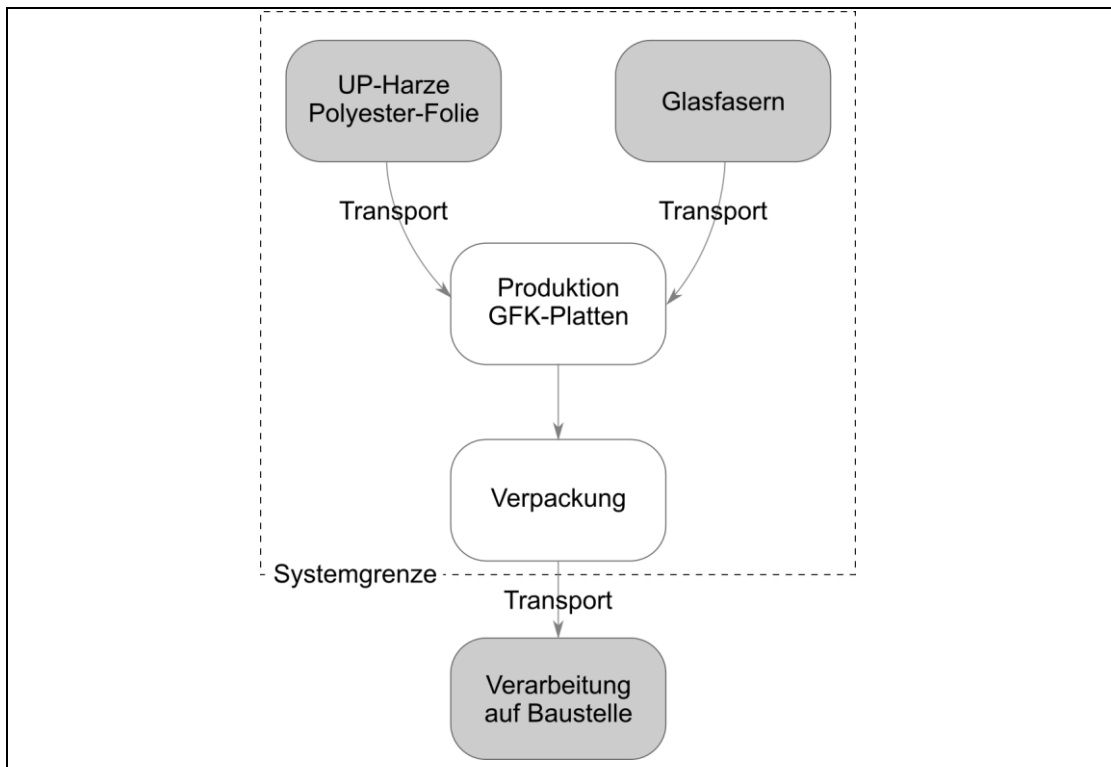


Abbildung 2: Schema des Herstellungsprozesses für GFK-Platten mit Systemgrenze

J.1.4.2 Regionallager Schweiz

Die Produktion der Platten erfolgt in der Türkei, von wo sie per LKW ins Vertriebslager des Herstellers in der Schweiz transportiert werden. Aus Angaben des Herstellers ist bekannt, dass weitere GFK-Platten als Direktimporte in der Schweiz verwendet werden. Zu den Marktanteilen der Mitbewerber sind allerdings keine Angaben verfügbar. Der Marktanteil des Herstellers Supramat Swiss wird auf 50 % geschätzt. Die Platten der Mitbewerber werden mit der Supramat Swiss-Bilanz und einem Zuschlag von 10 % auf die Ökobilanzergebnisse berücksichtigt, wie dies die Regeln für Datensätze der KBOB-Empfehlung für Ökobilanzdaten im Baubereich vorsehen (Frischknecht, 2013).

J.1.4.3 Entsorgung

Die GFK-Platten werden in einer KVA entsorgt. Als duroplastische Kunststoffe im Verbund mit Glas wäre ein Recycling nur mit unverhältnismässigem Aufwand möglich. Bis heute sind für solche Werkstoffe keine praxistauglichen Lösungen verfügbar. Die Entsorgung wird gemäss den Glas- und Kunststoffanteilen im Produkt modelliert. Der Transport in die KVA wurde mit der Standard-Transportdistanz gemäss ecoinvent-Methodik berücksichtigt (Frischknecht et al., 2007).

J.1.5 Systemgrenzen HPL-Platten

J.1.5.1 Herstellung & Verpackung

Die Bilanzierung der Herstellung und Verpackung von HPL-Platten umfasst die Bereitstellung der Ausgangsstoffe inklusive Abbau der Rohstoffe, sowie die Produktion der HPL-Platten bis zur Bereitstellung der fertigen Platten ab Fabrikator. Vergleiche dazu auch Abbildung 3

Für den Kern der HPL-Platten können Kraftpapiere oder Holzschnitzel verwendet werden. Das Kraftpapier oder die Holzschnitzel werden mit einer Mischung aus Phenol-Formaldehydharzen und Melamin-Formaldehydharzen getränkt. Mindestens ein Hersteller ersetzt bis zu 60% des Phenol-Formaldehydharzes mit einem nicht näher spezifizierten Produkt aus der Bisphenol-A-Produktion (Trespa International B.V., 2012b). Zu diesem Vorprodukt liegen keine Ökobilanzdaten vor, weshalb es nicht berücksichtigt werden konnte. Auf den Kern wird beidseitig ein Dekorpapier aufgebracht, das fast beliebig gefärbt oder bedruckt sein kann. Das Dekorpapier wird mit einem eingefärbten Lack auf Acrylat-Urethanbasis beschichtet.

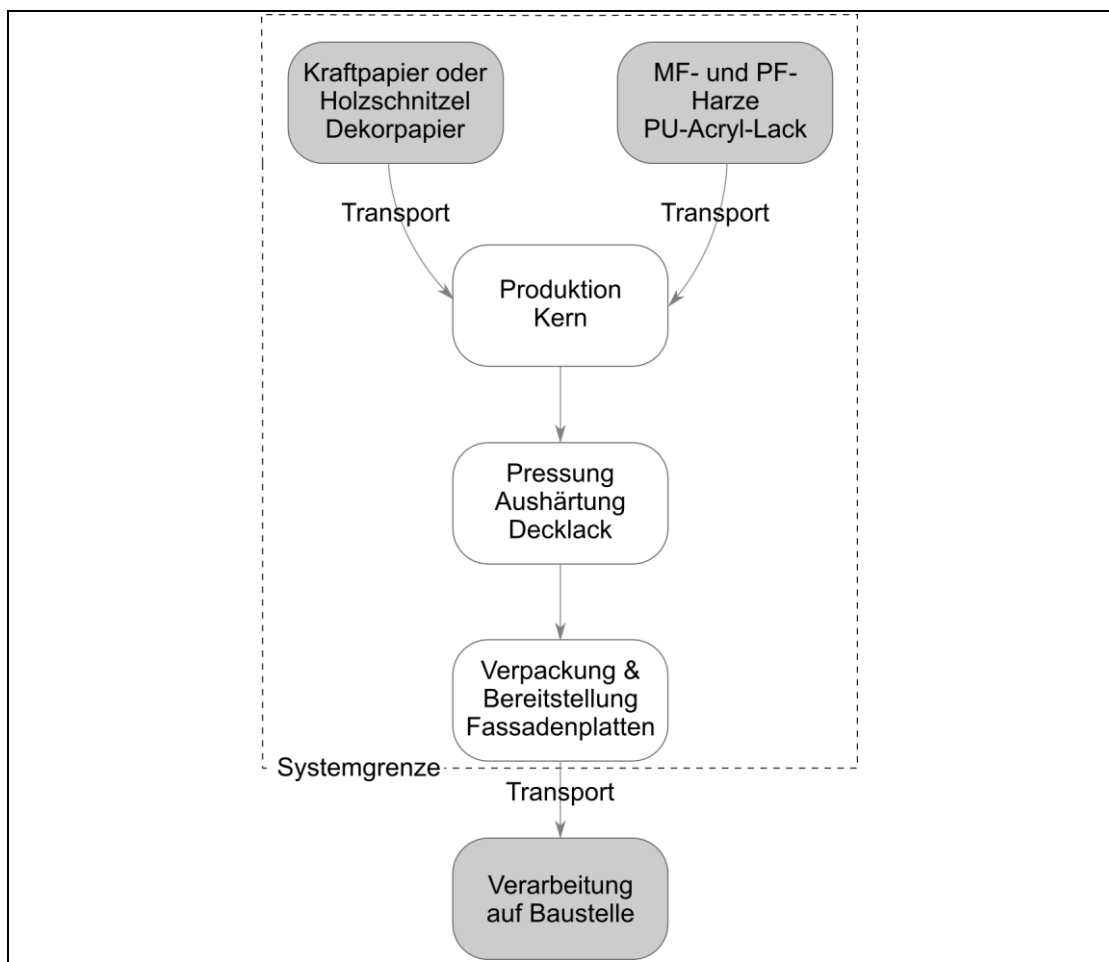


Abbildung 3: Schema des Herstellungsprozesses für HPL-Platten mit Systemgrenze

Die Platten werden unter hohem Druck von 70-80 bar und mit erhöhter Temperatur über 120 °C in einer mehrlagigen Presse gepresst. Die Pressdauer beträgt rund 100 Minuten (Egger, 2009). Die Aushärtung des Lacks erfolgt im elektrischen Feld mit beschleunigten Elektronen und wird als Elektronenstrahl-Härtung bezeichnet. Sie bietet den Vorteil, dass lösemittelfreie Lacksysteme eingesetzt werden können. (Fraunhofer FEP, 2010)

Zur Menge der anfallenden Produktionsabfälle sind keine Angaben verfügbar. Im Sinne einer konservativen Annahme wurde ein Verschnittanteil von 5 % angenommen. Für die Verwertung wurde eine Verbrennung in der KVA modelliert.

Für die beiden grossen Produzenten in Österreich und in den Niederlanden wurde dieselbe Zusammensetzung der Platten und Produktionsprozesse angenommen. Einzig bei den eingesetzten Flammhemmern wurde aufgrund der Angaben in den EPD unterschiedliche Annahmen für die österreichische und die niederländische Produktion getroffen. Die österreichische EPD gibt bis zu 4 % Flammhemmer auf Phosphorbasis an. Aufgrund dieser sehr allgemeinen Angabe wurde der Ecoinvent-Datensatz für Phosphorsäure als Proxy verwendet. Die EPD des niederländischen Herstellers macht keine konkrete Aussage zum Flammhemmer. Aufgrund der bekannten Flammhemmer für Holzwerkstoffe kommen Phosphorsalze wie Calciumphosphat oder Ammoniumchlorid als Flammhemmer in Frage. Für die niederländische Produktion wurde als Proxy eine Mischung aus Monoethanolamin und Phosphorsäure angenommen. Es wurden nur die flammgeschützten Platten-Varianten berücksichtigt. Unterschiedlich ist zudem der eingesetzte Strommix für die Werkstandorte Niederlande und Österreich. Das Plattengewicht konnte ebenfalls herstellerspezifisch aus den Umweltproduktdeklarationen eruiert werden. Die vorhandenen Daten aus zwei EPD erlauben keine weitere Differenzierung. Insbesondere sind die Produktionsprozesse zu allgemein beschrieben, um allfällig vorhandene Unterschiede auszumachen. Für die Herstellung benötigte Hilfsstoffe und Energien wurden aus vergleichbaren Bilanzen in ecoinvent und den in den Umweltproduktdeklarationen publizierten Ergebnissen abgeschätzt.

Für die Verpackung liegen nur qualitative Angaben sowie ein Bild eines beladenen Auslieferungsfahrzeugs beim Hersteller vor. Daraus wurde abgeschätzt, dass jeweils zehn Lagen HPL-Platten auf einer Wegwerfpalette ausgeliefert werden. Diese werden mit Schrumpffolie aus Polyethylen oder Polypropylen fixiert.

J.1.5.2 Regionallager Schweiz

Für die HPL-Platten ab Regionallager Schweiz wurden die Marktanteile der beiden Hersteller in Österreich und den Niederlanden mangels verfügbarer Daten auf jeweils 50 % angesetzt.

J.1.5.3 Entsorgung

Die Entsorgung der ausgedienten HPL-Platten wird in der KVA erfolgen. Eine Deponierung ist aufgrund des Kunststoffanteils von rund 33 % nicht möglich. Ein Recycling des Verbundwerkstoffs aus Karton und duroplastischen Harzen wäre nur mit einem hohen Aufwand möglich. Bis heute sind für solche Werkstoffe keine praxistauglichen Lösungen verfügbar. Der Transport in die KVA wurde mit der Standard-

Transportdistanz gemäss ecoinvent-Methodik berücksichtigt (Frischknecht et al., 2007).

J.1.6 Allokation

Die Produktion wurde als Prozess ohne Nebenprodukte bilanziert. Entsprechend erfolgte keine Allokation des Produktionsaufwands.

J.1.7 Marktsituation Schweiz

Die Marktanteile der Produzenten sind für alle Produktarten nicht verfügbar. Somit beruhen alle Marktannahmen auf Schätzungen der Autoren. Die Annahmen für die einzelnen Produktarten sind in den Kapiteln J.1.3.2, J.1.4.2 und J.1.5.2 aufgeführt.

J.1.8 Abschneidekriterien

Sämtliche verfügbare Daten wurden für die Berechnung verwendet. Im Output wird die Abwärme aus der Energienutzung vernachlässigt.

J.1.9 Zeitliche und geografische Gültigkeit Aluminium Verbundplatten

Die EPD der Alu-Verbundplatten wurden aufgrund von Produktionsdaten der Jahre 2011/2012 für die Standorte Deutschland und Frankreich berechnet (GDA - Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V., 2013). Die Hintergrunddaten für die Rohstoffe und Verarbeitungsprozesse stammen aus ecoinvent 2.2. Tabelle 4 listet diese mit ihren Referenzjahren auf, geordnet nach ihrem Erscheinen im Kapitel J.1.12.

Tabelle 4: Aktualität der Ecoinvent-Daten zur Herstellung von Aluminium-Verbundplatten

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Füllstoff Kern	aluminium hydroxide, at plant – RER	1995
Aluminium für Deckbleche	aluminium, production mix, wrought alloy, at plant – RER	2002
Bindemittel Kern und Schutzfolie	polyethylene, LDPE, granulate, at plant – RER	1999
Verarbeitung	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Endverarbeitung Alu-Verbundplatten	aluminium product manufacturing, average metal working – RER	2006
Extrusion Kern und Schutzfolie	extrusion, plastic film – RER	1993
Beschichtung Deckbleche	powder coating, aluminium sheet – RER	1996
Walzen der Deckbleche	sheet rolling, aluminium – RER	2000
Wegwerfpaletten	EUR-flat pallet – RER	2000
PE-Stretch-Folie	packaging film, LDPE, at plant – RER	1993
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Transporte Schiene	transport, freight, rail – RER	2000
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	2005
Transporte Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	2005

Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Kunststoffanteil in Verbrennung	disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration – CH	1994
Mineralischer Anteil in Verbrennung	disposal, aluminium, 0% water, to municipal incineration – CH	1994

J.1.10 Zeitliche und geografische Gültigkeit GFK-Platten

Für die GFK-Platten basieren die Daten auf der Produktion im Jahr 2014. Die Hintergrunddaten für die Rohstoffe und Verarbeitungsprozesse stammen aus ecoinvent 2.2. Tabelle 5 listet diese mit ihren Referenzjahren auf. Die Reihenfolge der Datensätze richtet sich nach dem Vorkommen in Kapitel J.3.

Tabelle 5: Aktualität der Ecoinvent-Daten zur Herstellung von GFK-Platten

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
UP-Harz Polyester-Folie Rohstoff	polyester resin, unsaturated, at plant - RER	1995
Glasfaser-Vlies	glass fibre, at plant - RER	2000
Polyester-Folie Herstellung	extrusion, plastic film - RER	1993
Wegwerfpaletten	EUR-flat pallet – RER	2000
PE-Stretch-Folie	packaging film, LDPE, at plant – RER	1993
Karton	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant – RER	1995
Produktionsabfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Produktionsabfälle in die Deponie	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill – CH	1994
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Erdgas	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW - RER	2000
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid - GR	1992
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	2005
Transporte Abfälle Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	2005
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Fabrik	plastics processing factory – RER	1999
Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Glasanteil in Verbrennung	disposal, glass, 0% water, to municipal incineration – CH	1994
Kunststoffanteil in Verbrennung	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration – CH	1994

J.1.11 Zeitliche und geografische Gültigkeit HPL-Platten

Die EPD für HPL-Platten von Trespa basieren auf der Produktion 2009 in den Niederlanden (Trespa International B.V., 2012b), diejenigen von FunderMax auf dem Produktionsjahr 2011 für den Standort Österreich (FunderMax GmbH, 2012). Die Hintergrunddaten für die Rohstoffe und Verarbeitungsprozesse stammen aus ecoin-

vent 2.2. Tabelle 6 listet diese mit ihren Referenzjahren auf, nach der Reihenfolge des Erscheinens im Kapitel J.4,

Tabelle 6: Aktualität der Ecoinvent-Daten zur Herstellung von HPL-Platten

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Kraftpapier (Kraftliner)	corrugated board base paper, kraftliner, at plant – RER	1995
Dekorpapier	kraft paper, unbleached, at plant – RER	2000
MF-Harz	melamine formaldehyde resin, at plant – RER	1995
PF-Harz	phenolic resin, at plant – RER	2000
Acryl-Urethan-Beschichtung	acrylic binder, 34% in H ₂ O, at plant - RER	1995
Acryl-Urethan-Beschichtung	methylene diphenyl diisocyanate, at plant – RER	1995
Acryl-Urethan-Beschichtung	polyols, at plant – RER	1995
Flammhemmer	phosphoric acid, industrial grade, 85% in H ₂ O, at plant – RER	1990
Wegwerfpaletten	EUR-flat pallet – RER	2000
PE-Stretch-Folie	packaging film, LDPE, at plant – RER	1993
Karton	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant – RER	1995
Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Druckluft	compressed air, average installation, >30kW, 8 bar gauge, at supply network – RER	2006
Schmierstoffe	lubricating oil, at plant – RER	2000
Produktionsabfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Produktionsabfälle in Verbrennung	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration – CH	1994
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Elektrizität Presse, Elektronenstrahlhärtung und weitere Verarbeitung	electricity, medium voltage, at grid – AT	1992
Heissdampf	steam, for chemical processes, at plant – RER	1992
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Transporte Schiene	transport, freight, rail – RER	2000
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	2005
Transporte Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	2005
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Fabrik	metal working factory – RER	2006
Anlagen	metal working machine, unspecified, at plant – RER	2006
Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Papieranteil in Verbrennung	disposal, packaging paper, 13.7% water, to municipal incineration – CH	1994
Kunststoffanteil in Verbrennung	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration – CH	1994

J.1.12 Datenquellen und Datenqualität Aluminium-Verbundplatten

Als Datenquellen konnten nur publizierte Angaben der Hersteller verwendet werden. Aus diesen Angaben konnten die Blechdicken, die verwendete Alulegierung, die Flächengewichte der fertigen Platten, das Kernmaterial und die Kerndichte im Falle der PE-Platten und Angaben zum Decklack und der Schutzfolie eruiert werden. Alle weiteren Daten mussten angenommen werden. Insbesondere ist die Zusammensetzung des mineralisch gefüllten Kerns und der Aufwand der Endfertigung nicht bekannt. Auch die Verarbeitungsabfälle bei der Endfertigung sind nicht bekannt. Die verwendeten generischen Datensätze aus ecoinvent 2.2 zur Aluminium-Verarbeitung und Plastikextrusion enthalten Annahmen zu den Verarbeitungsabfällen, die für die vorliegende Bilanz übernommen wurden. Zu den Datenquellen und der Datenqualität der ecoinvent-Daten sei auf die umfangreiche Dokumentation zu ecoinvent 2.2 verwiesen. Bei den erstellten Bilanzen ist eine erhebliche Unsicherheit zu berücksichtigen.

J.1.13 Datenquellen und Datenqualität GFK-Platten

Die Herstellungsdaten der GFK-Platten wurden durch Supramat Swiss GmbH zur Verfügung gestellt. Vom Hersteller wurden Angaben zum Rohstoffverbrauch, zum Energiebedarf, zur Verpackung, den Transportwegen in der Vorkette und den Produktionsabfällen der Herstellung geliefert. Für die Infrastruktur und die Transporte der Verpackung wurden Annahmen getroffen.

J.1.14 Datenquellen und Datenqualität HPL-Platten

Trespa und FunderMax haben Umweltproduktdeklarationen (EPD) für Ihre Produkte veröffentlicht, wobei sich die FunderMax-EPD nicht auf das Fassadenprodukt bezieht (FunderMax GmbH, 2012; Trespa International B.V., 2012a, 2012b). Da die Angaben zur Zusammensetzung der Produkte in den veröffentlichten Umweltproduktdeklarationen jeweils vereinfacht werden, musste durch Kombination der Angaben aus allen drei Umweltproduktdeklarationen eine Rezeptur für HPL-Platten hergeleitet werden.

J.2 Sachbilanzdaten Aluminium-Verbundplatten

Für die Herstellung der Deckbleche von Alu-Verbundplatten werden Aluminiumlegierungen mit Magnesium oder Mangan verwendet. Ihre Dicke beträgt 0.5 mm. Für das Aluminium wird der ecoinvent-Datensatz "aluminium, production mix, wrought alloy, at plant – RER" mit einem Primäraluminiumanteil von 90 % verwendet. Die Herstellung der Bleche wird mit dem ecoinvent-Datensatz "sheet rolling, aluminium - RER" berücksichtigt. Dieser Datensatz beinhaltet auch 1.2 % Abschnitte aus der Produktion, die nicht im Produktionsprozess recycelt werden können. Für die Beschichtung der Bleche mit einem PVDF-Decklack sind keine Ökobilanzangaben verfügbar. Ersatzweise wird eine Pulverbeschichtung eingesetzt ("powder coating, aluminium sheet – RER").

Der Kern besteht im Fall der nicht flammgeschützten Platten aus reinem Polyethylen. Im Fall der flammgeschützten Platten aus einem mineralisch gefüllten, laut Umweltproduktdeklaration im allgemeinen thermoplastischen Kunststoff (GDA - Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V., 2013). Aus einem publizierten Prüfbericht zur Brandklassierung geht hervor, dass es sich um Polyethylen handelt (CSTB, 2009). Nähere Angaben zum verwendeten mineralischen Füllstoff sind leider nicht bekannt. Für die Bilanzierung wurde das in der Aluminiumindustrie gut verfügbare und auch als Flammhemmer verwendete Aluminiumhydroxid angenommen. Aus den publizierten Flächengewichten für die flammgeschützten Alu-Verbundplatten kann zunächst die Rohdichte der Platte und daraus die Rohdichte des Kerns berechnet werden. Aus der Rohdichte des Kerns lässt sich wiederum der Anteil von Bindemittel und Füllstoff im Kern abschätzen, siehe dazu Tabelle 7. Die Berechnung der Anteile führt zu einer höheren Masse an Bindemittel als im reinen PE-Kern. Dies deutet darauf hin, dass der Kern mit einem leichteren Füllstoff gefüllt wird als das angenommene Aluminiumhydroxid. Mangels verfügbarer Daten kann die Abschätzung jedoch nicht verbessert werden.

Tabelle 7: Berechnung der Kernbestandteile flammgeschützte Alu-Verbundplatten

Grösse	Wert	Einheit	Quellen
Flächengewicht Alu-Verbundplatte FR	7.6	kg/m ²	(3A Composites GmbH, 2014) (Alcoa, n. d.-a) (Alucoil, n. d.)
Rohdichte Aluminiumblech	2'693	kg/m ³	(Novelis, 2008)
Rohdichte Polyethylen	920	kg/m ³	(Alcoa, n. d.-a)
Rohdichte Aluminiumhydroxid	2'420	kg/m ³	(Wikipedia-Autoren, 2015)
Rohdichte Kern	1'641	kg/m ³	Berechnet
Massenanteil Al(OH) ₃ in Kern	48 %		Berechnet (siehe Text)
Massenanteil Polyethylen in Kern	52 %		Berechnet (siehe Text)

Die Extrusion des Kerns wird mit dem ecoinvent-Datensatz "extrusion, plastic film – RER" berücksichtigt. Für die Laminierung der Bleche auf den Kern wird zudem der ecoinvent-Datensatz "aluminium product manufacturing, average metal working - RER" eingesetzt. Dieser Datensatz enthält auch Aufwendungen für die Fabrikationshalle, die Herstellungsanlagen und 22 % Produktionsabfälle, gemessen am Aluminiumeinsatz im Endprodukt. Diese Produktionsabfälle werden im ecoinvent-Datensatz vollständig einem externen Aluminium-Recycling zugeführt. Die Infrastruktur für die Endfertigung wird mit diesem Datensatz bereits abgedeckt. Beide Verarbeitungsdatensätze enthalten Annahmen zum Energieaufwand. Für die Schutzfolie auf der Vorderseite der fertigen Platte wird Polyethylen (LDPE) als Kunststoff eingesetzt. Die Folienproduktion wird wie für den Kern mit dem ecoinvent-Datensatz "extrusion, plastic film – RER" berücksichtigt. Dieser beinhaltet Produktionsverluste von 2.4 %, die in einer KVA verbrannt werden. Für die Dicke der Schutzfolie werden 100 µm angenommen. Mit der Rohdichte von LDPE von 920 kg/m³ ergeben sich somit 0.092 kg Schutzfolie pro Quadratmeter Alu-Verbundplatte. Diese ist im Flächengewicht der Platte von 7.6 kg/m² nicht enthalten.

Die Transporte der Rohstoffe werden mit den Standarddistanzen aus ecoinvent 2.2 abgeschätzt (Frischknecht et al., 2007).

Die Sachbilanz der Alu-Verbundplatten mit mineralisch gefülltem Kern ist in der Tabelle 8 wiedergegeben.

Tabelle 8: Sachbilanz Alu-Verbundplatte flammgeschützt, Produktion – RER – Flächengewicht 7.6 kg/m²

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Füllstoff Kern	aluminium hydroxide, at plant – RER	kg	2.37
Aluminium für Deckbleche	aluminium, production mix, wrought alloy, at plant – RER	kg	2.70
Bindemittel Kern und Schutzfolie	polyethylene, LDPE, granulate, at plant – RER	kg	2.65
Verarbeitung	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Endverarbeitung Alu-Verbundplatten	aluminium product manufacturing, average metal working – RER	kg	2.70
Extrusion Kern und Schutzfolie	extrusion, plastic film – RER	kg	5.02
Beschichtung Deckbleche	powder coating, aluminium sheet – RER	m ²	1
Walzen der Deckbleche	sheet rolling, aluminium – RER	kg	2.70
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Schiene	transport, freight, rail – RER	tkm	1.54
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	0.772
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Alu-Verbundplatten flammgeschützt	Alu-Verbund Fassadenplatte FR, Produktion – RER	m ²	1

Tabelle 9 stellt die Sachbilanz der Alu-Verbundplatten mit reinem Polyethylen-Kern dar. In den Sachbilanzdaten sind Kern und Schutzfolie zusammengefasst. Das Gewicht der Schutzfolie beträgt 0.092 kg/m². Dieses ist im Flächengewicht der Platte von 5.52 kg/m² nicht enthalten.

Tabelle 9: Sachbilanz Alu-Verbundplatte, Produktion – RER – Flächengewicht 5.5 kg/m²

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Aluminium für Deckbleche	aluminium, production mix, wrought alloy, at plant – RER	kg	2.70
Polymer Kern und Schutzfolie	polyethylene, LDPE, granulate, at plant – RER	kg	2.91
Verarbeitung	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Endverarbeitung Alu-Verbundplatten	aluminium product manufacturing, average metal working – RER	kg	2.70
Extrusion Kern und Schutzfolie	extrusion, plastic film – RER	kg	2.91
Beschichtung Deckbleche	powder coating, aluminium sheet – RER	m ²	1
Walzen der Deckbleche	sheet rolling, aluminium – RER	kg	2.70

Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Schiene	transport, freight, rail – RER	tkm	1.12
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	0.561
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Alu-Verbundplatten	Alu-Verbund Fassadenplatte, Produktion – RER	m ²	1

Für die Transport-Verpackung der Aluminium-Verbundplatten wurde angenommen, dass 50 m² Alu-Verbundplatten auf einer Einwegpalette transportiert werden. Das Stückgewicht einer Einwegpalette beträgt rund die Hälfte einer Mehrwegpalette, wodurch sich die Stückzahl in der Bilanzierung von 0.01 ergibt. Diese werden mit 12 m² Stretchfolie (0.24 m² pro Quadratmeter Platte) mit 16 µm Dicke und einem Flächengewicht von 0.016 kg/m² gesichert. Weiteres Befestigungsmaterial wie Streckgurte wird als wiederverwendbar angenommen und nicht bilanziert. Die Transportdistanz für das Verpackungsmaterial wird aus der EPD für die Putzträgerplatte stoVentec übernommen (Rabenstein et al., 2013).

Tabelle 10: Sachbilanz Alu-Verbundplatte, Verpackung – RER – 1 m² Alu-Verbundplatte

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Wegwerfpaletten	EUR-flat pallet – RER	Stk.	0.01
PE-Stretch-Folie	packaging film, LDPE, at plant – RER	kg	0.00384
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	0.0414
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
HPL-Platte, Verpackung	HPL outdoor 8mm, packaging – RER	m ²	1

Für den Transport der Alu-Verbundplatten ins Regionallager Schweiz werden 40 t Sattelzüge mit Emissionsstandard EURO 4 angenommen (Tabelle 11 bis Tabelle 16). Die Transportdistanzen ins Regionallager Schweiz sind je nach Produktionsstandort unterschiedlich:

- Die Distanz vom Werk in Singen, DE nach Bern beträgt 191 km.
- Die Distanz vom Werk in Merxheim, FR nach Bern beträgt 150 km.
- Die Distanz vom Werk in Miranda de Ebro nach Bern beträgt 1'221 km.

Wegen der unterschiedlichen Flächengewichte für Platten mit mineralisch gefülltem Kern und Platten mit PE-Kern werden zwei Sachbilanzen pro Produktionsstandort erstellt.

Tabelle 11: Alu-Verbund Fassadenplatte FR, Transport DE->CH – 1 m² Alu-Verbundplatte

Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	1.46
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Alu-Verbund Fassadenplatte FR, Transport DE->CH	m ²	1

Tabelle 12: Alu-Verbund Fassadenplatte, Transport DE->CH – 1 m² Alu-Verbundplatte

Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	1.05
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Alu-Verbund Fassadenplatte, Transport DE->CH	m ²	1

Tabelle 13: Alu-Verbund Fassadenplatte FR, Transport FR->CH – 1 m² Alu-Verbundplatte

Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	1.14
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Alu-Verbund Fassadenplatte FR, Transport FR->CH	m ²	1

Tabelle 14: Alu-Verbund Fassadenplatte, Transport FR->CH – 1 m² Alu-Verbundplatte

Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	0.828
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Alu-Verbund Fassadenplatte, Transport FR->CH	m ²	1

Tabelle 15: Alu-Verbund Fassadenplatte FR, Transport ES->CH – 1 m² Alu-Verbundplatte

Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	9.31
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Alu-Verbund Fassadenplatte FR, Transport ES->CH	m ²	1

Tabelle 16: Alu-Verbund Fassadenplatte, Transport ES->CH – 1 m² Alu-Verbundplatte

Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	6.74
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
	Alu-Verbund Fassadenplatte, Transport ES->CH	m ²	1

Die Sachbilanz für das Regionallager Schweiz (Tabelle 17) kombiniert die Datensätze für Produktion, Transport in die Schweiz und Verpackung. Die Produktion der flammgeschützten Fassadenplatten fliesst mit einem Anteil von 75 % in den Markt-mix ein, die nicht-flammgeschützten Platten werden mit 25 % Marktanteil berücksichtigt. Die Transporte fliessen gemäss der Abschätzung in Kapitel J.1.7 für die Herstellungsorte Deutschland (45 %), Frankreich (45 %) und Spanien (10 %) in die Sachbilanz ein.

Tabelle 17: Sachbilanz Alu-Verbund Fassadenplatte, Regionallager CH – Flächengewicht 7.1 kg/m²

Input	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Produktion flammgeschützte Platten	Alu-Verbund Fassadenplatte FR, Produktion	m ²	0.75
Transport aus Deutschland	Alu-Verbund Fassadenplatte FR, Transport DE->CH	m ²	0.3375
Transport aus Spanien	Alu-Verbund Fassadenplatte FR, Transport ES->CH	m ²	0.075
Transport aus Frankreich	Alu-Verbund Fassadenplatte FR, Transport FR-CH	m ²	0.3375
Produktion nicht-flammgeschützte Platten	Alu-Verbund Fassadenplatte, Produktion	m ²	0.25
Transport aus Deutschland	Alu-Verbund Fassadenplatte, Transport DE->CH	m ²	0.1125
Transport aus Spanien	Alu-Verbund Fassadenplatte, Transport ES->CH	m ²	0.025
Transport aus Frankreich	Alu-Verbund Fassadenplatte, Transport FR->CH	m ²	0.1125
Transport-Verpackung	Alu-Verbund Fassadenplatte, Verpackung	m ²	1.1
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Alu-Verbundplatte, Regionallager CH	Alu-Verbund-Fassadenplatte, Regionallager CH	m ²	1

Für die Entsorgung wird mit einer mittleren Platte gemäss dem angenommenen Marktmix zwischen flammgeschützten und nicht-flammgeschützten Platten gerechnet. Die Bestandteile des Kerns werden in einer KVA verbrannt. Dabei wird für den Kunststoffanteil von 64 % der ecoinvent-Datensatz "disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration" eingesetzt und für den mineralischen Anteil von 36 % der ecoinvent-Datensatz "disposal, aluminium, 0% water, to municipal incineration". Für das Polyethylen wird der Feuchtegehalt des Rohstoffs von 0 % auf den Anteil gemäss Entsorgungsdatensatz korrigiert. Das mittlere Flächengewicht des Kerns für den Marktmix beträgt 4 kg. Die Sachbilanz ist in Tabelle 18 festgehalten. Die Deckbleche werden behandelt wie alle Metallbaustoffe in der KBOB-Empfehlung und erhalten keine Lasten für die Entsorgung.

Tabelle 18: Sachbilanz Alu-Verbund Fassadenplatte, Entsorgung – 1 m² Alu-Verbundplatte

Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Kunststoffanteil in Verbrennung	disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration – CH	kg	2.82
Mineralischer Anteil in Verbrennung	disposal, aluminium, 0% water, to municipal incineration – CH	kg	1.59
Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	tkm	0.0441
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
HPL-Platte, Entsorgung	Alu-Verbund Fassadenplatte, Entsorgung - CH	m ²	1

J.3 Sachbilanzdaten GFK-Platten

Zur Herstellung der GFK-Platten werden 1.72 kg UP-Harz benötigt, das mit dem ecoinvent-Datensatz "polyester resin, unsaturated, at plant – RER" berücksichtigt wird. Das Glasfaser-Vlies wird mit dem Datensatz "glass fibre, at plant – RER" verknüpft. Die Herstellung der Polyester-Folie wird aus dem Rohstoff-Datensatz "polyester resin, unsaturated, at plant – RER" und dem Verarbeitungsdatensatz "extrusion, plastic film – RER" abgeschätzt.

Bei der Herstellung der Fassadenplatte entstehen 4.8 % Herstellungsabfälle, die laut Hersteller in einer Deponie entsorgt werden. Da nur für die Schweiz Deponierungsdatensätze in ecoinvent vorhanden sind, wurde der Datensatz für Plastik in die Reaktordeponie verwendet ("disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill"). Der Wasseranteil der entsorgten Abfälle beträgt 0 %. Die Sachbilanz wird dementsprechend um den Wasseranteil des Entsorgungsdatensatzes von 15.3 % nach oben korrigiert. Die Modellierung einer Entsorgung statt einer Verbrennung der Kunststoffabfälle führt zu einer Verbesserung der Ökobilanzergebnisse beim CO₂-Indikator um weniger als 2 % und bei den UBP um rund 0.3 %.

Die Herstellungsenergie wird zu jeweils rund 50 % durch Erdgas und Elektrizität bereitgestellt. Für die Elektrizität ist in ecoinvent 2.2 keine türkischer Strommix vorhanden, weshalb der Strommix für Griechenland als Annäherung eingesetzt wird ("electricity, medium voltage, at grid - GR"). Für die Energiebereitstellung aus Erdgas wird der europäische Durchschnittsdatensatz "heat, natural gas, at industrial furnace >100kW - RER" verwendet.

Laut Herstellerangaben erfolgen die Transporte der Vorprodukte ausschliesslich auf der Strasse, die mit dem ecoinvent-Datensatz "transport, lorry >32t, EURO4 – RER" eingesetzt werden. Für alle Rohstoffe gibt der Hersteller eine Transportdistanz von 550 km an.

Die Infrastruktur wird mit $5 \cdot 10^{-5}$ Stück "plastics processing factory – RER" berücksichtigt.

Die vollständige Sachbilanz der Herstellung wird in Tabelle 19 ausgewiesen.

Tabelle 19: Sachbilanz GFK-Platten, Produktion – TR – Flächengewicht 2.41 kg/m²

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
UP-Harz	polyester resin, unsaturated, at plant - RER	kg	1.72
Glasfaser-Vlies	glass fibre, at plant - RER	kg	0.759
Polyester-Folie Rohstoff	polyester resin, unsaturated, at plant - RER	kg	0.0519
Polyester-Folie Herstellung	extrusion, plastic film - RER	kg	0.0519
Produktionsabfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Produktionsabfälle in die Deponie	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill	kg	0.143
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Erdgas	heat, natural gas, at industrial furnace >100kW - RER	kWh	0.0544
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid - GR	kWh	0.0559
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	1.39

Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Fabrik	plastics processing factory – RER	Stk.	5*10 ⁻¹⁰
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
GFK-Platte, Herstellung	Glasfaserverstärkte Kunststoffplatte, Polyester, Herstellung	m ²	1

Die Verpackung wird aufgrund von Herstellerangaben bilanziert (Tabelle 20). Zum Holzverbrauch liegt keine Angabe des Herstellers vor. Für die benötigten Paletten wird deshalb wie für die anderen bilanzierten Fassadenplatten angenommen, dass 50 m² auf einer Einweg-Palette transportiert werden. Das Stückgewicht einer Einwegpalette beträgt rund die Hälfte einer Mehrwegpalette, wodurch sich die Stückzahl in der Bilanzierung von 0.01 ergibt. Für die Transporte der Verpackungsmaterialien zum Hersteller wurde die Standarddistanz aus der Modellierung der kunstharzgebundenen Putzträgerplatte von 185 km verwendet (Rabenstein et al., 2013).

Tabelle 20: Sachbilanz GFK-Platten, Verpackung – RER – 1 m² GFK-Platte

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Wegwerfpaletten	EUR-flat pallet – RER	Stk.	0.01
PE-Stretch-Folie	packaging film, LDPE, at plant – RER	kg	0.00607
Karton	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant – RER	kg	0.00304
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	0.0424
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
GFK-Platte, Verpackung	Glasfaserverstärkte Kunststoffplatte, Verpackung	m ²	1

Der Transport vom Herstellerwerk in der Türkei in die Schweiz erfolgt auf der Strasse. Dieser wird durch den ecoinvent-Datensatz "transport, lorry >32t, EURO4 – RER" beschrieben. Die Transportdistanz von Izmir nach Wil wurde in einem Routenplaner zu 2'700 km berechnet.

Tabelle 21: Sachbilanz GFK-Platten, Transport TR->CH – 1 m² GFK-Platte

Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	5.96
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
GFK-Platte, Transport TR->CH	Glasfaserverstärkte Kunststoffplatte, Transport TR->CH	m ²	1

Die Sachbilanz für das Regionallager Schweiz wird mit 50 % Marktanteil von Herstellern erstellt, deren Produktion nicht bilanziert wurde. Da diese gemäss den Berechnungsregeln der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich für Ökobilanzen ohne verfügbare Herstellerdaten einen Aufschlag von 10 % zu den Produktionsdaten erhalten (Frischknecht, 2013), resultiert für den gesamten Marktmix ein Zuschlag von 5 % auf die Sachbilanzdaten (Tabelle 22).

Tabelle 22: Sachbilanz GFK-Platte, Regionallager CH – Flächengewicht 2.41 kg/m²

Input	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
GFK-Platten, Produktion TR	Glasfaserverstärkte Kunststoffplatte, Polyester, Herstellung	m ²	1.05
Transport TR->CH	Glasfaserverstärkte Kunststoffplatte, Transport TR->CH	m ²	1.05
Transportverpackung	Glasfaserverstärkte Kunststoffplatte, Verpackung	m ²	1.05
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
GFK-Platten, Marktmix Schweiz	Glasfaserverstärkte Kunststoffplatte, Polyester, Regionallager CH	m ²	1

Die Sachbilanz der Entsorgung der GFK-Platten in einer KVA in der Schweiz wird in Tabelle 23 ausgewiesen. Der Kunststoffanteil wird dabei um den Wasseranteil im Entsorgungsdatensatz "disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration – CH" nach oben korrigiert.

Tabelle 23: Sachbilanz GFK-Platte, Entsorgung – 1 m² GFK-Platte

Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Glasanteil in Verbrennung	disposal, glass, 0% water, to municipal incineration – CH	kg	0.722
Kunststoffanteil in Verbrennung	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration – CH	kg	1.99
Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	tkm	0.0271
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
GFK-Platten, Entsorgung	Glasfaserverstärkte Kunststoffplatte, Polyester, Entsorgung	m ²	1

J.4 Sachbilanzdaten HPL-Platten

Die Sachbilanzen der Produktion von HPL-Platten werden in Tabelle 24 und Tabelle 25 ausgewiesen. Das Kraftpapier im Kern wird mit dem Datensatz "corrugated board base paper, kraftliner, at plant –RER" berücksichtigt. Gemäss den Angaben in der EPD (FunderMax GmbH, 2012) wird der Gewichtsanteil an der Platte mit 60 % angenommen. Das Dekorpapier wird mit "kraft paper, unbleached, at plant – RER" modelliert und ein Anteil von 7 % gemäss derselben EPD angenommen. Das Bindemittel besteht aus einer Kombination von Melamin-Formaldehyd-Harzen und Phenol-Formaldehyd-Harzen. Das Verhältnis der beiden Harzarten wurde aus der Interpretation des Primärenergieverbrauchs in der EPD (FunderMax GmbH, 2012) hergeleitet. Es ergeben sich 25 % PF-Harz und 4 % MF-Harz, gemessen am Plattengewicht. Der Gewichtsanteil der Acryl-Urethan-Beschichtung wird auf 1 % geschätzt. Da keine weiteren Angaben vorliegen, werden die Ausgangsstoffe der Beschichtung mit 0.3 % Acrylat ("acrylic binder, 34% in H₂O, at plant - RER"), 0.3 % Polyolen ("polyols, at plant – RER") und 0.4 % MDI ("methylene diphenyl diisocyanate, at plant – RER") angenommen. Polyole und MDI sind die Ausgangsstoffe in der Polyurethan-Synthese. Für die Flammhemmer wird in Anlehnung an die EPD

(FunderMax GmbH, 2012) ein Gewichtsanteil von 3 % eingesetzt, wobei für die Produktion in Österreich 3 % Phosphorsalze angenommen und mit dem Datensatz "phosphoric acid, industrial grade, 85% in H2O, at plant – RER" modelliert werden. Für die Produktion in den Niederlanden werden gemäss der Angaben in der EPD des Herstellers (Trespa International B.V., 2012a) 1.5 % "monoethanolamine, at plant – RER" und 1.5 % Phosphorsalze eingesetzt.

Aus dem ecoinvent-Datensatz „deep drawing, steel, 10000 kN press, automode operation“ wurde die Infrastruktur für die Fabrikhalle ("metal working factory") und die Anlagen (metal working machine, unspecified, at plant) abgeschätzt. Die benötigte Druckluft wurde aus demselben Datensatz abgeschätzt. Für den gemäss EPD benötigten Heissdampf wurde ein Verbrauch von 100 g pro Quadratmeter HPL-Platte angenommen. Der Schmiermittel-Verbrauch ("lubricating oil, at plant") wurde aus einer Herstellungsbilanz des Büros für Umweltchemie für Faserbetonplatten abgeleitet. Für das Ergebnis sind alle fünf Annahmen summiert von geringer Bedeutung (<0.1 % des Primärenergieaufwands Total).

Bedeutender ist die elektrische Energie für die Endfertigung. Diese wurde aus den Resultaten für die Primärenergie in den EPD abgeschätzt. Ihr Anteil am Ergebnis für die Primärenergie total und auch die CO₂-Emissionen liegt bei über 10%. Diese Abschätzung führt somit zu einer bedeutenden Unsicherheit im Ergebnis.

Als Proxy für die Entsorgung der Produktionsabfälle wurde die Verbrennung von Siedlungsabfall in einer Schweizer KVA eingesetzt ("disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration – CH").

Tabelle 24: Sachbilanz HPL-Fassadenplatten, Produktion – AT – Flächengewicht 11.9 kg/m²

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Kraftpapier (Kraftliner)	corrugated board base paper, kraftliner, at plant – RER	kg	7.50
Dekorpapier	kraft paper, unbleached, at plant – RER	kg	0.875
MF-Harz	melamine formaldehyde resin, at plant – RER	kg	0.500
PF-Harz	phenolic resin, at plant – RER	kg	3.12
Acryl-Urethan-Beschichtung	acrylic binder, 34% in H2O, at plant - RER	kg	0.110
Acryl-Urethan-Beschichtung	methylene diphenyl diisocyanate, at plant – RER	kg	0.0500
Acryl-Urethan-Beschichtung	polyols, at plant – RER	kg	0.0375
Flammhemmer	phosphoric acid, industrial grade, 85% in H2O, at plant – RER	kg	0.441
Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Druckluft	compressed air, average installation, >30kW, 8 bar gauge, at supply network– RER	m ³	0.0006
Schmierstoffe	lubricating oil, at plant – RER	kg	0.001
Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Produktionsabfälle in Verbrennung	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration – CH	kg	0.595

Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Elektrizität Presse, Elektronenstrahlhärtung und weitere Verarbeitung	electricity, medium voltage, at grid – AT	MJ	75.0
Heissdampf	steam, for chemical processes, at plant – RER	kg	0.1
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Schiene	transport, freight, rail – RER	tkm	2.74
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	1.26
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Fabrik	metal working factory – RER	Item(s)	5*10 ⁻¹⁰
Anlagen	metal working machine, unspecified, at plant – RER	kg	1*10 ⁻⁶
Emissionen	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Wasserdampf	Water – air/high population density	kg	0.239
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
HPL-Platte, Produktion AT	HPL-Fassadenplatten, Herstellung – AT	m ²	1

Tabelle 25: Sachbilanz HPL-Fassadenplatten, Produktion – NL – Flächengewicht 11.2 kg/m²

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Kraftpapier (Kraftliner)	corrugated board base paper, kraftliner, at plant – RER	kg	7.06
Dekorpapier	kraft paper, unbleached, at plant – RER	kg	0.823
MF-Harz	melamine formaldehyde resin, at plant – RER	kg	0.470
PF-Harz	phenolic resin, at plant – RER	kg	2.94
Acryl-Urethan-Beschichtung	acrylic binder, 34% in H2O, at plant - RER	kg	0.104
Acryl-Urethan-Beschichtung	methylene diphenyl diisocyanate, at plant – RER	kg	0.0470
Acryl-Urethan-Beschichtung	polyols, at plant – RER	kg	0.0353
Flammhemmer	monoethanolamine, at plant – RER	kg	0.176
Flammhemmer	phosphoric acid, industrial grade, 85% in H2O, at plant – RER	kg	0.208
Hilfsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Druckluft	compressed air, average installation, >30kW, 8 bar gauge, at supply network– RER	m ³	0.0006
Schmierstoffe	lubricating oil, at plant – RER	kg	0.001
Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Produktionsabfälle in Verbrennung	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration – CH	kg	0.56
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Elektrizität Presse, Elektronenstrahlhärtung und weitere Verarbeitung	electricity, medium voltage, at grid – NL	MJ	70.6
Heissdampf	steam, for chemical processes, at plant – RER	kg	0.1
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Schiene	transport, freight, rail – RER	tkm	2.6
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	1.19

Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Fabrik	metal working factory – RER	Item(s)	5*10 ⁻¹⁰
Anlagen	metal working machine, unspecified, at plant – RER	kg	1*10 ⁻⁶
Emissionen	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Wasserdampf	Water – air/high population density	kg	0.200
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
HPL-Platte, Produktion NL	HPL-Fassadenplatten, Herstellung – NL	m ²	1

Die Verpackung wurde gemäss den Angaben in Tabelle 26 bilanziert. Pro Wegwerfpalette werden 50 m² HPL-Platten transportiert. Für die Wegwerfpalette wird eine Euro-Palette, gewichtskorrigiert auf 11kg eingesetzt ("EUR-flat pallet"). Die Palette wird mit 12 m² PE-Stretch-Folie mit einem Flächengewicht von 0.016 kg/m² eingewickelt ("packaging film, LDPE, at plant"). Jede HPL-Platte wird mit einer Zwischenlage aus Papier ("paper, recycling, no deinking, at plant") konfektioniert. Für das Papier wird ein Flächengewicht von 0.025 kg/m² angenommen. Für die Transporte der Verpackungsmaterialien zum Hersteller wurde die Standarddistanz aus der Modellierung der kunstharzgebundenen Putzträgerplatte von 185 km eingesetzt (Rabenstein et al., 2013).

Tabelle 26: Sachbilanz HPL-Fassadenplatten, Verpackung – RER – 1 m² HPL-Platte

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Wegwerfpaletten	EUR-flat pallet – RER	Stk.	0.01
PE-Stretch-Folie	packaging film, LDPE, at plant – RER	kg	0.00384
Zwischenlagen Papier	paper, recycling, no deinking, at plant – RER	kg	0.025
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	0.0460
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
HPL-Platte, Verpackung	HPL-Fassadenplatten, Verpackung – RER	m ²	1

Für den Transport der HPL-Platten ins Regionallager Schweiz werden 40 t Sattelzüge mit Emissionsstandard EURO 4 angenommen (Tabelle 27, Tabelle 28). Die Transportdistanzen ins Regionallager Schweiz sind je nach Produktionsstandort unterschiedlich:

- Die Distanz vom Werk in Weert, NL nach Bern beträgt 682 km.
- Die Distanz vom Werk in St. Veit/Glan nach Bern beträgt 795 km.

Tabelle 27: Sachbilanz HPL-Fassadenplatten, Transport AT->CH – 1 m² HPL-Platte

Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	9.46
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
HPL-Platte, Transport AT->CH	HPL-Fassadenplatten, Transport AT->CH – RER	m ²	1

Tabelle 28: Sachbilanz HPL-Fassadenplatten, Transport NL->CH – 1 m² HPL-Platte

Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	7.64
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
HPL-Platte, Transport NL->CH	HPL-Fassadenplatten, Transport NL->CH – RER	m ²	1

Die Sachbilanz für das Regionallager Schweiz (Tabelle 29) kombiniert die Datensätze für Produktion, Transport in die Schweiz und Verpackung mit einem Zuschlag von 10 %.

Tabelle 29: Sachbilanz HPL-Fassadenplatten, Regionallager CH – Flächengewicht 11.6 kg/m²

Input	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
HPL-Platte, Produktion AT	HPL-Fassadenplatten, Herstellung – AT	m ²	0.5
HPL-Platte, Produktion NL	HPL-Fassadenplatten, Herstellung – NL	m ²	0.5
HPL-Platte, Verpackung	HPL-Fassadenplatten, Verpackung – RER	m ²	1.0
HPL-Platte, Transport AT->CH	HPL-Fassadenplatten, Transport AT->CH – RER	m ²	0.5
HPL-Platte, Transport NL->CH	HPL-Fassadenplatten, Transport NL->CH – RER	m ²	0.5
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
HPL-Platte, Regionallager CH	HPL-Fassadenplatten, Regionallager CH – CH	m ²	1

Die Entsorgung wird gemäss dem Kunststoffanteil von 67 % und dem Papieranteil von 33 % gemäss Plattenrezeptur mit den ecoinvent-Datensätzen "disposal, packaging paper, 13.7% water, to municipal incineration" und "disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration" bilanziert (Tabelle 30). Die Mengen in der Sachbilanz wurden jeweils um den Wasseranteil der Entsorgungsdatensätze korrigiert. Für den Transportweg wurde die Standarddistanz von 10 km aus ecoinvent 2.2 für die Entsorgung in der KVA bilanziert.

Tabelle 30: Sachbilanz HPL-Fassadenplatten, Entsorgung – 1 m² HPL-Platte

Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Papieranteil in Verbrennung	disposal, packaging paper, 13.7% water, to municipal incineration – CH	kg	8.97
Kunststoffanteil in Verbrennung	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration – CH	kg	4.5
Transporte	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Strasse	transport, lorry >28t, fleet average – CH	tkm	0.135
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
HPL-Platte, Entsorgung	HPL-Fassadenplatten, Entsorgung	m ²	1

J.5 Resultate Aluminium-Verbundplatten

Die Resultate der Ökobilanzierung der Alu-Verbundplatte sind in Tabelle 31 festgehalten. Der Transport der Platten ins Regionallager Schweiz führt nur zu geringen Zusatzemissionen im Vergleich zur Produktion. Die Zunahme der Kennzahlen zwischen der Produktion und dem Regionallager Schweiz rührt vom 10 %-Zuschlag her, der für Datensätze addiert wird, die ohne Herstellerangaben erstellt wurden.

Tabelle 31: Ökobilanzergebnisse Aluminium-Verbundplatten

Ökobilanz-Datensatz - Region	Flächenmasse [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Alu-Verbund Fassadenplatte FR, Herstellung – RER	7.6	m ²	55'117	1'017	900	48.9
Alu-Verbund Fassadenplatte, Herstellung – RER	5.52	m ²	52'060	989	876	47.1
Alu-Verbund Fassadenplatte, Verpackung – RER	–	m ²	128	6.66	1.85	0.0696
Alu-Verbund Fassadenplatte, Regionallager CH	7.1	m ²	54'710	1'020	899	48.7
Alu-Verbund Fassadenplatte, Entsorgung – CH	7.1	m ²	6'887	1.89	1.86	8.49

J.6 Resultate GFK-Platten

Die Resultate für die GFK-Platte werden in Tabelle 32 ausgewiesen. Der Transport ins Regionallager Schweiz ist zwar bedeutender als bei den anderen bilanzierten Fassadenplatten, hauptsächlich wird die Zunahme der Kennzahlen zwischen Herstellung und Regionallager jedoch durch den Zuschlag von 10 % auf die Produkte derjenigen Hersteller im Markt, die keine Sachbilanzdaten geliefert haben, verursacht.

Tabelle 32: Ökobilanzergebnisse GFK-Platten

Ökobilanz-Datensatz - Region	Flächenmasse [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Glasfaserverstärkte Kunststoffplatte, Polyester, Herstellung – TR	2.41	m ²	16'728	257	251	14.5
Glasfaserverstärkte Kunststoffplatte, Verpackung – RER	–	m ²	136	6.94	2.09	0.0780
Glasfaserverstärkte Kunststoffplatte, Polyester, Regionallager CH	2.41	m ²	18'505	290	279	16.0

Ökobilanz-Datensatz - Region	Flächenmasse [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Glasfaserverstärkte Kunststoffplatte, Polyester, Entsorgung	2.41	m ²	4012	1.84	1.77	4.67

J.7 Resultate HPL-Platten

Die folgende Tabelle 33 zeigt die Ökobilanzergebnisse für die HPL-Produktion in Deutschland und Österreich, die Transportverpackung, sowie die HPL-Platten ab Regionallager Schweiz. Zudem werden die Ergebnisse für die Entsorgung nach der Nutzungsdauer ausgewiesen. Aus der Aufstellung ist ersichtlich, dass Verpackung und Transport ins Regionallager Schweiz die Umweltwirkung nur geringfügig erhöhen.

Tabelle 33: Ökobilanzergebnisse HPL-Platten

Ökobilanz-Datensatz - Region	Flächenmasse [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
HPL-Fassadenplatte, Herstellung – AT	11.9	m ²	38'350	1'022	685	28.7
HPL-Fassadenplatte, Herstellung – NL	11.2	m ²	38'955	1'032	749	32.9
HPL-Fassadenplatte, Verpackung – RER	–	m ²	146	7.00	2.18	0.0902
HPL-Fassadenplatte, Regionallager CH	11.6	m ²	39'798	1'050	734	31.7
HPL-Fassadenplatte, Entsorgung	11.6	m ²	14'057	6.18	5.97	10.7

J.8 Diskussion

J.8.1 Vergleich der Ökobilanzergebnisse der Fassadenplatten

Die Ergebnisse der Ökobilanzen für die Bereitstellung der Fassadenplatten ab Regionallager Schweiz werden in Tabelle 34 gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass die GFK-Fassadenplatten in allen Dimensionen der KBOB-Liste die besten Resultate aufweisen. Das bessere Ergebnis im Vergleich zur HPL-Platte, die wie die GFK-Platte hauptsächlich aus Kunststoff besteht, erklärt sich aus dem deutlich geringeren Flächengewicht der GFK-Platte von 2.41 kg/m² im Vergleich zu 11.6 kg/m² der HPL-Platte.

Tabelle 34: Ökobilanzergebnisse Herstellung Fassadenplatten, Regionallager Schweiz

Ökobilanz-Datensatz - Region	Flächenmasse [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerb. [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
Alu-Verbund Fassadenplatte, Regionallager CH	7.1	m ²	54'710	1'020	899	48.7
Glasfaserverstärkte Kunststoffplatte, Polyester, Regionallager CH	2.41	m ²	18'505	290	279	16.0
HPL-Fassadenplatten, Regionallager CH	11.6	m ²	39'798	1'050	734	31.7

Werden die Umweltbelastungspunkte der Herstellung betrachtet, so weist die Alu-Verbundplatte die höchste Punktzahl auf. Dazu trägt die Herstellung der Aluminiumbarren fast 70 % bei, nur etwas über 20 % werden durch die Weiterverarbeitung zu Blechen und Verbundplatten verursacht. Weitere rund 7 % steuert die Bereitstellung der Kernbestandteile bei. Die Umweltbelastungspunkte der HPL-Fassadenplatte stammen zu 45 % aus den eingesetzten Kunstharz-Bindemitteln. Weitere 20 % trägt der Strombedarf in der Produktion bei, der abgeschätzt werden musste und sehr unsicher ist. Die Papierherstellung trägt weitere 18 % zur Gesamtpunktzahl bei.

Der Rohstoff Aluminium trägt 47 % zum gesamten Primärenergiebedarf der Aluminiumplatte bei. Der zweitwichtigste Rohstoff ist das Polyethylen für den Kern, welches 20 % zum Gesamtergebnis beiträgt. Weitere 18 % stammen aus der Verarbeitung des Aluminiums, die abgeschätzt werden musste und mit einer erheblichen Unsicherheit belastet ist. Mit einem Beitrag von 7 % ebenfalls bedeutend ist die Beschichtung der Aluminiumplatten, die mit einer Pulverbeschichtung abgeschätzt werden musste.

Die HPL-Platten benötigt nur unwesentlich mehr Energie in der Herstellung als die Alu-Verbundplatte. Der Energieaufwand wird hauptsächlich durch die Bindemittel und die eingesetzten Papiere verursacht. Der Energieverbrauch der Endfertigung trägt knapp 10 % zum Primärenergieverbrauch total bei.

Bezüglich der Treibhausgasemissionen weist die Alu-Verbundplatte die höchsten Emissionen auf, verursacht durch den hohen Bedarf an nicht erneuerbaren Energien in der Herstellung und die Kohlendioxid-Emissionen in der Elektrolyse des Rohaluminiums. Das beste Ergebnis bezüglich der Treibhausgasemissionen weist die GFK-Platte auf. Der Treibhauseffekt der Herstellung von GFK-Platten wird vorwiegend durch die Bereitstellung des ungesättigten Polyester-Harzes verursacht, das 85 % zum Ergebnis beiträgt. Weitere 9 % stammen aus der Herstellung der Glasfasern. Der relativ lange Transportweg von der Produktion zum Absatzmarkt trägt zusätzliche 3 % zu den Treibhausgas-Emissionen bei.

J.8.2 Einfluss der Mittelwertbildung

Alle präsentierten Daten basieren auf der Bildung von Mittelwerten unterschiedlicher Produkte oder unterschiedlicher Produktionsstandorte. Auf die Aluverbundplatten treffen beide Aussagen zu, GFK-Platten werden gewellt oder eben vermarktet und

HPL-Platten durch unterschiedliche Produzenten hergestellt. Eine Aussage zur Streuung zwischen den einzelnen Produkten ist schwierig zu treffen, da bereits aus den verfügbaren Daten gemittelte Rezepturen erstellt wurden. Im Falle der Alu-Verbundplatten wurden flammgeschützte und nicht-flammgeschützte Platten getrennt bilanziert, im Fall der HPL-Platten die Produktionsstandorte Österreich und Holland, wobei die Rezepturen zu einem grossen Teil durch Kombination der verfügbaren Angaben aller Hersteller erstellt wurden.

Aus Tabelle 31 sind die Bilanzergebnisse für die Produktvarianten der Aluminiumplatten und aus Tabelle 33 diejenigen für die Produktionsstandorte der HPL-Platten ersichtlich, wobei zu beachten ist, dass sich die Flächengewichte der Produkte unterscheiden. Für GFK-Platten wurde nur eine kombinierte Bilanz für profilierte und ebene Platten erstellt. Da die Herstellerdaten für GFK-Platten bereits als Mittel über die Varianten vorlagen, kann keine Aussage zu den Produktvarianten getroffen werden. Tabelle 35 zeigt die prozentuale Abweichung zwischen den Produktvarianten für Alu-Verbundplatten und den Produktionsstandorten für HPL-Platten.

Tabelle 35: Vergleich Ökobilanzergebnisse für Produktvarianten oder Produktionsstandorte

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgasemissionen [kg CO ₂ -eq]
Alu-Verbund-Fassadenplatte, nicht flammgeschützt	m ²	100 %	100 %	100 %	100 %
Alu-Verbund-Fassadenplatte, flammgeschützt	m ²	106 %	103 %	103 %	104 %
HPL-Fassadenplatte, Produktion Österreich	m ²	100 %	100 %	100 %	100 %
HPL-Fassadenplatte, Produktion Niederlande	m ²	102 %	101 %	109 %	115 %

Die flammgeschützten Alu-Verbundplatten weisen zwischen 3 % und 6 % grössere Kennzahlen aus als die nicht flammgeschützten Alu-Verbundplatten. Dies liegt am höheren Flächengewicht der flammgeschützten Platten. Würde der Vergleich pro Kilogramm Platte durchgeführt, so würde sich dank der mineralischen Füllung des Kerns ein Vorteil von rund 20 % für die flammgeschützten Platten ergeben.

Die Indikatoren für die beiden Produktionsstandorte der HPL-Platten unterscheiden sich in den UBP und der Primärenergie gesamt nur geringfügig. Aufgrund der weitgehend identischen Rezeptur, die für beide Produktionsstandort verwendet wurde, war auch kein anderes Ergebnis zu erwarten. Auffällig ist die Differenz von 9 % bei der nicht-erneuerbaren Primärenergie und 15 % bei den Treibhausgasen. Diese werden verursacht durch den wesentlich höheren Anteil von Gas- und Kohlekraftwerken am niederländischen Strommix im Vergleich zum Österreichischen.

J.8.3 Bestehende Bilanz für GFK-Platten in ecoinvent 2.2

Für Glasfaser-verstärkten Kunststoff aus ungesättigten Polyestern besteht ein Datensatz in ecoinvent 2.2, der aufgrund von Literaturdaten erstellt wurde (Kellenberger et al., 2007). Dieser bezieht sich jedoch auf die Anwendung in der Solartechnologie. Die GFK-Platten aus UP-Harzen in ecoinvent 2.2 werden manuell in Negativformen gegossen. Der Prozess bezieht sich also auf ein Fertigungsverfahren für Bauteile mit komplexeren Formen als Fassadenplatten, wie zum Beispiel vorgefertigte Gartenteichformen. Hier wird der Datensatz zum Plausibilitätscheck des erarbeiteten Datensatzes für Fassadenplatten verwendet. Die Ökobilanzergebnisse für die Indikatoren gemäss KBOB-Liste für den ecoinvent Datensatz "glass fibre reinforced plastic, polyester resin, hand lay-up, at plant" sind in Tabelle 36 ausgewiesen.

Tabelle 36: Glasfaserverstärkter Kunststoff, ecoinvent 2.2

Ökobilanz-Datensatz - Region	Flächenmasse [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
glass fibre reinforced plastic, polyester resin, hand lay-up, at plant - RER	-	kg	6'595	82.6	80.6	4.46

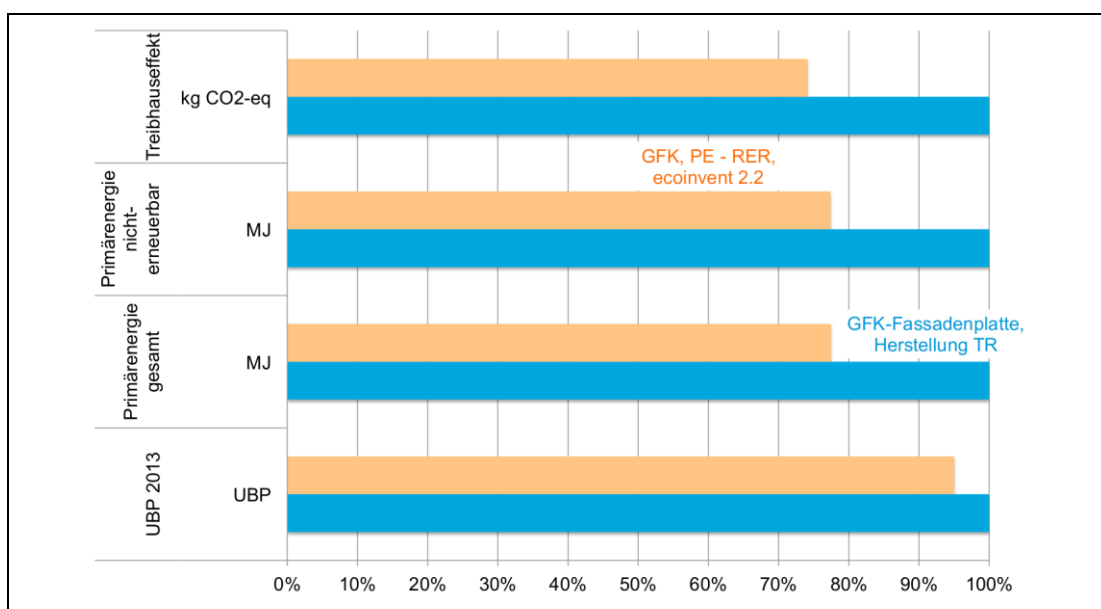


Abbildung 4: Vergleich Ökobilanzergebnisse GFK-Fassadenplatten mit GFK ecoinvent

In Abbildung 4 werden die Ökobilanz-Ergebnisse des ecoinvent-Datensatzes den Ergebnissen des neu erarbeiteten Datensatzes für die Herstellung der GFK-Fassadenplatten gegenübergestellt. Für den Vergleich wird der ecoinvent-Datensatz mit dem Flächengewicht der GFK-Fassadenplatten von 2.41 kg/m² multipliziert. Die

Ergebnisse des ecoinvent-Datensatzes liegen zwischen 70 % und 95 % der Ergebnisse der GFK-Fassadenplatten. Die tieferen Ergebnisse des ecoinvent-Datensatzes erklären sich daraus, dass dieser mit einem Glasfaseranteil 63.2 % rechnet, während die GFK-Fassadenplatten einen Glasfaseranteil von 30 % aufweisen.

J.9 Literaturverzeichnis

3A Composites GmbH (Hrsg.) (8. Juni 2014) *Umwelt-Produktdeklaration - ALU-COBOND*. IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., Panoramastr. 1, 10178 Berlin, Deutschland.

Alcoa (Hrsg.) (n. d.-a) *Reynobond Architecture - Discover new perspectives*. Alcoa Architectural Products SAS, 1 Rue du Ballon, 68500 Merxheim, France.

Alcoa (Hrsg.) (n. d.-b) *Specification Text - Ventilated facades with Reynobond Architecture, aluminium composite panels*. Alcoa Architectural Products SAS, 1 Rue du Ballon, 68500 Merxheim, France.

Alucoil (Hrsg.) (n. d.) *Ficha técnica de producto - Iarson fr 405*. Alucoil, Polígono Industrial de Bayas, C/ Ircio. Parcelas R72-77, 09200 Miranda de Ebro, Burgos, España.

M. Classen, H.-J. Althaus, S. Blaser, M. Tuchschnid, N. Jungbluth, G. Doka, ... W. Scharnhorst (2009) *Life Cycle Inventories of Metals*. In Final report ecoinvent data v2.1 (Bd. No 10). Dübendorf, CH: EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

CSTB (Hrsg.) (20. November 2009) *Reaction to Fire Classification Report No. RA09-0407 - According To The European Standard NF EN 13501-1 - REYNOBOND FR*. Alcoa Architectural Products S.A.S., 1 Rue Du Ballon, 68500 Merxheim, France.

Egger (Juni 2009) *Technisches Merkblatt Gegenüberstellung CPL - HPL*. EGGER Retail Products GmbH, Weiberndorf 20, A-6380 St. Johann in Tirol.

Fraunhofer FEP (2010) *ELEKTRONENSTRAHL- HÄRTUNG VON LACKEN*. Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP. Abgerufen von www.fep.fraunhofer.de

R. Frischknecht (23. Juli 2013) *Memo: Regeln für Ökobilanzdaten im Baubereich gemäss der KBOB-Liste*. Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich.

R. Frischknecht, N. Jungbluth, H.-J. Althaus, G. Doka, R. Dones, T. Heck, ... G. Wernet (2007) *Overview and Methodology*. In ecoinvent report No. 1, v2.0. Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

FunderMax GmbH (10. Februar 2012) *UMWELT-PRODUKTDEKLARATION MAX Compactplatte*. IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., Rheinufer 108, D-53639 Königswinter.

GDA - Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V. (Hrsg.) (18. November 2013) *UMWELT-PRODUKTDEKLARATION - Aluminiumverbundplatten*. IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., Panoramastr. 1, 10178 Berlin.

D. Kellenberger, H.-J. Althaus, T. Künniger, N. Jungbluth, M. Lehmann & P. Thalmann (Dezember 2007) *Life Cycle Inventories of Building Products*. In Final report

ecoinvent Data v2.0 No. 7. Dübendorf, CH: EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories,.

Novelis (Hrsg.) (2008) *Table of properties for semi-finished rolled aluminium goods*. Novelis Deutschland GmbH, Gaterslebener Str. 1, 06469 Nachterstedt, Deutschland.

M. Rabenstein, I. Fullana & Kosińska (Februar 2013) *Umwelt-Produktdeklaration für „StoVentec Trägerplatte 12 mm“, „StoVentec Trägerplatte 20 mm“, „StoSilent Panel Alu 15 mm“, „StoSilent Panel Alu 25 mm“, „StoSilent Top Panel Alu 15 mm“ und „StoSilent Top Panel Alu 25 mm“* (Hintergrundbericht zur Umwelt-Produktdeklaration - Ökobilanz). Stühlingen, Leinfelden–Echterdingen, Deutschland: Sto Aktiengesellschaft, PE INTERNATIONAL AG.

Trespa International B.V. (28. Juni 2012a) *UMWELT-PRODUKTDEKLARATION Meteor Fire Retardant*. IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., Rheinallee 108, D-53639 Königswinter.

Trespa International B.V. (28. Juni 2012b) *UMWELT-PRODUKTDEKLARATION Meteor Standard*. IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., Rheinallee 108, D-53639 Königswinter.

Wikipedia-Autoren (4. März 2015) *Aluminiumhydroxid*. In Wikipedia. Abgerufen von <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Aluminiumhydroxid&oldid=139429943>



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht, Januar 2016

Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich"

Projekt QualiBOB
Teilbericht K: Putzträgerplatten

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Hochbauten Stadt Zürich
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Auftragnehmer:

Projektteam QualiBOB

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

Ueli Kasser, Büro für Umweltchemie, u.kasser@umweltchemie.ch (Projektleitung)
Matthias Klingler, Büro für Umweltchemie, m.klingler@umweltchemie.ch
Daniel Savi, Büro für Umweltchemie, d.savi@umweltchemie.ch

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG
Peter Gerber, BAFU, Fachbereich Ökobilanzen
Norbert Egli, Vertretung BAFU Sektion Konsum und Produkte, Tridee GmbH
Michael Pöll, AHB Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500996-01

BAFU-Vertrags- und Projektnummer: 10.0041.PJ / N043-0527, O022-2110

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

K	PUTZTRÄGERPLATTEN	K-1
K.1	Untersuchungsrahmen	K-1
K.1.1	Bilanzierte Produkte	K-1
K.1.2	Funktionelle Einheit	K-2
K.1.3	Systemgrenzen	K-2
K.1.3.1	Herstellung	K-2
K.1.3.2	Regionallager Schweiz	K-4
K.1.3.3	Entsorgung	K-5
K.1.4	Allokation	K-5
K.1.5	Marktsituation Schweiz	K-5
K.1.6	Abschneidekriterien	K-5
K.1.7	Zeitliche und geografische Gültigkeit	K-5
K.1.8	Datenquellen und Datenqualität	K-6
K.2	Sachbilanzdaten	K-7
K.2.1	Kunstharzgebundene Putzträgerplatte	K-7
K.2.2	Mineralisch gebundene Putzträgerplatte	K-10
K.3	Resultate	K-11
K.4	Vergleich mit Resultaten der EPD	K-12
K.5	Fazit	K-14
K.6	Literaturverzeichnis	K-14

K Putzträgerplatten

K.1 Untersuchungsrahmen

K.1.1 Bilanzierte Produkte

Putzträgerplatten werden in hinterlüfteten Fassaden oder in Ständerkonstruktionen als Tragschicht für den Putz eingesetzt. In diesem Bericht wird die Produktgruppe in kunstharzgebundene und mineralisch gebundene Putzträgerplatten unterteilt. Für beide Plattentypen wird ein Ökobilanzdatensatz erstellt. Es wird jeweils das Standardprodukt ohne spezielle Ausrüstung, zum Beispiel für verbesserten Schallschutz, bilanziert. Die bilanzierte kunstharzgebundene Putzträgerplatte ist in Abbildung 1 inklusive eines Musteraufbaus für den Putz wiedergegeben.



Abbildung 1: Modell Wandaufbau mit StoVerotec Putzträgerplatte direkt auf einem Holzständer und Putzaufbau mit Armierungsgewebe, Deckputz und Anstrich

K.1.2 Funktionelle Einheit

Bilanziert wird ein Quadratmeter Putzträgerplatte. Für die Ökobilanzierung wird mit einer mittleren Plattendicke gerechnet. Kunstharzgebundene Putzträgerplatten werden in den Dicken 12 mm und 20 mm hergestellt. Für beide Dicken erfasste der Hersteller die Produktionsmenge in Quadratmetern. Aus der Dicke und der Rohdichte der Platten ergibt sich das mittlere Flächengewicht. Die Tabelle 1 gibt die erwähnten Kennzahlen wieder.

Für die mineralisch gebundene Putzträgerplatte zur Anwendung im Aussenbereich ergibt sich aus der Leistungserklärung (Knauf USG, 2013b) und der Umweltproduktdeklaration (Knauf USG, 2013c) übereinstimmend ein Flächengewicht von 14.4 kg/m², währenddessen die technische Dokumentation des Herstellers ein Flächengewicht von zirka 16 kg/m² angibt (Knauf, 2014). Für diesen Bericht werden die Kennzahlen aus Leistungserklärung und Umweltproduktdeklaration verwendet. Die Platten werden in einer Stärke von 12.5 mm hergestellt.

Tabelle 1: Funktionelle Einheit und Kennzahlen

Plattentyp	Kunstharzgebunden	Mineralisch gebunden
Funktionelle Einheit	1 m ² Platte	1 m ² Platte
Flächengewicht [kg/m ²]	6.3	14.4
Mittlere Stärke [mm]	13	12.5
Rohdichte [kg/m ³]	487	1'150

K.1.3 Systemgrenzen

K.1.3.1 Herstellung

Der Herstellungsprozess umfasst den Abbau der Rohstoffe, die Aufbereitung der Rohstoffe zu Zwischenprodukten und die Herstellung des Endprodukts inklusive der Transportverpackung des verkaufsfertigen Produkts ab Fabrikator. Sämtliche Transporte in der Herstellungskette werden berücksichtigt.

Bei der Herstellung von kunstharzgebundenen Putzträgerplatten wird Blähglasgranulat durch Zugabe von Epoxidharz zu einer Masse vermischt. Diese Masse wird in eine Pressform mit vorgelegtem Glasgittergewebe eingebracht. Auch die Oberseite wird mit einem Glasgittergewebe belegt. Dann wird unter Wärmezufuhr zur Aushärtung des Epoxidharzes eine starre Platte gepresst. Nach der Entnahme aus der Pressform wird die Platte zugeschnitten und für den Transport verpackt. Die Vorprodukte werden aus Primärmaterial gefertigt, mit Ausnahme des Blähglases, dessen Hauptbestandteil Recyclingglas darstellt. Recyclingrohstoffe gelangen gemäss cut-off-Methode vonecoinvent 2.2 frei von Lasten früherer Produktions- und Nutzungszyklen in das Produktionssystem. Die Herstellung der kunstharzgebundenen Putzträgerplatte inklusive Systemgrenze ist in Abbildung 2 skizziert.

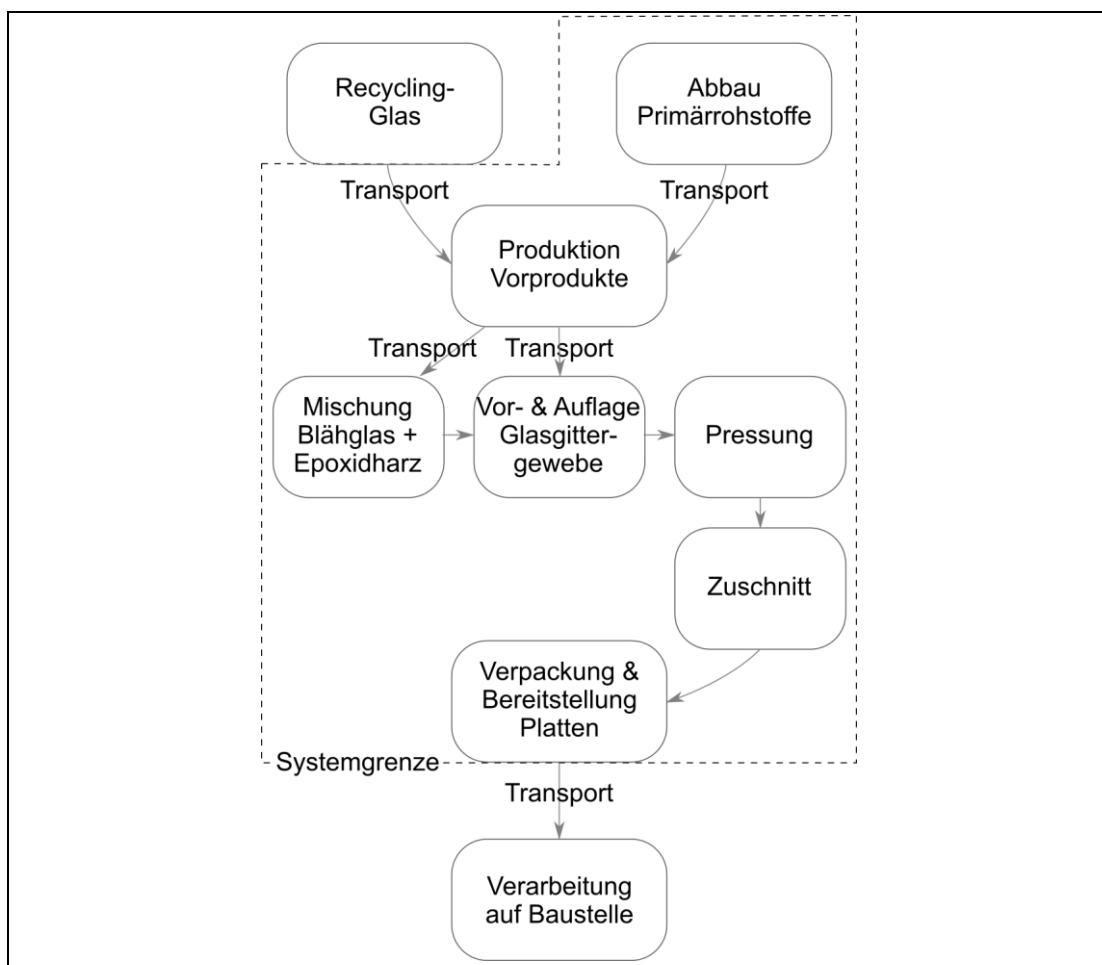


Abbildung 2: Produktionsschema kunstharzgebundene Putzträgerplatte mit Systemgrenze

Der Herstellungsprozess für mineralisch gebundene Putzträgerplatten folgt in groben Zügen demselben Muster. Das Glasgewebe für die untere Deckschicht wird zunächst in zementösen Schlämmen getränkt und auf ein Förderband aufgegeben. Dann wird die Kernmischung aus Zement und Füllstoffen darauf appliziert. Diese zwei Lagen werden unter eine Rolle kontinuierlich gepresst. Danach wird das Glasgewebe für die Deckschicht auf der Oberseite ebenfalls in zementösen Schlämmen getränkt und appliziert. Die Platten werden danach abgelängt und zum Abbinden zwischengelagert. Nach der Lagerung werden die Platten auf die gewünschten Größen zugesägt und verpackt. Der gesamte Produktionsprozess ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

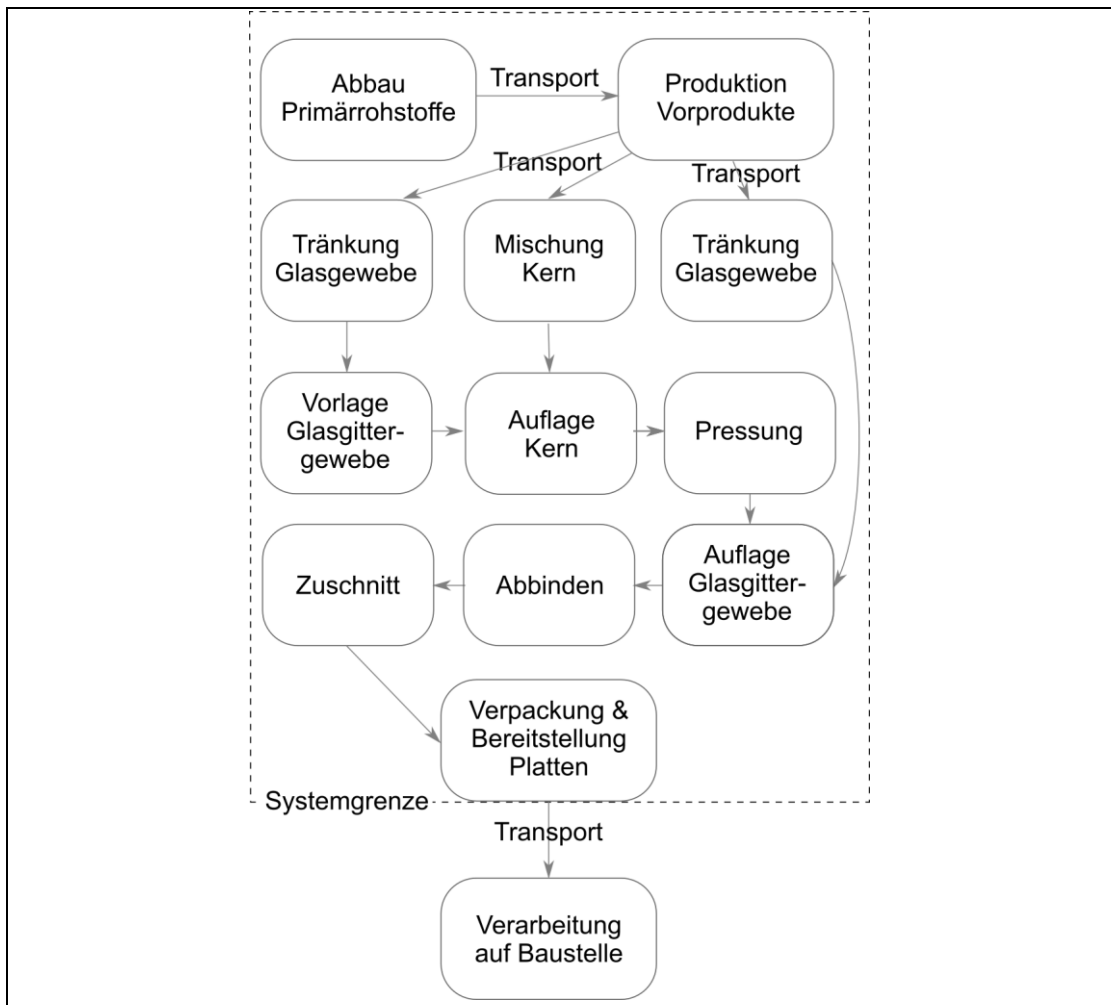


Abbildung 3: Produktionsschema mineralisch gebundene Putzträgerplatte mit Systemgrenze

K.1.3.2 Regionallager Schweiz

Für alle Produkte, welche nicht in der Schweiz hergestellt werden, wird der Transport ins Regionallager Schweiz berücksichtigt. Für beide bilanzierten Produkttypen ist Deutschland der Produktionsstandort.

Für den Transport in die Schweiz wurde die Distanz zwischen Herstellungswerk und Schweizer Vertriebsstandort mit einem Routenplaner berechnet. Für die kunstharzgebundene Platte sind dies Lauingen/Donau in Deutschland und Niederglatt in der Schweiz hergeleitet. Für die mineralisch gebundene Putzträgerplatte liegt das Herstellerwerk in Iserlohn, Deutschland und der Vertrieb für die Schweiz in Reinach. Die Tabelle 2 enthält die ermittelten Distanzen. Als Transportmittel wurde ein Sattelzug mit mehr als 32 Tonnen Gesamtgewicht nach EURO4-Norm eingesetzt.

Tabelle 2: Transportdistanzen ins Regionallager Schweiz

Plattentyp	Kunstharzgebunden	Mineralisch gebunden
Distanz Herstellung – Vertrieb Schweiz [km]	300	550

K.1.3.3 Entsorgung

Die Entsorgung wird gemäss den Methodenvorgaben der KBOB-Liste (Frischknecht, 2013) modelliert. Die Transportdistanzen zwischen Baustelle und Deponie entsprechen den Standarddistanzen von ecoinvent 2.2. Beide Plattentypen werden in eine Inertstoffdeponie entsorgt. Für die kunstharzgebundene Putzträgerplatte wird der Kunststoffanteil in der Modellierung berücksichtigt.

K.1.4 Allokation

Für die kunstharzgebundenen Putzträgerplatten liegen detaillierte Angaben zur Allokation im Herstellungsprozess vor. Der Rohstoffbedarf wurde beim Hersteller spezifisch für die Putzträgerplatten erfasst. Die Umrechnung auf die funktionelle Einheit erfolgte über die Massen der produzierten Platten. Die Energie wurde über das gesamte Werk erfasst. Die Allokation erfolgte über den Flächenanteil der Putzträgerplatten an der im Werk produzierten Fläche aller Produkte.

Für die mineralisch gebundenen Putzträgerplatten wurde die Produktionsenergie durch den Hersteller deklariert. Gemäss Herstellerangaben wird nur elektrischer Strom in der Produktion eingesetzt.

K.1.5 Marktsituation Schweiz

In der Schweiz sind nach derzeitigem Kenntnisstand nur die Produkte zweier Hersteller von Bedeutung. Die Bilanzierung erfolgte aufgrund der Angaben dieser beiden Hersteller.

K.1.6 Abschneidekriterien

Alle verfügbaren Daten wurden für die Bilanzierung verwendet. Es wurden keine Daten aus Überlegungen zur Relevanz für das Ergebnis nicht in die Betrachtungen einbezogen.

K.1.7 Zeitliche und geografische Gültigkeit

Die Daten beziehen sich auf den Produktionsstandort Deutschland. Die Produktionsdaten der kunstharzgebundenen Putzträgerplatten wurden durch den Hersteller in den Produktionsjahren 2010 und 2011 erfasst. Die Produktionsdaten der zementgebundenen Putzträgerplatte beziehen sich auf das Produktionsjahr 2011.

Die Hintergrunddaten für Rohstoffe und Prozesse für die kunstharzgebundene Putzträgerplatte stammen aus der Datenbank Ecoinvent 2.2 und unterscheiden sich in ihrer Aktualität, wie in Tabelle 3 ausgewiesen.

Tabelle 3: Aktualität der Ecoinvent-Daten zur kunstharzgebundenen Putzträgerplatte

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Bindemittel (Bisphenol A-Epoxidharz)	epoxy resin, liquid, at plant – RER	1994
Additive (Flammschutzmittel Aluminiumhydroxid)	aluminium hydroxide, at plant – RER	1995
Glasfasergitter	glass fibre, at plant – RER	2000
Treibmittel (Wasserstoff-Polysiloxan)	silicone product, at plant – RER	1997
Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Verschnitte in Entsorgung	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH	
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid – DE	1992
Thermische Energie aus Heizöl el.	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating – RER	1991
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Transporte Vorprodukte	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	2005
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Referenzjahr
Fabrik	plastics processing factory – RER	1999

K.1.8 Datenquellen und Datenqualität

Für die kunstharzgebundene Putzträgerplatte konnten die Daten aus dem Hintergrundbericht zur firmenspezifischen EPD der Firma sto verwendet werden (Rabenstein et al., 2013). Aus den Herstellerangaben für die zwei Putzträgerplatten Sto-Ventec mit den Dicken 12 mm und 20 mm wurde aufgrund der Produktionsmengen ein gewichtetes Mittel aller Inhaltstoffe, Transporte in der Produktionskette und des Energieverbrauchs berechnet. Die Inhaltsstoffe werden vollständig ausgewiesen. Der Verschnittanteil während der Herstellung wurde ebenfalls angegeben. Die Datenqualität wird als sehr gut eingeschätzt.

Der Hersteller der mineralisch gebundenen Putzträgerplatten stellte den Hintergrundbericht zur Umweltproduktdeklaration (Knauf USG, 2013a) zur Verfügung. Zudem konnten die Angaben aus einer früheren Ökobilanzierung im Auftrag eines Systemanbieters verwendet werden (Klingler et al., 2011). Zum Produktionsprozess der mineralisch gebundenen Putzträgerplatte stellte der Hersteller einen Prozessbeschreibung zur Verfügung. Zudem ist der Herstellungsprozess in der Umweltproduktdeklaration beschrieben. Der Produktionsaufwand und die Transportwege der Vorprodukte konnten aus dem Hintergrundbericht entnommen werden. Gemäss den Angaben im Hintergrundbericht zur EPD werden alle Abschnitte wieder in der Produktion der Putzträgerplatten eingesetzt. Die Transportverpackung ist für die kunstharzgebundene Platte aus Herstellerangaben bekannt. Für die mineralisch gebundene Platte wurde aufgrund fehlender Herstellerangaben dieselbe Transportverpackung eingerechnet. Die Datenqualität kann für die zementgebundene Putzträgerplatte als gut eingeschätzt werden.

K.2 Sachbilanzdaten

K.2.1 Kunstharzgebundene Putzträgerplatte

Für die kunstharzgebundene Putzträgerplatte wird die Sachbilanz der Herstellung zusammen mit den verwendeten ecoinvent-Datensätzen in Tabelle 4 ausgewiesen. Die Produktion wurde in erster Priorität mit ecoinvent-Datensätzen für Deutschland modelliert. In zweiter Priorität kamen europäische und in dritter Priorität schweizerische Datensätze zum Einsatz.

Das Blähglas wurde mit dem Datensatz für die Schaumglas-Herstellung bei Misapor in der Schweiz modelliert ("Misapor Schaumglas Herstellung / Strommix CH (Durchschnitt) – CH"). Dieser Datensatz wurde im Projekt QualiBOB erstellt und ist im Teilbericht C zum Dämmbeton dokumentiert. Für das Bindemittel Epoxydharz liegt ein passender Ecoinvent-Datensatz "epoxy resin, liquid, at plant – RER" vor. Das Flammschutzmittel Aluminiumhydroxid kann durch den europäischen Datensatz "aluminium hydroxide, at plant – RER" in Ecoinvent berücksichtigt werden. Für das Glasgittergewebe wurde der ecoinvent-Datensatz für Glasfasern "glass fibre, at plant – RER" eingesetzt (Kellenberger et al., 2007). Dabei wird die Herstellung des Gewebes vernachlässigt. Das Glasgittergewebe macht 5% des Ausgangsstoff-Inputs aus. Da die Glasherstellung selbst sehr energieintensiv ist, kann davon ausgegangen werden, dass die Herstellung des Gewebes einen kleinen Teil an der Ökobilanz des Glasgittergewebes ausmacht. Somit kann der vernachlässigte Aufwand an der Herstellung des Endprodukts auf kleiner ein Prozent abgeschätzt werden. Für das Treibmittel wurde näherungsweise der Datensatz für die Herstellung von Silikonprodukten "silicone product, at plant – RER" eingesetzt. Für die Verschnitte wird eine Entsorgung in einer Inertstoffdeponie angenommen, für die der Ecoinvent-Datensatz "disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH" verwendet werden konnte.

Zur Produktionsstätte liegen keine Angaben vor. Als grobe Abschätzung wurde der ecoinvent-Datensatz "plastics processing factory – RER" eingesetzt. Der Beitrag zum Resultat ist sehr gering, wodurch sich diese grobe Annahme rechtfertigen lässt.

Die Transportdistanzen wurden für alle Vorprodukte detailliert durch den Hersteller ausgewiesen und sind in Tabelle 5 aufgeführt. Für die Transportdistanz in die Deponie wurde die Standarddistanz für Bauabfälle in ecoinvent von 15 km verwendet. Alle Transporte erfolgen per LKW. Sie alle werden mangels genauerer Angaben mit dem ecoinvent-Datensatz "Transport, LKW >32t, EURO4" berechnet.

Tabelle 4: Sachbilanz Putzträgerplatte kunstharzgebunden, Herstellung - DE

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Poraver Blähglas	Misapor Schaumglas Herstellung / Strommix CH (Durchschnitt) – CH	kg	5.01
Bindemittel (Bisphenol A-Epoxidharz)	epoxy resin, liquid, at plant – RER	kg	0.56
Additive (Flammschutzmittel Aluminiumhydroxid)	aluminium hydroxide, at plant – RER	kg	0.47
Glasgittergewebe	glass fibre, at plant – RER	kg	0.32
Treibmittel (Wasserstoff-Polysiloxan)	silicone product, at plant – RER	kg	0.0092
Abfälle	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Verschnitte in Entsorgung	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill – CH		0.1
Energie	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Elektrizität	electricity, medium voltage, at grid – DE	MJ	5.77
Thermische Energie aus Heizöl el.	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating – RER	MJ	6.94
Transporte Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transporte Vorprodukte	transport, lorry >32t, EURO4 – RER	tkm	2.031
Infrastruktur	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Fabrik	plastics processing factory – RER	Stk.	5*10 ⁻¹⁰
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Putzträgerplatte, Herstellung	Putzträgerplatte kunstharzgebunden, Herstellung – DE	m ²	1

Tabelle 5: Transportdistanzen der Roh- und Ausgangsstoffe zur Putzträgerplattenproduktion

Roh- und Ausgangsstoffe	Einheit	Menge
Poraver Blähglas	km	260
Bindemittel (Bisphenol-A Epoxidharz)	km	530
Treibmittel (Wasserstoff-Polysiloxan)	km	230
Additive (Flammschutzmittel Aluminiumhydroxid)	km	490
Glasgittergewebe	km	620
Produktionsabfälle in die Entsorgung	km	15

Die Verpackung wurde pro Quadratmeter Putzträgerplatte bilanziert. Da nur Daten für die kunstharzgebundene Platte vorlagen, wird dieselbe Verpackungsbilanz für beide Plattentypen verwendet. Für die Einwegpaletten wurde der ecoinvent-Datensatz für Mehrwegpaletten verwendet. Die Mehrweg- und Einwegpaletten werden im Hintergrundbericht zur kunstharzgebundenen Putzträgerplatte (Rabenstein et al., 2013) in Kilogramm ausgewiesen. Für die Bilanzierung wurden die Gewichte mit einem Stückgewicht von 22 kg in Stückzahlen für die Verwendung des ecoinvent-Datensatzes umgerechnet (Kellenberger et al., 2007). Die PE-Folie wurde aus dem Rohmaterial LDPE und dem generischen Datensatz für die Kunststoffextrusion modelliert. Für alle Verpackungsmaterialien wird, entsprechend der Annahme in der Umweltproduktdeklaration, eine Transportdistanz zum Hersteller von 185 km angenommen.

Tabelle 6: Sachbilanz Putzträgerplatte, Verpackung, pro m² Putzträgerplatte - DE

Roh- und Ausgangsstoffe	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Europaletten	EUR-flat pallet - RER	Stk.	0.0064
Einwegpaletten	EUR-flat pallet - RER	Stk.	0.0026
Pappe/Papier	Kraft paper, unbleached, at plant - RER	kg	0.024
PE-Folie	polyethylene, LDPE, granulate, at plant - RER	kg	0.003
	extrusion, plastic film - RER	kg	0.003
Transporte Verpackung	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Total Transporte Verpackung	transport, lorry >32t, EURO4 - RER	tkm	0.042
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Putzträgerplatte, Verpackung	Putzträgerplatte, Verpackung, pro m ² Putzträgerplatte – DE	m ²	1

Die Transportdistanz zwischen dem Werk in Deutschland und der Schweiz für die Sachbilanz in Tabelle 7 wurde gemäss den Erläuterungen in Kapitel K.1.3.2 abgeschätzt. Die Transportleistung in tkm/m² ergibt sich durch Multiplikation mit dem Flächengewicht der Putzträgerplatten.

Tabelle 7: Sachbilanz Putzträgerplatte kunstharzgebunden, Transport DE -> CH

Transport Putzträgerplatten	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transport ins Regionallager Schweiz	transport, lorry >32t, EURO4 - RER	tkm	1.88
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Putzträgerplatte, Transport DE->CH	Putzträgerplatte kunstharzgebunden, Transport DE->CH – RER	m ²	1

Der Datensatz für die Bereitstellung ab Regionallager Schweiz wird durch einfache Addition der Datensätze für Herstellung, Verpackung und Transport ins Regionallager Schweiz erstellt. Die zugehörige Sachbilanz ist in Tabelle 8 ausgewiesen.

Tabelle 8: Sachbilanz Putzträgerplatte kunstharzgebunden, Regionallager CH

Transport Putzträgerplatten	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Putzträgerplatte, Herstellung	Putzträgerplatte kunstharzgebunden, Herstellung – DE	m ²	1
Putzträgerplatte, Verpackung	Putzträgerplatte, Verpackung, pro m ² Putzträgerplatte – DE	m ²	1
Putzträgerplatte, Transport DE->CH	Putzträgerplatte kunstharzgebunden, Transport DE->CH – RER	m ²	1
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Putzträgerplatte, Regionallager CH	Putzträgerplatte kunstharzgebunden, Regionallager CH	m ²	1

Putzträgerplatten werden hauptsächlich in hinterlüfteten Fassaden verwendet. Sie werden ersetzt, falls die Fassade beschädigt oder tiefgreifend verändert wird. Die Putzträgerplatten fallen als Teil der Bauschuttfraktion an und werden nach heutigem Stand der Technik in einer Inertstoffdeponie entsorgt. Für die Bilanzierung der Entsorgung wird die Zusammensetzung der Putzträgerplatte berücksichtigt. Die organischen Anteile werden durch den Datensatz für Kunststoffputz approximiert. Der Anteil organischer Bestandteile von über 10 % ist in einer Inertstoffdeponie problematisch. Es ist längerfristig mit Emissionen aus den organischen Bestandteilen zu rechnen. In der Ökobilanzierung kann diese Problematik jedoch derzeit nicht berücksichtigt werden. Die Modellierung der Inertstoffdeponie in ecoinvent 2.2 berücksichtigt auch für organische Fraktionen keine spezifischen Emissionen.

Tabelle 9: Sachbilanz Putzträgerplatte kunstharzgebunden, Entsorgung - CH

Material in Entsorgung	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Putzträgerplatte Glasanteil	disposal, glass, 0% water, to inert material landfill - CH	kg	5.23
Putzträgerplatte weiterer Inertstoffanteil	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill - CH	kg	0.49
Putzträgerplatte organische Bestandteile	disposal, plastic plaster, 0% water, to inert material landfill - CH	kg	0.57
Transport Entsorgung	ecoinvent-Datensatz	Einheit	Menge
Standarddistanz Inertstoffdeponie gem. ecoinvent 2.2	transport, lorry >28t, fleet average - CH	tkm	0.094
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Putzträgerplatte, Entsorgung	Putzträgerplatte kunstharzgebunden, Entsorgung – CH	m ²	1

K.2.2 Mineralisch gebundene Putzträgerplatte

Die Angaben zur Rezeptur und der Produktion durch den Hersteller erfolgten unter der Bedingung der vertraulichen Behandlung. Daher wird die Sachbilanz der Herstellung im separaten, vertraulichen Teilbericht X ausgewiesen. In diesem Teilbericht werden die Sachbilanzen für den Transport in die Schweiz, die Bereitstellung ab Regionallager Schweiz und die Entsorgung nach der Nutzung dargestellt.

Die Transportdistanz zwischen dem Werk in Deutschland und der Schweiz für die Sachbilanz in Tabelle 10 wurde gemäss den Erläuterungen in Kapitel K.1.3.2 abgeschätzt. Die Transportleistung in tk/m² ergibt sich durch Multiplikation mit dem Flächengewicht der Putzträgerplatten.

Tabelle 10: Sachbilanz Putzträgerplatte mineralisch gebunden, Transport DE -> CH

Transport Putzträgerplatten	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Transport ins Regionallager Schweiz	transport, lorry >32t, EURO4 - RER	tkm	7.9
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Putzträgerplatte, Transport DE->CH	Putzträgerplatte mineralisch gebunden, Transport DE->CH – RER	m ²	1

Die Modellierung des Regionallagers erfolgte durch Kombination der Datensätze für Herstellung, Verpackung und Transport in die Schweiz, wie aus Tabelle 11 ersichtlich ist.

Tabelle 11: Sachbilanz Putzträgerplatte mineralisch gebunden, Regionallager CH

Transport Putzträgerplatten	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Putzträgerplatte, Herstellung	Putzträgerplatte mineralisch gebunden, Herstellung – DE	m ²	1
Putzträgerplatte, Verpackung	Putzträgerplatte, Verpackung, pro m ² Putzträgerplatte – DE	m ²	1
Putzträgerplatte, Transport DE->CH	Putzträgerplatte mineralisch gebunden, Transport DE->CH – RER	m ²	1
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Putzträgerplatte, Regionallager CH	Putzträgerplatte mineralisch gebunden, Regionallager CH	m ²	1

Die Bilanzierung der mineralisch gebundenen Putzträgerplatte gestaltet sich sehr einfach (Tabelle 12), da sie zu fast hundert Prozent aus mineralischen Bestandteilen gefertigt wird. Die organischen Komponenten machen insgesamt weniger als 0.1 kg aus und können in der Entsorgung in die Inertstoffdeponie ohne Auswirkung auf das Ergebnis als Inertstoffe berücksichtigt werden.

Tabelle 12: Sachbilanz Putzträgerplatte mineralisch gebunden, Entsorgung - CH

Material in Entsorgung	ecoinvent-Datensatz v2.2	Einheit	Menge
Putzträgerplatte Inertstoffanteil	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill - CH	kg	14.4
Transport Entsorgung	ecoinvent-Datensatz	Einheit	Menge
Standarddistanz Inertstoffdeponie gem. ecoinvent 2.2	transport, lorry >28t, fleet average - CH	tkm	0.216
Produkt	QualiBOB-Datensatz	Einheit	Menge
Putzträgerplatte, Entsorgung	Putzträgerplatte mineralisch gebunden, Entsorgung – CH	m ²	1

K.3 Resultate

Die Tabelle 13 zeigt die Ökobilanzergebnisse für die Herstellung in Deutschland, die Transportverpackung, sowie die Putzträgerplatten ab Regionallager Schweiz für die kunstharzgebundene Putzträgerplatte. Die Differenz zwischen Herstellung plus Verpackung und Regionallager Schweiz entspricht den Umweltwirkungen des Transports in die Schweiz. Zudem werden die Ergebnisse für die Entsorgung nach der Nutzungsdauer ausgewiesen. Tabelle 14 zeigt dieselben Kennzahlen für die mineralisch gebundene Putzträgerplatte.

Aus der Aufstellung ist ersichtlich, dass Verpackung und Transport ins Regionallager Schweiz die Umweltwirkung für die kunstharzgebundene Putzträgerplatte nur geringfügig erhöhen. Etwas anders liegen die Verhältnisse für die zementgebundene Putzträgerplatte. Durch den vergleichsweise langen Transportweg und das höhe-

re Flächengewicht der Platten erhöhen sich die Kennzahlen für die Bereitstellung ab Regionallager Schweiz im Vergleich zur Herstellung markt.

Tabelle 13: Ökobilanzergebnisse Putzträgerplatte kunstharzgebunden

Ökobilanz-Datensatz - Region	Flächengewicht [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
Putzträgerplatte kunstharzgebunden, Herstellung - DE	6.27	m ²	9'744	159	153	6.77
Putzträgerplatte, Verpackung - DE	–	m ²	150	7.38	1.98	0.0782
Putzträgerplatte kunstharzgebunden, Regionallager - CH	6.27	m ²	10'004	169	157	6.98
Putzträgerplatte kunstharzgebunden, Entsorgung - CH	6.27	m ²	95.4	1.47	1.46	0.0510

Tabelle 14: Ökobilanzergebnisse Putzträgerplatte mineralisch gebunden

Ökobilanz-Datensatz - Region	Flächengewicht [kg/m ²]	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
Putzträgerplatte mineralisch gebunden, Herstellung - DE	14.4	m ²	5'479	54.5	51.8	4.79
Putzträgerplatte, Verpackung - DE	–	m ²	150	7.38	1.98	0.0782
Putzträgerplatte mineralisch gebunden, Regionallager - CH	14.4	m ²	6'554	76.3	68.1	5.63
Putzträgerplatte mineralisch gebunden, Entsorgung - CH	14.4	m ²	218	3.36	3.34	0.117

K.4 Vergleich mit Resultaten der EPD

Für den Vergleich zwischen der hier vorgestellten Bilanzierung und der EPD der kunstharzgebundenen Putzträgerplatte müssen die Ergebnisse für Herstellung und Verpackung addiert werden. Die Bilanzergebnisse der vorliegenden Berechnung sind niedriger als die Ergebnisse der EPD für StoVentec-Trägerplatten (Sto Aktiengesellschaft, 2013), wie die Zusammenstellung in Tabelle 15 zeigt. Wichtigster Grund dafür ist der verwendete Datensatz für Blähglas aus der Produktion bei Misapor, da ecoinvent keinen Datensatz für Blähglas enthält. Das Blähglas ist mit einem Rohstoff-Anteil am Produkt von über 75 % die sensitivste Eingangsgrösse. In der EPD von sto wurden vertrauliche Produktionsangaben des Blähglasherstellers Poraver verwendet. Die Daten von Poraver stehen für die Berechnung im vorliegenden Projekt jedoch nicht zur Verfügung. Die höhere Abweichung bei den Treibhausgasemissionen kommt zum einen daher, dass die EPD das Treibhausgaspotential

nach den Äquivalenzfaktoren des IPCC aus 2007 berechnet, währenddessen die QualiBOB-Daten auf den IPCC-Faktoren von 2013 basieren, die allgemein zu niedrigeren Ergebnissen führen. Berechnet man den QualiBOB-Datensatz mit den IPCC-Werten aus dem Jahre 2007, ergibt sich nach wie vor eine Differenz von rund 26 %. Über die Ursache für diese Differenz kann nur gemutmasst werden. Möglich wäre der Unterschied zwischen schweizerischem und deutschem Elektrizitätsmix mit einem höheren Kohleanteil für die deutsche Blähglasproduktion. Diese Vermutung bestätigt ein ad-hoc vorgenommener Austausch des Elektrizitätsdatensatzes mit dem deutschen in der Misapor-Produktion. Die Berechnung mit dem so veränderten Datensatz ergibt denn auch einen Treibhauseffekt für die mineralische Putzträgerplatte von 8.9 kg (IPCC 2007, GWP 100a), womit die verbleibende Differenz im gleichen Bereich liegen würde wie für die anderen Indikatoren. Natürlich kann ein in dieser Weise angepasster Datensatz nicht für die Bilanzierung verwendet werden, da er weder die Produktion von Misapor noch die Produktion von Poraver korrekt wiedergeben würde.

Tabelle 15: Vergleich mit den EPD-Resultaten der kunstharzgebundenen Putzträgerplatten

Wirkungskategorie	EPD	QualiBOB	QualiBOB / EPD [%]
Primärenergie - gesamt [MJ]	184	166	90.4%
Primärenergie - nicht erneuerbar [MJ]	173	155	89.6%
Treibhauseffekt - GWP 100a [kg CO ₂ -eq]	10.3	6.85	66.3%

Die Daten in der Umweltproduktdeklaration (EPD) für mineralisch gebundene Putzträgerplatten (Knauf USG, 2013c) berücksichtigen nur die Herstellung ohne Transportverpackung. Dementsprechend werden auch die Herstellungsdaten ohne Verpackung aus dieser Studie für den Vergleich herangezogen. Die Resultate für den Primärenergiebedarf liegen in den QualiBOB-Ergebnissen um 40-50 % über den EPD-Ergebnissen, wie aus Tabelle 16 ersichtlich wird. Für den Treibhauseffekt liegen die Ergebnisse aus der EPD etwas über den Ergebnissen aus der hier dokumentierten Berechnung. Da der EPD wie auch der vorliegenden Berechnung dieselbe Sachbilanz zu Grunde liegt, kommen fast ausschliesslich Unterschiede in der Modellierung der Vorkette als Ursache für die Diskrepanzen beim Energiebedarf in Frage. Bereits der Primärenergiebedarf zur Herstellung der Rohstoffe liegt in den Berechnungen mit Ecoinvent-Grundlagendaten höher als die ausgewiesenen Ergebnisse der Umweltproduktdeklaration. Für die Rohstoffe Zement und Kalkstein wurden mangels Alternativen die Schweizer Datensätze verwendet, während für EPD Datensätze für Deutschland verwendet wurden. Da uns die GaBi-Datenbank nicht vorliegt, die zur Berechnung der Umweltindikatoren in der Umweltproduktdeklaration verwendet wurde, ist eine detaillierte Analyse der Unterschiede leider nicht möglich. Das niedrigere Ergebnis bei den Treibhausgasemissionen kann damit erklärt werden, dass die EPD das Treibhausgaspotential nach den Äquivalenzfaktoren des IPCC aus 2007 berechnet, währenddessen die QualiBOB-Ergebnisse auf den IPCC-Faktoren von 2013 basieren, die allgemein zu niedrigeren Ergebnissen führen.

Tabelle 16: Vergleich mit den EPD-Resultaten der mineralisch gebundenen Putzträgerplatten

Wirkungskategorie	EPD	QualiBOB	QualiBOB / EPD [%]
Primärenergie - gesamt [MJ]	38	54.5	141.9 %
Primärenergie - nicht erneuerbar [MJ]	35	51.8	147.6 %
Treibhauseffekt - GWP 100a [kg CO ₂ -eq]	5.1	4.8	93.4 %

K.5 Fazit

Für die kunstharzgebundene Putzträgerplatte ist die Datenbasis gut. Die Unterschiede zu den Ergebnissen der Umweltproduktdeklaration sind plausibel und auf die Verwendung unterschiedlicher Datensätze für die Vorprodukte zurückzuführen. Die grosse Diskrepanz bei den Treibhausgasemissionen dürfte aufgrund eines fehlenden Datensatzes für Blähglas aus deutscher Produktion und dem Wechsel der IPCC-Faktoren zustande kommen. Trotz dieser Einschränkung kann der Datensatz zur Publikation in der KBOB-Empfehlung der Ökobilanzdaten im Baubereich empfohlen werden.

Für die mineralisch gebundene Putzträgerplatte liegen ebenfalls Daten des Herstellers vor. Wie der Vergleich mit der EPD zeigt, weichen die Ergebnisse zwischen der Berechnung mittels ecoinvent-Daten und Umweltproduktdeklaration stärker voneinander ab als für die kunstharzgebundene Putzträgerplatte. Die Diskrepanz kann teilweise auf die Unterschiede bei den Vorprodukte zurückgeführt werden. Deshalb wird die Aufnahme des Datensatzes für die mineralisch gebundene Putzträgerplatte in die KBOB-Liste ebenfalls empfohlen.

K.6 Literaturverzeichnis

- R. Frischknecht (23. Juli 2013) *Memo: Regeln für Ökobilanzdaten im Baubereich gemäss der KBOB-Liste*. Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich.
- R. Frischknecht, N. Jungbluth, H.-J. Althaus, G. Doka, R. Dones, T. Heck, ... G. Wernet (2007) *Overview and Methodology*. In ecoinvent report No. 1, v2.0. Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- D. Kellenberger, H.-J. Althaus, T. Künniger, N. Jungbluth, M. Lehmann & P. Thalmann (Dezember 2007) *Life Cycle Inventories of Building Products*. In Final report ecoinvent Data v2.0 No. 7. Dübendorf, CH: EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories,.
- M. Klingler & U. Kasser (2011) *Ökologie der Sarna Granol Fassaden-Wärmedämm-Systeme*. Sarna Granol AG.
- Knauf (Hrsg.) (2014) *AQUAPANEL® Cement Board Outdoor*. KNAUF AQUAPANEL GmbH, Kipperstraße 19, 44147 Dortmund, Deutschland.
- Knauf USG (Hrsg.) (17. Juli 2013a) *Hintergrundbericht zur EPD für AQUAPANEL Cement Board Outdoor und Indoor*. Knauf USG Systems GmbH & Co.KG, Kipperstraße 19, 44147 Dortmund.
- Knauf USG (Hrsg.) (29. August 2013b) *Leistungserklärung, AQUAPANEL Cement Board Outdoor*. Knauf USG Systems GmbH & Co. KG, Sehensander Weg 19, D-

889633 Neuburg an der Donau.

Knauf USG (Hrsg.) (10. November 2013c) *Umwelt-Produktdeklaration AQUAPANEL® Cement Board Indoor / Outdoor*. IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., Berlin.

M. Rabenstein, I. Fullana & Kosińska (Februar 2013) *Umwelt-Produktdeklaration für „StoVentec Trägerplatte 12 mm“, „StoVentec Trägerplatte 20 mm“, „StoSilent Panel Alu 15 mm“, „StoSilent Panel Alu 25 mm“, „StoSilent Top Panel Alu 15 mm“ und „StoSilent Top Panel Alu 25 mm“* (Hintergrundbericht zur Umwelt-Produktdeklaration - Ökobilanz). Stühlingen, Leinfelden–Echterdingen, Deutschland: Sto Aktiengesellschaft, PE INTERNATIONAL AG.

Sto Aktiengesellschaft (3. August 2013) *Umwelt-Produktdeklaration StoVentec Trägerplatte*. IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., Königswinter.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht, Januar 16

Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich"

Projekt QualiBOB
Teilbericht L: Aerogel-Vliese

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Hochbauten Stadt Zürich
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Auftragnehmer:

Projektteam QualiBOB

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

Matthias Klingler, Büro für Umweltchemie, m.klingler@umweltchemie.ch

Daniel Savi, Büro für Umweltchemie, d.savi@umweltchemie.ch

Ueli Kasser, Büro für Umweltchemie, u.kasser@umweltchemie.ch (Projektleitung)

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG

Peter Gerber, BAFU, Fachbereich Ökobilanzen

Norbert Egli, Vertretung BAFU Sektion Konsum und Produkte, Tridee GmbH

Michael Pöll, AHB Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500996-01

BAFU-Vertrags- und Projektnummer: 10.0041.PJ / N043-0527, O022-2110

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

L	AEROGEL-VLIESE	L-1
L.1	Untersuchungsrahmen	L-1
L.1.1	Untersuchte Systeme.....	L-1
L.1.2	Datenquellen.....	L-1
L.1.3	Funktionelle Einheit.....	L-2
L.1.4	Systemgrenzen.....	L-2
L.1.4.1	Herstellung.....	L-2
L.1.4.2	Entsorgung.....	L-4
L.1.5	Allokation	L-4
L.1.6	Abschneidekriterien	L-4
L.1.7	Zeitliche und geographische Gültigkeit	L-4
L.1.8	Datenqualität.....	L-4
L.2	Sachbilanzdaten.....	L-5
L.2.1	Ausgangsstoffe	L-5
L.2.2	Trocknung bei atmosphärischem Druck.....	L-6
L.2.3	Überkritische Trocknung	L-7
L.2.4	Entsorgung.....	L-8
L.3	Resultate	L-8
L.4	Daten für die KBOB-Liste	L-11
L.5	Literaturverzeichnis	L-11

L Aerogel-Vliese

L.1 Untersuchungsrahmen

L.1.1 Untersuchte Systeme

Aerogele aus amorpher Kieselsäure (Silica) finden u.a. in folgenden Dämmstoffprodukten Verwendung:

- Dämmmatten und Dämmplatten mit Aerogelen auf Polyester- oder Glasfaser als Trägermaterial
- Granulat als Einblasdämmstoff
- Dämmputze
- Doppelschalige Verbundelemente aus glasfaserverstärkten Polyesterharzen gefüllt mit Aerogel-Granulat

Die Anwendung des Granulats als Einblasdämmstoff ist in der Schweiz kaum verbreitet. Für ein Hochleistungsdämmputz mit Aerogel wurden erst kürzlich Ökobilanzdaten publiziert (Franov, 2015). Gemäss Auskunft des Herstellers¹ sollen diese Daten auch demnächst in die KBOB-Liste einfliessen. Deshalb wurde der Aerogel-Dämmputz im vorliegenden Projekt nicht weiter untersucht.

Aufgrund der Verfügbarkeit von Daten wurde im vorliegenden Projekt nur die Anwendung von Aerogel in Kombination mit einem Polyester-Vlies untersucht. Es handelt sich hierbei um eine der gebräuchlichsten Anwendung von Aerogel im Baubereich. Die betrachtete Dämmstoffmatte hat eine Rohdichte von 110 kg/m^3 und eine spezifische Wärmeleitfähigkeit von ca. 0.015 W/mK . Es wurden zwei unterschiedliche Herstellungsverfahren berücksichtigt (überkritische Trocknung, Trocknung bei atmosphärischem Druck).

Der Markt für Aerogel-Granulat und Aerogel-Vliese wird heute von nur zwei Herstellern bestimmt (Cabot und Aspen Aerogels). Da die beiden Unternehmen keine Sachbilanzdaten zur Verfügung stellen wollen, wurden Daten aus einem europäischen Forschungsprojekt genutzt.

L.1.2 Datenquellen

In den Unterlagen von Aspen Aerogels ("Aspen Aerogels, Environmental Sustainability, Dokument zugestellt von Hr. Staub, Agitec," n.d.) gibt es Angaben zur nicht erneuerbaren Primärenergie und zu den Treibhausgasemissionen pro kg Produkt.

¹ Mündliche Auskunft von Severin Hartmeier Fixit an der appli-tech 05.02.2015

Dabei ist in den Unterlagen nicht ersichtlich welche Systemgrenzen angewendet und wie diese Ökobilanzzahlen berechnet wurden (siehe Tabelle 1). Vor 2 Jahren wurden eine Umweltproduktdeklaration für Aerogel-Vliese von derselben Firma veröffentlicht (Hill, 2013). Die darin enthaltenen Ökobilanzdaten für die nicht erneuerbare Primärenergie und die Treibhausgasemissionen unterscheiden sich erheblich von den Daten in den firmeninternen Unterlagen.

Tabelle 1: Ökobilanzdaten von Aspen Aerogels Inc.

Produkt	Quelle	Bezug	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgasemissionen [kg CO ₂ -eq.]
Spaceloft 10mm, 0.015 W/mK, 150 kg/m ³	firmeninterne Unterlagen	kg	56	4.4
	EPD		167	8.5

Die Daten aus diesen Unterlagen konnten für eine Ökobilanz nicht weiter genutzt werden, da in den Dokumenten keine Sachbilanzdaten vorhanden sind. Stattdessen wurden die Daten aus der Studie Aerogel-Based Composite/Hybrid Nanomaterials for Cost-Effective Building Super-Insulation Systems übernommen, welche von der Empa (Building Energy Materials) zur Verfügung gestellt wurden. In dieser Studie wurden Sachbilanzdaten für die Herstellung von Aerogel-Vliesen in den Labors der Empa in Dübendorf und von Separex in Frankreich erhoben.

L.1.3 Funktionelle Einheit

In den Labors wurden die Daten pro Batch erhoben und dann pro Kilogramm Produkt umgerechnet. In Analogie zu anderen Dämmstoffen in der KBOB-Liste ist die funktionelle Einheit 1 kg Aerogel-Vlies hergestellt nach dem Verfahren der überkritischen Trocknung oder durch Trocknung bei atmosphärischem Druck. Für die kommerziell erhältlichen Produkte, die eine Rohdichte um die 150 kg/m³ haben, ist nur das überkritische Trocknungsverfahren relevant. Das Trocknungsverfahren bei atmosphärischem Druck wurde in der vorliegenden Studie nur zwecks Forschungsinteressen untersucht.

L.1.4 Systemgrenzen

L.1.4.1 Herstellung

Bei der Herstellung von Aerogel-Vliesen wird in einem ersten Schritt ein Gel aus Kieselsäure hergestellt. Das Vlies wird in diesem Gel getränkt und dann in einem speziellen Verfahren so getrocknet, dass sich das im Gel vorhandene Porenvolumen beim Austrocknen nicht verkleinert. Dafür gibt es zwei mögliche Trocknungsverfahren, wobei das eine bei atmosphärischem Druck funktioniert und das andere im überkritischen Bereich (hohe Temperatur und Druck) erfolgt. Abbildung 1 zeigt die für die Herstellung angewendete Systemgrenze.

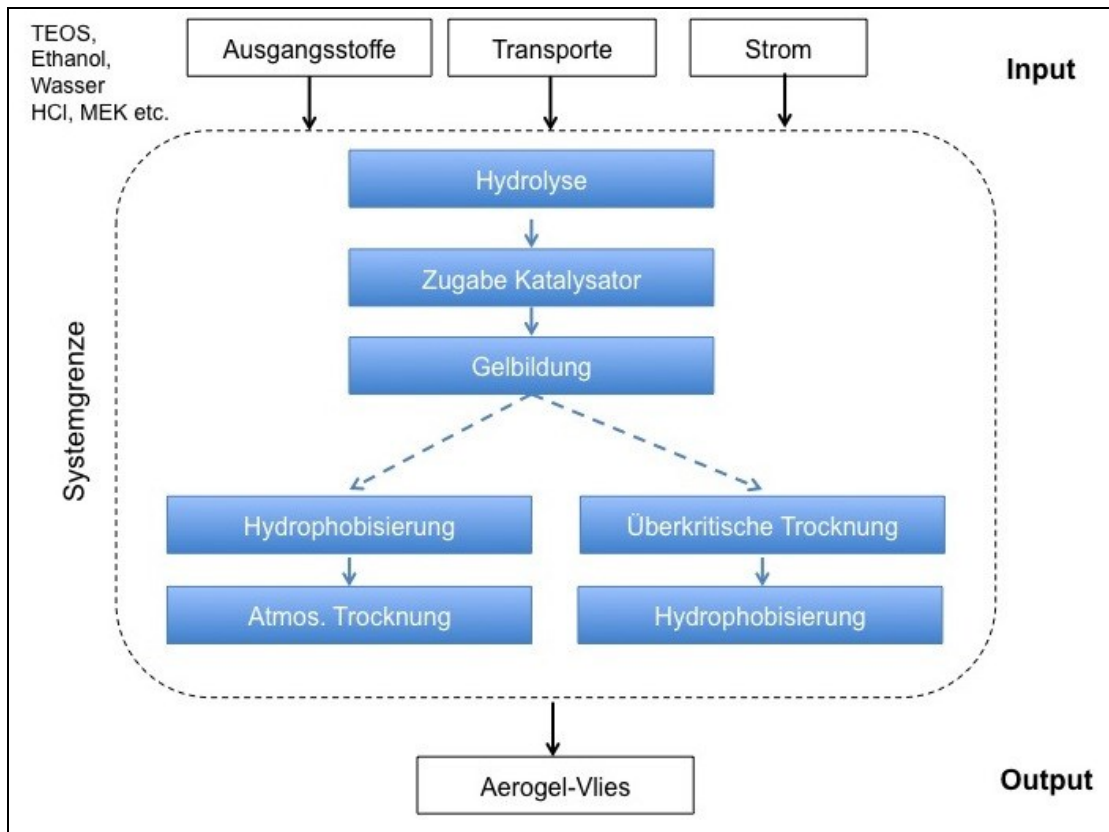


Abbildung 1: Systemgrenzen Herstellung

Berücksichtigt wurden alle Stoff und Energie liefernden Prozesse. Dazu gehören die Herstellung der Ausgangsstoffe und Hilfsstoffe sowie die zu ihrer Bereitstellung notwendigen Transporte und der Strom der für die Produktion der Vliese erforderlich ist. Die Infrastruktur wurde mit einem durchschnittlichen Datensatz aus ecoinvent v2.2 für ein Werk der chemischen Industrie berücksichtigt.

Die Herstellung in einem Labor ist nur bedingt vergleichbar mit der Herstellung in der Industrie. Vor allem was die Effizienz des Herstellungsverfahrens betrifft. Deshalb wurden in der europäischen Studie (Vares et al., 2014) einige Annahmen gemacht um die Herstellung im Labor auf die Produktion in der Industrie zu skalieren. Diese Annahmen sind folgende:

- Es wurde davon ausgegangen, dass in der Industrie die Alkohole und das Hexamethyldisiloxan (HMDSO) welche in der Herstellung benötigt werden, am Ausgang der Prozesse zurückgewonnen werden können.
- Rückgewinnungsraten bezogen auf die eingesetzten Mengen von Ethanol und Isopropanol sind bei der überkritischen Trocknung 99%. Das heisst es wird nur 1% der eingesetzten Alkohole im Herstellungsprozess verbraucht.
- Die Rückgewinnungsraten sind bei der atmosphärischen Trocknung für Ethanol 98% und für HMDSO 94%.

L.1.4.2 Entsorgung

Da Aerogel-Vliese mehr als 10 M-% organische Bestandteile aufweisen, wurde von einer Entsorgung in einer KVA ausgegangen.

L.1.5 Allokation

Es wurden keine Allokationen vorgenommen. Die Daten für die Herstellung durch überkritische Trocknung und durch Trocknung bei atmosphärischem Druck wurden separat erhoben.

L.1.6 Abschneidekriterien

Alle vorhandenen Daten wurden berücksichtigt, allerdings wiesen diese mehrere Lücken auf. Es standen keine Daten zu den Emissionen während der Herstellung von Aerogel zur Verfügung. Es konnten nur die Emissionen zur Herstellung und Bereitstellung der Ausgangs- und Hilfsstoffe, der Transporte und der Bereitstellung der Energie berücksichtigt werden. Ebenso waren keine Daten zur Verpackung der Dämmstoffvliese vorhanden. Sie wurde vernachlässigt. Die Infrastruktur (Maschinen, Gebäude) wurden mit einem generischen Datensatz für eine Chemiefabrik (chemical plant, organics, RER) aus ecoinvent ergänzt.

L.1.7 Zeitliche und geographische Gültigkeit

Die berücksichtigten Herstellungsverfahren beruhen auf der aktuellen Technologie. Allerdings wurden die Daten im Labor erhoben und die Unterschiede zur Produktion im industriellen Massstab sind wenig bekannt. Da die am Markt verfügbaren Aerogel-Vliese alle von Aspen Aerogels hergestellt werden, wurde beim eingesetzten Strom der US-amerikanische Strommix berücksichtigt (electricity, medium voltage, at grid, US, [kWh]). Ebenso wurde der Transport der fertigen Produkte von den USA in die Schweiz berücksichtigt.

L.1.8 Datenqualität

Da nur Daten von der Herstellung im Labor verwendet werden konnten und eine Skalierung auf die Herstellung in der Industrie nur bedingt möglich ist, ist die Datenqualität als eher gering einzustufen. Allerdings sind die Sachbilanzdaten von (Vares et al., 2014) die aktuellsten Daten die zur Verfügung standen.

Die Hintergrunddaten aus ecoinvent v2.2 sind in den meisten Fällen älter als 10 Jahre (siehe auch Tabelle 2) und sind deshalb nicht aktuell. Die Ökobilanzdaten im Baubereich in der KBOB-Liste hingegen werden mit den aktuelleren Hintergrunddaten aus ecoinvent v2.2+ berechnet. Aus diesem Grund dürften die Daten welche in der KBOB-Liste veröffentlicht werden von den Ökobilanzresultaten im vorliegenden Bericht abweichen.

Tabelle 2: Aktualität der verwendeten Hintergrunddaten

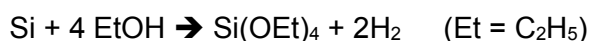
Input	ecoinvent v2.2	Referenzperiode
Silicium	MG-silicon, at plant, NO, [kg]	2000 – 2002
Ethanol	ethanol from ethylene, at plant, RER, [kg]	1986 – 2005
Strom Europa	electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]	1992 – 2004
Ammoniak	ammonia, liquid, at regional storehouse, CH, [kg]	2000
Destilliertes Wasser	water, completely softened, at plant, RER, [kg]	1993
Wasser	tap water, at user, RER, [kg]	2000
Salzsäure (HCl)	hydrochloric acid, from the reaction of hydrogen with chlorine, at plant, RER, [kg]	1997 – 2000
MEK	methyl ethyl ketone, at plant, RER, [kg]	2007
HMDSO	hexamethyldisilazane, at plant, GLO, [kg]	2000 – 2006
Polyester	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant, RER, [kg]	1999 – 2000
Vliesweben	fleece production, polyethylene terephthalate, RER, [kg]	2007
Infrastruktur	chemical plant, organics, RER, [unit]	2007
Transport Schiff	transport, transoceanic freight ship, OCE, [tkm]	1992 – 2000
Transport Zug	transport, freight, rail, RER, [tkm]	2000
Transport LKW	transport, lorry >16t, fleet average, RER, [tkm]	2005
Strom USA	electricity, medium voltage, at grid, US, [kWh]	2004
Isopropanol 98%	isopropanol, at plant, RER, [kg]	2000
CO ₂	carbon dioxide liquid, at plant, RER, [kg]	2004

L.2 Sachbilanzdaten

L.2.1 Ausgangsstoffe

Für die Ausgangsstoffe Hexamethyldisiloxan (HMDSO), Tetraethoxysilane (TEOS) und Ammoniumhydroxid sind in ecoinvent v2.2 keine Daten verfügbar. Mit diesen Datenlücken wurde wie folgt umgegangen:

- HMDSO: Analog zur Studie von (Vares et al., 2014) wurde der Datensatz hexamethyldisilazane, at plant, GLO, [kg] aus ecoinvent v2.2 als Proxy verwendet.
- TEOS: Die Ökobilanzdaten wurden aus der chemischen Reaktionsgleichung abgeleitet.



Für die Herstellung von 1 kg TEOS braucht es demzufolge 135 g Silicium und 885 g Ethanol. Gemäss der Recherche von (Vares et al., 2014) generiert die Synthese von TEOS Treibhausgasemissionen von 0.12 g CO₂-eq. pro Gramm TEOS (ohne Treibhausgasemissionen der Vorketten). Mit dem Datensatz „electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]“ aus ecoinvent wurde daraus ein Stromverbrauch von 0.226 kWh für die Synthese von 1 kg TEOS abgeschätzt. Die Sachbilanz für die Herstellung von TEOS ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Sachbilanz Herstellung 1kg TEOS

Input	ecoinvent v2.2	Menge
Silicium	MG-silicon, at plant, NO, [kg]	0.135
Ethanol	ethanol from ethylene, at plant, RER, [kg]	0.885
Strom	electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]	0.226

- Aufgrund der Informationen in (Vares et al., 2014) wurde von einer 30% Ammoniaklösung ausgegangen. Sie wurde mit den Datensätzen in Tabelle 4 bilanziert

Tabelle 4: Sachbilanz Herstellung 1 kg Ammoniumhydroxid

Input	ecoinvent v2.2	Menge
Ammoniak	ammonia, liquid, at regional storehouse, CH, [kg]	0.3
Wasser	water, completely softened, at plant, RER, [kg]	0.7

L.2.2 Trocknung bei atmosphärischem Druck

Gemäss der Untersuchung von (Vares et al., 2014) kann davon ausgegangen werden, dass bei der Herstellung in der Industrie ein grosser Teil der eingesetzten Mengen von Ethanol und HMDSO in den Prozess zurückgeführt werden können. Die möglichen Rückgewinnungsraten sind in der Studie bei der atmosphärischen Trocknung für Ethanol 98% und für HMDSO 93%. Für die Herstellung sind pro kg Vlies 9.5 kg Ethanol notwendig. Da aber 98% davon recycelt werden können, braucht es nur 2% von 9.5 kg Ethanol um die Verluste zu kompensieren. Dies entspricht einem Input von 190 g Ethanol pro kg Vlies. Ähnlich braucht es pro kg Vlies 12.6 kg HMDSO. Da davon ausgegangen wird, dass 93% davon in den Prozess zurückgeführt werden können, braucht es als Input pro kg Vlies 826 g HMDSO (siehe Tabelle 5).

Im Unterschied zur Studie von (Vares et al., 2014) wurde in der vorliegenden Untersuchung die zur Herstellung notwendige Infrastruktur mit dem Datensatz „chemical plant, organics, RER, [unit]“ berücksichtigt. Da die derzeit auf dem Markt verfügbaren Produkte alle in den USA hergestellt werden, wurden zudem der US-amerikanische Strommix und die Transporte in die Schweiz berücksichtigt.

Tabelle 5: Herstellung bei atmosphärischem Druck, Angaben pro kg Vlies

Input	ecoinvent v2.2	Menge	Kommentar
Tetraethoxysilane (TEOS)	TEOS-Datensatz [kg]	2.59E+00	Ökobilanz aus chem. Reaktionsgleichung abgeleitet
Ethanol	ethanol from ethylene, at plant, RER, [kg]	1.90E-01	Nur Verlust
Wasser	tap water, at user, RER, [kg]	9.59E-01	
Salzsäure (HCl)	hydrochloric acid, from the reaction of hydrogen with chlorine, at plant, RER, [kg]	7.60E-02	

Input	ecoinvent v2.2	Menge	Kommentar
MEK	methyl ethyl ketone, at plant, RER, [kg]	1.65E-02	
Ammoniumhydroxid	Ammoniumhydroxid-Datensatz	3.47E-02	
HMDSO	hexamethyldisilazane, at plant, GLO, [kg]	8.26E-01	Nur Verlust. Proxy-Daten
Polyesterfasern	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant, RER, [kg]	1.32E-01	
	fleece production, polyethylene terephthalate, RER, [kg]	1.32E-01	
Infrastruktur	chemical plant, organics, RER, [unit]	4.00E-10	Proxy-Daten
Schiff	transport, transoceanic freight ship, OCE, [tkm]	1.42E+01	inkl 5'500 km Transport USA- Europa
Zug	transport, freight, rail, RER, [tkm]	1.57E+00	
Lastwagen	transport, lorry >16t, fleet average, RER, [tkm]	2.35E+00	inkl. Transport Produkt in die Schweiz 500 km
Strom	electricity, medium voltage, at grid, US, [kWh]	1.00E+01	

L.2.3 Überkritische Trocknung

Bei der überkritischen Trocknung sind Rückgewinnungsraten bezogen auf die eingesetzten Mengen von Ethanol und Isopropanol 99%. Das heisst es wird nur 1% der eingesetzten Alkohole im Herstellungsprozess verbraucht und als Input verbucht (siehe Tabelle 6). Beim eingesetzten CO₂ wurde davon ausgegangen, dass 100% recycelt werden können. Diese Annahmen wurden aus der Studie von (Vares et al., 2014) übernommen. Hinsichtlich des Strommix, der Transporte und der Infrastruktur wurden die Daten aus der Studie ergänzt, wie bereits oben in Kapitel L.2.2 beschrieben.

Tabelle 6: Herstellung durch überkritische Trocknung, Angaben pro kg Vlies

Input	ecoinvent v2.2	Menge	Kommentar
Tetraethoxysilane (TEOS)	TEOS-Datensatz [kg]	1.97E+00	Ökobilanz aus chem. Reaktionsgleichung abgeleitet
Ethanol	ethanol from ethylene, at plant, RER, [kg]	4.70E-02	Nur Verlust
Wasser	tap water, at user, RER, [kg]	1.11E+00	
Salzsäure (HCl)	hydrochloric acid, from the reaction of hydrogen with chlorine, at plant, RER, [kg]	3.03E-02	
MEK	methyl ethyl ketone, at plant, RER, [kg]	6.36E-02	
Isopropanol 98%	isopropanol, at plant, RER, [kg]	2.12E-02	Nur Verlust
Ammoniumhydroxid	Ammoniumhydroxid-Datensatz	2.18E-01	
HMDSO	hexamethyldisilazane, at plant, GLO, [kg]	1.36E-01	Proxy-Daten
Destilliertes Wasser	water, completely softened, at plant, RER, [kg]	9.09E-02	

Input	ecoinvent v2.2	Menge	Kommentar
Polyesterfasern	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant, RER, [kg]	1.36E-01	
	fleece production, polyethylene terephthalate, RER, [kg]	1.36E-01	
CO2	carbon dioxide liquid, at plant, RER, [kg]	0.00E+00	Nur Verlust
Infrastruktur	chemical plant, organics, RER, [unit]	4.00E-10	Proxy-Daten
Schiff	transport, transoceanic freight ship, OCE, [tkm]	1.31E+01	inkl 5'500 km Transport USA- Europa
Zug	transport, freight, rail, RER, [tkm]	1.19E+00	
Lastwagen	transport, lorry >16t, fleet average, RER, [tkm]	2.05E+00	inkl. Transport Produkt in die Schweiz 500 km
Strom	electricity, medium voltage, at grid, US, [kWh]	5.47E+01	

L.2.4 Entsorgung

Das untersuchte Vlies besteht zu 13.6 M-% aus organischen und zu 86.4 M-% aus anorganischen Bestandteilen. Es wird deshalb von einer Entsorgung in der KVA ausgegangen. Die Modellierung der Entsorgung ist unten in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Entsorgung Aerogel-Vlies, Angaben pro kg Vlies

Input	ecoinvent v2.2	Menge	Kommentar
Anteil Fasern	disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.37E-01	
Anteil Aerogel	disposal, glass, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	8.64E-01	Proxy-Daten

L.3 Resultate

Die Ökobilanzresultate für die Herstellung nach zwei unterschiedlichen Trocknungsverfahren und die Entsorgung von Aerogel-Vliesen sind in Tabelle 8 und Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 8: Ökobilanz Herstellung

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
Aerogel-Vlies, atm. Trocknung – CH Regionallager	kg	1.59E+04	3.97E+02	3.62E+02	1.48E+01
Aerogel-Vlies, überkritische Trocknung – CH Regionallager	kg	4.39E+04	8.81E+02	8.36E+02	3.92E+01

Tabelle 9: Ökobilanz Entsorgung

Ökobilanz-Datensatz - Region	Bezug	UBP 2013 [UBP]	Primärenergie gesamt [MJ]	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO ₂ -eq]
Aerogel-Vlies – CH	kg	7.77E+02	4.65E-01	4.59E-01	2.94E-01

Die Resultate im Bezug auf die untersuchten Wirkungskategorien sind für das Verfahren der überkritischen Trocknung deutlich höher als bei einer Trocknung bei atmosphärischem Druck. Dies lässt sich vor allem durch den deutlich höheren Strombedarf bei der überkritischen Trocknung erklären (54.7 kWh/kg im Vergleich zu 10 kWh bei der Trocknung bei atmosphärischem Druck). Wie aus Abbildung 2 und Abbildung 3 ersichtlich ist, wird die Primärenergie nicht erneuerbar für die Herstellung der Aerogel-Vliese bei beiden Trocknungsverfahren sehr stark vom Stromverbrauch beeinflusst. Dieser Einfluss ist deshalb so gross, weil im US-amerikanischen Strommix der Anteil der fossilen Energieträger relativ hoch ist. Beim Trocknungsverfahren unter atmosphärischem Druck beträgt der Anteil des Stromverbrauchs an der Primärenergie nicht erneuerbar der Herstellung 34%. Andere wichtige Beiträge werden durch die Ausgangsstoffe Tetraethoxysilane (39%) und HMDSO (14%) verursacht.

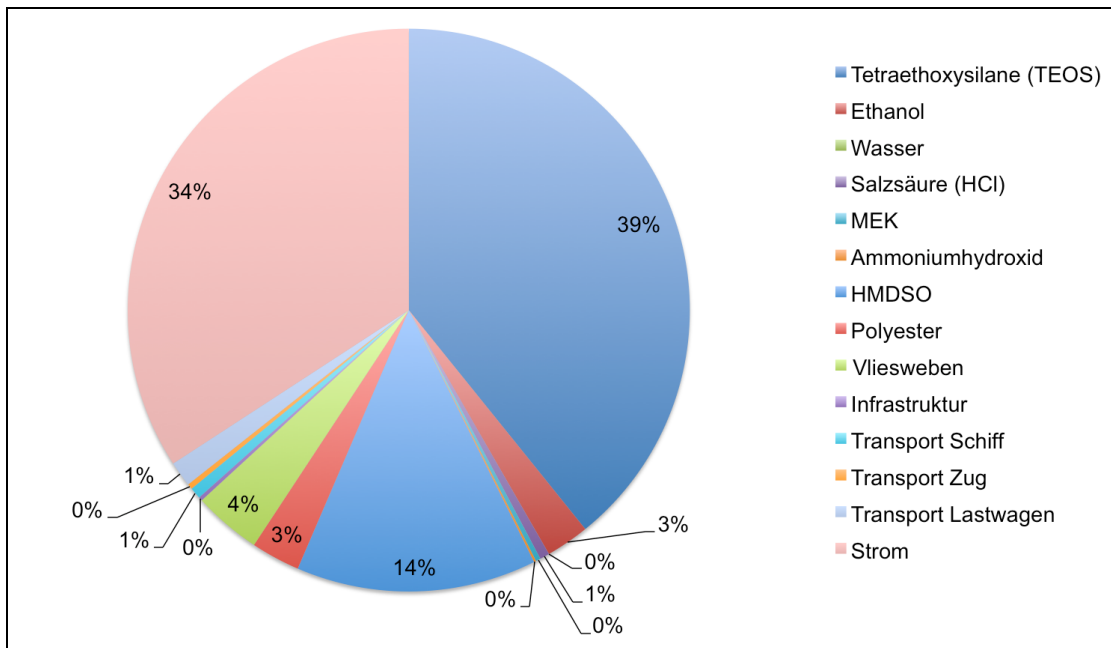


Abbildung 2: Dominanzanalyse Primärenergie nicht erneuerbar, Trocknung bei atm. Druck

Bei der Herstellung mit dem überkritischen Trocknungsverfahren macht der Anteil des Stroms an der nicht erneuerbaren Primärenergie über 80% aus. Ein Anteil von fast 13% entfällt auf die Tetraethoxysilane. Der Beitrag aller anderen Ausgangsstoffe liegt im Bereich von einem Prozent oder weniger.

Für die Herstellung der Aerogel-Vliese von Aspen wird das überkritische Trocknungsverfahren angewendet. Die nicht erneuerbare Primärenergie und die Treibhausgasemissionen für das überkritische Trocknungsverfahren in Tabelle 8 sind rund 5 mal höher als die entsprechenden Indikatoren aus der EPD von Aspen (siehe Tabelle 1). Aufgrund der Dominanzanalyse scheint es wahrscheinlich, dass diese grosse Differenz durch Unterschiede beim Stromverbrauch und dem eingesetzten Strommix verursacht werden. Trotz des relativ hohen Energiebedarfs bei der Herstellung können Aerogel-Vliese für Sanierungen mit beschränkten Platzverhältnissen eine gute Lösung darstellen. Denn im Vergleich zu einem ungedämmten Bauteil kann die hohe Herstellungsenergie durch Einsparungen in Heizenergieverbrauch dennoch amortisiert werden. Ebenso handelt es sich bei Aerogel-Vliesen um eine relativ neue Produktentwicklung deren Herstellung in Zukunft möglicherweise noch weiter optimiert werden kann.

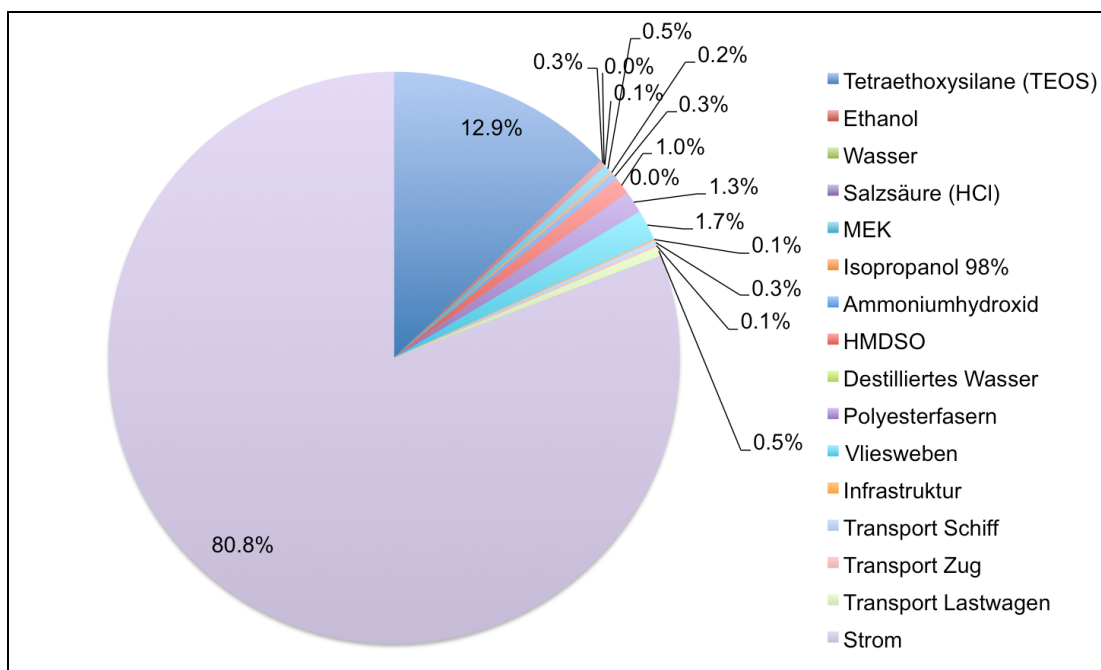


Abbildung 3: Dominanzanalyse Primärenergie nicht erneuerbar, überkritische Trocknung

L.4 Daten für die KBOB-Liste

Die auf dem Markt verfügbaren Aerogel-Vliese werden alle mittels überkritischer Trocknung hergestellt. Deshalb sollten in der KBOB-Liste nur die Ökobilanzdaten für dieses Trocknungsverfahren veröffentlicht werden.

L.5 Literaturverzeichnis

Aspen Aerogels, Environmental Sustainability, Dokument zugestellt von Hr. Staub, Agitec. (n.d.).

E. Franov. (2015, März). Advanced EPD für Fixit 222 Aerogel Hochleistungsdämmputz. Retrieved from <http://www.fixit.ch>

C. Hill. (2013). Environmental Product Declaration, SPACELOFT Aerogel Insulation. Aspen Aerogels Inc. Retrieved from <http://www.stadur-sued.com/files/2013/09/Umwelt-Produktdeklaration.pdf>

S. Vares & H. Ahvenniemi. (2014, August 12). AEROCOINs (Aerogel-Based Composite/Hybrid Nanomaterials for Cost-Effective Building Super-Insulation Systems), Deliverable 3.5 Life cycle analysis.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht, Januar 2016

Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich"

Projekt QualiBOB

Teilbericht M: Kücheneinbauten und -möbel

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Hochbauten Stadt Zürich
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch

Auftragnehmer:

Projektteam QualiBOB

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
CH-8610 Uster
www.treeze.ch

Autoren:

Franziska Wyss, treeze Ltd.
Philippe Stolz, treeze Ltd., stolz@treeze.ch
Rolf Frischknecht, treeze Ltd., frischknecht@treeze.ch

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG
Peter Gerber, BAFU, Fachbereich Ökobilanzen
Norbert Egli, Vertretung BAFU Sektion Konsum und Produkte, Tridee GmbH
Michael Pöll, AHB Stadt Zürich, Fachstelle Nachhaltiges Bauen

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500996-01

BAFU-Vertrags- und Projektnummer: 10.0041.PJ / N043-0527, O022-2110

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

M	KÜCHENEINBAUTEN UND -MÖBEL	M-1
M.1	Ausgangslage.....	M-1
M.2	Untersuchungsrahmen dieser Studie	M-2
M.2.1	Untersuchungsgegenstand	M-2
M.2.2	Untersuchungsrahmen.....	M-4
M.2.2.1	Funktionelle Einheit.....	M-4
M.2.2.2	Systemgrenzen	M-5
M.2.2.3	Allokation.....	M-5
M.2.2.4	Abschneidekriterien.....	M-5
M.2.2.5	Zeitliche und geografische Gültigkeit.....	M-5
M.2.2.6	Untersuchte Umweltindikatoren und Bewertungsmethoden.....	M-5
M.2.2.7	Ressourcenkorrektur	M-6
M.2.2.8	Datenquellen und Datenqualität	M-6
M.3	Küchenaufbau	M-7
M.4	Sachbilanzdaten.....	M-9
M.4.1	Einführung und Übersicht.....	M-9
M.4.2	Schrank- und Schubladensysteme	M-10
M.4.2.1	Varianten und Ausmasse	M-10
M.4.2.2	Melaminharzbeschichtete Platten.....	M-11
M.4.2.3	Furnierte Platten.....	M-12
M.4.2.4	Farbbeschichtete Platten.....	M-14
M.4.2.5	Massivholz (Dreischichtplatten).....	M-15
M.4.2.6	Stahlplatten, kartongefüllt.....	M-15
M.4.3	Scharniere, Bänder, Schrauben und Griffe	M-17
M.4.4	Arbeitsplatten	M-20
M.4.4.1	Übersicht	M-20
M.4.4.2	Chromstahl-Arbeitsplatte, Standard und High-end.....	M-20
M.4.4.3	Arbeitsplatte aus Massivholz (Dreischichtplatte)	M-22
M.4.4.4	Arbeitsplatte aus Naturstein	M-23
M.4.4.5	Melaminharzbeschichtete Arbeitsplatte.....	M-24
M.4.4.6	Arbeitsplatte aus Kompositwerkstoff auf Aluminiumhydroxidbasis	M-25
M.4.5	Weitere Kücheneinbauten.....	M-29
M.4.5.1	Spüle aus Chromstahl	M-29
M.4.5.2	Spüle aus Kompositwerkstoff auf Gesteinsmehlbasis	M-31
M.4.5.3	Dampfabzug.....	M-35

M.4.5.4	Abfalltrennsystem.....	M-38
M.4.6	Küchenkombinationen.....	M-38
M.4.7	Küchenschränke pro Kubikmeter	M-39
M.5	Resultate	M-40
M.5.1	Küchenkombinationen (ohne Arbeitsplatte)	M-40
M.5.2	Arbeitsplatten	M-44
M.5.3	Küchenschränke pro Kubikmeter	M-47
M.6	Schlussfolgerungen	M-47
M.7	Literaturverzeichnis	M-49
M.A	Anhang: Resultattabellen	M-51

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr (annum)
AVG	Durchschnitt
CH	Schweiz
CO ₂ -eq	Kohlendioxid-Äquivalente
ENTSO-E	Verband Europäischer Übertragungsnetzbetreiber (engl. European Network of Transmission System Operators for Electricity)
GLO	Globaler Durchschnitt
GWP	Treibhauspotential (global warming potential)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KBOB	Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes
kg	Kilogramm
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
LCA	life cycle assessment
LCI	life cycle inventory analysis
LCIA	life cycle impact assessment
LKW	Lastkraftwagen
MJ	Megajoule
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MJ	Megajoule
ppm	Millionstel (engl. parts per million)
RER	Europa (Regionsbezeichnung in ecoinvent)
SMS	Schweizer Mass System
THG	Treibhausgase
tkm	Tonnenkilometer (Transportdienstleistung von 1 Tonne über einen Kilometer)
UBP	Umweltbelastungspunkte (engl. eco-points)

M Kücheneinbauten und -möbel

M.1 Ausgangslage

Ein grosser Teil des gesamten Energieverbrauchs von Gebäuden steckt in der Herstellung von Baustoffen und in den Haustechniksystemen. Die graue Energie, die damit verbundenen Treibhausgasemissionen und die Gesamtumweltbelastung von Gebäuden rücken je länger je mehr ins Rampenlicht. Es stellt sich die Frage, wie sich dieser ökologische Rucksack von Gebäuden und Gebäudeelementen im Sinne einer Senkung der grauen Energie durch Planer und Baufachleute beeinflussen lässt.

Ein wichtiges Instrument in diesem Zusammenhang bildet die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 „Ökobilanzdaten im Baubereich“ (KBOB et al. 2014a), welche Planungsinstrumente des nachhaltigen Bauens mit Umweltkennwerten von Baumaterialien, Komponenten der Gebäudetechnik und weiteren lebenszyklusbezogenen Informationen unterstützt.

Die KBOB-Empfehlung enthält eine grosse Auswahl an Umweltdaten von Baustoffen und Haustechnikkomponenten, Energieträgern und Transportmitteln. Die Haustechnikkomponenten umfassen Systeme für die Erzeugung, Verteilung und Abgabe von Raumwärme, Warmwassergewinnung, Belüftung und einiges mehr. Hingegen sind noch keine Daten über die Herstellung und Entsorgung von Küchen und Kücheneinbauten vorhanden, welche in der Schweiz in jeder Wohnung standardmässig mit eingebaut werden. Küchen können in ihrer Materialisierung und dem Ausbaustandard stark variieren und dem Küchenbauer sind in der Gestaltung keine Grenzen gesetzt.

In dieser Studie wird eine Auswahl an häufigen Ausbaumöglichkeiten einer Normküche bilanziert, indem unterschiedliche Materialien für die Schränke und Fronten sowie die Arbeitsplatten verwendet werden. Die erhobenen Daten werden in eine zukünftige Aktualisierung der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 einfließen.

In Kapitel M.3 sind die untersuchte Küche, deren Ausmass sowie die Varianten definiert. In Kapitel M.4 sind die einzelnen Küchenbaumaterialien und Komponenten beschrieben und modelliert. Die Datensätze für die Herstellung und Entsorgung verschiedener Arbeitsplatten sind in den Unterkapiteln M.4.4.1 bis M.4.4.6 dokumentiert. Die Unterkapitel M.4.5.1 bis M.4.5.4 beschreiben die weiteren Kücheneinbauten wie die Spülen, den Dampfabzug und das Abfalltrennsystem. In den Unterkapiteln M.4.6 und M.4.7 werden die kombinierten Systeme sowie die Küchenschränke pro Kubikmeter beschrieben. Das Kapitel M.5 zeigt die Umweltbelastungen der untersuchten Kücheneinbauten auf.

M.2 Untersuchungsrahmen dieser Studie

M.2.1 Untersuchungsgegenstand

Gegenstand der hier dokumentierten Ökobilanz ist eine Schweizer Standardküche. Diese besteht aus insgesamt 3.36 m³ Möbeln, einer entsprechenden Arbeitsfläche von 2.34 m², einer Spüle aus Chromnickelstahl (Standard-Variante in den analysierten Küchen) oder aus Kompositwerkstoff, einem Dampfabzug sowie einem Abfalltrennsystem. Von der Studie ausgenommen sind die Küchengeräte (Backofen, Herd, Geschirrspüler, Kühlschrank, Wasserhahn etc.).

Einerseits werden die Schrank- und Schubladensysteme einer Schweizer Durchschnittsküche in unterschiedlicher Materialisierung bilanziert. Andererseits werden die Umweltauswirkungen von Varianten für die Arbeitsfläche ermittelt. Die Arbeitsplatten werden ausschliesslich pro Quadratmeter angegeben. Tabelle 1 fasst die untersuchten Kücheneinbauten und deren Materialisierung, welche Teil dieser Studie sind, zusammen.

Die Kücheneinbauten wurden ausschliesslich in einer Ausbaugrösse untersucht, das heisst die Anzahl und die Grösse der Schränke variieren nicht. Die Küchenausstattung und -dimensionierung ist detailliert in Kapitel M.3 beschrieben. Zudem wird ein durchschnittlicher Datensatz für Küchenschränke pro Kubikmeter erstellt (ebenfalls in den unterschiedlichen Ausführungen).

Tabelle 1: Übersicht über die untersuchten Küchenelemente und Kücheneinbauten

Küchenelement	Materialisierung	Beschreibung	Kapitel
Küchenkombinationen			
Kücheneinbauten I	16-teilige Küche mit Schrankvolumen 3.36 m ³ Fronten aus melaminbeschichteten Spanplatten Korpus aus weissbeschichteten Spanplatten Chromstahlpüle, Dampfabzug, Abfallsystem, Scharniere, etc.	Detaillierte Sachbilanz	M.4.2.2 M.4.2.2 M.4.3, M.4.5
Kücheneinbauten II	16-teilige Küche mit Schrankvolumen 3.36 m ³ Fronten aus furnierten Spanplatten Korpus aus weissbeschichteten Spanplatten Chromstahlpüle, Dampfabzug, Abfallsystem, Scharniere, etc.	Detaillierte Sachbilanz	M.4.2.3 M.4.2.2 M.4.3, M.4.5
Kücheneinbauten III	16-teilige Küche mit Schrankvolumen 3.36 m ³ Fronten aus farbbeschichteten Spanplatten Korpus aus weissbeschichteten Spanplatten Chromstahlpüle, Dampfabzug, Abfallsystem, Scharniere, etc.	Detaillierte Sachbilanz	M.4.2.4 M.4.2.2 M.4.3, M.4.5
Kücheneinbauten IV	16-teilige Küche mit Schrankvolumen 3.36 m ³ Fronten und Korpus aus Massivholz Chromstahlpüle, Dampfabzug, Abfallsystem, Scharniere, etc.	Detaillierte Sachbilanz	M.4.2.5 M.4.3, M.4.5
Kücheneinbauten V	16-teilige Küche mit Schrankvolumen 3.36 m ³ Fronten und Korpus aus Stahlplatten, kartongefüllt Chromstahlpüle, Dampfabzug, Abfallsystem, Scharniere, etc.	Detaillierte Sachbilanz	M.4.2.6 M.4.3, M.4.5
Arbeitsplatten			
Arbeitsplatte I	Chromstahl - Standardvariante	Detaillierte Sachbilanz	M.4.4.2
Arbeitsplatte II	Chromstahl - Variante high-end	Detaillierte Sachbilanz	M.4.4.2
Arbeitsplatte III	Massivholz	Detaillierte Sachbilanz	M.4.4.3
Arbeitsplatte IV	Naturstein	Detaillierte Sachbilanz	M.4.4.4
Arbeitsplatte V	Kunstharz (Melamin)	Detaillierte Sachbilanz	M.4.4.5
Arbeitsplatte VI	Kompositwerkstoff auf Aluminiumhydroxidbasis	Detaillierte Sachbilanz	M.4.4.6

Tabelle 1: Übersicht über die untersuchten Küchenelemente und Kücheneinbauten (Fortsetzung)

Küchenelement	Materialisierung	Beschreibung	Kapitel
Weitere Kücheneinbauten			
Spüle I	Chromstahl	Detaillierte Sachbilanz	M.4.5.1
Spüle II	Kompositwerkstoff auf Gesteinsmehlbasis	Detaillierte Sachbilanz	M.4.5.2
Dampfabzug	Chromstahl	Detaillierte Sachbilanz	M.4.5.3
Abfalltrennsystem	Kunststoff	Detaillierte Sachbilanz	M.4.5.4
Küchenschrank pro m ³			
Kücheneinbauten I pro m ³	Fronten aus melaminbeschichteten Spanplatten Korpus aus weissbeschichteten Spanplatten Scharniere, etc.	Detaillierte Sachbilanz	M.4.7
Kücheneinbauten II pro m ³	Fronten aus furnierten Spanplatten Korpus aus weissbeschichteten Spanplatten Scharniere, etc.	Detaillierte Sachbilanz	M.4.7
Kücheneinbauten III pro m ³	Fronten aus farbbeschichteten Spanplatten Korpus aus weissbeschichteten Spanplatten Scharniere, etc.	Detaillierte Sachbilanz	M.4.7
Kücheneinbauten IV pro m ³	Fronten und Korpus aus Massivholz Scharniere, etc.	Detaillierte Sachbilanz	M.4.7
Kücheneinbauten V pro m ³	Fronten und Korpus aus Stahlplatten, kartongefüllt Scharniere, etc.	Detaillierte Sachbilanz	M.4.7

M.2.2 Untersuchungsrahmen

M.2.2.1 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit wird für die drei Kücheneinbauten Schrank- und Schubladensysteme, Arbeitsplatten und weitere Küchenelemente individuell definiert. Die funktionelle Einheit der Schrank- und Schubladensysteme ist 1 Küche (komplettes Schrank- und Schubladensystem). Die funktionelle Einheit der Arbeitsplatten ist 1 m² und diejenige der weiteren Kücheneinbauten (Spüle, Dampfabzug und Abfallimer) ist jeweils 1 Stück. Zudem wird die Bilanz eines Kubikmeters eines durchschnittlichen Schrank- und Schubladensystems erstellt. Damit lassen sich Küchen modellieren, deren Ausmasse von denjenigen der hier bilanzierten Standardküche abweichen.

M.2.2.2 Systemgrenzen

Der Bilanzierungsrahmen umfasst die Gewinnung der Rohstoffe, die Transportlogistik zum Produktionswerk, die Herstellung der Küchenelemente sowie den Rückbau und die Entsorgung (inkl. Transport).

Berücksichtigt werden sämtliche Herstellungs- und Vorleistungsprozesse bis zum Werktor. Der Transport zur Baustelle, der Einbau sowie Unterhalt der Küche werden nicht berücksichtigt. Am Lebensende werden die Küchenelemente dem vorgesehenen Entsorgungsweg zugeführt.

Nicht eingeschlossen ist weisse Küchenware, das heisst Küchengeräte wie Herd, Backofen, Kühlschrank etc. Ebenfalls ausgeschlossen sind bewegliche Küchenelemente wie Schubladeneinlagen (für Besteck) oder Getränkehalter im Getränkeauszug.

M.2.2.3 Allokation

Allokation kommt zur Anwendung bei Prozessen, die mehrere nützliche Produkte generieren (Multioutput-Prozesse) und bei der Entsorgung (z.B. Kehrlichtverbrennung, Recycling). Die Allokation befasst sich mit der Zuordnung von Aufwendungen, Emissionen und Abfällen eines Multioutput-Prozesses auf mehrere nützliche Produkte oder Dienstleistungen.

In der vorliegenden Studie werden in Multioutput-Prozessen ökonomische Kriterien als Allokationsbasis verwendet. Beim Recycling wird der „recycled content“-Ansatz angewendet (siehe Frischknecht 2010). Produktionsabfälle und Materialien eines zu entsorgenden Produkts, welche rezykliert werden, tragen keine Umweltbelastung. Die Aufwendungen für Einsammeln, Aufbereiten und Herstellen von Sekundärmaterialien werden den Sekundärmaterialien zugeschrieben. Es werden keine Gutschriften gewährt.

M.2.2.4 Abschneidekriterien

Sämtliche relevanten und verfügbaren Daten werden in die Studie einbezogen und sämtliche bekannten Inputs und Outputs werden berücksichtigt.

M.2.2.5 Zeitliche und geografische Gültigkeit

Die Sachbilanz der Küchen und Kücheneinbauten ist gültig für die Situation in der Schweiz. Alle beschriebenen Varianten werden heute angewendet und entsprechen heutigen gängigen Ausbaustandards.

M.2.2.6 Untersuchte Umweltindikatoren und Bewertungsmethoden

Die Umweltauswirkungen werden mit den Indikatoren quantifiziert, welche in der KBOB Empfehlung 2009/1:2014 ausgewiesen sind. Die Auswahl beinhaltet folgende Indikatoren:

- Umweltbelastungspunkte 2013 (UBP, Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013)
- Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar (Frischknecht et al. 2007)

- Treibhausgasemissionen (THG) nach IPCC (2013, Tab. 8.A.1)

M.2.2.7 Ressourcenkorrektur

Mit der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) wird die dissipative Ressourcennutzung bewertet.

Die Ressourcenkorrektur für die dissipative Nutzung wird ausschliesslich auf Metallbaustoffe und Holzwerkstoffe angewendet und zwar wie folgt:

Holzwerkstoffe gelangen zu 50 % ins Recycling und zu 50 % in eine Verbrennung. Deshalb wird den Holzwerkstoffen eine Gutschrift in der Höhe von 50 % des Energieinhalts erteilt. Der Energieinhalt wird über den Heizwert von „hardwood, standing, under bark, in forest“ (12'768 MJ/m³) und „softwood, standing, under bark, in forest“ (9'181 MJ/m³) ermittelt.

Metalle werden zu 100 % recycelt. Die Gutschrift für den Primäranteil des Metallwerkstoffs wird anhand der Metallerze ermittelt und zwar für folgende Erze:

- Aluminium, 24% in bauxite, 11% in crude ore, in ground
- Copper, 0.99% in sulfide, Cu 0.36% and Mo 8.2E-3% in crude ore, in ground
- Chromium, 25.5% in chromite, 11.6% in crude ore, in ground
- Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground
- Lead, 5.0% in sulfide, Pb 3.0%, Zn, Ag, Cd, In, in ground
- Nickel, 1.98% in silicates, 1.04% in crude ore, in ground
- Tin, 79% in cassiterite, 0.1% in crude ore, in ground
- Zinc, 9.0% in sulfide, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, In, in ground

Die Indikatoren Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen sind von diesen Ressourcenkorrekturen nicht betroffen.

M.2.2.8 Datenquellen und Datenqualität

Die Daten zu den Chromstahl-Arbeitsplatten (Versionen Standard und high-end) zum Abfalltrennsystem, zum Dampfabzug und zur Chromstahlspüle stammen von Franke Küchentechnik AG. Die Daten entsprechen durchschnittlichen Produktionszahlen des jeweiligen Produkts und stammen aus den Jahren 2013, resp. 2012 für die Spüle. Fehlende Angaben wurden durch Expertenschätzungen ergänzt. Auf Grund der Aktualität und der Vollständigkeit der Daten wird die Datenqualität als hoch erachtet.

Die Modellierung von Küchenelementen aus kartongefüllten Stahlplatten basiert auf Expertenschätzungen und wurde von Forster AG verifiziert. Die Datenqualität wird als gut eingeschätzt. Die Inventardaten der Arbeitsplatte aus Kompositwerkstoff wurden auf Grund von Expertenschätzungen und Erläuterungen eines Herstellers erstellt. Die Modellierung der Spüle aus Kompositwerkstoff basiert ebenfalls auf Ex-

pertenschätzungen und wurde von Blanco Küchentechnik AG gesichtet. Die Datenqualitäten werden als genügend eingeschätzt.

Die Daten für die Scharniere, Bänder, Schrauben und Auszugsschienen stammen aus Produktdatenblättern von Blum und GOLL¹ (siehe auch Abschnitt M.4.3) und sind durch Expertenschätzungen abgestützt. Die Rohmaterialien sind bekannt, ebenfalls der Energiebedarf für die Verarbeitung, wobei die Modellierung schlussendlich auf Expertenabschätzungen beruht. Die Repräsentativität wird als gut eingestuft.

Die Ökobilanz wurde mit der Software Simapro 8.0.4 (PRé Consultants 2014) modelliert unter Verwendung von Hintergrunddaten des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (KBOB et al. 2014b).

Die Bereitstellung der Materialien (Holzwerkstoffe, Chromstahl, etc.), die Transportleistungen (Auslastung Verkehrsmittel, Dieselverbrauch und Emissionen) und die Energieträgerbereitstellung (Brennstoffe und Strom) wurden mit Hintergrunddaten (ecoinvent Datenbestand Version 2.2+) modelliert.

M.3 Küchenaufbau

In der Schweiz ist das Schweizer Mass-System SMS (bis 1996 SINK-Norm) der geltende Standard für Einbauküchen. Dieser ist herstellerunabhängig und definiert die Einbaumasse für die Küchenelemente, nämlich 55-60-90 cm als Elementtiefe-Arbeitstiefe-Arbeitshöhe.

Die Küchenelemente werden üblicherweise auf einen Sockel von 10.5 cm Höhe platziert. Im Schweizer Mass-System wird definiert, dass nach Abzug des Sockels und der Höhe der Arbeitsplatte (3 cm) und unter Einbezug von 0.3 cm Luft, eine Geräte- oder Schrankhöhe von 76.2 cm² resultiert. Diese Höhe wird in Sechstel eingeteilt, was ein Höhenraster von 12.7 cm ergibt. Der Zwischenraum zwischen den Ober- und den Unterbauten entspricht ebenfalls dieser Einteilung und misst 4/6. Abbildung 1 illustriert die Einteilung der Schränke und zeigt das verwendete Höhenraster des Schweizer Mass-Systems auf.

¹ Webpage Hasler AG, www.hasler.ch, Zugriff am 19.8.2015

² Webpage Holzgang-Küchen, www.holzgang-kuechen.ch/technisches.phtml, Zugriff am 16.6.2014

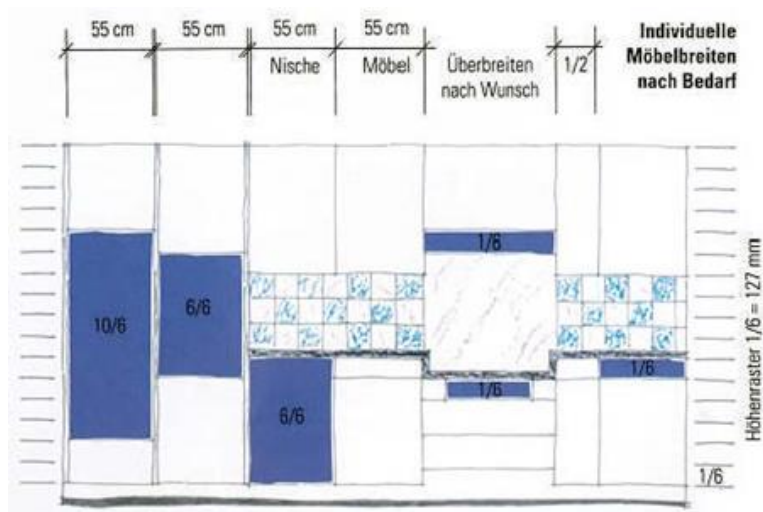


Abbildung 1: Illustration der Kücheneinteilung gemäss dem Schweizer Mass-System in Sechstel (Bildquelle: www.bauwelt.ch/node/187, Zugriff am 16.6.2014)

Bei der hier untersuchten Küche handelt es sich um eine 16-teilige Eckküche mit einem Schrankvolumen von 3.36 m^3 . Die Seiten A und B in Tabelle 2 beschreiben die beiden Ausrichtungen der Eckküche. Die Seite A verfügt über einen Hochschrank. Zudem sind ein Kühlschrank und ein Geschirrspüler vorgesehen, an welche ebenfalls die jeweilig passenden Fronten montiert werden. Unter dem Kühlschrank befindet sich ein Schubladenfach, oberhalb ein Schrank mit einem Tablar. Von den Unterbauten ist einer für den Abfalleimer vorgesehen. Weiter befinden sich ein Unterbau mit vier Schubladen und ein Oberbau mit zwei Tablaren im Küchenbereich A. Im Eckbereich befinden sich ein Schrankkarussell (unten) sowie ein Schrank mit zwei Tablaren (oben). Im Küchenbereich B befinden sich je drei Ober- und Unterbauten. Bei einem der Ober- und einem der Unterbauten handelt es sich um schmale Schränkchen (0.275 m) mit Tablaren, resp. einem Getränkeauszug. Die Oberbauten im Bereich B der Küche haben eine verringerte Tiefe und messen 0.33 m anstelle der üblichen 0.6 m. Insgesamt sind in der Küche sechs Oberbauten und acht Unterbauten mit gesamthaft sechs Schubladen sowie ein Hochschrank vorhanden. Oberhalb des Kochherds befindet sich die Dunstabzugshaube, welche über ein Gehäuse aus Chromstahl verfügt und daher keinen Schrank für den Geräteeinbau benötigt.

Der Ausbau der in dieser Studie analysierten Standardküche ist in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Einbauten und Schranksysteme der in dieser Studie modellierten Standardküche

Seite	Einbauelement	Zusatzelemente	Anteile	Höhe m	Breite m
A	Hochschrank	5 Tablare	16	2.032	0.40
A	Unterschrank	1 Schublade	2	0.254	0.55
A	Frontbekleidung Kühlschrank	-	10	1.270	0.55
A	Oberschrank	1 Tablar	4	0.508	0.55
A	Frontbekleidung Geschirrspüler	-	6	0.762	0.55
A	Unterschrank Abfall	-	6	0.762	0.55
A	Unterschrank	4 Schubladen	6	0.762	0.55
A	Oberschrank	2 Tablare	6	0.762	0.55
A	1 Unterschrank Karussell	-	6	0.762	0.32
A	Eck-Oberschrank	2 Tablare	6	0.762	0.55
B	2 Oberschränke	2 Tablare	6	0.762	0.55
B	Oberschrank	2 Tablare	6	0.762	0.275
B	Unterschrank	-	6	0.762	0.55
B	Unterschrank	1 Tablar	6	0.762	0.55
B	Unterschrank	1 Schublade Flaschen	6	0.762	0.275

Die Einbauelemente bestehen jeweils aus dem Korpus sowie der Front. Zum Ausmass der Fronten kommen noch die Sockel und Abschlüsse sowie die Innenteile (Tablare) hinzu. Die Modellierung der unterschiedlichen Fronten und Grundkonstruktionen sind in Abschnitt M.4.2 genauer beschrieben.

Bei der im Folgenden modellierten Standardküche beträgt das Gesamtvolumen aller Ober- und Unterbauten 3.36 m^3 . Die Arbeitsplatte hat eine Fläche von 2.34 m^2 . Darin eingelassen sind ein Kochfeld (0.29 m^2) und eine Spüle (0.49 m^2).

M.4 Sachbilanzdaten

M.4.1 Einführung und Übersicht

Die Ökobilanz der Schweizer Standardküche ist modular aufgebaut. Die Schrank- und Schubladensysteme werden zusammenfassend modelliert (siehe Unterkapitel M.4.2). Die Bilanzen der dazu benötigten Kleinteile werden in Unterkapitel M.4.3 beschrieben. Die Sachbilanzen der verschiedenen Arbeitsplatten sind in Unterkapitel M.4.4 und die weiteren Komponenten (Spülen, Dampfabzug und Abfalltrennsystem) in Unterkapitel M.4.5 beschrieben. Im Unterkapitel M.4.6 sind die Sachbilanzen der Standardküchen (ohne Arbeitsplatte) dokumentiert und das Unterkapitel M.4.7 enthält eine Beschreibung der Sachbilanz eines durchschnittlichen Küchenschrankes in den hier betrachteten Materialisierungsvarianten.

M.4.2 Schrank- und Schubladensysteme

M.4.2.1 Varianten und Ausmasse

Die Schrank- und Schubladensysteme bestehen aus den Grundbauten (Korpuse) sowie den Fronten (Türen, Schubladen, Auszüge). Der Korpus setzt sich jeweils zusammen aus den zwei Seitenwänden, einem Unterboden, einer Rückwand und einem Oberboden und dient als Grundkonstruktion für alle Schränke. Vorne am Korpus sind die Fronten angebracht. Die Grundbauten, welche in Tabelle 2 beschrieben sind, werden in drei Ausführungen modelliert:

- Weiss beschichtete Holzwerkstoffplatte (Melaminbeschichtung)
- Massivholz (Dreischichtplatte)
- Stahlplatten, kartongefüllt

Die Grundbauten sind aus melaminbeschichteten, weissen Holzverbundplatten gefertigt (die Modellierung ist im Unterkapitel M.4.2.2 beschrieben). Alle drei Varianten der Grundbauten weisen eine Plattendicke von 16 mm auf, wobei die Rückwand jeweils eine Plattenstärke von 9 mm besitzt. Die Tablare hingegen sind aus Holzwerkstoffen, resp. Metallwerkstoffen von 19 mm Dicke angefertigt. Die Fronten dazu sind melaminharzbeschichtete, furnierte oder farbbeschichtete, je 19 mm dicke Spanplatten (siehe auch Tabelle 1 und Unterkapitel M.4.2.2, M.4.2.3 und M.4.2.4). Bei den Kücheneinbauten aus Massivholz bestehen sowohl die Grundbauten als auch die Fronten aus demselben Material (siehe auch Unterkapitel M.4.2.5). Passend zu den Fronten aus Stahl-Kartonverbundplatten bestehen in dieser Ausführung die Korpuse ebenfalls aus diesem Material (siehe auch Unterkapitel M.4.2.6).

Unter der Annahme, dass bei den Holz- und Metallwerkstoffen ca. 15 % Verschnitt in der Plattenproduktion anfallen, resultiert daraus ein benötigtes Plattenvolumen resp. eine -fläche von 0.82 m³, resp. 50.7 m² für die gesamte Küche (Grundbauten und Fronten). Die Ausmasse der einzelnen Grundbauelemente sind in Tabelle 3 festgehalten. Die Fronten haben für alle Varianten dasselbe Ausmass, nämlich 9.8 m². Auch bei den Fronten wird von einem Verschnitt von 15 % ausgegangen.

Tabelle 3: Volumina und Flächen der Grundbauten, welche als Korpuse für die Schrank- und Schubladensysteme dienen

Bauteil	Ausmass m ³	Fläche m ²
Rückwände	0.056	6.193
Seitenwände	0.215	13.416
Böden	0.063	3.939
Deckel	0.063	3.939
Innenteile	0.138	7.266
Summe	0.534	34.753
Summe inkl. 15 % Verschnitt	0.629	40.886

M.4.2.2 Melaminharzbeschichtete Platten

Spanplatten mit einer Melaminbeschichtung gehören zu den Holzspanwerkstoffen und bestehen aus Spanplatten, welche oberflächenbehandelt und veredelt werden. Die Spanplatten werden dabei mit einem Dekorpapier aus Melaminharzpapier belegt. Je nach Verwendung werden einzelne oder mehrere Lagen Melaminharzpapier aufgebracht. Dabei sind Schichtdicken von 15 g/m^2 bis zu 300 g/m^2 möglich (Fachgruppe-Dekorative-Schichtstoffplatten 2007).

In der Herstellung der melaminharzbeschichteten Spanplatten wird ein dünnes Melaminpapier unter hohem Druck und unter Wärmeinwirkung (ca. $150 \text{ }^\circ\text{C}$) direkt auf die Spanplatte aufgespresst. Geprägte Pressbleche versehen die Platten allenfalls mit einer Struktur. Melaminharzbeschichtete Spanplatten haben eine widerstandsfähige und dekorative Oberfläche. Den Variationen bezüglich Optik und Haptik sind dabei keine Grenzen gesetzt.

Melaminharzbeschichtete Spanplatten verfügen über eine hohe Biege- und Standfestigkeit, sind hart, porenfrei und weitgehend abriebfest. Die melaminharzbeschichtete Spanplatten lassen sich mit den gängigen Holzbearbeitungswerkzeugen und -maschinen bearbeiten. Sichtbare Kanten werden nach dem Zuschnitt vom Schreiner beschichtet (Materialarchiv 2008).

Melaminharzbeschichtungen, welche auf Platten für die Korpusse verwendet werden, sind in der Regel dünner als diejenigen, welche für die Schrankfronten Anwendung finden. In dieser Studie wird angenommen, dass die Platten, welche als Grundbauten (Korpus und Tablare) verwendet werden, eine Beschichtung von 90 g/m^2 aufweisen. Die Platten für die Fronten sind mit 200 g/m^2 Melaminharzpapier beschichtet. Melamin weist eine Dichte von $1'574 \text{ kg/m}^3$ auf (UNEP 1999).

Für die Frontplatten wird die Beschichtung der Kanten ebenfalls berücksichtigt. In der Modellierung der Platten für die Grundbauten sind nur die Beschichtungen der Hauptflächen eingeschlossen.

Der Strombedarf für die Plattenherstellung (Druck- und Wärmeerzeugung) entstammt Werksangaben von Tafibra, einem führenden Schweizer Holzwerkstoffproduzenten und wurde mit Informationen aus technischen Datenblättern von Melaminpressen abgestützt. Der Stromverbrauch beläuft sich auf 0.44 kWh/m^2 Platte für das Beheizen und Pressen.³ Dieser Stromverbrauch bezieht sich auf einen Quadratmeter einseitiges Plattenpressen. Über mögliche Emissionen während des Plattenpressens liegen keine Informationen vor.

Als Zuliefertransportdistanzen zum Presswerk werden die Standardtransportdistanzen gemäss des ecoinvent Datenbestands v2.2+ verwendet (ecoinvent Centre 2010). Dabei wird davon ausgegangen, dass Melaminharz dieselben Transportdistanzen aufweist wie Ethylen.

Nach Ablauf der Lebensdauer des Produkts nimmt dieses den vorgesehenen Entsorgungsweg von Spanplatten und gelangt in eine Verbrennungsanlage. Die fol-

³ Persönliche Mitteilung, Herr Ernst Mori, Tafibra, 24.3.2014

gende Tabelle 4 zeigt die Modellierung der melaminharzbeschichteten Platten und die verwendeten Datensätze gemässecoinvent Datenbestand v2.2+.

Tabelle 4: Kenngrößen der Modellierung von beidseitig melaminharzbeschichteten Spanplatten der Ausführung 90 g/m² und 16 mm dick (verwendet für Korpusse) sowie 200 g/m² und 19 mm dick (verwendet für Fronten) sowie der jeweils verwendete Datensatz desecoinvent Datenbestands v2.2+ pro Quadratmeter beschichteter Platte

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz desecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Bedarf pro m ² Melaminharz beschichtete Platte 90 g/m ²	Bedarf pro m ² Melaminharz beschichtete Platte 200 g/m ²	Einheit
Herstellung				
Trägerplatte	particle board, indoor use, at plant	1.60E-02	1.90E-02	m ³ /m ²
Beschichtung, Melamin	melamine formaldehyde resin, at plant	1.72E-01	3.92E-01	kg/m ²
Strom für beheizte Durchlaufpresse	electricity, medium voltage, at grid	8.80E-01	9.13E-01	kWh/m ²
Zulieferung LKW	transport, lorry >28t, fleet average	9.38E-03	6.37E-01	tkm/m ²
Zulieferung Beschichtung Güterzug	transport, freight, rail	1.03E-01	2.35E-01	tkm/m ²
Infrastruktur Gebäude	wooden board manufacturing plant, organic bonded boards	5.35E-10	6.37E-10	unit/m ²
Entsorgung				
Entsorgung Trägerplatte Spanplatte	disposal, particle board, indoor application	1.04E+01	1.24E+01	kg/m ²
Entsorgung Beschichtung	disposal, building, paint on wood, to final disposal	1.72E-01	3.92E-01	kg/m ²

M.4.2.3 Furnierte Platten

Furnierte Platten bestehen aus einer Spanplatte als Kern, welche mit einer dünnen Schicht Massivholz (Furnier) belegt wird. Die weniger wertvolle Spanplatte wird daher mit einem höherwertigen Holzblatt veredelt. Die Holzblätter werden, je nach Verwendung, durch Schälen oder Sägen vom Baumstamm abgetrennt. Die Furniere werden mittels Verpressen auf die Spanplatte geklebt. Als Kleber kommen dabei Harnstoff oder Polyvinylacrylat-Leime zum Einsatz. Allenfalls werden zusätzlich Härter eingesetzt, um die Presszeit zu reduzieren. Härter werden in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Die Furnierpresse verpresst die Furniere und Platten unter Druck und Hitzeeinwirkung (90-130 °C). Ein Presszyklus dauert zwischen vier und acht Minuten. Der Stromverbrauch für die beheizte Furnierpresse wurde als Mittelwert von sieben handelsüblichen Geräten⁴ ermittelt und beläuft sich auf 0.56 kWh pro m² Platte. Grundsätzlich ist auch Kaltfurnieren möglich. Dabei verlängert sich jedoch die Presszeit. Bei 60 °C dauerte ein Zyklus ca. 20 Minuten. In dieser Untersuchung werden ausschliesslich warm furnierte Produkte berücksichtigt. Pro Quadratmeter Platte werden ca. 80-120 g Kleber⁵ benötigt. Der Kleberbedarf wird daher als 100 g/m² angenommen. Der Mehrbedarf an Kleber und Holzblättern für die Kanten ist berücksichtigt. Die Transportdistanzen für die Holzplatten- und Furnierzulieferung entsprechen den ecoinvent Standarddistanzen. Für den Kleber wird eine Zulieferdistanz von 50 km per LKW und 200 km per Güterzug angenommen (analog zu ecoinvent Datenbestand v2.2+, Kunststoffe).

Die folgende Tabelle 5 zeigt die Modellierung der Produktion und Entsorgung der furnierten Spanplatte sowie die verwendeten Datensätze gemäss ecoinvent Datenbestand v2.2+.

⁴ Joos Qualitätspresse HP 150, Joos Qualitätspresse HP 80, Höfer Furnierpresse Typ HP 65 S, Ott Furnierpresse Typ ST 2513, HFP 100-1 Bernardo Furnierpresse, HFP 120-1 Bernardo Furnierpresse, Winter Furnierpresse Solid 2513-100

⁵ Webpage von Geistlich Ligamenta, www.geistlich.ch/ligamenta_db/450601DE.pdf, Zugriff am 13.3.2014

Tabelle 5: Kenngrößen der Modellierung von beidseitig furnierten Spanplatten sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ pro Quadratmeter furnierter Platte

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Bedarf pro Platte	Einheit
Herstellung			
Trägerplatte	particle board, indoor use, at plant	1.90E-02	m ³ /m ²
Beschichtung, Furnier	sawn timber, hardwood, planed, kiln dried, u=10%, at plant	1.04E-03	m ³ /m ²
Strom für beheizte Furnierpresse	electricity, medium voltage, at grid	1.17E+00	kWh/m ²
Harnstoffkleber	urea formaldehyde resin, at plant	2.08E-01	kg/m ²
Zulieferung Holz, Furnier und Kleber, LKW	transport, lorry >28t, fleet average	6.65E-01	tkm/m ²
Zulieferung Holz, Furnier und Kleber, Güterzug	transport, freight, rail	1.90E-01	tkm/m ²
Infrastruktur Gebäude	wooden board manufacturing plant, organic bonded boards	6.67E-10	Stück/m ²
Entsorgung			
Trägerplatte	disposal, particle board, indoor application	1.27E+01	kg/m ²

M.4.2.4 Farbbeschichtete Platten

Bei farbbeschichteten Platten handelt es sich um Spanplatten, die mit Farblack beschichtet wurden. Die Daten dazu stammen aus dem ecoinvent Datenbestand v2.2+. Die Farbbeschichtung besteht aus Acryllack auf Wasserbasis und wird mit einer Intensität von 0.38 kg/m² auf die Platte aufgetragen. Nach Ablauf der Nutzungsdauer werden die farbbeschichteten Platten dem vorgesehenen Entsorgungsweg zugeführt und gelangen in eine Verbrennungsanlage.

Die folgende Tabelle 6 zeigt die Modellierung der Produktion und Entsorgung der farb-beschichteten Spanplatte sowie die verwendeten Datensätze gemäss ecoinvent Daten-bestand v2.2+.

Tabelle 6: Kenngrößen der Modellierung von farbbeschichteten Spanplatten sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ pro Quadratmeter farbbeschichteter Platte

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Bedarf pro Platte	Einheit
Herstellung			
Beschichtete Platte	particle board, UF-bound, coated, dry area	1.90E-02	m ³ /m ²
Entsorgung			
Beschichtete Platte	disposal, particle board, indoor application	1.20E+01	kg/m ²

M.4.2.5 Massivholz (Dreischichtplatten)

Die Fronten aus Massivholz werden mit den Daten des ecoinvent Datenbestands v2.2+ zur Dreischichtplatte modelliert. Verwendet wird eine Platte mit 19 mm Stärke. Die folgende Tabelle 7 zeigt die Modellierung der Produktion und Entsorgung der Fronten aus Massivholz sowie die verwendeten Datensätze gemäss ecoinvent Datenbestand v2.2+.

Tabelle 7: Kenngrößen der Modellierung für die Fronten aus Massivholz sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ pro Quadratmeter Massivholzplatte

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Bedarf pro Platte	Einheit
Herstellung			
Dreischichtplatte	three layered laminated board, at plant	1.90E-02	m ³ /m ²
Entsorgung			
Dreischichtplatte	disposal, three layer slab	8.93E+00	kg/m ²

M.4.2.6 Stahlplatten, kartongefüllt

Eine dünne, pulverbeschichtete Stahlplatte (Plattendicke 0.6 mm) wird auf einen Wabenkarton geklebt. Zwei derartige Platten werden anschliessend zusammen vollflächig verleimt und bilden eine Stahl-Karton-Verbundplatte. Der Leimbedarf beträgt dabei 150 g/m². Die Verbundplatten für die Grundbauten und diejenige für die Fronten sind unterschiedlich dick. Die Böden weisen eine Schichtdicke von 16 mm auf, während Tablare und Sichtseiten je 8 mm dick sind.⁶ Daraus resultiert ein funktionsgewichteter Durchschnitt von 10 mm für die Grundbauten. Die Frontplatten weisen eine Schichtdicke von 20 mm auf. Es wird davon ausgegangen, dass die Kanten der Stahlplatten je um 1 cm überlappen. Die benötigte Metallmenge für einen Quadrat-

⁶ Persönliche E-Mail Mitteilung, Herr Jörg Huber, Forster Küchen Schweiz, 31.7.2014

meter Verbundplatte beträgt somit 10.0 kg/m^2 . Der Stromverbrauch für den Klebprozess wird analog zur Herstellung von Chromstahl-Arbeitsplatten angenommen (siehe Tabelle 14). Die Transportdistanzen für die Zulieferung der Materialien entsprechen den ecoinvent Standarddistanzen.

Nach Ablauf der Nutzungsdauer wird der Stahl vollumfänglich recycelt. Der Karton wird beim Einschmelzen der Verbundplatten verbrannt.

Die folgende Tabelle 8 zeigt die Modellierung der Produktion und Entsorgung der Stahlplatten mit Kartonfüllung sowie die verwendeten Datensätze gemäss ecoinvent Datenbestand v2.2+.

Tabelle 8: Kenngrößen der Modellierung der Stahlplatten mit Kartonfüllung sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ pro Quadratmeter Stahlplatte, kartongefüllt, 20 mm und 10 mm dick

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Bedarf pro m ² Stahlplatte, Fronten 20 mm	Bedarf pro m ² Stahlplatte, Grundbauten 10 mm	Einheit
Herstellung				
Unlegierter Stahl	steel sheet, zinc-coated, recycling share 2000 (37% Rec.)	1.02E+01	9.99E+00	kg/m ²
Unterbau aus Wabenkarton	corrugated board, recycling fibre, double wall, at plant	2.67E-01	1.31E-01	kg/m ²
Pulverbeschichten	powder coating, steel	2.16E+00	2.12E+00	m ² /m ²
Kartonverpackung	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	4.20E-03	2.06E-03	kg/m ²
Metallfabrik	metal working factory	4.94E-09	4.94E-09	unit/m ²
Elektrizität (CH-Mix) für Schneiden und weitere Bearbeitung	electricity, medium voltage, at grid	1.45E-01	1.45E-01	kWh/m ²
Zulieferung Güterzug	transport, freight, rail	6.35E+00	6.20E+00	tkm/m ²
Zulieferung LKW	transport, lorry 20-28t, fleet average	5.38E-01	5.21E-01	tkm/m ²
Kleber (Stahl-Karton)	adhesive for metals, at plant	3.00E-01	3.00E-01	kg/m ²
Entsorgung				
Verbrennung Karton durch Schmelzprozess	disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to municipal incineration	2.67E-01	1.31E-01	kg/m ²

M.4.3 Scharniere, Bänder, Schrauben und Griffe

Die Küchenschränke verfügen einerseits über Türgriffe, Topfbänder, Scharniere, Schubladenauszüge und Schrauben aus Stahl, resp. beschichtetem Stahl. Diese werden für alle Küchen identisch modelliert.

Türgriffe Alle Küchenschränke und -schubladen verfügen über dieselben Türgriffe. Diese bestehen aus beschichtetem (vernickeltem oder verchromtem) Stahl und haben einen Durchmesser von 8 mm, eine Breite von 136 mm sowie eine Ausladung von 32 mm.⁷ Dies resultiert in einem Stahlbedarf von 60 g pro Stück. Je-

⁷ Beispiele siehe Webpage von Hasler und Co. AG, <http://hasler.ch/?srv=sortiment&pg=det&partnerId=32&rub=662&artNr=4243>, Zugriff am 24.6.14

der Griff wird mit zwei Schrauben montiert. Für die Küche werden insgesamt 21 Griffe benötigt. Die folgende Tabelle 9 zeigt die Modellierung der Tür- und Schubladengriffe pro Küche. Nach Ablauf der Lebensdauer werden die Griffe dem Recycling zugeführt.

Tabelle 9: Kenngrößen der Modellierung der Tür- und Schubladengriffe aus beschichtetem Stahl pro Küche sowie der verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Bedarf pro Küche	Einheit
Herstellung			
Stahl für Griff	steel, low-alloyed, at plant	1.25E+00	kg/Küche
Stahlbearbeitung	steel product manufacturing, average metal working	1.25E+00	kg/Küche
Nickelbeschichtung	selective coating, aluminium sheet, nickel pigmented aluminium oxide	7.93E-02	m ² /Küche

Topfbänder Die Tür des Hochschranks wird mit vier, die übrigen Schränke mit zwei Topfbändern befestigt.⁸ Insgesamt sind ein Hochschrank und 14 Ober- oder Unterbauten vorhanden, welche 32 Topfbänder benötigen. Diese bestehen aus Stahl und wiegen 90 g/Stück.⁹ Jedes Topfband wird mit zwei Schrauben befestigt. Am Lebensende werden die Topfbänder rezykliert. Die folgende Tabelle 10 zeigt die Modellierung der Topfbänder.

Tabelle 10: Kenngrößen der Modellierung der Topfbänder pro Küche sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Bedarf pro Küche	Einheit
Herstellung			
Stahl für Topfbänder	steel, low-alloyed, at plant	2.88E+00	kg/Küche
Stahlbearbeitung	steel product manufacturing, average metal working	2.88E+00	kg/Küche

Auszugsschienen Die Küche verfügt über 6 Schubladen. Die Schubladen sind mit Auszugsschienen¹⁰ versehen, welche jeweils 12 Schrauben pro Schublade benötigen. Die Auszugsschienen sind aus pulverbeschichtetem Stahl hergestellt und ha-

⁸ Beispiele siehe Webpage von Hasler und Co. AG, <http://hasler.ch/?srv=sortiment&pg=det&partnerId=32&rub=100007469&artNr=100025758>, Zugriff am 24.6.14

⁹ Webpage von toolz4you.com <http://www.toolz4you.com/de/Moebelbeschlaege/Topfbaender/Blum/Topfscharniere-fuer-Holztueren/Standardscharnier/Standardscharnier-110/Blum-Clip-Top-Standard-scharnier-110-Kr.-0-Inserta-m.Feder-71T3590>, Zugriff am 25.6.14

¹⁰ Beispiele siehe Hasler + Co. AG, <http://hasler.ch/?srv=sortiment&pg=det&partnerId=32&rub=652&artNr=3419>, Zugriff am 24.6.14

ben eine Stärke von 1 mm. Insgesamt wiegen sie 10.7 kg pro Küche. Die metallenen Komponenten werden nach der Nutzung vollständig recycelt. Die folgende Tabelle 11 zeigt die benötigten Materialien und Energieträger für die Herstellung der Auszugsschienen.

Tabelle 11: Kenngrößen der Modellierung der Auszugsschienen sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Bedarf pro Platte	Einheit
Herstellung			
Stahl für Führungsschiene	steel, low-alloyed, at plant	1.07E+01	kg/Küche
Stahlbearbeitung	steel product manufacturing, average metal working	1.07E+01	kg/Küche
Pulverbeschichtung	powder coating, steel	1.68E+00	m ² /Küche

Schrauben Für den Bau der Küchenmöbel werden zwei Schraubentypen von 10 mm und 30 mm Länge verwendet. Sie weisen je einen Durchmesser von 4 mm auf. Für die Schubladenschienen werden 12 kurze Schrauben pro Schublade benötigt. Die Griffe benötigen je 2 lange Schrauben. Die Topfbänder sind ebenfalls mit je 2 kurzen Schrauben befestigt. Zudem wird jeder Korpus neben dem Verleimen mit 12 langen Schrauben fixiert.

Die kleinen Schrauben wiegen 0.3 g und die grösseren Schrauben 0.9 g. Insgesamt werden für die gesamte Küche 0.3 kg Schrauben benötigt.

Die folgende Tabelle 12 zeigt die benötigten Materialien und die weiteren Aufwendungen für die Herstellung der Schrauben. Tabelle 13 zeigt die Transportaufwendungen für alle Metallkomponenten der Auszüge, Scharniere, Griffe und Schrauben.

Tabelle 12: Kenngrößen der Modellierung des Schraubenbedarfs sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Bedarf pro Küche	Einheit
Herstellung			
Masse Schrauben total	steel, low-alloyed, at plant	2.92E-01	kg/Küche
Metallbearbeitung Schrauben	steel product manufacturing, average metal working	2.92E-01	kg/Küche

Tabelle 13: Kenngrößen der Transportmodellierung des Metallbedarfs für die Auszüge, die Topfbänder, die Griffe und Schrauben sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Bedarf pro Küche	Einheit
Metalltransport LKW	transport, lorry 20-28t, fleet average	7.55E-01	tkm/Küche
Metalltransport Zug	transport, freight, rail	9.07E+00	tkm/Küche

M.4.4 Arbeitsplatten

M.4.4.1 Übersicht

Sechs verschiedene Arbeitsplatten wurden modelliert und verglichen. Die Sachbilanzen der analysierten Arbeitsplatten sind in den Unterkapiteln M.4.4.2 bis M.4.4.6 beschrieben.

Die Chromstahlplatte Standard und die Chromstahlplatte High-end sind Produkte von Franke Küchentechnik AG. Diese wurden mit Werksdaten von Franke Küchentechnik AG modelliert. Die Massivholzplatte sowie die Natursteinplatte basieren auf Daten von ecoinvent v2.2+. Die melaminharzbeschichtete Abdeckung wurde analog zu den Küchenfronten modelliert. Die Arbeitsplatte aus Kompositwerkstoff wurde anhand von Expertenschätzungen und Erläuterungen eines Herstellers modelliert.

Die hier zur Küche passende Arbeitsplatte misst 2.34 m². Im Folgenden beziehen sich die Ausmasse auf einen Quadratmeter Arbeitsplatte. Das Nischenmass für den Ausschnitt des Kochfeldes beträgt 0.29 m² und dasjenige der Spüle 0.49 m². Das Nischenmass der Spüle bemisst sich aus Werksdaten der Franke Küchentechnik AG. Für die Masse des Kochfeldes wurde der Mittelwert aus drei gleichwertigen Produkten¹¹ ermittelt.

M.4.4.2 Chromstahl-Arbeitsplatte, Standard und High-end

Die **Chromstahlplatte Standard** ist 1.2 mm dick und verfügt über einen Unterbau aus einem Holzverbundstoff (Spanplatte). Für das Laserschneiden der Arbeitsplatte kommt Strom zum Einsatz. Als Hilfsstoffe werden Dispersionskleber sowie eine Chromstahlreinigungspaste eingesetzt. Für den Transport wird die Arbeitsplatte mit einer Schutzfolie aus Polyethylen versehen. Die Ecken der Platte werden mit Polyurethan-Schaum geschützt und die Platte wird schliesslich kartonverpackt. Die Platte weist eine Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren auf. Nach Ablauf der Nutzungsdauer wird die Chromstahl-Platte vollumfänglich rezykliert und die Spanplatte

¹¹ Webpage V-Zug AG, <http://www.vzug.com/ch/de/product/ch-Catalog/3102100402?category=hob>, Zugriff am 23.6.14

Webpage Electrolux AG, <http://www.electrolux.ch/de-ch/Products/Kochen/Backen/Kochfelder/Glas-keramik-Kochfelder/GK58TCCN>, Zugriff am 23.6.14

(Unterbau) einer Kehrlichtverbrennung zugeführt. Der verwendete Chromstahl verfügt über einen Recyclinganteil von 70 %.¹²

Die **Chromstahlplatte High-end** ist 8 mm dick und verfügt über keinen Unterbau. Als Energieträger für das Laserschneiden der Arbeitsplatte kommt ebenfalls Strom zum Einsatz. Dispersionskleber wird nicht benötigt. Die Menge an verwendeter Reinigungspaste ist identisch für die Standard und die High-end Platte. Für den Transport wird die Arbeitsplatte mit einer Schutzfolie aus Polyethylen versehen. Ein Holzrost dient als Transporthilfe. Die Platte weist eine Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren auf. Nach Ablauf der Nutzungsdauer wird die Platte vollumfänglich recycelt. Der verwendete Chromstahl verfügt über einen Recyclinganteil von 70 %. Tabelle 14 zeigt die Kenngrößen der Modellierung der Chromstahlplatten in den Ausführungen Standard und High-end.

Der Chromstahlreiniger wird als Reinigungspaste mit ca. 10 % Chemikalienanteil modelliert, basierend auf einem technischen Datenblatt eines handelsüblichen Produkts.¹³ Der Chromstahl wird per LKW aus Schweden angeliefert (Transportdistanz 3000 km).

¹² Persönliche Mitteilung, Herr Oliver Johner, Franke Küchentechnik AG, 4.8.2014

¹³ Webpage von Spring GmbH, http://www.spring.ch/information/Spring-Cleaners/Edelstahl-Reiniger/45_Bedienungsanleitung.pdf, Zugriff am 10.6.2014

Tabelle 14: Kenngrößen der Modellierung der Herstellung der Küchenabdeckungen aus Chromstahl, Standard und High-end sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+(engl.)	Bedarf pro m ² Platte, Standard	Bedarf pro m ² Platte, High-end	Einheit
Herstellung				
Chromnickelstahl	chromium steel 18/8, at plant	9.60E+00	6.40E+01	kg/m ²
Holzunterbau (Spanplatte)	particle board, indoor use, at plant	1.90E-02	0.00E+00	m ³ /m ²
PE-Schutzfolie auf Oberfläche für Transport	packaging film, LDPE, at plant	9.20E-02	9.20E-02	kg/m ²
Kartonverpackung	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	1.13E+00	0.00E+00	unit/m ²
Kunststoffschutz (PU-Schaum) für Transport	polyurethane, flexible foam, at plant	1.97E-02	0.00E+00	kg/m ²
Holzpalette für Transport	EUR-flat pallet	0.00E+00	2.04E+00	kg/m ²
Elektrizität (CH-Mix) für Laserschneiden und weitere Bearbeitung	electricity, medium voltage, at grid	1.39E+00	2.78E+00	kWh/m ²
Zulieferung Güterzug	transport, freight, rail	1.31E-01	5.53E-02	tkm/m ²
Zulieferung LKW	transport, lorry 20-28t, fleet average	2.88E+01	1.92E+02	tkm/m ²
Dispersionskleber (Stahl-Holz) mit Lösungsmitteln	adhesive for metals, at plant	1.00E-01	0.00E+00	kg/m ²
Monopar (Reinigungspaste)	chemicals inorganic, at plant	2.00E-04	2.00E-04	kg/m ²
Entsorgung Reinigungsmittel	disposal, solvents mixture, 16.5% water, to hazardous waste incineration	2.00E-04	2.00E-04	kg/m ²

M.4.4.3 Arbeitsplatte aus Massivholz (Dreischichtplatte)

Eine Arbeitsplatte aus Massivholz hat eine Stärke von 5 cm. In der Herstellung wird mit einem Verschnitt von 10 % für den Zuschnitt gerechnet. Zusätzlich fallen noch die Holzabfälle von den Formausschnitten für das Kochfeld und die Spüle an. Dies resultiert in einem Holzbedarf von insgesamt 0.06 m³. Als Energieträger zur Herstellung der Arbeitsplatte kommt ausschliesslich Strom zur Anwendung. Der Stromverbrauch wird analog zum Stromverbrauch von Holzschneiden (Werner et al. 2007) herangezogen und beläuft sich auf 0.96 kWh pro Quadratmeter Platte. Die Zuliefertransporte wurden entsprechend den ecoinvent Standarddistanzen und -transportmitteln modelliert. Die Holzplatte wird mittels einer Kartonverpackung

transportfertig gemacht. Die Ecken werden zusätzlich mit PU-Schaum geschützt. Tabelle 15 zeigt die Modellierung auf. Nach Ablauf der Nutzungsdauer wird die Holzplatte dem vorgesehenen Entsorgungsweg (50 % Recycling, 50 % KVA) zugeführt.

Tabelle 15: Kenngrößen der Modellierung der Arbeitsplatte aus Massivholz (Dreischichtplatte) sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Arbeitsplatte, Massivholz	Einheit
Herstellung			
Massivholz	three layered laminated board, at plant	5.56E-02	m ³ /m ²
Kartonverpackung	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	3.48E-01	kg/m ²
Kunststoffschutz (PU-Schaum)	polyurethane, flexible foam, at plant	1.97E-02	kg/m ²
Entsorgung Verschnitt Massivholz	disposal, sawn timber, hardwood, air-/kiln-dried	1.05E+01	kg/m ²
Elektrizität (CH-Mix)	electricity, medium voltage, at grid	9.56E-01	kWh/m ²
Zulieferung Güterzug	transport, freight, rail	5.30E-00	tkm/m ²
Zulieferung LKW	transport, lorry 20-28t, fleet average	1.32E-00	tkm/m ²
Entsorgung			
Entsorgung Massivholz	disposal, sawn timber, hardwood, air-/kiln-dried	2.35E+01	kg/m ²

M.4.4.4 Arbeitsplatte aus Naturstein

Eine Arbeitsplatte aus Naturstein weist eine Schichtdicke von 3 cm auf. In der Herstellung wird mit einem Verschnitt von 10 % gerechnet wobei zusätzlich noch die Verschnitte für Kochfeld und Spüle anfallen. Insgesamt werden 91.7 kg Naturstein benötigt. Als Energieträger zur Herstellung der Arbeitsplatte kommt ausschliesslich Strom zur Anwendung. Der Stromverbrauch beträgt in Analogie zum Stromverbrauch von Steinschneiden (Kellenberger et al. 2007) 0.32 kWh pro kg Platte. Die Zuliefertransporte wurden entsprechend den ecoinvent Standarddistanzen und -transportmitteln modelliert. Die fertige Platte wird kartonverpackt, wobei die Ecken mit Polyurethan-Schaum geschützt werden. Tabelle 16 zeigt die Modellierung auf. Nach Ablauf der Nutzungsdauer wird die Steinplatte dem vorgesehenen Entsorgungsweg (Inertstoffdeponie) zugeführt.

Tabelle 16: Kenngrößen der Modellierung der Arbeitsplatte aus Naturstein sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Arbeitsplatte, Naturstein	Einheit
Herstellung			
Naturstein	natural stone plate, polished, at regional storage	9.17E+02	kg/m ²
Kartonverpackung	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	3.48E-01	kg/m ²
Kunststoffschutz (PU-Schaum)	polyurethane, flexible foam, at plant	1.97E-02	kg/m ²
Entsorgung Verschnitt Naturstein	disposal, brick	3.69E+01	kg/m ²
Elektrizität (CH-Mix) für Steinschneiden	electricity, medium voltage, at grid	2.93E+01	kWh/m ²
Zulieferung Güterzug	transport, freight, rail	9.25E+00	tkm/m ²
Zulieferung LKW	transport, lorry 20-28t, fleet average	1.85E+00	tkm/m ²
Entsorgung			
Entsorgung Naturstein	disposal, brick	8.25E+01	kg/m ²

M.4.4.5 Melaminharzbeschichtete Arbeitsplatte

Die Küchenabdeckung mit einer Melaminharzbeschichtung weist dieselbe Beschichtungsdicke auf wie die Platten für die Möbelfronten, nämlich 200 g/m². Die Modellierung der melaminharzbeschichteten Platte ist in Abschnitt M.4.2.2 beschrieben. Um eine Schichtdicke von 5 cm zu erhalten, wird eine Holzunterbauplatte mitmodelliert.

Beim Zuschnitt der Arbeitsplatte wird mit 10 % Verschnittmenge gerechnet. Die Entsorgungsmenge schliesst zudem die Ausschnitte für Kochfeld und Spüle mit ein. Die Platte wird für den Transport kartonverpackt und die Ecken werden mit PU-Schaum geschützt. Der Stromverbrauch der Herstellung ist ebenfalls vom Prozess für Holzschneiden (Werner et al. 2007) abgeleitet. Die Zuliefertransporte wurden entsprechend den ecoinvent Standarddistanzen und -transportmitteln modelliert. Die folgende Tabelle 17 führt die Modellierung der melaminharzbeschichteten Arbeitsplatte auf.

Tabelle 17: Kenngrößen der Modellierung der Arbeitsplatte mit einer Melaminharzbeschichtung sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+, resp. Datenbank von treeze Ltd. (gekennzeichnet mit *)

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Arbeitsplatte, Melaminharzbeschichtung	Einheit
Herstellung			
Melaminharzbeschichtete Platte 200 g/m ²	particle board, melamin coated, doubleside coated, 200 g/m ² , at plant*	1.10E+00	m ² /m ²
Unterbauplatte	particle board, indoor use, at plant	3.10E-02	m ³ /m ²
Kartonverpackung	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	3.48E-01	kg/m ²
Kunststoffschutz (PU-Schaum)	polyurethane, flexible foam, at plant	1.97E-02	kg/m ²
Entsorgung Verschnitt melaminharzbeschichtete Platte	disposal, particle board, melamin coated, 200 g/m ² *	4.47E-01	m ² /m ²
Elektrizität (CH-Mix) zum Laserschneiden der Platte	electricity, medium voltage, at grid	9.56E-01	kWh/m ²
Zulieferung Güterzug	transport, freight, rail	2.80E+00	tkm/m ²
Zulieferung LKW	transport, lorry 20-28t, fleet average	6.99E-01	tkm/m ²
Entsorgung			
Entsorgung melaminharzbeschichtete Platte	disposal, particle board, melamin coated, 200 g/m ² *	1.00E+00	m ² /m ²

* Wurden neu erstellt innerhalb dieses Projekts

M.4.4.6 Arbeitsplatte aus Kompositwerkstoff auf Aluminiumhydroxidbasis

Die am häufigsten verwendete Arbeitsplatte aus Kompositwerkstoff¹⁴ auf Aluminiumhydroxid-Basis weist eine Stärke von 12 mm auf.¹⁵ Die Platte besteht zu etwa einem Drittel aus Acrylpolymer (Acrylglas) und zu ungefähr zwei Dritteln aus Aluminiumtrihydroxid (DuPont 2009). Letzteres fällt in der Aufbereitung von Bauxit für die Aluminiumherstellung an. Mittels Zugabe von Pigmenten (Annahme: 5 %) werden die gewünschten Farbeffekte erzielt. Die Polymerisation, welche die Ausgangsstoffe zu Kompositwerkstoff verbindet, kann entweder thermisch oder chemisch initiiert werden. Zur Herstellung des betrachteten Kompositwerkstoffes wird Peroxid als Initiator für die exotherme Reaktion verwendet. Dieses zersetzt sich während der Reaktion vollständig. Die Polymerisation findet in einem geschlossenen System statt.

¹⁴ Beispiele für Kompositwerkstoffe sind: Arlian™, Corian® (Markenrechtlich geschützt für E.I. du Pont de Nemours and Company (DuPont™) oder eine ihrer Konzerngesellschaften; alle Rechte vorbehalten.), GetaCore®, Staron®, Varicor®

¹⁵ Persönliche Mitteilung, Kompositwerkstoff-Hersteller, 17.8.2015

Die entstehenden Dämpfe werden eingefangen und nachbehandelt.¹⁶ Als Energieträger zur Herstellung der Arbeitsplatte kommt ausschliesslich Strom zur Anwendung. Die Maximaltemperatur der exothermen Polymerisationsreaktion beträgt 115 °C und erfordert eine Kühlung des Materials.¹⁷ Der für die Kühlung notwendige Strombedarf wird mit der Wärmekapazität von Kompositwerkstoff von 2.31 MJ/(m³K) (Aspen Aerogels Inc. 2006) und einer geschätzten Temperaturdifferenz von 85 °C berechnet. Unter der Annahme, dass das Produkt der Leistungszahl und des Wirkungsgrads des Kühlprozesses ungefähr 1 ergibt, beträgt der Stromverbrauch für die Kühlung 0.03 kWh pro Kilogramm Kompositwerkstoff. Die Dichte von Kompositwerkstoff kann zwischen 1'680 kg/m³ und 1'750 kg/m³ variieren (DuPont 2009). Für die Arbeitsplatte aus Kompositwerkstoff wird deshalb eine mittlere Dichte von 1'715 kg/m³ angenommen. Die Zuliefertransporte für Rohmaterialien wurden entsprechend den ecoinvent Standarddistanzen und -transportmitteln modelliert. Die Sachbilanz der Herstellung von Kompositwerkstoff ist in Tabelle 18 aufgeführt.

Tabelle 18: Kenngrössen der Modellierung der Herstellung von Kompositwerkstoff in den Produktionswerken in den USA, der Türkei, Südkorea und Japan sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Kompositwerkstoff, ab Produktionswerk	Einheit
Herstellung			
Acrylpolymer	polymethyl methacrylate, beads, at plant	3.17E-01	kg/kg
Aluminiumtrihydroxid	aluminium hydroxide, at plant	6.33E-01	kg/kg
Pigmente	titanium dioxide, production mix, at plant	5.00E-02	kg/kg
Peroxid	hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant	3.00E-02	kg/kg
Elektrizität (Ländermix TR, KR, JP, US) zur Kühlung von Kompositwerkstoff	electricity, medium voltage, at grid	3.00E-02	kWh/kg
Zulieferung Güterzug	transport, freight, rail	3.65E-01	tkm/kg
Zulieferung LKW	transport, lorry >16t, fleet average	1.03E-01	tkm/kg

Die Grossproduktion von Kompositwerkstoff findet in den USA, Südkorea, Japan und der Türkei statt.¹⁸ Unter Annahme einer möglichen Mengenaufteilung im Schweizer Markt von Produkten aus der Türkei (12.5 %), Südkorea (25.0 %), Japan (12.5 %) und den USA (50.0 %) und basierend auf den geschätzten Transportdistanzen von den Produktionswerken in den jeweiligen Ländern (Tabelle 19) wird die

¹⁶ Persönliche Mitteilung, Kompositwerkstoff-Hersteller, 6.2.2015

¹⁷ Persönliche Mitteilung, Kompositwerkstoff-Hersteller, 16.3.2015

¹⁸ Persönliche Mitteilung, Kompositwerkstoff-Hersteller, 19.8.2015

Bereitstellung von Kompositwerkstoff im Regionallager Schweiz modelliert (Tabelle 20).

Tabelle 19: Herkunftsländer und geschätzter Anteil der Kompositwerkstoffproduktion und Transportdistanzen in die Schweiz

Herkunftsland	Distanz	Einheit	Anteil Import
Türkei			12.5%
- Transport Türkei (Izmir) - Schweiz (Zürich)	2.40E+03	km	
Südkorea			25.0%
- Überseetransport Südkorea - Italien (Genua)	1.66E+04	km	
- Transport Italien (Genua) - Schweiz (Zürich)	4.50E+02	km	
Japan			12.5%
- Überseetransport Japan - Italien (Genua)	1.74E+04	km	
- Transport Italien (Genua) - Schweiz (Zürich)	4.50E+02	km	
USA			50.0%
- Überseetransport USA - Niederlande (Rotterdam)	6.10E+03	km	
- Transport Niederlande (Rotterdam) – Schweiz (Zürich)	7.00E+02	km	

Tabelle 20: Kenngrößen der Modellierung der Bereitstellung von Kompositwerkstoff im Regionallager Schweiz sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+, resp. Datenbank von treeze Ltd. (gekennzeichnet mit *)

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Kompositwerkstoff, ab Regionallager	Einheit
Herstellung			
Kompositwerkstoff, Produktion TR	aluminiumtrihydroxide-acrylic glass, at plant*	1.25E-01	kg/kg
Kompositwerkstoff, Produktion KR	aluminiumtrihydroxide-acrylic glass, at plant*	2.50E-01	kg/kg
Kompositwerkstoff, Produktion JP	aluminiumtrihydroxide-acrylic glass, at plant*	1.25E-01	kg/kg
Kompositwerkstoff, Produktion US	aluminiumtrihydroxide-acrylic glass, at plant*	5.00E-01	kg/kg
Zulieferung Frachtschiff	transport, transoceanic freight ship	9.38E+00	tkm/kg
Zulieferung LKW	transport, lorry >16t, fleet average	8.19E-01	tkm/kg

* Wurden neu erstellt innerhalb dieses Projekts

Die Kompositwerkstoffplatten können mit den gängigen Schreinereimaschinen bearbeitet werden (Schneiden, Schleifen etc.). In der Weiterverarbeitung der Arbeitsplatte wird mit einem Verschnitt von 10 % gerechnet, wobei zusätzlich noch die Ausschnitte für Kochfeld und Spüle anfallen. Unter Berücksichtigung der Verarbeitungsverluste werden 22.9 kg Kompositwerkstoff benötigt. Da Kompositwerkstoff

ähnlich wie Massivholz verarbeitet werden kann, wird der Stromverbrauch analog zum Stromverbrauch des Schneidens und Hobelns (als Annäherung für den Schleifprozess) von Holz (Werner et al. 2007) modelliert. Der Stromverbrauch der Verarbeitung der Kompositwerkstoffplatte beläuft sich auf 0.5 kWh pro Quadratmeter Arbeitsplatte. Es wird angenommen, dass die fertige Platte kartonverpackt wird, wobei die Ecken mit Polyurethan-Schaum geschützt werden. Nach Ablauf der Nutzungsdauer wird die Kompositwerkstoffplatte dem vorgesehenen Entsorgungsweg (Verbrennung) zugeführt. Für die Verbrennung von Kompositwerkstoff wird aufgrund der Materialzusammensetzung ein neuer Prozess erstellt, der konsistent mit den Entsorgungsdatensätzen aus ecoinvent v2.2+ ist (Doka 2007). Der Aluminiumtrihydroxid-Anteil (63 %) am Kompositwerkstoff wird dabei als inertes Material betrachtet. Das Polymethylmethacrylat wird ausgehend von einem Heizwert von 26.8 MJ/kg (Walters et al. 2009) durch eine Mischung aus Polypropylen (35 %) und Polyethylenterephthalat (65 %) angenähert. Die Verbrennung der Kompositwerkstoffplatte ist eine vereinfachende Annahme; in Realität kann die Entsorgung von Arbeitsplatten aus Kompositwerkstoff sowohl in der KVA als auch in Deponien komplizierter und aufwändiger sein. Nähere Informationen dazu sind jedoch nicht verfügbar. Die Sachbilanz für die Herstellung von 1 m² Arbeitsplatte aus Kompositwerkstoff ist in Tabelle 21 aufgeführt.

Tabelle 21: Kenngrößen der Modellierung der Arbeitsplatte aus Kompositwerkstoff sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+, resp. Datenbank von treeze Ltd. (gekennzeichnet mit *)

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Arbeitsplatte, Kompositwerkstoff	Einheit
Herstellung			
Kompositwerkstoff, Regionallager CH	aluminiumtrihydroxide-acrylic glass, production mix, at plant*	2.29E+01	kg/m ²
Kartonverpackung	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	3.48E-01	kg/m ²
Kunststoffschutz (PU-Schaum)	polyurethane, flexible foam, at plant	1.97E-02	kg/m ²
Entsorgung Verschnitt Kompositwerkstoff	disposal, aluminiumtrihydroxide-acrylic glass, to municipal incineration*	2.29E+00	kg/m ²
Elektrizität (Ländermix CH)	electricity, medium voltage, at grid	5.00E-01	kWh/m ²
Zulieferung Güterzug	transport, freight, rail	7.35E-02	tkm/m ²
Zulieferung LKW	transport, lorry 20-28t, fleet average	1.84E-02	tkm/m ²
Entsorgung			
Entsorgung Kompositwerkstoff	disposal, aluminiumtrihydroxide-acrylic glass, to municipal incineration*	2.06E+01	kg/m ²

* Wurden neu erstellt innerhalb dieses Projekts

M.4.5 Weitere Kücheneinbauten

M.4.5.1 Spüle aus Chromstahl

Die Sachbilanz der Spüle basiert auf dem Modell Sinus SNX 251 der Franke Küchentechnik AG, die auch Werksdaten zur Modellierung der Herstellung zu Verfügung gestellt hat. Die Spüle ist vollumfänglich aus Chromstahl hergestellt, welcher zu 70 % aus Recyclingmaterial besteht. Das Spülbecken ist mit einer Bitumendämmmatte versehen. Sämtliche Ventile sind aus Polypropylen hergestellt. Die Spüle wird mit Eisenkrallen befestigt. In der Fertigung kommen als Energieträger Strom sowie Erdgas zum Einsatz.

In der Produktion werden Schmieröle und Emulsionen als Hilfsstoffe beim Tiefziehen verwendet. Zudem werden abrasive Reinigungspasten und Korrosionsschutzmittel eingesetzt. Pro Spüle werden 36 Liter Wasser eingesetzt, um die Spüle zu reinigen. Das anfallende Abwasser wird vor Einleitung in die kommunale Kläranlage aufbereitet. Zur Abwasseraufbereitung in der industrieeigenen Kläranlage kommen Kalziumhydroxid, Salzsäure, Phosphorsäure sowie Kalziumchlorid zum Einsatz. Die verbleibenden Feststoffe (Metallabrieb, Fette, etc.) aus der Abwasserreinigungsanlage werden in einer KVA verbrannt. Zur Auslieferung wird die Spüle kartonverpackt. Tabelle 22 zeigt die Kenngrößen der Modellierung der Spüle.

Der Chromstahl wird über 900 km per LKW nach Aarburg in die Schweiz transportiert. Die Bitumen-, Kunststoff- und Stahlprodukte werden über 400 km per LKW angeliefert. Die Kartonverpackung hat einen Transportweg von 300 km mit dem LKW hinter sich.

Sämtliche Materialien der Spüle können nach Ablauf der Nutzungsdauer recycelt werden. In der Modellierung werden der Kunststoff und die Bitumendämmmatte gemäss den Qualitätsrichtlinien jedoch in einer Kehrichtverbrennung entsorgt. Metalle und Karton werden recycelt.

Tabelle 22: Kenngrößen der Modellierung der Chromstahl-Spüle sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Spüle, Chromstahl	Einheit
Herstellung			
Chromnickelstahl für Becken	chromium steel 18/8, at plant	4.10E+00	kg/Stück
Chromnickelstahl für Rahmen	chromium steel 18/8, at plant	2.60E+00	kg/Stück
Bitumen für Dämm-matten	bitumen sealing, at plant	2.00E-01	kg/Stück
Polypropylen für Ventile	polypropylene, granulate, at plant	1.60E+00	kg/Stück
Stahl, Eisen für Befestigungskralle	steel, low-alloyed, at plant	2.00E-01	kg/Stück
Kartonverpackung	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	3.60E+00	kg/Stück
Elektrizität (CH-Mix)	electricity, medium voltage, at grid	1.59E+01	kWh/Stück
Erdgas	heat, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW	3.49E+01	MJ/Stück
Zulieferung Güterzug	transport, freight, rail	1.00E-01	tkm/Stück
Zulieferung LKW	transport, lorry 20-28t, fleet average	7.91E+00	tkm/Stück
Trinkwasser	tap water, at user	3.60E+01	kg/Stück
Abwasser	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3	3.60E-02	m ³ /Stück
Kalzium Hydroxid zur Wasseraufbereitung	lime, hydrated, loose, at plant	1.33E-02	kg/Stück
Salzsäure zur Wasseraufbereitung	hydrochloric acid, 30% in H ₂ O, at plant	1.50E-02	kg/Stück
Phosphorsäure zur Wasseraufbereitung	phosphoric acid, industrial grade, 85% in H ₂ O, at plant	3.33E-03	kg/Stück
Kalziumchlorid zur Wasseraufbereitung	calcium chloride, CaCl ₂ , at regional storage	3.33E-02	kg/Stück
Wasserlösliche Emulsion zum Tiefziehen	chemicals organic, at plant	5.00E-03	kg/Stück
Synthetisches Tiefziehlöl	lubricating oil, at plant	1.00E-03	kg/Stück
Polierpaste (abrasiv)	alkyd paint, white, 60% in solvent, at plant	2.92E-02	kg/Stück
Anorganische und organische Korrosionsschutzkomponenten; Phosphat, Borate; Nichtionische Tenside; Antischaummittel	boric acid, anhydrous, powder, at plant	6.67E-02	kg/Stück
Schlammabscheider ARA	disposal, separator sludge, 90% water, to hazardous waste incineration	4.33E-02	kg/Stück

Tabelle 22: Kenngrößen der Modellierung der Chromstahl-Spüle sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (Fortsetzung)

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Spüle, Chromstahl	Einheit
Entsorgung			
Entsorgung Kunststoff	disposal, polypropylene, 15.9% water, to municipal incineration	1.60E+00	kg/Stück
Entsorgung Bitumen-dämmmatte	disposal, bitumen sheet, 1.5% water, to municipal incineration	2.00E-01	kg/Stück

M.4.5.2 Spüle aus Kompositwerkstoff auf Gesteinsmehlbasis

Bei der Spüle aus Kompositwerkstoff auf Gesteinsmehlbasis wird von einem Produkt analog der Chromstahlspüle ausgegangen, welches über ein grosses Becken, ein kleines Becken sowie über eine Abtropffläche verfügt. Der Kompositwerkstoff besteht zu ungefähr 80 % aus Granit und zu etwa 15 % aus einer Acrylmatrix. Die restlichen ca. 5 % einer Kompositwerkstoffspüle entfallen auf Farbpigmente, synthetische Additive und mineralische Funktionsfüllstoffe.¹⁹ Die Spüle weist Masse von 100 x 50 x 19 cm auf und wiegt ungefähr 14 kg¹⁹, resp. 19 kg inkl. Verpackung.²⁰

Die Herstellung von Granitmehl wird auf Basis von Daten des nordamerikanischen Natural Stone Council sowie von ecoinvent neu modelliert (NSC 2009a; Kellenberger et al. 2007). Die Material- und Energieaufwände für den Abbau von Granit werden aus NSC (2009a) entnommen, während die Landnutzung, die Infrastruktur sowie die Partikelemissionen analog zum Abbau von Kalkstein mit ecoinvent-Daten modelliert werden (Kellenberger et al. 2007). Die Aufwände für das Brechen und Mahlen von Granit werden in NSC (2009a) nicht separat aufgeführt. Aus diesem Grund wird auf die ecoinvent-Prozesse der Herstellung von gebrochenem und gemahlenem Kalk zurückgegriffen. Der Verbrauch von Strom und Heizöl wird gemäss dem Verhältnis des Energieverbrauchs zur Bearbeitung von Kalkstein und von Granit angepasst (NSC 2009a; NSC 2009b). Die Sachbilanzdaten für den Abbau, das Brechen sowie das Mahlen von Granit sind in Tabelle 23, Tabelle 24 und Tabelle 25 aufgeführt.

¹⁹ Persönliche Mitteilung, Herr Detlef Schön, Blanco GmbH + Co KG, 11.3.2015

²⁰ Verkaufswepage http://www.amazon.de/Blanco-Silgranit-reversibel-Unterschrank-514740/dp/B002AGTE8G/ref=sr_1_3?s=diy&ie=UTF8&qid=1423225471&sr=1-3&keywords=silgranit#productDetails, Zugriff am 6.2.2015

Tabelle 23: Kenngrößen der Modellierung des Abbaus von Granit sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (NSC 2009a; Kellenberger et al. 2007)

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Granit, ab Abbau	Einheit
Herstellung			
Granit, im Boden	granite, in ground	1.00E+00	kg/kg
Landnutzung Mine	occupation, mineral extraction site	8.48E-05	m ² a/kg
Landtransformation Mine	transformation, from forest	6.52E-06	m ² /kg
Landtransformation Mine	transformation, to mineral extraction site	6.52E-06	m ² /kg
Mine	mine, limestone	5.25E-11	unit/kg
Rekultivierung Mine	recultivation, limestone mine	6.52E-06	m ² /kg
Elektrizität (Ländermix CH)	electricity, medium voltage, at grid	5.71E-02	kWh/kg
Diesel	diesel, burned in building machine	4.50E-01	MJ/kg
Erdgas	natural gas, burned in boiler atm. low-NOx condensing non-modulating <100kW	3.60E-07	MJ/kg
Propan	heat, propane/butane, burned in boiler, low-NOx cond. non-modul. <100kW	1.00E-03	MJ/kg
Heizöl	heat, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating	1.07E-04	MJ/kg
Benzin	operation, passenger car, petrol, fleet average	1.11E-02	vkm/kg
Sprengen	blasting	4.46E-05	kg/kg
Polyurethan-Diamantsäge	polyurethane, rigid foam, at plant	6.17E-06	kg/kg
Stahl zum Sägen, Bohren, Brechen	steel, converter, unalloyed, at plant	3.41E-04	kg/kg
Leitungswasser	tap water, at user	5.35E-03	kg/kg
Wasser	water, unspecified natural origin, CH	7.79E-04	m ³ /kg
Abwärme	heat, waste	2.06E-01	MJ/kg
Partikelemissionen	particulates, < 2.5um	8.00E-06	kg/kg
Partikelemissionen	particulates, > 2.5um, and < 10um	4.00E-05	kg/kg
Partikelemissionen	particulates, > 10um	1.12E-04	kg/kg

Tabelle 24: Kenngrößen der Modellierung des Brechens von Granit sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ resp. Datenbank von treeze Ltd. (gekennzeichnet mit *) (NSC 2009a; Kellenberger et al. 2007)

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Granit, gebrochen	Einheit
Herstellung			
Granit	granite, natural stone council, at mine*	1.00E+00	kg/kg
Förderband	conveyor belt, at plant	2.78E-08	m/kg
Industriemaschine	industrial machine, heavy, unspecified, at plant	6.12E-06	kg/kg
Elektrizität (Ländermix CH)	electricity, medium voltage, at grid	6.80E-05	kWh/kg
Heizöl	heat, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating	1.24E-03	MJ/kg
Abwärme	heat, waste	2.45E-04	MJ/kg
Partikelemissionen	particulates, < 2.5um	8.71E-07	kg/kg
Partikelemissionen	particulates, > 2.5um, and < 10um	7.84E-06	kg/kg
Partikelemissionen	particulates, > 10um	8.71E-06	kg/kg

* Wurden neu erstellt innerhalb dieses Projekts

Tabelle 25: Kenngrößen der Modellierung des Mahlens von Granit sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ resp. Datenbank von treeze Ltd. (gekennzeichnet mit *) (NSC 2009a; Kellenberger et al. 2007)

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Granit, gemahlen	Einheit
Herstellung			
Granit, gebrochen	granite, natural stone council, crushed, for mill*	1.00E+00	kg/kg
Industriemaschine	industrial machine, heavy, unspecified, at plant	2.25E-04	kg/kg
Elektrizität (Ländermix CH)	electricity, medium voltage, at grid	4.27E-03	kWh/kg
Heizöl	heat, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating	7.53E-02	MJ/kg
Abwärme	heat, waste	1.54E-02	MJ/kg

* Wurden neu erstellt innerhalb dieses Projekts

Bei der Herstellung einer Kompositwerkstoffspüle werden der gemahlene Granit, die Acrylmatrix sowie die Farbpigmente, synthetischen Additive und mineralischen Funktionsfüllstoffe vermischt, in eine Form gegossen und anschliessend chemisch und thermisch ausgehärtet. Der Strombedarf für das Mischen und Giessen von Kompositwerkstoff wird anhand des ecoinvent-Prozesses für die Herstellung von Anhydritfliessmörtel auf 0.4 kWh/Spüle geschätzt (Kellenberger et al. 2007). Der gesamte Energiebedarf für die chemische und thermische Aushärtung von Kompo-

sitwerkstoff beträgt 67.7 MJ/Spüle.¹⁹ Für die Aufteilung auf die Energieträger Strom (10.3 %) und Erdgas (89.7 %) wird der Prozess der Herstellung von Backsteinen zu Hilfe gezogen (Kellenberger et al. 2007). Zur Auslieferung wird die Kompositwerkstoffspüle in ca. 5 kg Karton verpackt. Für die Zulieferung der Produktionsmaterialien werden die Standarddistanzen gemäss ecoinvent verwendet. Die Transportdistanz von Kompositwerkstoffspülen vom Produktionsort in Deutschland in die Schweiz wird auf 300 km per LKW geschätzt. Tabelle 26 zeigt die Kenngrössen der Modellierung der Kompositwerkstoffspülen.

Nach Ablauf der Nutzungsdauer wird die Kompositwerkstoffspülen dem vorgesehenen Entsorgungsweg (Verbrennung) zugeführt. Für die Verbrennung von Kompositwerkstoff wird aufgrund der Materialzusammensetzung ein neuer Prozess erstellt, der konsistent mit den Entsorgungsdatensätzen aus ecoinvent v2.2+ ist (Doka 2007). Der Anteil von Granitmehl (80 %) wird dabei als inertes Material betrachtet. Das Methylmethacrylat wird durch eine Mischung aus Polypropylen (35 %) und Polyethylenterephthalat (65 %) angenähert. Dabei wird angenommen, dass Methylmethacrylat denselben Heizwert hat wie Polymethylmethacrylat (siehe Abschnitt M.4.4.6). Es wird davon ausgegangen, dass die Kartonverpackung der Spüle aus Kompositwerkstoff recycelt wird.

Tabelle 26: Kenngrößen der Modellierung der Kompositwerkstoffspüle sowie der jeweils verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+, resp. Datenbank von treeze Ltd. (gekennzeichnet mit *)

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Spüle, Kompositwerkstoff	Einheit
Herstellung			
Granitmehl	granite, natural stone council, milled, loose, at plant*	1.12E+01	kg/Stück
Acrylmatrix	methyl methacrylate, at plant	2.10E+00	kg/Stück
Farbpigmente, synthetische Additive und mineralische Funktionsfüllstoffe	titanium dioxide, production mix, at plant	7.00E-01	kg/Stück
Kartonverpackung	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	5.00E+0	kg/Stück
Elektrizität (Ländermix DE) für Giessen / Mischen und Aushärtung von Kompositwerkstoff	electricity, medium voltage, at grid	2.33E+00	kWh/Stück
Erdgas für Aushärtung von Kompositwerkstoff	heat, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW	6.07E+01	MJ/Stück
Zulieferung Güterzug	transport, freight, rail	2.68E+00	tkm/Stück
Zulieferung LKW	transport, lorry 20-28t, fleet average	6.65E+00	tkm/Stück
Entsorgung			
Entsorgung Kompositwerkstoff	disposal, granite-acrylresin, to municipal incineration*	1.40E+01	kg/Stück

* Wurden neu erstellt innerhalb dieses Projekts

M.4.5.3 Dampfabzug

Grundlage der Sachbilanz der Dunstabzugshaube bildet ein durchschnittliches Standardmodell für den Schweizer Markt welches von der Franke Küchentechnik AG vertrieben wird. Das betrachtete Standardmodell wird nicht von Franke Küchentechnik AG, sondern in einem Franke-Produktionswerk in Italien hergestellt. Sämtliche Daten zur Modellierung des Dampfabzugs wurden von Franke Küchentechnik AG zu Verfügung gestellt. Es wird ein Abluftmodell eines Dampfabzugs betrachtet. Da die Materialaufwände für das Abluftrohr je nach Lage der Küche in einer Wohnung variieren, werden diese in der vorliegenden Sachbilanz nicht berücksichtigt. Der Anschluss, das Abluftrohr, der Wanddurchbruch sowie das Aussengitter müssen demnach zusätzlich zum Dampfabzug bilanziert werden.

Die Dunstabzugshaube ist zusammengesetzt aus einem Ventilator (Motor) sowie einer Chromstahlumhüllung. Der Chromstahl weist einen Recyclinganteil von 70 % auf. Weitere Komponenten sind die Elektronik und die Verkabelung, ein Filter, die Lampenabdeckung aus Glas sowie die Halogenlampe. Das Produkt wird für den Transport in Karton und Kunststoff verpackt. Der Dampfabzug wiegt total 15.4 kg

(ohne Verpackung). Tabelle 27 zeigt die Kenngrößen der Modellierung des Dampf-
abzugs.

Die VentilatorKomponente wiegt 2.7 kg. Die Verpackung wiegt insgesamt 5 kg und besteht aus Karton, Kunststoff und Polystyrol. Es wird angenommen, dass der Kartonanteil 3 kg ausmacht sowie die Kunststoffanteile je 1 kg betragen.

Als Energieträger für die Herstellung des Dampfabzugs kommen Strom (Mix Italien) sowie Erdgas zum Einsatz. Pro Produkt werden 8 L Wasser gebraucht. Als Hilfsstoffe werden Schmieröl und Polierpaste benötigt.

Der Motor und Ventilator, die Elektronik sowie das Lampenglas werden 8000 km per Frachtschiff und 50 km per LKW, der Filter 3000 km per Frachtschiff und 50 km per LKW in die Produktionsstätte transportiert. Weiter per LKW angeliefert werden die Chromstahlabdeckung (200 km), die Verpackung (40 km) sowie die Halogenlampe (3 km). Für den Transport in die Schweiz wird daher eine Transportdistanz von 770 km angerechnet (Distanz Fabriano – Aarburg). Für die übrigen Komponenten und Hilfsstoffe werden die ecoinvent Standardtransportdistanzen verwendet.

Die in der Herstellung entstehenden Abfälle (Schmirgelpapier) werden auf einer Deponie entsorgt. Sämtliche entstehenden Metallabfälle werden wiederverwendet. Nach Ablauf der Lebensdauer wird 60 % des Produkts recycelt. Die verbleibenden 8.4 kg Abfall (Kabel, Filter, Kunststoffe) werden dem materialtypischen, durchschnittlichen Entsorgungsweg zugeführt.

Tabelle 27: Kenngrößen der Modellierung des Dampfabzugs sowie der verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Dampfabzug	Einheit
Herstellung			
Ventilator	fan, at plant	2.70E+00	kg/Stück
Hülle	chromium steel 18/8, at plant	9.00E+00	kg/Stück
Elektronik	electronics for control units	1.00E+00	kg/Stück
Filter	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant	4.00E-01	kg/Stück
Filterherstellung	fleece production, polyethylene terephthalate	4.00E-01	kg/Stück
Karton für Verpackung	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	3.00E+00	kg/Stück
PET für Verpackung	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant	1.00E+00	kg/Stück
PS für Verpackung	polystyrene foam slab, 100% recycled, at plant	1.00E+00	kg/Stück
Lampenglas	flat glass, uncoated, at plant	1.80E+00	kg/Stück
Halogenbirne	energy-saving bulb, 11W, incl. integrated adapter, at plant	2.00E+00	Stück/Stück
Strom (Italien) für Fertigung	electricity, medium voltage, at grid	3.00E+01	kWh/Stück
Erdgas	heat, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW	1.19E+01	MJ/Stück
Zulieferung LKW	transport, lorry 3.5-16t, fleet average	1.84E+01	tkm/Stück
Zulieferung Schiff	transport, transoceanic freight ship	4.52E+01	tkm/Stück
Zulieferung Güterzug	transport, freight, rail	1.80E-02	tkm/Stück
Trinkwasser	tap water, at user	8.00E+00	kg/Stück
Abwasser	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3	8.00E-03	m ³ /Stück
Schmieröl	lubricating oil, at plant	1.00E-02	kg/Stück
Polierpaste	chemicals organic, at plant	2.00E-02	kg/Stück
Entsorgung Schmirgelpapier	disposal, paper, 11.2% water, to sanitary landfill	5.00E-02	kg/Stück
Entsorgung			
Entsorgung Kabel	disposal, electronics for control units	8.40E-01	kg/Stück
Entsorgung Kunststoff HDPE	disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to municipal incineration	5.88E+00	kg/Stück
Entsorgung Filter und diverse Kunststoffe	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	1.68E+00	kg/Stück
Transport LKW	transport, lorry 20-28t, fleet average	8.40E-02	tkm/Stück

M.4.5.4 Abfalltrennsystem

Das Abfalltrennsystem besteht aus einem Abfalleimer aus Polypropylen sowie einem kleineren Eimer für den Grünabfall aus demselben Material. Der Kunststoff ist mit antibakteriellen Additiven versehen. Aufgrund der sehr geringen Menge an antibakteriellen Additiven (im Bereich ppm pro kg Kunststoff) wurden diese in der Modellierung vernachlässigt. Die Abfalleimer werden durch eine Kartonverpackung transportfähig gemacht.

Das Polypropylen sowie der Karton für die Verpackungen werden ausschliesslich per LKW in das Herstellungswerk transportiert. Die Abfalleimer werden durch Spritzgussverfahren hergestellt. Es wird davon ausgegangen, dass im Werk 10 % Verschnitt anfallen. Nach Ablauf der Lebensdauer wird der Kunststoff in einer KVA verbrannt. Es wird angenommen, dass die Kartonverpackung recycelt wird. Tabelle 28 zeigt die Modellierung der Herstellung und der Entsorgung des Abfalltrennsystems. Die Transportdistanz zur KVA basiert auf dem ecoinvent Datenbestand v2.2+. Sämtlich übrigen Daten zur Modellierung des Abfalltrennsystems wurden von Franke Küchentechnik AG zu Verfügung gestellt. Die Abfalltrennsysteme werden nicht von Franke Küchentechnik AG hergestellt, sondern ausschliesslich von Lieferanten.

Tabelle 28: Kenngrößen der Modellierung des Abfalltrennsystems sowie der verwendete Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+

Prozess/Produkt	Verwendeter Datensatz des ecoinvent Datenbestands v2.2+ (engl.)	Abfalltrennsystem	Einheit
Herstellung			
Polypropylen	polypropylene, granulate, at plant	3.30E+00	kg/Stück
Kartonverpackung	corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	5.00E+00	kg/Stück
Spritzgiessen für Plastik	injection moulding	3.30E+00	kg/Stück
Zulieferung LKW	transport, lorry >28t, fleet average	1.83E+00	tkm/Stück
Entsorgung			
Entsorgung PP	disposal, polypropylene, 15.9% water, to municipal incineration	3.00E+00	kg/Stück
Transport zu KVA	transport, lorry 20-28t, fleet average	3.00E-02	tkm/Stück

M.4.6 Küchenkombinationen

Die einzelnen Küchenelemente werden mit den weiteren Kücheneinbauten (Scharniere, Chromstahl-Spüle, Dampfanzug und Abfalleimer) zu einer gesamten Küche kombiniert, siehe auch Tabelle 29. Die Arbeitsplatte ist nicht eingeschlossen, da diese pro Küche variieren kann. Als Standardfall wird hier die Spüle aus Chromstahl verwendet.

Tabelle 29: Übersicht über die untersuchten Küchenelemente und Kücheneinbauten

Küchenelement	Materialisierung	Menge	Einheit
Kücheneinbauten I	Fronten aus melaminbeschichteten Spanplatten	9.84E+00	m ²
	Korpus aus weissbeschichteten Spanplatten	4.09+E01	m ²
	Chromstahl-Spüle, Dampfabzug, Abfallsystem, Scharniere, etc.	Je 1	Stück
Kücheneinbauten II	Fronten aus furnierten Spanplatten	9.84E+00	m ²
	Korpus aus weissbeschichteten Spanplatten	4.09+E01	m ²
	Chromstahl-Spüle, Dampfabzug, Abfallsystem, Scharniere, etc.	Je 1	Stück
Kücheneinbauten III	Fronten aus farbbeschichteten Spanplatten	9.84E+00	m ²
	Korpus aus weissbeschichteten Spanplatten	4.09+E01	m ²
	Chromstahl-Spüle, Dampfabzug, Abfallsystem, Scharniere, etc.	Je 1	Stück
Kücheneinbauten IV	Fronten und Korpus aus Massivholz	5.07E+01	m ²
	Chromstahl-Spüle, Dampfabzug, Abfallsystem, Scharniere, etc.	Je 1	Stück
Kücheneinbauten V	Fronten und Korpus aus kartongefüllten Metallplatten	5.07E+01	m ²
	Chromstahl-Spüle, Dampfabzug, Abfallsystem, Scharniere, etc.	Je 1	Stück

M.4.7 Küchenschränke pro Kubikmeter

Aus den modellierten Grundbauten und Fronten werden für jeden Ausbaustandard Datensätze pro Kubikmeter Schrankvolumen erstellt. Diese schliessen auch den durchschnittlichen Bedarf an Scharnieren, Auszügen, Schrauben und Bändern mit ein. Die Küchenschränke haben insgesamt ein Hohlvolumen von 3.36 m³. Tabelle 30 fasst die Herstellung und Entsorgung aller untersuchten Varianten der Küchenschränke zusammen.

Tabelle 30: Übersicht über die Modellierung der Küchenschrankelemente

	Küchen- schrank, Front melaminharzbe- schichtet	Küchen- schrank, Front furniert	Küchen- schrank, Front farb- beschichtet	Küchen- schrank, Front Mas- sivholz	Küchen- schrank, Front Stahl- platte, kar- tongefüllt
Herstellung					
Grundbauten	1.22E+01 m ² /m ³	1.22E+01 m ² /m ³	1.22E+01 m ² /m ³	1.87E-01 m ³ /m ³	1.22E+01 m ² /m ³
Fronten	2.93E-00 m ² /m ³	2.93E-00 m ² /m ³	3.52E-00 kg/m ³	5.57E-02 m ³ /m ³	2.93E+00 m ² /m ³
Auszüge, Scharniere, etc.	3.22E-01 Stück/m ³	3.22E-01 Stück/m ³	3.22E-01 Stück/m ³	3.22E-01 Stück/m ³	3.22E-01 Stück/m ³
Entsorgung					
Grundbauten	1.22E+01 m ² /m ³	1.22E+01 m ² /m ³	1.22E+01 m ² /m ³	8.80E+01 kg/m ³	1.22E+01 m ² /m ³
Fronten	3.55E+00 m ² /m ³	3.55E+00 m ² /m ³	4.27E+01 kg/m ³	2.62E+01 kg/m ³	2.93E+00 m ² /m ³

M.5 Resultate

M.5.1 Küchenkombinationen (ohne Arbeitsplatte)

Die Küchen setzen sich für alle Ausbaustandards zusammen aus den Grundbauten, den Fronten für die Schränke, inkl. der Scharniere und Auszüge, sowie der Chromstahl-Spüle, dem Dampfabzug und dem Abfalltrennsystem. Die Umweltbelastungen der verschiedenen Küchenkombinationen sind in Tabelle 31 aufgeführt.

Die Küche mit den farbbeschichteten Fronten verursacht die geringste Gesamtumweltbelastung (Abbildung 2). Jedoch verursachen die Küchen mit den furnierten, resp. melaminharzbeschichteten Fronten nur marginal höhere Belastungen. Die Küche aus Massivholz verursacht eine rund 13 % höhere Gesamtumweltbelastung als die Küche mit den farbbeschichteten Fronten. Der Beitrag der Landnutzung an der Gesamtumweltbelastung der Massivholzküche ist mit rund 15 % deutlich höher als bei Küchenkombinationen aus Spanplatten (1-2 %). Damit ist die Wirkungskategorie Landnutzung für einen Grossteil der Differenz in der Gesamtumweltbelastung verantwortlich (Abbildung 3). Die Küchen mit den Stahlfronten führen unter den betrachteten Küchenkombinationen zu den höchsten Umweltbelastungen, was auf den hohen Stahlverbrauch für die Grundbauten und für die Fronten zurückzuführen ist. Abbildung 2 zeigt die Gesamtumweltbelastung der Küchen aufgeteilt in die einzelnen Komponenten Grundbauten, Fronten sowie weitere Küchenelemente. Die Herstellung der Küchen verursacht 91-99 % der Belastungen, während der Anteil der Entsorgung zwischen < 1 % und 9 % der totalen Gesamtumweltbelastung bedingt.

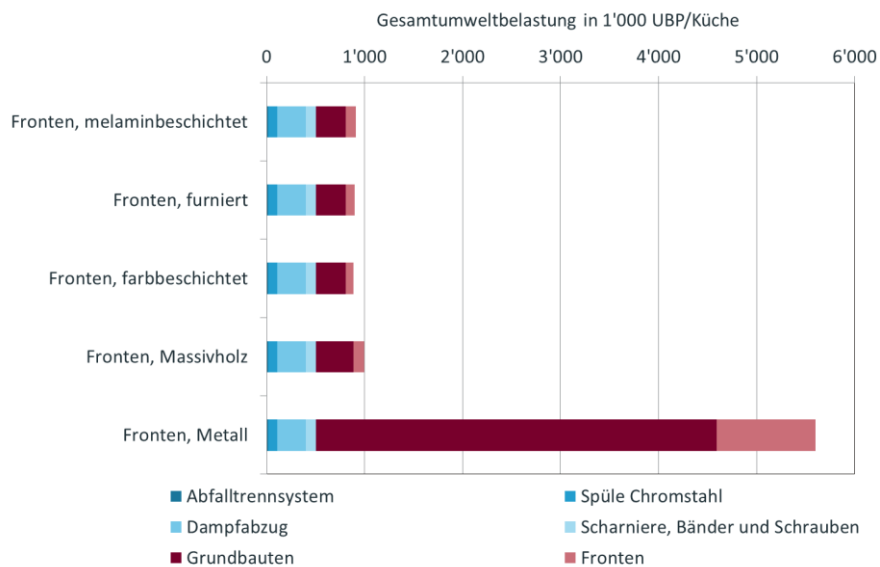


Abbildung 2: Vergleich der Gesamtumweltbelastung der verschiedenen Küchenkombinationen (Herstellung und Entsorgung) in 1'000 UBP pro Küche. Die untersuchte Küche hat 16 Teile mit einem Schrankvolumen von 3.36 m³. Mitberücksichtigt sind sämtliche Kücheneinbauten (Schränke, Chromstahl-Spüle, Dampfabzug und Abfalltrennsystem).

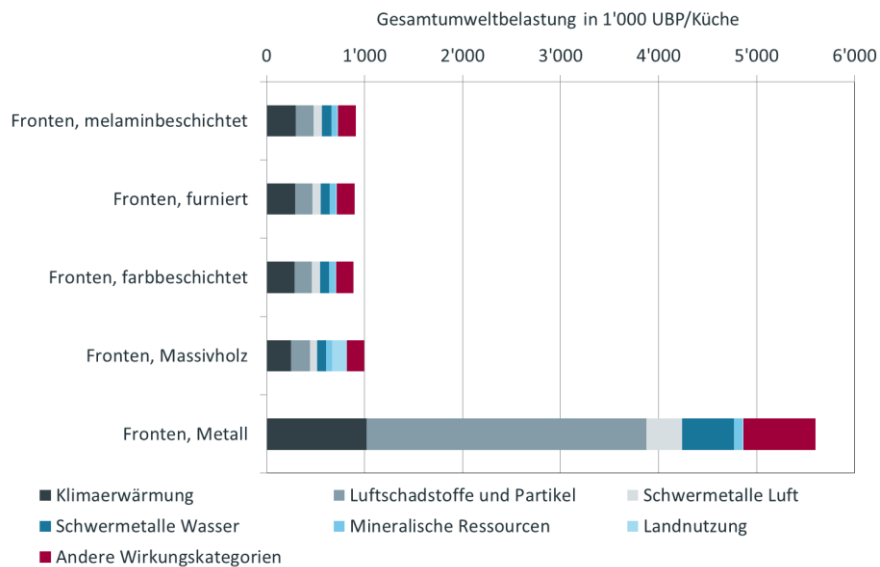


Abbildung 3: Aufteilung der Gesamtumweltbelastung (in 1'000 UBP pro Küche) der verschiedenen Küchenkombinationen (Herstellung und Entsorgung) nach den wichtigsten Wirkungskategorien. Die untersuchte Küche hat 16 Teile mit einem Schrankvolumen von 3.36 m³. Mitberücksichtigt sind sämtliche Kücheneinbauten (Schränke, Chromstahl-Spüle, Dampfabzug und Abfalltrennsystem).

Betrachtet man den Indikator kumulierter Energieaufwand, so schneidet die Küche aus Massivholz am besten ab. Die Küchen mit den beschichteten Fronten verursachen eine ca. 26 % höhere Belastung, während die Metallküche im kumulierten Energieaufwand rund 115 % höher liegt. Das Bild, welches die Treibhausgasemissionen zeichnen, sieht dem des kumulierten Energieaufwands sehr ähnlich. Auch

hier verursacht die Massivholzküche die geringsten Belastungen, während die Küchen mit den Farb-, Furnier- oder Melaminbeschichtung etwas höhere Treibhausgasemissionen verursachen. Die Küche mit den Metallfronten verursacht die höchsten Treibhausgasemissionen. Die Treibhausgasemissionen und der Primärenergiebedarf sind in Abbildung 4 veranschaulicht.

Generell trägt die Herstellung der Küchen den Hauptanteil der Belastungen. Die Entsorgung verursacht einen deutlich geringeren Anteil (< 1 % der Primärenergie und 1-19 % der Treibhausgasemissionen).

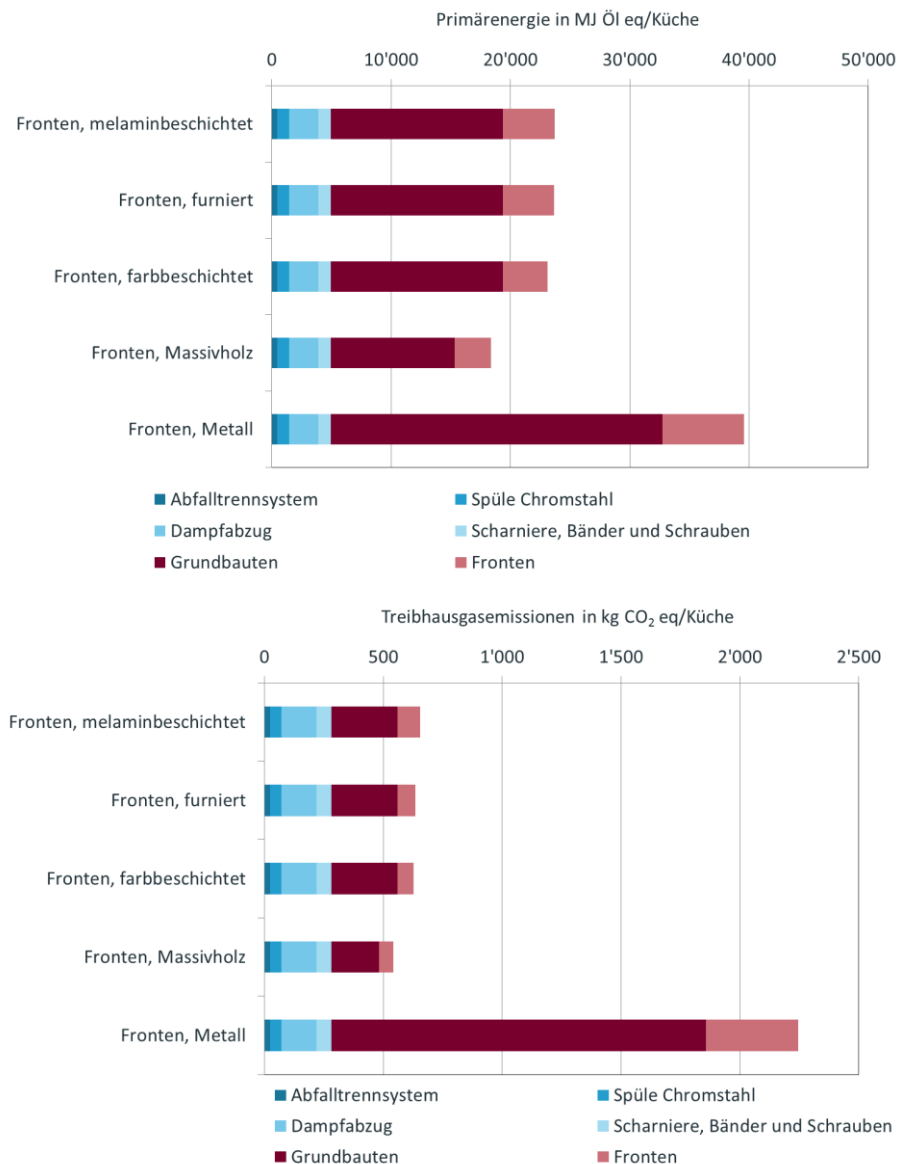


Abbildung 4: Oben: Vergleich des Primärenergiebedarfs der verschiedenen Küchenkombinationen (Herstellung und Entsorgung) in MJ Öl eq pro Küche. Unten: Vergleich der Treibhausgasemissionen der unterschiedlichen Küchenkombinationen (Herstellung und Entsorgung) in kg CO₂ eq pro Küche. Die untersuchte Küche hat 16 Teile mit einem Schrankvolumen von 3.36 m³. Mitberücksichtigt sind sämtliche Kücheneinbauten (Schränke, Chromstahl-Spüle, Dampfabzug und Abfalltrennsystem).

Die folgende Tabelle 31 zeigt die Umweltbelastungen der unterschiedlichen Küchenkombinationen bezogen auf die Herstellung und die Entsorgung.

Tabelle 31: Umweltbelastungen der verschiedenen Küchen gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen. Die untersuchte Küche hat 16 Teile mit einem Schrankvolumen von 3.36 m³. Mitberücksichtigt sind sämtliche Kücheneinbauten (Schränke, Chromstahl-Spüle, Dampfabzug und Abfalltrennsystem).

Küchenkombinationen		Bezug	UBP'2013	Primärenergie gesamt	Primärenergie nicht	Treibhausgasemissionen
			UBP	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	kg CO ₂ -eq
Küche, Melaminfronten	Total	m ³	911'600	23'732	10'830	654
	Herstellung	m ³	830'000	23'600	10'700	529
	Entsorgung	m ³	81'600	132	130	125
Küche, furnierte Fronten	Total	m ³	897'800	23'632	10'630	635
	Herstellung	m ³	822'000	23'500	10'500	519
	Entsorgung	m ³	75'800	132	130	116
Küche, Fronten farbbeschichtet	Total	m ³	884'300	23'130	10'428	627
	Herstellung	m ³	809'000	23'000	10'300	512
	Entsorgung	m ³	75'300	130	128	115
Küche, Massivholzfronten	Total	m ³	997'100	18'382	8'590	541
	Herstellung	m ³	952'000	18'300	8'510	469
	Entsorgung	m ³	45'100	81.5	80.3	71.8
Küche, Metallfronten	Total	m ³	5'595'200	39'610	37'610	2'240
	Herstellung	m ³	5'580'000	39'600	37'600	2'210
	Entsorgung	m ³	15'200	9.76	9.54	29.6

Die Umweltbelastungen für die Scharniere und Auszüge, Spüle, Dampfabzug und Abfalltrennsystem sind dieselben für alle untersuchten Varianten. Die Umweltbelastungen für diese Komponenten sind in Tabelle 32 festgehalten. Der Dampfabzug führt bei allen Indikatoren zu den höchsten Umweltbelastungen. Dies ist hauptsächlich durch die Elektronik, den hohen Chromstahlverbrauch und die Herstellung des Ventilators sowie den Stromverbrauch in der Herstellung bedingt. Die Schrauben, Scharniere, Bänder und Auszugsschienen haben den zweitgrössten Einfluss auf die Komponenten der weiteren Küchenelemente. Die Umweltbelastungen sind dominiert durch den Stahlverbrauch sowie die Stahlverarbeitung und dessen Energieverbrauch. Insgesamt werden pro Küche 15.1 kg Stahl benötigt. Davon fallen 10.7 kg auf die Auszugsschienen aus pulverbeschichtetem Stahl. Diese verursachen auch den Hauptteil der Belastungen bei allen Indikatoren (rund 74 %). Die Türgriffe und die Bänder verursachen rund 16 % bzw. 8 % der gesamten Umweltbelastung von Scharnieren, Schrauben und Bändern. Die Schrauben verursachen lediglich 2 % der Umweltbelastungen. Der Anteil der Schrauben innerhalb der kompletten Küche ist geringer als 0.2 %.

Auch bei der Chromstahl-Spüle ist der Chromstahlverbrauch mit einem Anteil von 50-80 % an den totalen Umweltbelastungen entscheidend. Die übrigen Komponenten sowie die Belastungen der Herstellung der Spüle spielen eine untergeordnete Rolle. Die Entsorgung der Spüle trägt je nach Indikator zwischen < 1 % und 10 % zu den totalen Umweltbelastungen bei.

Die Spüle aus Kompositwerkstoff verursacht bei allen betrachteten Indikatoren deutlich geringere Umweltbelastungen als die Chromstahl-Spüle. Die Bereitstellung des

Methylmethacrylats 39-47 % zu den Umweltbelastungen bei. Auch die Kartonverpackung (15-22 %), das Titandioxid und der Erdgasverbrauch (je 10-15 %) haben signifikante Anteile an den Umweltbelastungen der Herstellung von Kompositwerkstoffspülen. Die Entsorgung verursacht abhängig vom betrachteten Indikator zwischen 1 % und 17 % der gesamten Umweltbelastungen.

Das Abfalltrennsystem wird in der Herstellung in allen untersuchten Indikatoren zu mehr als 96 % durch die Verwendung von Polypropylengranulat, die Kunststoffverarbeitung (Spritzgussverfahren) sowie den Karton der Verpackung bestimmt. Die Hauptbelastung entfällt auf die Herstellung. Die Entsorgung des Abfalltrennsystems hat in der Gesamtumweltbelastung sowie bei den Treibhausgas- und den fossilen Kohlendioxidemissionen einen Einfluss von 19 % bis 32 % und wird durch die Kunststoffverbrennung und die dabei entstehenden Emissionen bestimmt.

Tabelle 32: Umweltbelastungen der Spülen (Chromstahl und Kompositwerkstoff), des Dampfabzugs, des Abfalltrennsystems sowie der Scharniere und Auszüge gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen.

Weitere Kücheneinbauten		Bezug	UBP'2013	Primärenergie gesamt	Primärenergie nicht	Treibhausgasemissionen
			UBP	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	kg CO ₂ -eq
Spüle Chromstahl	Total	Stk.	89'340	964	820	47.0
	Herstellung	Stk.	87'100	963	819	42.4
	Entsorgung	Stk.	2'240	0.774	0.758	4.57
Spüle Kompositwerkstoff	Total	Stk.	32'580	595	532	37.1
	Herstellung	Stk.	28'100	591	528	30.7
	Entsorgung	Stk.	4'480	4.05	3.99	6.39
Dampfabzug	Total	Stk.	294'620	2'475	2'215	149
	Herstellung	Stk.	286'000	2'470	2'210	132
	Entsorgung	Stk.	8'620	5.11	5.00	17.1
Abfalltrennsystem	Total	Stk.	19'560	474	409	23.7
	Herstellung	Stk.	15'800	473	408	16.0
	Entsorgung	Stk.	3'760	1.26	1.24	7.68
Scharniere, Bänder und Schrauben	Total	Stk.	98'700	1'010	952	60.6
	Herstellung	Stk.	98'700	1'010	952	60.6
	Entsorgung	Stk.	0	0	0	0

M.5.2 Arbeitsplatten

Die Umweltbelastungen der Arbeitsplatten variieren stark. Bei der Gesamtumweltbelastung reicht die Spannweite von 23'000 UBP/m² (kunstharzbeschichtete Arbeitsplatte) bis zu 743'000 UBP/m² (Chromstahl, high end). Der gesamte Primärenergiebedarf variiert zwischen 946 MJ/m² und 6'600 MJ/m² und die Treibhausgasemissionen haben eine Bandbreite zwischen 16 kg CO₂ eq/m² und 324 kg CO₂ eq/m² (Treibhausgasemissionen).

Die kunstharzbeschichtete Arbeitsplatte verursacht die geringste Gesamtumweltbelastung, während die Massivholzplatte bei den Indikatoren Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen die tiefsten Belastungen verursacht. Die Chromstahlplatte high-end führt bei allen Indikatoren zu den höchsten Umweltbelastungen. Die Chromstahlplatte Standard, die Natursteinplatte sowie die Arbeitsplatte aus Kompositwerkstoff finden sich im Mittelfeld und bewegen sich in ähnlichen Größenordnungen. Tabelle 33 fasst die Umweltkennwerte für alle Arbeitsplatten zusammen.

Abbildung 5, Abbildung 6 sowie Abbildung 7 zeigen die Umweltauswirkungen (Gesamtumweltbelastung, Primärenergie und Treibhausgasemissionen) der Arbeitsplatten im Vergleich.

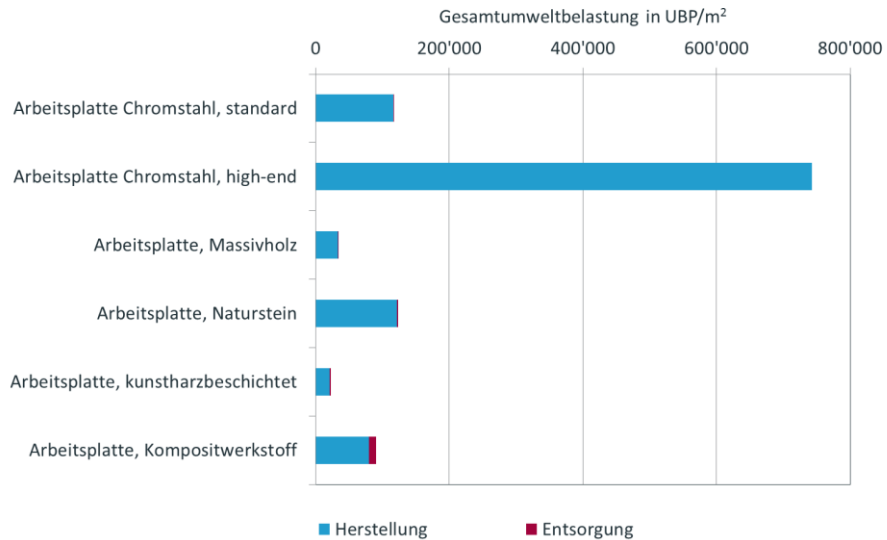


Abbildung 5: Vergleich der Gesamtumweltbelastung der verschiedenen Arbeitsplatten (Herstellung und Entsorgung) in UBP pro Quadratmeter.

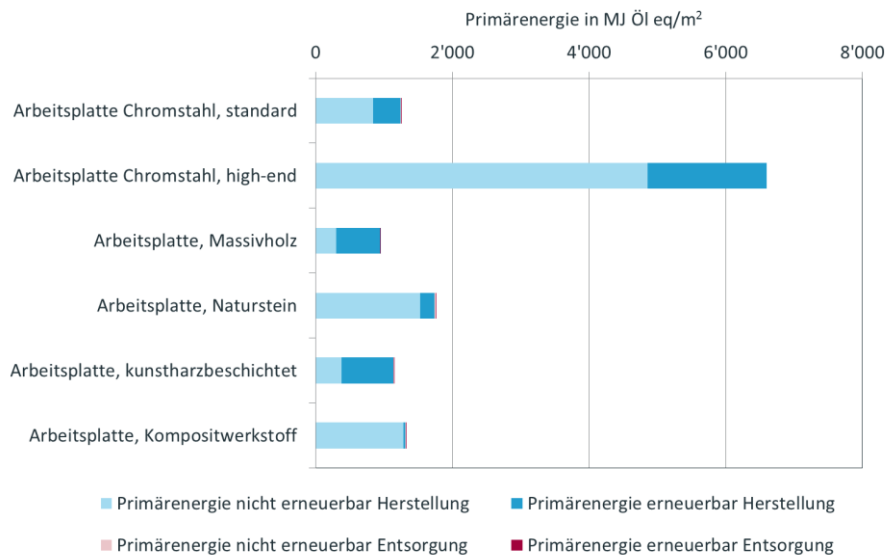


Abbildung 6: Vergleich der Primärenergie erneuerbar und Primärenergie nicht erneuerbar der verschiedenen Arbeitsplatten (Herstellung und Entsorgung) in MJ pro Quadratmeter.

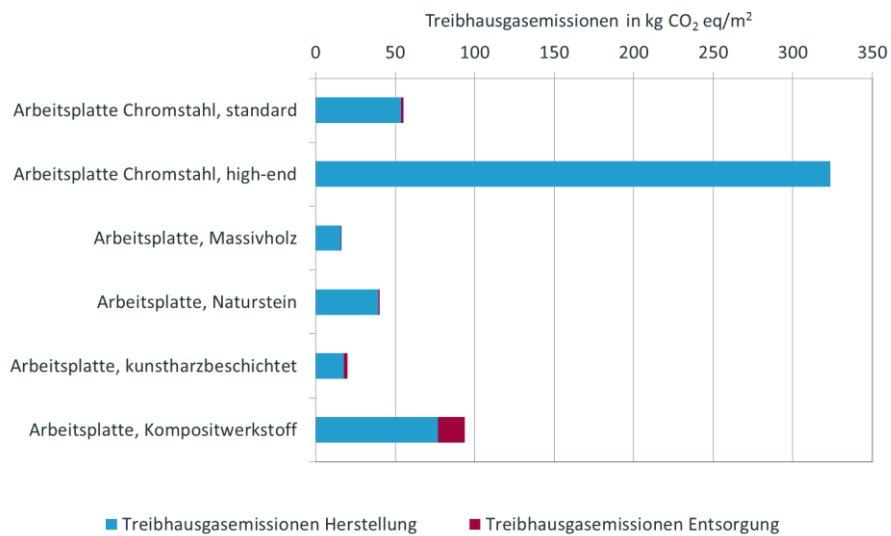


Abbildung 7: Vergleich der Treibhausgasemissionen der verschiedenen Arbeitsplatten (Herstellung und Entsorgung) in kg CO₂ eq pro Quadratmeter.

Es ist ersichtlich, dass der Entsorgung nur eine untergeordnete Rolle zukommt. Bei allen untersuchten Indikatoren verursacht die Herstellung der Arbeitsplatte den Hauptanteil der Belastungen, nämlich 88 % bis > 99 %. Nur beim Indikator Treibhausgasemissionen trägt die Entsorgung von Arbeitsplatten aus Kompositwerkstoff einen Anteil von 18 % der gesamten Umweltauswirkungen bei, was auf die Verbrennung in der KVA zurückzuführen ist.

Tabelle 33: Umweltbelastungen der Küchenarbeitsplatten pro Quadratmeter gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen.

Arbeitsplatten		Bezug	UBP'2013	Primärenergie gesamt	Primärenergie nicht erneuerbar	Treibhausgasemissionen
			UBP	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	kg CO ₂ -eq
Arbeitsplatte Chromstahl, standard	Total	m ²	117'130	1'243	843	55.2
	Herstellung	m ²	116'000	1'240	840	53.6
	Entsorgung	m ²	1'130	2.75	2.71	1.57
Arbeitsplatte Chromstahl, high-end	Total	m ²	743'000	6'600	4'860	324
	Herstellung	m ²	743'000	6'600	4'860	324
	Entsorgung	m ²	0	0	0	0
Arbeitsplatte, Massivholz	Total	m ²	34'032	946	308	16.0
	Herstellung	m ²	33'400	943	305	15.8
	Entsorgung	m ²	632	2.94	2.90	0.238
Arbeitsplatte, Naturstein	Total	m ²	123'100	1'756	1'545	40.2
	Herstellung	m ²	121'000	1'740	1'530	39.5
	Entsorgung	m ²	2'100	15.5	15.0	0.746
Arbeitsplatte, kunstharzbeschichtet	Total	m ²	23'040	1'143	378	20.2
	Herstellung	m ²	21'300	1'140	375	17.7
	Entsorgung	m ²	1'740	2.87	2.83	2.51
Arbeitsplatte, Kompositwerkstoff	Total	m ²	90'300	1'316	1'296	93.8
	Herstellung	m ²	80'100	1'310	1'290	76.9
	Entsorgung	m ²	10'200	5.62	5.53	16.9

M.5.3 Küchenschränke pro Kubikmeter

Betrachtet man die Küchenschränke pro Kubikmeter und ohne den Einbezug von Dunstabzugshaube, Spüle und Abfalleimer, so zeichnet sich grundsätzlich dasselbe Bild wie bei der kompletten Küche, da die weiteren Küchenelemente für alle Küchen identisch sind.

Der Küchenschrank, welcher aus Stahl-Karton-Verbundplatten besteht, verursacht die höchste Belastung bei allen Indikatoren. Bei der Gesamtumweltbelastung verursacht der Küchenschrank aus Massivholz die zweithöchste Belastung, was vor allem auf die Landnutzung zurückzuführen ist. Betrachtet man allerdings die Indikatoren Treibhausgasemissionen und Primärenergie, so verursacht der Küchenschrank aus Massivholz die geringsten Belastungen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 34 zusammengefasst.

Tabelle 34: Umweltbelastungen pro m³ eines durchschnittlichen Küchenschränkelements, gemessen als Gesamtumweltbelastung, Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen

Küchenschränkelemente		Bezug	UBP'2013	Primärenergie gesamt	Primärenergie nicht erneuerbar	Treibhausgasemissionen
			UBP	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	kg CO ₂ -eq
Küchenschränkelement, Front melaminbeschichtet	Total	m ³	150'900	5'887	2'207	129
	Herstellung	m ³	131'000	5'850	2'170	101
	Entsorgung	m ³	19'900	37.3	36.7	28.4
Küchenschränkelement, Front furniert	Total	m ³	147'200	5'877	2'157	123
	Herstellung	m ³	129'000	5'840	2'120	97.6
	Entsorgung	m ³	18'200	37.1	36.5	25.8
Küchenschränkelement, Front farbbeschichtet	Total	m ³	143'100	5'717	2'096	121
	Herstellung	m ³	125'000	5'680	2'060	95.6
	Entsorgung	m ³	18'100	36.7	36.1	25.6
Küchenschränkelement, Massivholz	Total	m ³	177'090	4'312	1'532	95.6
	Herstellung	m ³	168'000	4'290	1'510	83.0
	Entsorgung	m ³	9'090	22.2	21.8	12.6
Küchenschränkelement, Stahlplatte kartongefüllt	Total	m ³	1'550'170	10'601	10'201	603
	Herstellung	m ³	1'550'000	10'600	10'200	603
	Entsorgung	m ³	170	0.782	0.760	0.0797

Die Auszüge, Bänder, Griffe und Schrauben verursachen je 2-21 % der Gesamtumweltbelastung, 3-7 % der gesamten Primärenergie, 3-20 % der nicht erneuerbaren Primärenergie und 3-19 % Treibhausgasemissionen.

M.6 Schlussfolgerungen

Die in dieser Studie erarbeiteten Sachbilanzdaten zu Küchen und Kücheneinbauten decken die häufigsten in der Schweiz verwendeten Ausbaustandards von Küchen ab. Bei der Modellierung von Wohngebäuden können Umweltbelastungen von Küchen nun detailliert mitbilanziert werden.

Die Varianten für die Küchenschränke, als auch für die Arbeitsplatten unterscheiden sich teils stark in den Umweltbelastungen. Die beschichteten Platten (für die Schränke) weisen ähnliche Umweltbelastungen auf, während die Massivholzküche

je nach Indikator an erster oder zweitletzter Stelle steht. Die Küchenschränke aus Stahl-Karton Verbundplatten weisen bei allen Indikatoren die höchsten Umweltbelastungen auf.

Die Arbeitsplatten verhalten sich je nach betrachtetem Indikator unterschiedlich. Die Massivholzplatte (Indikatoren Primärenergie und Treibhausgasemissionen) sowie die kunstharzbeschichtete Platte (Indikator Gesamtumweltbelastung) weisen die tiefsten Umweltbelastungen auf, während die Chromstahlplatte High-end die höchsten Belastungen verursacht. Die Chromstahlplatte Standard, die Natursteinplatte und die Arbeitsplatte aus Kompositwerkstoff finden sich im Mittelfeld und bewegen sich in ähnlichen Grössenordnungen.

Von den betrachteten Spülen verursacht diejenige aus Kompositwerkstoff bei allen Umweltindikatoren geringere Belastungen als die Chromstahl-Spüle. Letztere wurde in den betrachteten Küchenkombinationen als Standard angenommen.

Während bei den Arbeitsplatten und den Schrankmodulen verschiedene Materialisierungen berücksichtigt werden, so ist beim Dampfabzug und beim Abfalltrennsystem ausschliesslich je ein Produkt bilanziert. Diese entsprechen jedoch den heute gängig verwendeten Produkten.

Die Materialwahl für die Schränke und die Arbeitsplatten beeinflusst die Gesamtumweltbelastung einer Küche massgeblich.

M.7 Literaturverzeichnis

Aspen Aerogels Inc. (2006) Thermal conductivity, defined & compared, Northborough MA, USA.

Doka G. (2007) Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. ecoinvent report No. 13, v2.0. EMPA St. Gallen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.

DuPont (2009) Specdata - Corian® Solid Surface.

ecoinvent Centre (2010) ecoinvent data v2.2, ecoinvent reports No. 1-25. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland, retrieved from: www.ecoinvent.org.

Fachgruppe-Dekorative-Schichtstoffplatten (2007) Technisches Merkblatt Herstellung von Dekorativen Schichtstoffplatten, Frankfurt am Main.

Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hischer R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.

Frischknecht R. (2010) LCI modelling approaches applied on recycling of materials in view of environmental sustainability, risk perception and eco-efficiency. *In: Int J LCA*, **15**(7), pp. 666-671, retrieved from: DOI: 10.1007/s11367-010-0201-6.

Frischknecht R. and Büsser Knöpfel S. (2013) Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 1330. Bundesamt für Umwelt, Bern, retrieved from: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=de>.

IPCC (2013) The IPCC fifth Assessment Report - Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Working Group I, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.

KBOB, eco-bau and IPB (2014a) KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: <http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=de>.

KBOB, eco-bau and IPB (2014b) ecoinvent Datenbestand v2.2+; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: www.lc-inventories.ch.

Kellenberger D., Althaus H.-J., Jungbluth N., Künniger T., Lehmann M. and Thalmann P. (2007) Life Cycle Inventories of Building Products. ecoinvent report No. 7, v2.0. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.

Materialarchiv (2008) Melaminharzbeschichtete Spanplatten. Retrieved 13.6.2014 retrieved from: <http://www.materialarchiv.ch/detail/320#/detail/320/melaminharzbeschichtete-spanplatten>.

NSC (2009a) A Life-Cycle Inventory of Granite Dimension Stone Quarrying and Processing Version 2. Natural Stone Council (NSC) and University of Tennessee, Center for Clean Products.

NSC (2009b) A Life-Cycle Inventory of Limestone Dimension Stone Quarrying and Processing Version 2. Natural Stone Council (NSC) and University of Tennessee, Center for Clean Products.

PRé Consultants (2014) SimaPro 8.0.4, Amersfoort, NL.

UNEP (1999) Melamine Cas Nr. 108-78-1 (ed. SIDS). UNEP, Vienna.

Walters R. N., Hackett S. M. and Lyon R. E. (2009) Heats of Combustion of High Temperature Polymers. Federal Aviation Administration & Galaxy Scientific Corporation, Atlantic City, New Jersey, retrieved from: <http://large.stanford.edu/publications/coal/references/docs/hoc.pdf>.

Werner F., Althaus H.-J., Künniger T., Richter K. and Jungbluth N. (2007) Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material.ecoinvent report No. 9, v2.0. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.

M.A Anhang: Resultattabellen

Tabelle A.1: Resultatübersicht für die verschiedenen Küchen und Kücheneinbauten für die Indikatoren UBP 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfe 2013), Primärenergiebedarf gesamt und nicht erneuerbar (Frischknecht et al. 2007) und Treibhausgasemissionen nach IPCC (2013; Tab. 8.A.1) unterteilt in die Beiträge von Herstellung und Entsorgung

Kücheneinbauten und -möbel		Bezug	UBP'2013			Primärenergie gesamt			Primärenergie nicht erneuerbar			Treibhausgasemissionen		
			Total	Herstellung	Entsorgung	Total	Herstellung	Entsorgung	Total	Herstellung	Entsorgung	Total	Herstellung	Entsorgung
			UBP	UBP	UBP	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq
Küchen-kombinationen	Küche, Melaminfronten	Stk.	911'600	830'000	81'600	23'732	23'600	132	10'830	10'700	130	654	529	125
	Küche, furnierte Fronten	Stk.	897'800	822'000	75'800	23'632	23'500	132	10'630	10'500	130	635	519	116
	Küche, Fronten farbbeschichtet	Stk.	884'300	809'000	75'300	23'130	23'000	130	10'428	10'300	128	627	512	115
	Küche, Massivholzfronten	Stk.	997'100	952'000	45'100	18'382	18'300	81.5	8'590	8'510	80.3	541	469	71.8
	Küche, Metallfronten	Stk.	5'595'200	5'580'000	15'200	39'610	39'600	9.76	37'610	37'600	9.54	2'240	2'210	29.6
Arbeitsplatten	Arbeitsplatte Chromstahl, standard	m ²	117'130	116'000	1'130	1'243	1'240	2.75	843	840	2.71	55.2	53.6	1.57
	Arbeitsplatte Chromstahl, high-end	m ²	743'000	743'000	0	6'600	6'600	0	4'860	4'860	0	324	324	0
	Arbeitsplatte, Massivholz	m ²	34'032	33'400	632	946	943	2.94	308	305	2.90	16.0	15.8	0.238
	Arbeitsplatte, Naturstein	m ²	123'100	121'000	2'100	1'756	1'740	15.5	1'545	1'530	15.0	40.2	39.5	0.746
	Arbeitsplatte, kunstharzbeschichtet	m ²	23'040	21'300	1'740	1'143	1'140	2.87	378	375	2.83	20.2	17.7	2.51
	Arbeitsplatte, Kompositwerkstoff	m ²	90'300	80'100	10'200	1'316	1'310	5.62	1'296	1'290	5.53	93.8	76.9	16.9
Weitere Küchen-einbauten	Spüle Chromstahl	Stk.	89'340	87'100	2'240	964	963	0.774	820	819	0.758	47.0	42.4	4.57
	Spüle Kompositwerkstoff	Stk.	32'580	28'100	4'480	595	591	4.05	532	528	3.99	37.1	30.7	6.39
	Dampfabzug	Stk.	294'620	286'000	8'620	2'475	2'470	5.11	2'215	2'210	5.00	149	132	17.1
	Abfalltrennsystem	Stk.	19'560	15'800	3'760	474	473	1.26	409	408	1.24	23.7	16.0	7.68
	Scharniere, Bänder und Schrauben	Stk.	98'700	98'700	0	1'010	1'010	0	952	952	0	60.6	60.6	0
Küchenschrankelemente	Küchenschrankelement, Front melaminbeschichtet	m ³	150'900	131'000	19'900	5'887	5'850	37.3	2'207	2'170	36.7	129	101	28.4
	Küchenschrankelement, Front furniert	m ³	147'200	129'000	18'200	5'877	5'840	37.1	2'157	2'120	36.5	123	97.6	25.8
	Küchenschrankelement, Front farbbeschichtet	m ³	143'100	125'000	18'100	5'717	5'680	36.7	2'096	2'060	36.1	121	95.6	25.6
	Küchenschrankelement, Massivholz	m ³	177'090	168'000	9'090	4'312	4'290	22.2	1'532	1'510	21.8	95.6	83.0	12.6
	Küchenschrankelement, Stahlplatte kartongefüllt	m ³	1'550'170	1'550'000	170	10'601	10'600	0.782	10'201	10'200	0.760	603	603	0.0797