



Ökobilanz Betonfertigteile

Schlussbericht

IMPRESSUM

Auftraggeberin:

Stadt Zürich,
Amt für Hochbauten,
Fachstelle Nachhaltiges Bauen
Amtshaus III, Lindenhofstrasse 21
8021 Zürich

Bearbeitung:

Laura Tschümperlin
Rolf Frischknecht
treeze Ltd., Uster
tschuemperlin@treeze.ch

Projektleitung:

Michael Pöll
Fachstelle Nachhaltiges Bauen,

Projektteam:

Armin Grieder (Stadt Zürich, AHB)
Philipp Hubler (Stadt Zürich, AHB)
Michael Pöll (Stadt Zürich, AHB)

Download als pdf von
www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen

Zürich, Juli 2016

Abkürzungsverzeichnis

a	annum (year)
CEM I	Portlandzement
CH	Schweiz
GLO	Globaler Durchschnitt
KBOB	Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes
RER	Europa
THG	Treibhausgas
tkm	Tonnenkilometer
UBP	Umweltbelastungspunkte

Inhalt

1	EINFÜHRUNG	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Zielsetzung und Untersuchungsrahmen	1
1.3	Struktur des Berichtes	1
2	METHODIK UND DATENGRUNDLAGE	2
2.1	Methodischer Ansatz	2
2.2	Bewertung der Ressourcen im Rahmen der Methode der ökologischen Knappheit 2013	2
2.3	Datengrundlage	2
3	SACHBILANZDATEN UND MODELLIERUNGSANNAHMEN	3
3.1	Überblick	3
3.2	Datenerfassung	3
3.3	Herstellung von Betonfertigteilen	3
3.4	Unterschiede zwischen Normalbeton und hochfestem Beton	5
3.5	Sachbilanzen	5
4	WIRKUNGSABSCHÄTZUNG	7
4.1	Überblick	7
4.2	Resultate	7
4.2.1	Gesamtumweltbelastung	9
4.2.2	Primärenergiebedarf gesamt	9
4.2.3	Treibhausgasemissionen	10
5	FOLGERUNGEN	11
	LITERATUR	12

1 Einführung

1.1 Ausgangslage

Die Stadt Zürich hat sich das Ziel gesetzt, ihren Primärenergiebedarf auf 2000 Watt pro Person und die Treibhausgasemissionen auf 1 Tonne CO₂ pro Person und Jahr zu senken. Die Fachstelle Nachhaltiges Bauen des Amts für Hochbauten der Stadt Zürich verlangt für ihre Neubauprojekte unter anderem einen ressourcen- und energieschonenden Einsatz von Baustoffen und Materialien. Viele Bauteile der Bauten der Stadt Zürich werden als Betonfertigteile auf die Baustelle geliefert, für welche jedoch entsprechende Umweltkennwerte fehlen. Damit ein Bauwerk bezüglich seiner Umweltauswirkungen vollständig beurteilt werden kann, werden in dieser Studie Ökobilanzdaten zu den Betonfertigteilen beschrieben.

1.2 Zielsetzung und Untersuchungsrahmen

Ziel ist es, Umweltkennwerte zur Herstellung von Betonfertigteilen bereitzustellen. Dabei wird unterschieden zwischen:

- Statisch untergeordneten Betonelementen aus Normalbeton, wie zum Beispiel Fassadenelemente, Treppen und Liftschächte.
- Tragenden Betonelementen aus hochfestem Beton, wie zum Beispiel Stützen. Ein Betonelement gilt im Rahmen dieses Projektes ab der Festigkeitsklasse C70/85 als hochfest.

Die Bezugsgrösse der Herstellung dieser beiden Betonfertigteile ist m³.

1.3 Struktur des Berichtes

Der Bericht ist wie folgt aufgebaut. In Kapitel 2 werden die zu quantifizierenden Umweltindikatoren und die Datengrundlage beschrieben. In Kapitel 3 werden die erstellten Sachbilanzen präsentiert und die Modellierungsannahmen dokumentiert. Die anschliessend ausgewerteten Datensätze und die daraus resultierenden Umweltauswirkungen werden in der Wirkungsabschätzung des Kapitels 4 diskutiert. Der Bericht schliesst mit Folgerungen in Kapitel 5.

2 Methodik und Datengrundlage

2.1 Methodischer Ansatz

Die Umweltauswirkungen werden mit folgenden Indikatoren quantifiziert und ausgewiesen:

- Umweltbelastungspunkte (Methode der ökologischen Knappheit 2013, Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013),
- Primärenergie gesamt, erneuerbar und nicht erneuerbar (Frischknecht et al. 2007)
- Treibhausgasemissionen (IPCC 2013)

2.2 Bewertung der Ressourcen im Rahmen der Methode der ökologischen Knappheit 2013

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 lediglich "ausgeliehen" und steht damit zukünftigen Nutzern wieder zur Verfügung. Die dissipative Nutzung wird in den Sachbilanzen mithilfe von Ressourcenkorrekturen modelliert und angewendet auf Bewehrungsseisen sowie Sand und Kies im Beton.

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.

2.3 Datengrundlage

Die erhobenen Sachbilanzdaten werden mit den Hintergrunddaten des ecoinvent Datenbestands v2.2+ verknüpft und in die Ökobilanz-Software SimaPro v8.0.4 eingegeben. Die Auswertung erfolgt einerseits gemäss den Anforderungen der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich (Frischknecht 2013). Andererseits werden die Beiträge der einzelnen Prozessschritte an die gesamten Umweltauswirkungen der Betonfertigteile ermittelt und diskutiert.

3 Sachbilanzdaten und Modellierungsannahmen

3.1 Überblick

Unterkapitel 3.2 gibt Auskunft über die Datenherkunft der im Folgenden bilanzierten Betonfertigteile. Anschliessend werden die Herstellung und die Unterschiede von Betonfertigteilen aus normalfestem und hochfestem Beton beschrieben. Unterkapitel 3.5 zeigt abschliessend die Sachbilanzen der beiden Betonfertigteile auf.

3.2 Datenerfassung

Die Daten zu den Aufwendungen der Betonherstellung im Betonfertigteilwerk werden mit Hilfe von Fragebögen bei sechs führenden Schweizer Betonwerken erhoben. Während alle sechs Betonwerke Betonelemente aus Normalbeton herstellen, produziert nur eines ebenfalls hochfeste Betonelemente. Die Datensätze der Betonelemente basieren auf den gemittelten Herstellerdaten und repräsentieren die durchschnittliche Herstellung von normalfesten und hochfesten Betonfertigteilen. Wo kein Unterschied in der Produktion zu erwarten ist, werden für die Herstellung von Betonfertigteilen aus hochfestem Beton dieselben Durchschnittswerte wie für die Herstellung von normalfesten Betonfertigteilen verwendet. Die Rohstoffmengen an Kies, Sand, Zement, Fließmittel und Schalöl für die Herstellung hochfester Betonfertigteile unterscheiden sich jedoch von denen der Betonfertigteile aus Normalbeton. Diese Mengen basieren deshalb auf den Angaben des einzigen Herstellers hochfester Betonfertigteile. Ein durchschnittlicher Bewehrungsseisengehalt in hochfesten Bauteilen wird vom Amt für Hochbauten definiert.

3.3 Herstellung von Betonfertigteilen

Bei der Herstellung eines Betonelements wird zuerst die Schalung erstellt. Die Schalung gibt die Form vor, in welche Frischbeton eingebracht wird und entspricht dem Negativ zum Betonelement. Als Schalung werden bei statisch untergeordneten Bauteilen oft beschichtete nichtsaugende Holzplatten verwendet, welche in der Zimmerei zugeschnitten und mit Stahlverankerungen aneinander montiert werden. Die Schalung kann dank dem Aufbringen von Schalöl, einem Trennmittel, nach Verfestigung des Betons leicht von diesem wieder losgelöst werden. Ein Trennmittel benötigt es auch bei Schalungen aus Stahl, die besonders bei Liftschachtelementen und hochfesten Stützen Verwendung finden¹. Eine Schalung aus Holz kann bis zu 20 Mal eingesetzt werden, sofern von einem Bauteil mehrere Stücke produziert werden², währenddem eine Stahlschalung im

¹ <http://www.sk1.ch/data/docs/download/1561/de/TBL-Nachbehandeln-von-Beton.pdf>, Abgerufen am 02. Dezember 2015

² Persönliche Mitteilung, dipl. Bauingenieur, Schweizer Betonfertigteil Hersteller, 25. November 2015

Durchschnitt ungefähr 700 Mal Verwendung findet, bevor sie rezykliert wird³. Die Stahlschalungen werden in der Sachbilanz hochfester Betonfertigteilen nicht berücksichtigt, da deren Einfluss, dadurch dass sie im Durchschnitt 700 Mal verwendet werden, im Vergleich zu den Holzschalungen, welche im Schnitt nur 20 Mal eingesetzt werden können und in der Ökobilanz normalfester Betonfertigteilen nicht ins Gewicht fallen, verschwindend klein ist. Zudem konnte vom Hersteller hochfester Betonfertigteilen, keine Mengenangabe zum Verschleiss von Stahlschalungen gemacht werden.

Sobald die Schalung steht, wird die Bewehrung des Betonfertigteiles teils mit Hilfe von eigenen Biegeautomaten und teils mit vorgefertigter Bewehrung erstellt. Der verwendete Bewehrungsstahl besteht aus Recyclingsstahl⁴. Vor Ort wird anschliessend Beton hergestellt. In einem Mischer wird dabei Zement, Gesteinskörnung bestehend aus Kies (4 - 16 mm) und Sand (0 – 4 mm), Wasser sowie je nach Betonsorte Zusatzmittel und Zusatzstoffe zusammen gemischt. Zusatzstoffe werden in grösseren Mengen zugegeben, um bestimmte Eigenschaften zu verbessern oder zu erreichen⁵. Zu den Zusatzstoffen zählen mineralische Feinstoffe, auch Filler genannt, wie Gesteismehl und puzzolani-sche Stoffe sowie Pigmente und organische Stoffe. Die Zusatzmittel werden in geringen Mengen zugesetzt und beeinflussen durch eine physikalische und/oder chemische Wirkung gewisse Eigenschaften des Betons⁵. Zu den Zusatzmitteln zählen Fliessmittel, Luftporenbildner, Beschleuniger, Verzögerer etc. Alle befragten Hersteller von Betonelementen verwenden als Zementtyp CEM 1 52.5R. Als Fliessmittel werden in Betonfertigteilwerken oft Polycarboxylate eingesetzt. Die Schalung wird mit der spezifischen Betonsorte gefüllt und nach Erhärten des Betons entfernt. Zum Schluss wird die Oberfläche des Bauelements nachbearbeitet und zum Trocknen eingelagert bevor das Betonelement auf die Baustelle transportiert wird. Für den Transport wird auch noch etwas Holz zur Arretierung der Betonelemente benötigt. Je nach Auftrag werden statisch untergeordnete Bauteile zusätzlich mit Betonfarbe eingefärbt. Etwas Wasser wird nebst der Betonproduktion für die Reinigung der Produktionshallen verwendet. Abwasser entsteht nur in geringen Mengen, da das Waschwasser für die Betonproduktion wieder verwendet wird und teils auch verdunstet. Als Abfälle fallen Schlamm, welcher in eine Inertstoffdeponie gebracht wird, Bewehrungsseisen für das Recycling, Beton, welcher grösstenteils ebenfalls rezykliert wird und Holz, welches zusammen mit dem Hauskehricht in eine Kehrichtverbrennungsanlage gebracht wird, an. Jegliche Recyclingsaufwände von Bewehrungsseisen und Beton werden nicht der Herstellung von Betonelementen angelastet und erscheinen deshalb nicht in der Sachbilanz.

³ Persönliche Mitteilung, Armin Grieder, Amt für Hochbauten, 03. Dezember 2015

⁴ Persönliche Mitteilung, dipl. Bauingenieur, Schweizer Betonfertigteil Hersteller, 29. Oktober 2015

⁵ http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Beton_Bindemittel-Zusatzmittel-und-Zusatzstoffe_150932.html, Abgerufen am 09. Dezember 2015

3.4 Unterschiede zwischen Normalbeton und hochfestem Beton

Hochfeste Betonelemente weisen in der Regel einen beträchtlich höheren Zementgehalt auf als Betonfertigteile aus Normalbeton⁶. Hochfester Beton wird vor allem bei Stützelementen eingesetzt, welche in Stahlschalungen produziert werden. Für Spezialanfertigungen mit geringer Stückzahl wird auch beim hochfesten Beton auf Holzschalungen zurückgegriffen. Da der Anteil an Holzschalungen bei hochfesten Bauteilen gering ist, wird dieser Input in der Sachbilanz in Unterkapitel 3.5 von hochfesten Betonelementen vernachlässigt.

Der Bewehrungsgehalt kann vor allem in Betonelementen aus hochfestem Beton stark variieren. Generell weisen jedoch Stützen aus hochfestem Beton aufgrund der grösseren Druckspannung einen höheren Bewehrungsgehalt auf. Bei Stützen beträgt der minimal vorgeschriebene Bewehrungsgehalt 0.6 Flächenprozent und der maximal zulässige Bewehrungsgehalt 8 Flächenprozent⁶. 0.6 Flächenprozent entsprechen ungefähr 80 kg/m^3 Beton und 8 Flächenprozent etwa 640 kg/m^3 . Der Bewehrungsgehalt von Bauteilen aus Normalbeton der sechs Schweizer Betonwerke liegt bei durchschnittlich 82 kg/m^3 Beton. Bei hochfesten Bauteilen kann im Durchschnitt von einem Bewehrungsgehalt von 300 kg/m^3 ausgegangen werden⁶. Dank dem höheren Bewehrungsgehalt können Stützen schlanker und damit mit weniger Zement und Gesteinskörnung gebaut werden.

3.5 Sachbilanzen

Tab. 3.1 zeigt die Sachbilanzen von Betonelementen aus hochfestem und Normalbeton auf. Der Datensatz "concrete mixing plant" berücksichtigt in der Sachbilanz die verschiedenen Silos für die Betonmischung, den Mischer, Förderbänder und die Produktionshalle und bezieht sich auf eine Anlage, welche über 50 Jahren 100'000 Tonnen Beton pro Jahr produziert (Kellenberger et al. 2007). Mit den zusätzlichen Transport Datensätzen in Tab. 3.1 wird der Transport von Zement, und Gesteinskörnung mit herstellereigenen Daten und der Transport von Zusatzmitteln, Zusatzstoffen, Holz sowie Bewehrungsseisen über Standardtransportdistanzen abgebildet.

⁶ Persönliche Mitteilung, Armin Grieder, Amt für Hochbauten, 02. Dezember 2015

4 Wirkungsabschätzung

4.1 Überblick

Dieses Kapitel beinhaltet die Resultate der Ökobilanzen von normalen und hochfesten Betonelementen. Die Umweltauswirkungen der Betonfertigteile werden mit den Umweltindikatoren Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf gesamt, erneuerbar, und nicht erneuerbar, sowie Treibhausgasemissionen quantifiziert und diskutiert.

4.2 Resultate

Tab. 4.1 zeigt die Umweltauswirkungen der untersuchten Betonfertigteile bezüglich Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf gesamt, erneuerbar, und nicht erneuerbar, sowie Treibhausgasemissionen. Beide Betonfertigteile beinhalten Bewehrungsseisen. Die Tabelle gibt zudem Auskunft über die durchschnittliche Dichte von Betonfertigteilen aus Normalbeton und hochfestem Beton.

Betonfertigteile aus hochfestem Beton weisen bezüglich aller Umweltindikatoren deutlich höhere Umweltintensitäten (mindestens 60 % höher) auf als Betonelemente aus Normalbeton. Die Unterschiede sind auf deren Herstellung zurückzuführen, da die Entsorgung für beide Betonfertigteile mit demselben Entsorgungsdatensatz von bewehrtem Beton modelliert wird. Die Belastung der Entsorgung von einem Kubikmeter Beton variiert aufgrund der unterschiedlichen Dichte der Produkte nur wenig. Die Entsorgung macht bei hochfesten Betonelementen 5.6 % und bei normalfesten Betonelementen 11.2 % der totalen Umweltbelastungspunkte (UBP) aus, währenddem die Entsorgung in MJ Öl-eq. 6.0 % respektive 9.1 % und bezüglich Treibhausgasemissionen 3.9 % respektive 6.2 % ausmacht.

Tab. 4.1: Übersicht der Umweltauswirkungen der Betonfertigteile im Format der KBOB Liste

	Rohdichte/ Flächenmasse kg/m ³	Bezug	UBP 2013			Primärenergie gesamt			Primärenergie nicht erneuerbar			Primärenergie erneuerbar			Treibhausgasemissionen		
			Total	Herstellung	Entsorgung	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	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq
Betonfertigteil, hochfester Beton	2900	m3	1'398'207	1'319'907	78'300	8'583	8'073	510	8'010	7'520	490	573	552	20.3	785	755	30.5
Betonfertigteil, Normalbeton	2740	m3	658'784	584'804	73'980	5'313	4'831	482	4'551	4'088	463	762	743	19.2	463	434	28.8

4.2.1 Gesamtumweltbelastung

Fig. 4.1 zeigt die Beiträge der wichtigsten Rohstoffe an der gesamten Umweltauswirkung der Herstellung und die Auswirkungen der Entsorgung der beiden Betonfertigteile auf. Die Gesamtumweltbelastung von hochfesten Betonelementen ist mehr als doppelt so hoch wie diejenige von normalfesten Betonelementen. Bei der Bewehrung handelt es sich um 100 % Recyclingsstahl. 1 m³ Betonfertigteile aus hochfestem Beton enthält 300 kg Bewehrungsstahl und 575 kg Zement, währenddem 1 m³ aus Normalbeton nur 82 kg Bewehrungsstahl und durchschnittlich 355 kg Zement aufweist. Die Bewehrung trägt bei hochfesten Betonelementen rund 65 % und der Portlandzement (CEM I) 26 % zur Gesamtbelastung bei, währenddem die Bewehrung im Normalbeton nur 40 % und der Zement rund 36 % der gesamten Umweltbelastung ausmacht. Die Gesteinskörnung verursacht im Normalbeton eine leicht höhere Umweltbelastung (rund 11 % am Total) als in hochfestem Beton (4 % am Total), da für Betonfertigteile aus Normalbeton durchschnittlich etwas mehr Gesteinskörnung verwendet wird. Für die Herstellung beider Betonfertigteile wird gleich viel Strom, Heizöl und Diesel benötigt. Die Umweltbelastung von CEM I stammt zu 97 % von der Herstellung von Klinker.

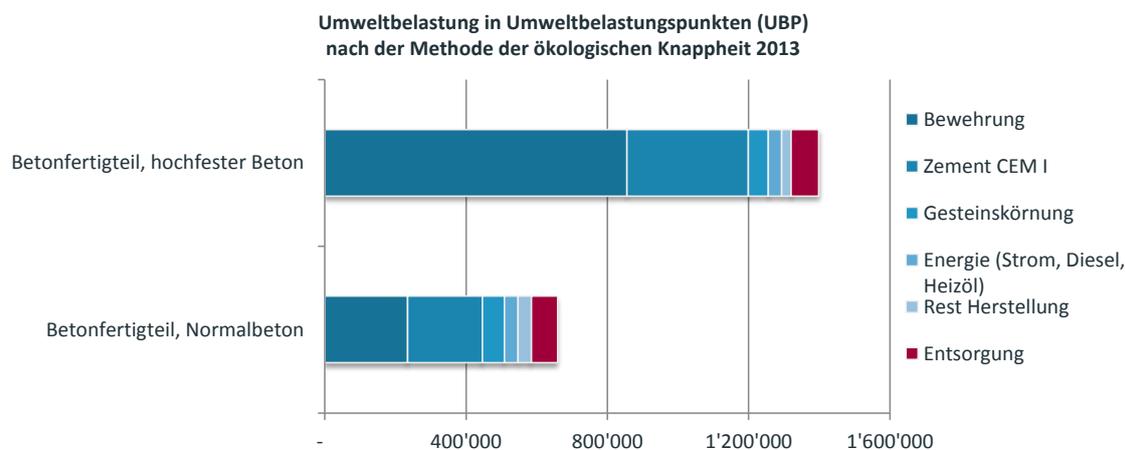


Fig. 4.1: Umweltbelastung in UBP der Herstellung und Entsorgung der Betonfertigteile

4.2.2 Primärenergiebedarf gesamt

Der Unterschied im Primärenergiebedarf gesamt zwischen den beiden Betonfertigteilen ist nicht so gross wie deren Unterschied bezüglich Gesamtumweltbelastung (siehe Fig. 4.2). Die Gesteinskörnung hat einen untergeordneten Einfluss auf den Primärenergiebedarf. Die Bewehrung hat bei Betonfertigteilen aus Normalbeton nicht den höchsten Primärenergiebedarf. Bei beiden Produkten hat zudem die in der Herstellung benötigte Energie und dabei vor allem Strom relativ an Bedeutung gewonnen.

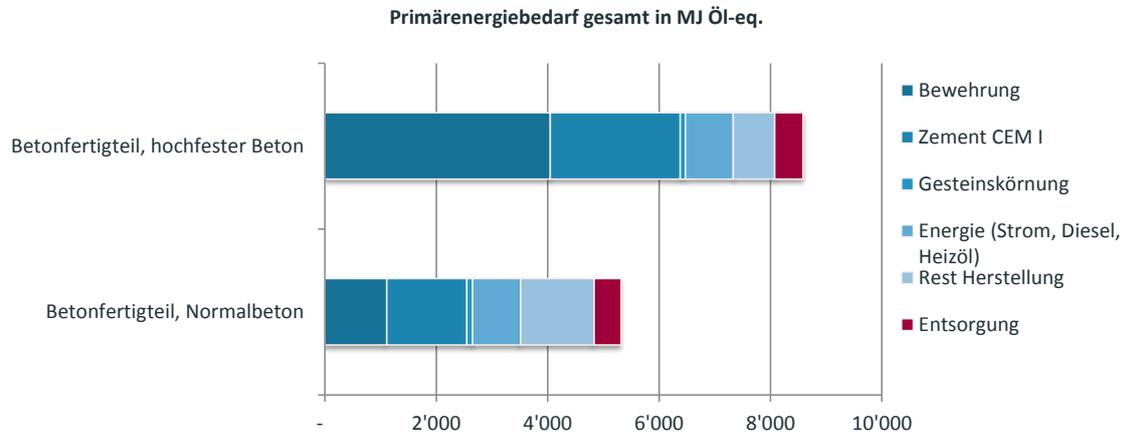


Fig. 4.2: Primärenergiebedarf gesamt in MJ Öl-eq. der Herstellung und Entsorgung der Betonfertigteile

4.2.3 Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen von Zement und damit vorwiegend der Klinkerherstellung dominieren die totalen Treibhausgasemissionen von hochfesten und normalfesten Betonfertigteilen (siehe Fig. 4.3). Ein kleinerer, aber dennoch wesentlicher Anteil der Treibhausgasemission stammt vom Heizöl, welches für die Raumwärme und das Warmwasser der Betonfertigteilewerke benötigt wird. Die Beiträge der Bereitstellung von Gesteinskörnung sind von untergeordneter Bedeutung.

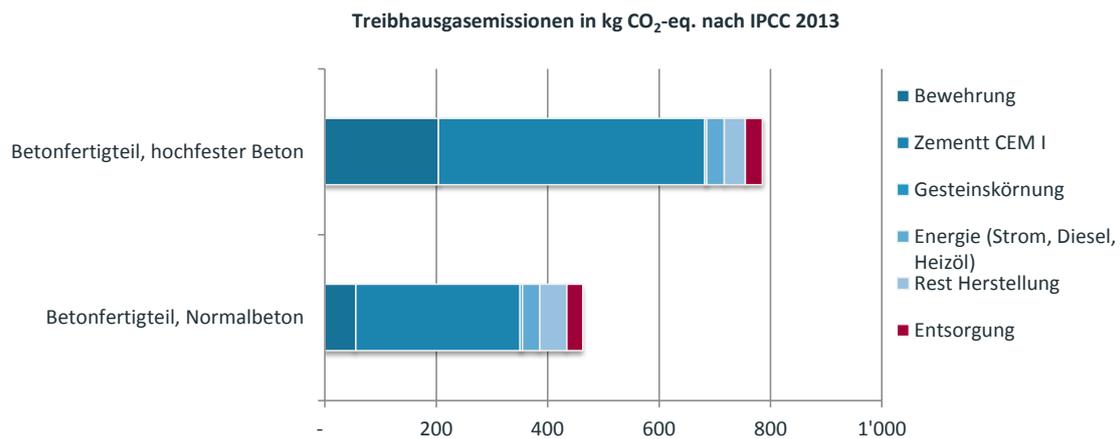


Fig. 4.3: Treibhausgasemissionen in kg CO₂-eq. der Herstellung und Entsorgung der Betonfertigteile

5 Folgerungen

Hochfeste Betonfertigteile weisen einen wesentlich höheren Bewehrungs- und Zementgehalt auf als Fertigteile aus Normalbeton. Die Wirkungsabschätzung zeigt auf, dass bei allen drei Umweltindikatoren die beiden Rohstoffe Zement und Bewehrungsseisen die höchsten Umweltintensitäten aufweisen. Dadurch rufen hochfeste Betonfertigteile in allen drei Umweltindikatoren wesentlich höhere Umweltbelastungen hervor. Die beiden Produkte sind jedoch nicht direkt vergleichbar. Die allermeisten Tragkonstruktionen werden aus Normalbeton gefertigt. Hochfeste Betonfertigteile weisen andere Qualitäten auf und werden für Spezialanwendungen als Stützen eingesetzt, währenddem Betonfertigteile aus Normalbeton weniger belastbar sind und untergeordnetere tragende Funktionen übernehmen. Ein Bauteil aus Normalbeton wäre für dieselbe statische Belastung ca. 3- bis 4-mal grösser (Volumen) als ein Bauteil aus hochfestem Beton. Zudem gilt es den Flächenbedarf in Bauwerken dementsprechend mitzubewerten. Dies gilt auch beim Vergleich von Ortsbeton mit Betonfertigteilen. Betonfertigteile sind hochwertiger und können im Fertigteilwerk mit der liegenden Fabrikation deutlich schlanker erstellt werden als stehend auf einer Baustelle⁷. So sind beispielsweise Betonfertigteilwände in Mehrfamilienhäuser zwischen 8-16 cm stark, während Ortsbetonwände auf der Baustelle 18-26 cm stark sind⁷. Deshalb ist es sinnvoll, die im Allgemeinen deutlich dünneren Bauteilkonstruktionen auch beim Vergleich von Betonfertigteilen mit Ortsbeton zu berücksichtigen.

Weiter muss vermerkt werden, dass die Datenbasis der Sachbilanz von Normalbetonelementen breiter ist, als diejenige von hochfesten Betonelementen, da fast jeder Input in der Sachbilanz ein Durchschnitt aus mehreren Herstellerdaten darstellt. Für Betonfertigteile aus hochfestem Beton wurden, wo gleiche Aufwendungen zu erwarten sind, die Durchschnittswerte der Produktion von Betonfertigteilen aus Normalbeton übernommen. In der Rezeptur hochfester Betonfertigteile, wo es jedoch zu Unterschieden kommt, basieren die Daten für hochfeste Fertigteile auf Angaben eines Herstellers.

⁷ Persönliche Mitteilung, dipl. Bauingenieur, Schweizer Betonfertigteil Hersteller, 23. Juni 2016

Literatur

- Frischknecht et al. 2007 Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hirschler 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 2013 Frischknecht R. (2013) Memo: Regeln für Ökobilanzdaten im Baubereich gemäss der KBOB-Liste. Plattform "Ökobilanzdaten im Baubereich", KBOB, eco-bau, IPB, Uster, retrieved from: http://www.eco-bau.ch/resources/uploads/Produktspezifische_Regeln.pdf.
- Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013 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 IPCC (2013) The IPCC fifth Assessment Report - Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Working Group I, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.
- Kellenberger et al. 2007 Kellenberger D., Althaus H.-J., Jungbluth N., Künniger T., Lehmann M. and Thalman 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.