

Umweltprodukt
-Deklaration
Nach ISO 14021

Sichtbeton hellgrau glatt



GBL • GÖDDE-BETON GMBH

Waldliesborner Straße 46
D - 59329 Wadersloh
tel.: + 49 2523 99 36-0
fax: + 49 2523 99 36 36
eMail: info@goedde-beton.de

1. Allgemeine Angaben

GBL – Gödde-Beton Liesborn
Waldliesborner Straße 46
59329 Wadersloh

Deklariertes Produkt: Betonfertigteile aus Sichtbeton hellgrau glatt

Gültigkeitsbereich:

Als funktionelle Einheit wird ein bewehrtes Betonfertigteil mit einem Gewicht von einer Tonne gewählt, welches auf dem Betriebsgelände der Firma Gödde Beton

hergestellt wird. Die Untersuchung beruht auf Daten, die innerhalb eines Betriebsjahres (2012) im Rahmen eines Projekts zur Bestimmung der Umweltauswirkungen des Unternehmens erfasst wurden.

Diese Produktdeklaration basiert auf einer Ökobilanzierung, die in Anlehnung an die DIN ISO 14040 und 14044 durchgeführt wurde.

Ausstellungsdatum

Juli 2014

2. Produkt

2.1. Beschreibung des Herstellungsprozesses

Von der Bereitstellung der Ressourcen bis zur Lieferung des Betonfertigteils auf der Baustelle werden mehrere Prozesse durchlaufen. Abbildung 1 zeigt das Prozessfließbild des Herstellungsverfahrens. Da es sich bei den durch Gödde Beton produzierten Bauteilen um individuelle Produkte handelt, die an die jeweiligen Kundenansprüche angepasst werden, steht am Anfang eines jeden Produkts die Bauteilplanung. Diese umfasst die Kommunikation mit den Kunden, die Anfertigung von Zeichnungen, notwendige Dienstfahrten etc.

Nachdem die Planung des Betonfertigteils abgeschlossen ist, wird ein Entwurf der benötigten Betonschalung an den betriebsinternen Formbau weitergegeben. Aus Schalungsholz und je nach Form auch Spachtelmasse oder weiteren Materialien wird die individuelle Form gefertigt und an das nahegelegene Werk geliefert. Im Prozessfließbild wird dieser Schritt als „Formbau“ bezeichnet.

Im Prozess „Beton mischen“ werden Zement, Zuschlagstoffe und Wasser durch Zuschlagstoffe abgemagert und zu Frischbeton verarbeitet. Der Frischbeton wird in die Betonschalungen gegossen und durch Stahlbeton bewehrt. Die Verdichtung erfolgt über den Rüttelvorgang auf entsprechenden Rütteltischen. Anschließend erhärtet der Zement in der Schalung durch Hydratation zu Festbeton. Da es sich bei den Betonfertigteilen um repräsentative Bauteile im Hochbau handelt, sind auch die Anforderungen an den Hydratationsprozess besonders hoch. Um eine günstige Hydratationstemperatur aufrecht zu erhalten, wird der in die Form eingebrachte Frischbeton wärmebehandelt. Nach ungefähr 20 Stunden wird das Betonfertigteil ausgeschalt und in eine beheizte Lagedehalle transportiert. Die zugehörigen Prozesse werden unter „Gießen und Aushärten“, sowie „Transport*“ abgebildet.

Da Gödde Beton individuelle, und gegebenenfalls durch Applikationen versehene Betonfertigteile produziert, werden währendes „Veredlungsg“ - Prozesses beispielsweise Holzauflagen, Markierungs-streifen etc. angebracht. Anschließend erfolgt

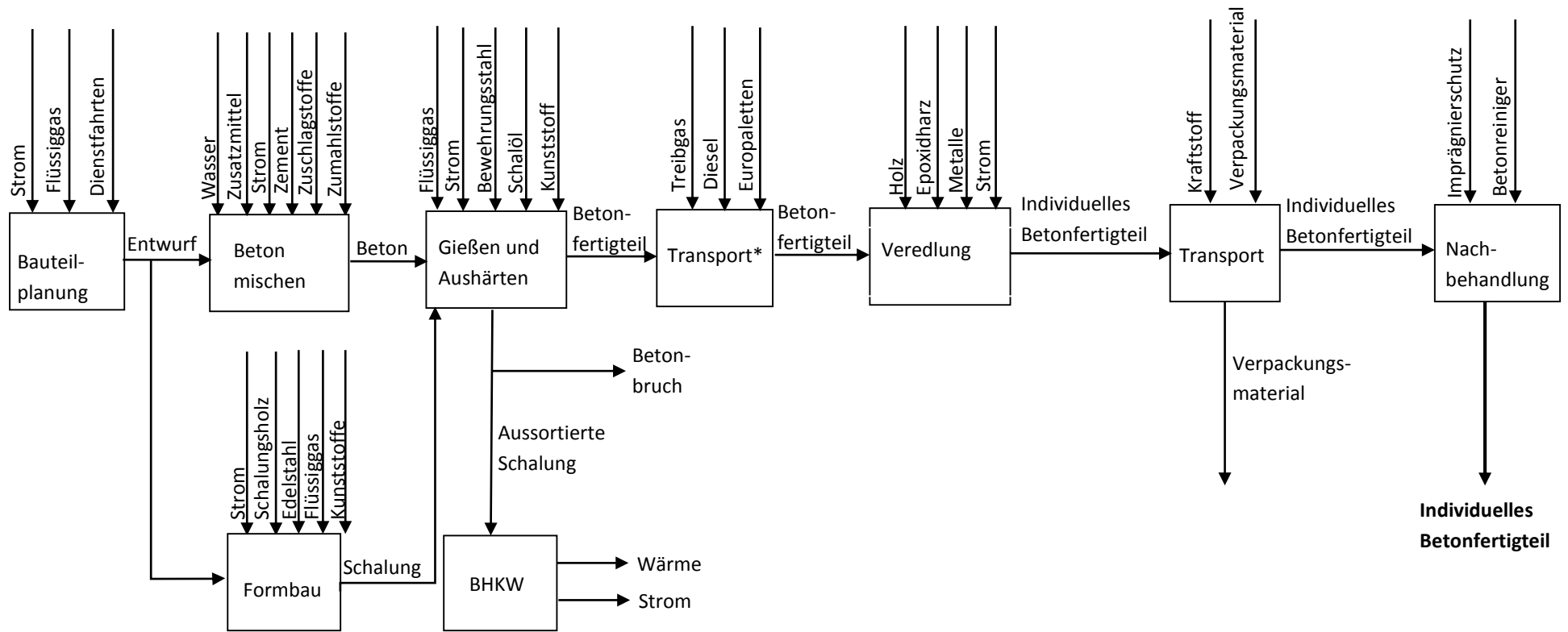


Abbildung 1: Prozessfließbild zur Herstellung von Betonfertigteilen bei der Firma Gödde-Beton, beginnend bei der Planung der Bauteile, über den Formbau, den Misch- und Hydratationsprozess bis schließlich zum Transport zur jeweiligen Baustelle und den dort stattfindenden Maßnahmen der Nachbehandlung; einschließlich der spezifischen In- und Outputs der jeweiligen Prozessstufen

* Transportprozesse innerhalb des Betriebsgeländes

der Transport der fertigen Bauteile zur jeweiligen Baustelle durch LKWs. Im Schnitt beträgt die Entfernung hierzu ca. 200 km. Der Transport wird über den Prozess „Transport“ abgebildet. Auf den Baustellen werden weitere Maßnahmen zur Nachbehandlung, wie zum Beispiel die Imprägnierung, durchgeführt. Der zugehörige Prozessschritt wird als „Nachbehandlung“ bezeichnet.

Nach mehrmaliger Benutzung werden die Betonschalungen aus Holzwerkstoffen in einem nahegelegenen Blockheizkraftwerk zu Strom und Wärme umgewandelt. Der dazugehörige Prozess wird im Prozessfließbild als „BHKW“ betitelt.

Zur Berechnung der Ökobilanz eines durchschnittlichen Betonfertigteils wurden die Produktionsdaten eines Betriebsjahres herangezogen.

Durch diese Arbeit soll der Herstellungsprozess der bei Götter Beton gefertigten Produkten transparent beleuchtet werden. Durch die Ökobilanzdaten der verschiedenen Produktionsschritte, können die wesentlichen Umweltauswirkungen identifiziert werden.

Hierdurch sollen Daten bereitgestellt werden, die für die DGNB/BNB-Zertifizierung von Gebäude abgerufen werden können.

Ein Vergleich zu anderen Ökobilanzen von Betonprodukten ist nur bedingt möglich, da hier die Systemgrenzen betrachtet werden müssen. Die hier aufgeführten Ergebnisse beinhalten neben den Prozessen im Betonwerk selbst auch die Bereitstellung der Rohstoffe, als auch den Formbau sowie den Transport zu den jeweiligen Baustellen und die dort ausgeführten Maßnahmen zur Nachbehandlung.

2.2. Anwendung

Beton ist einer der wichtigsten Baustoffe im Bauwesen. Durch die Möglichkeit der gezielten Steuerung von Betoneigenschaften, wie zum Beispiel der Druckfestigkeit, entstehen vielfältige

Einsatzmöglichkeiten. Bei dem in dieser Arbeit im Fokus stehenden Sichtbeton handelt es sich um unverputzten Beton, welcher für repräsentative Bauteile im Hochbau eingesetzt wird. Die Ansichtsflächen haben meist gestalterische Funktionen und müssen daher hohen Anforderungen entsprechen.

2.3. Zusammensetzung

Die Zusammensetzung des Sichtbetons kann je nach Kundenwunsch leicht variieren. So kann zum Beispiel „Color Quarzsand“ eingesetzt werden, um farbige Bauteile herzustellen. Durch die Produktionsdaten eines Betriebsjahres wurde die durchschnittliche Zusammensetzung des Betons ermittelt.

Zement	21,9 M%
Wasser	8,7 M%
Kalksteinmehl, -füller	9,7 M%
Zuschläge	38,1 M%
Sand	18,5 M%
Bewehrungsstahl	1,6 M%
Zusatzmittel	<0,1 M%

Als Trennmittel von Schalung und Festbeton wird Schalöl eingesetzt. Im Formbau kommen vor allem Schalungsholz aber auch andere formgebende Materialien wie zum Beispiel Spachtelmasse oder Kautschuk zum Einsatz.

2.4. Technische Daten

???

2.5. Transport und Verpackung

Zum Transport werden die Betonfertigteile mit PP-Seilen und Umreifungsband auf Paletten festgezurr. Der Transport zu den jeweiligen Baustellen erfolgt durch LKWs. Im Durchschnitt werden pro Tonne Betonfertigteile 200km zurückgelegt.

2.6. Nutzungsdauer und Nachnutzungsphase

Bei Betonbauteilen handelt es sich generell um langlebige Produkte. Für die bei Götter-Beton hergestellten Fertigbetonteile wird eine Lebensdauer von mindestens 50 Jahren angenommen.

Grundsätzlich können Betonbauteile rückgebaut werden. Entweder können die Fertigteile als Ganzes weiterverwendet oder recycelt werden. Beim Recycling bewehrter Bauteile werden Betonabbruch und Betonstahl getrennt und anschließend aufbereitet. Nach einer Zerkleinerung des Betonbruchs und Trennung in verschiedene Kornfraktionen, kann dieser in

Form von Sekundärrohstoffen erneut als Zuschlag eingesetzt werden. Aktuell wird diese Option vor allem im Tiefbau genutzt, allerdings wird vermehrt nach Einsatzmöglichkeiten im Hochbau geforscht (Müller, Rübner, & Schnell, 2010, Herbst et al., 2012).

Die Stahlbewehrung kann als Stahlschrott weiterverwertet werden.

2.7. Entsorgung

Die Deponiefähigkeit von Beton ist gem. Klasse I nach der TA Siedlungsabfall gewährleistet. Bauabfälle aus Beton werden gemäß Abfallverwertungsverzeichnis unter den Abfallschlüssel 17 01 01 und 17 04 05 geführt (AVV, 2001).

3. Ökobilanzierung – Untersuchungsrahmen

3.1. Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit wird eine Tonne unbewehrtes Betonfertigteile aus hellgrauem Sichtbeton gewählt. Bei bewehrten Bauteilen ist der Bewehrungsstahl gesondert zu betrachten.

3.2. Systemgrenzen

Bei der hier durchgeführten Ökobilanzierung handelt es sich um eine cradle-to-gate-Produktökobilanz mit Optionen, also eine Betrachtung der Umweltauswirkungen von der Wiege bis zum Werkstor. Betrachtet werden alle Umweltauswirkungen, welche von der Bereitstellung der Betonausgangsstoffe bis zur Nachbehandlung der Betonfertigteile auf der Baustelle entstehen.

Die Systemgrenzen umfassen

- A) Den Planungsprozess des Bauteils
- B) Die Gewinnung und Bereitstellung der Betonausgangsstoffe
- C) Die Herstellung der Betonschalung im betriebsinternen Formbau (inklusive der Prozessvorketten)

- D) Die Betonherstellung im Werk (inklusive der energetischen Aufwendungen für die Verdichtung und Wärmebehandlung, sowie die betriebsinternen Transporte)
- E) Den Transport vom Werk zur jeweiligen Baustelle durch LKWs
- F) Die Prozesse zur Nachbehandlung der Betonfertigteile im Werk und auf den Baustellen
- G) Gutschriften, die für die Bereitstellung von Strom und Wärme durch die energetische Verwertung der Betonschalung entstehen

Nicht inbegriffen ist die Bereitstellung von Rohstoffen, die für individuelle Kundenwünsche genutzt werden da diese stark variieren. Diese sind gegebenenfalls gesondert zu betrachten. Außerdem werden die Beheizung, der Strom- und der Wasserbrauch, sowie die Dienstfahrten innerhalb während der Bauteilplanung nicht betrachtet, da diese nicht eindeutig dem Produkt zugewiesen werden können.

Unberücksichtigt bleiben Umweltauswirkungen, die während der Nutzungs-

phase der Betonfertigteile entstehen, mit Ausnahme von betonkosmetischen Maßnahmen.

Da die Lebensdauer von Betonbauteilen auf mindestens 50 Jahre ausgelegt ist, wird davon ausgegangen, dass sich die Möglichkeiten des Recyclings innerhalb

dieser Zeitspanne so weit entwickelt haben werden, dass zum jetzigen Zeitpunkt keine zuverlässigen Aussagen zur Entsorgung gemacht werden können.

Die Systemgrenzen werden in Abbildung 2 dargestellt.

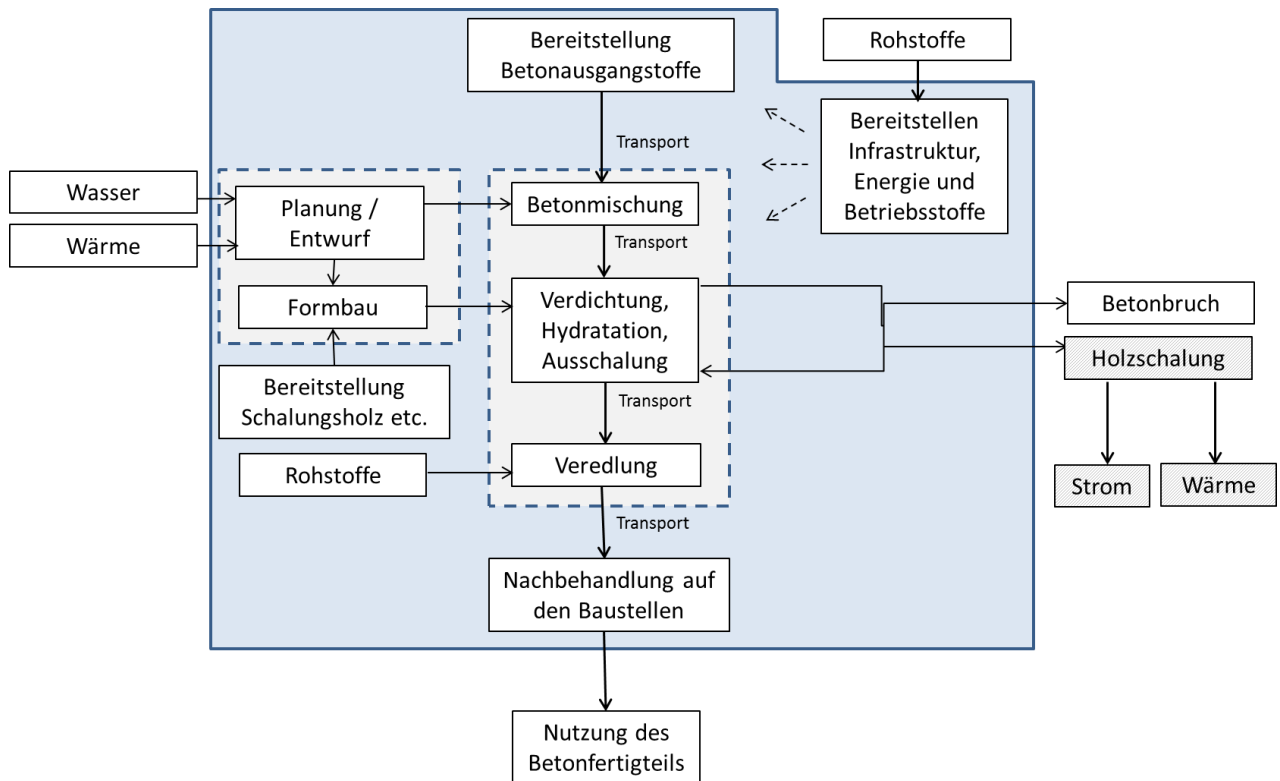


Abbildung 2: Systemgrenzen der Ökobilanzierung zur Herstellung von Betonfertigteilen aus Sichtbeton. Innerhalb der Systemgrenzen liegen die Bereitstellung der Betonausgangsstoffe, sowie aller weiteren Rohstoffe, sofern diese standardmäßig im Prozess eingesetzt und über die vorhandenen Datenbanken abgebildet werden konnten

3.3. Abschätzungen und Annahmen

Bei den Betonausgangsstoffen wird eine durchschnittliche Distanz zu den Abbaugebieten und Händlern von etwa 100km angenommen. Dies entspricht der Entfernung der Hauptlieferanten.

Der Transport zur Bereitstellung weiterer Rohstoffe wurde vernachlässigt, da hier die Distanzen oder aber die Mengen sehr gering sind.

3.4. Abschneideregeln

Es werden alle Betonausgangsstoffe sowie deren Transport zum Werk berücksichtigt. Die eingesetzte Energie zur Mischung und Verdichtung des Frischbetons, sowie zur nachfolgenden Wärmebehandlung im Betonfertigteilwerk wurde über den Verbrauch von Strom und Flüssiggas bestimmt. Interne Transporte wurden über den Treibstoffverbrauch erfasst.

Gemäß ISO 14040 ff. wurden nicht mehr als 5% der Gesamtmasse vernachlässigt. Außerdem wurden besonders energieintensive oder toxische Stoffe (wie zum Beispiel Haftsprühkleber) trotz der sehr geringen Mengen berücksichtigt.

Auch die Umweltauswirkungen aus dem Formbau wurden für die Ökobilanzierung miteinbezogen.

Die Aufwendungen zur Errichtung und Erhaltung der Infrastruktur werden vernachlässigt.

3.5. Datengrundlage

Die Daten, auf denen die Ökobilanz beruht, wurden durch die Betriebsdaten eines Jahres (2012) erfasst. In diesem Jahr wurden knapp 10.000 Tonnen Betonfertigteile produziert, wodurch die Werte als repräsentativ angesehen werden können. Durch die Produktionsdaten konnte zum einen die durchschnittliche Betonrezeptur, als auch die durchschnittliche Materialzusammensetzung der Schalung und der Energieverbrauch erfasst werden.

Zur Lebenszyklusmodellierung während der Produktherstellung wurde die Software Umberto eingesetzt (ifu, 2013). Vor allem für die Materialbereitstellung wurde die Ecoinvent-Datenbank (Ecoinvent, 2013) genutzt. Die Energiedaten wurden teilweise durch GEMIS (Ökolinstitut, 2014), teilweise durch Daten aus wissenschaftlichen Publikationen ergänzt (Johnson, 2012).

3.6. Datenqualität

Die Datengrundlage dieser Ökobilanz basiert auf Produktionsdaten aus dem Jahr 2012. Die

eingesetzten Rohstoffmengen, sowie der Verbrauch an Hilfs- und Betriebsstoffen können als repräsentativ angesehen werden.

3.7 Geografischer und zeitlicher Geltungsbereich

Den zeitlichen Bezug stellt das Jahr 2012 dar. Die Ökobilanz bezieht sich auf ein Betonwerk in Westdeutschland (Nordrhein-Westfalen). Die Umweltauswirkungen wie zum Beispiel der Treibhauseffekt können jedoch räumlich und zeitlich stark versetzt auftreten.

3.8 Allokation

Für die energetische Verwertung der ausrangierten Betonschalungen wird eine Gutschrift erteilt. Die durch die Bereitstellung von Strom und Wärme vermiedenen Umweltauswirkungen werden dem Herstellungsprozess der Betonfertigteile gutgeschrieben.

3.9. Vergleichbarkeit

Unter Berücksichtigung der Systemgrenzen ist eine Vergleichbarkeit zu anderen Betonfertigteilen aus Sichtbeton möglich.

Ein Vergleich zu anderen Betonarten wie beispielsweise Transportbeton ist nicht möglich, da sich hier die Anforderungen an die Betonausgangsstoffe, aber auch den Hydratationsprozess stark unterscheiden. Außerdem ist bei der Fertigung individueller Betonfertigteile auch der Aufwand zur Fertigung der Betonschalungen höher, da diese speziell für das gewünschte Produkt angefertigt werden müssen.

4. LCA – Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

Um eine Wirkungsabschätzung durchzuführen wurde nach BNB (2013) folgende Wirkungskategorien gewählt:

- Kumulierter Energieaufwand (KEA)
- Globales Erderwärmungspotential (GWP)
- Versauerungspotential (AP)

- Eutrophierungspotential (EP)
- Ozonabbaupotential (ODP)
- Photochemische Oxidationspotential (POCP)

Der kumulierte Energieaufwand (KEA) gibt Aufschluss über den Primärenergiebedarf während des gesamten Herstellungsprozesses. Er wird in MJ-Äquivalenten angegeben (Klöpffer, 2009).

Das Globale Erderwärmungspotential (GWP) berücksichtigt alle klimarelevanten Emissionen, welche den Treibhauseffekt verstärken. Als Wirkungsindikatorwert wird kg CO₂-Äquivalent herangezogen.

Das Versauerungspotential (AP) fasst diejenigen Emissionen zusammen, welche für die zur Versauerung von Gewässern und Böden, sowie zu Waldschäden führen können. Sie werden in g SO₂-Äquivalenten angegeben.

Das Eutrophierungspotential (EP) spiegelt ein Überangebot an Nährstoffen (Stickoxide, Phosphate) wieder. Diese können zum Beispiel zu verstärktem Algenwachstum in Gewässern führen. Als Wirkungsindikatorwert wird g PO₄-Äquivalent gewählt.

Das Ozonabbaupotential (ODP) umfasst diejenigen Emissionen, welche für den stratosphärischen Ozonabbau verantwortlich gemacht werden. Das Potential wird in mg CFC-11-Äquivalent zusammengefasst.

Das photochemische Oxidationspotential (POCP) beschreibt die Belastung der bodennahen Luft durch hohe Ozonkonzentrationen, auch bekannt als Sommersmog. Das Potential wird in g Ethen-Äquivalent angegeben.

Die einzelnen Werte können in Tabelle 1 eingesehen werden. Sie werden getrennt nach den einzelnen Prozessschritten dargestellt.

Tabelle 1: Ergebnisse der Sachbilanz überführt in die einzelnen Wirkungskategorien, getrennt nach den einzelnen Prozessschritten

	Wirkungskategorien					
	KEA /	GWP /	AP /	EP /	ODP /	POCP /
	[MJ-Eq.]	[kg CO ₂ -Eq.]	[g SO ₂ -Eq.]	[g PO ₄ -Eq.]	[mg CFC-11-Eq.]	[g Ethen-Eq.]
Bauteilplanung	1,48	0,11	0,49	0,07	0,01	0,03
Betonausgangsstoffe	1121,97	212,79	556,09	80,20	4,25	20,93
Betonschalung	379,47	22,92	91,24	18,61	1,86	8,64
Werksprozesse	234,65	24,53	16,83	6,30	0,33	11,64
Transport	328,66	23,18	121,70	27,49	3,18	2,77
Nachbehandlung	98,42	4,75	63,86	2,76	0,26	2,18
Gesamt	2164,65	288,27	850,21	135,43	9,89	46,18
Gutschrift	-131,38	-10,04	-13,53	-3,97	-0,76	-0,44
Abzgl. Gutschrift	2033,28	278,23	836,68	131,64	9,13	45,75

5. Auswertung

In allen Wirkungskategorien werden die Umweltauswirkungen durch die Bereitstellung der Betonausgangsstoffe dominiert. Diese wird fast ausschließlich durch den Betonausgangsstoff Zement beeinflusst. Der Bauteilplanungsprozess

kann aufgrund der geringen Werte vernachlässigt werden.

Die Ergebnisse werden in Abbildung 3 in einem Säulendiagramm dargestellt.

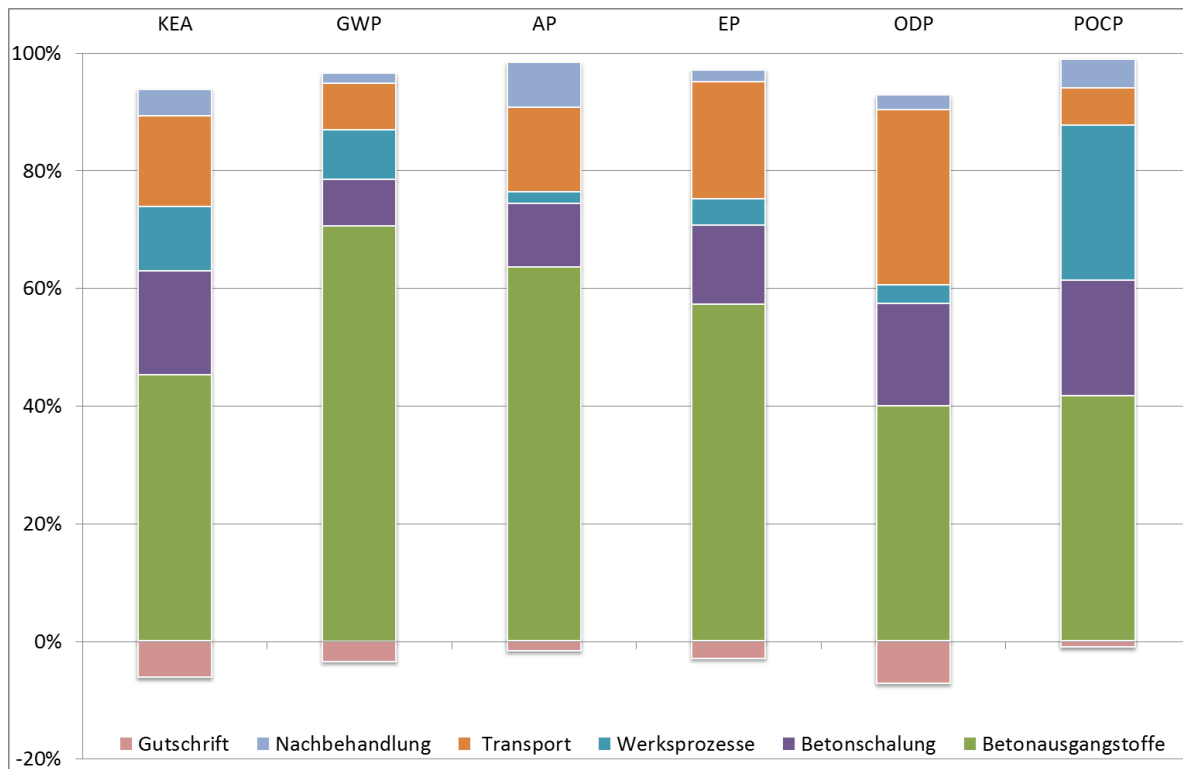


Abbildung 3: Säulendiagramm zu den Ergebnissen der Wirkungsabschätzung

Der Primärenergiebedarf zur Herstellung einer Tonne Betonfertigteil beträgt gut 2.000 MJ-Äquivalent. Gut die Hälfte davon entfallen auf die Bereitstellung der Betonausgangsstoffe, wobei fast 70% hiervon durch die energieintensive Zementherstellung verursacht werden. Mit 20% fällt der nächstgrößte Anteil auf den Formbau. Vor allem die großen Mengen an verwendetem Biegesperrholz schlagen dabei zu Buche. Der restliche kumulierte Energieaufwand teilt sich hauptsächlich in die Wärmebehandlung und den Stromverbrauch im Betonwerk, sowie den Transport zu den jeweiligen Baustellen auf. Die Gutschrift für die energetische Verwertung der ausrangierten

Schalung beträgt mit gut 130 MJ-Äquivalent etwa 6%.

Ähnlich verteilen sich die prozentualen Anteile beim Treibhauspotenzial. Hier stellt allein die CO₂-intensive Herstellung von Zement sogar knapp 70% der CO₂-Äquivalent-Emissionen. Die Emissionen aus dem Formbau, dem Betonwerk und dem Transport zu den jeweiligen Baustellen fallen mit jeweils rund 20 kg CO₂-Äquivalent ins Gewicht.

Das Versauerungspotenzial wird ebenfalls besonders von der Bereitstellung der Betonausgangsstoffe (ca. 60 %) und den Transportprozessen (insgesamt etwa 25%) beeinflusst. Im Vergleich zu den anderen

Wirkungskategorien, hat die Nachbehandlung bei der Versauerung mit 7% einen relativ hohen Anteil. Dieser wird verursacht durch den Einsatz des Imprägnierschutzes.

Beim Eutrophierungspotenzial nehmen die Transportprozesse entlang des Herstellungsverfahrens 32% der Gesamtemissionen ein. Die Zementherstellung hat mit knapp 50% auch beim Eutrophierungspotenzial den größten Anteil.

Das Ozonabbaupotenzial kommt auf eine Gesamtmenge von knapp 10 mg CFC-11-Äquivalent. Hier kommen die Transportprozesse

auf 42% der Gesamtemissionen. Die Bereitstellung von Zement hat hingegen einen Anteil von knapp 30%. Durch die Gutschrift können fast 10% an ozonabbauenden Emissionen vermieden werden.

Knapp 46 g Ethen-Äquivalent tragen zum Sommersmog bei. Mit 46% ist auch hier die Bereitstellung der Betonausgangsstoffe entscheidend. Diese wird fast ausschließlich durch die Zementherstellung beeinflusst. Auch die Wärmebehandlung (knapp 30%) beeinflusst das photochemische Oxidationspotenzial erheblich.

6. Fazit

Die Umweltauswirkungen der Herstellung einer Tonne Betonfertigteile aus Sichtbeton werden maßgeblich durch die Emissionen aus der Zementherstellung beeinflusst. Diese Emissionen kann GÖDDE Beton lediglich durch die Betonrezeptur verändern, wobei geprüft werden muss, inwiefern sich dies auf die Qualität der Produkte auswirkt.

Dies zeigt, von welcher Bedeutung Forschungs- und Entwicklungsarbeit im Bereich der Zementherstellung ist, um in der Zukunft auf alternative Rohstoffen zurückgreifen zu können.

Die Betonschalung verursacht bei repräsentativen Bauteilen, wie sie in dieser Untersuchung im Fokus standen, einen nicht unerheblichen Teil der Umweltauswirkungen.

Sie kann daher auf keinen Fall, wie bei der Betrachtung anderer Betonarten, vernachlässigt werden.

Insgesamt können durch diese Umweltprodukt-Deklaration wichtige Daten zur Verfügung gestellt werden. Diese bieten zum einen große Transparenz entlang des Herstellungsprozesses und können bei der Planung von Gebäuden nach bestimmten Umweltstandards von großem Interesse sein.

Die Hauptverursacher der Umweltauswirkungen (neben der Zementherstellung auch die Transportaufwendungen und der Energieverbrauch) konnten identifiziert werden. Basierend auf dieser Analyse können die Umweltauswirkungen durch gezielte Maßnahmen gesenkt werden.

7. Literaturverzeichnis

AVV. (2001). Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV).

BNB. (2013). *Leitfaden Nachhaltiges Bauen*. Berlin: BMVBS.

CEN/TC 207/SC 3. DIN EN ISO 14020:2002-02. Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Allgemeine Grundsätze

CEN/TC 207/SC 3. DIN EN ISO 14021:2012-04. Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Umweltbezogene Anbietererklärungen (Umweltkennzeichnung Typ II)

CEN/TC 207/SC 3. DIN EN ISO 14024:2001-02. Umweltkennzeichnungen und -deklarationen (Umweltkennzeichnung Typ I) - Grundsätze und Verfahren

CEN/TC 207/SC 3. DIN EN ISO 14025:2011-10. Umweltkennzeichnungen und -deklarationen (Umweltkennzeichnung Typ III) - Grundsätze und Verfahren

CEN/TC 207/SC 5. DIN EN ISO 14040:2009-11. Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen

CEN/TC 207/SC 5. DIN EN ISO 14044:2006-10. Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen

CEN/TC 350/WG 3. DIN EN 15804:2014-07 - Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte

Ecoinvent, S. C. (2013). ecoinvent v2.2. und v.3.

Herbst, T., & al., e. (2012). Ganzheitliche Eignungsbewertung von Sekundärrohstoffen für den Einsatz in Beton. In B. DAfStb, *Schlussberichte zur ersten Phase des DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhabens "Nachhaltig Bauen mit Beton"*.

ifu, H. (2013). *Umberto® NXT LCA v7.0*.

Johnson, E. P. (2012). Carbon footprints of heating oil and LPG heating systems. *Environmental Impact Assessment Review*, 11-22.

Klöpffer, W. e. (2009). Ökobilanz (LCA): Ein Leitfadens für Ausbildung und Beruf. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Müller, A., Rübner, K., & Schnell, A. (2010). Das Rohstoffpotenzial von Bauabfällen. *Chemie Ingenieur Technik*, 1861-1870.

ÖkoInstitut. (2014). IINAS_2013_GEMIS_4.8-Ergebnisdaten-Energie. *Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme*.