



Ökobilanzielle Profile für Bauteile aus Transportbeton

**Forschungsinstitut
der Zementindustrie**

Betontechnik

Postfach 30 10 63
40410 Düsseldorf

Tannenstraße 2
40476 Düsseldorf

Telefon: (0211) 45 78-1
Telefax: (0211) 45 78-219

info@vdz-online.de
www.vdz-online.de

Technischer Bericht

TB-BTe 2157/2010

Ökobilanzielle Profile für Bauteile aus Transportbeton

Ökobilanzielle Profile für Bauteile aus Transportbeton

Auftraggeber:	Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB)
Auftraggeber, vertreten durch:	Herrn Dr.-Ing. Olaf Aßbrock
Projektleiter:	Herr Dr. Bruno Hauer
Bearbeiter:	Herr Dr. Bruno Hauer
Abteilung:	Betontechnik
Ausgestellt am:	21. April 2010
Berichtsumfang:	24 Seiten

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	4
2	Übersicht	5
2.1	Kenngößen der Bauteilprofile	5
2.2	Festlegung der Betonbauteile	5
2.3	Bezugsgrößen, Bezugsjahr und Systemgrenzen	5
3	Randbedingungen	6
3.1	Bemessung der betrachteten Betonbauteile	6
3.1.1	Bodenplatte (elastisch gebettet)	6
3.1.2	Decke	7
3.1.3	Kelleraußenwand	7
3.2	Aufwendungen zur Herstellung der Baustoffe sowie zum Einbau vor Ort	8
3.3	Transportentfernungen und Transportmittel	8
4	Ergebnisse	9
4.1	Ökobilanzielle Profile für Bodenplatten aus Transportbeton	9
4.1.1	Variante 1: 6,30 m Breite und 25 cm Dicke der Bodenplatte, Betondruckfestigkeitsklasse C20/25, Bewehrung durch Betonstahlmatten BSt 500 M	9
4.1.2	Variante 2: 12,00 m Breite und 25 cm Dicke der Bodenplatte, Betondruckfestigkeitsklasse C20/25, Bewehrung durch Betonstahlmatten BSt 500 M	10
4.1.3	Variante 3: bis zu 12,00 m Breite der Bodenplatte, 25 cm Dicke, Betondruckfestigkeitsklasse C30/37, Bewehrung durch Stahlfasern RL- 45/50-BN	12
4.2	Ökobilanzielle Profile für Gebäudedecken aus Transportbeton	14
4.3	Ökobilanzielle Profile für Kelleraußenwände aus Transportbeton	16
4.4	Ergänzende Analysen	20
4.4.1	Sensitivitätsanalyse: Variation des Baustoffprofils für die Stahlfaserbewehrung für den Fall der Bodenplatte	20
4.4.2	Ökobilanz der unbewehrten Wand ausgehend von den Baustoffprofilen für Transportbeton für die Bezugsjahre 1995 [12] und 2006 [1]	21
4.4.3	Beitrag des Recyclings am Ende des Lebenszyklus	22
5	Quellenangaben	24

1 Allgemeines

Das Forschungsinstitut der Zementindustrie (FIZ), Düsseldorf, wurde durch die Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB), vertreten durch Herrn Dr.-Ing. Olaf Aßbrock, mit der Erstellung von ökobilanziellen Profilen für Bauteile aus Transportbeton beauftragt. Es wurden als Bauteile Bodenplatten, Decken und Kelleraußenwände ausgewählt. Diese Bauteilprofile sollen die Anwendung der Baustoffprofile für Transportbeton verdeutlichen, die in die Aktualisierung der Baustoffdatenbank „Ökobau.dat“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) eingeflossen sind [1, 2].

2 Übersicht

2.1 Kenngrößen der Bauteilprofile

Die ökobilanziellen Profile für Bauteile aus Transportbeton sollen die Informationen berücksichtigen, die schon für die Aktualisierung der Baustoffprofile für Transportbeton einheitlich vorgegeben wurden. Diese Informationen bestehen im Wesentlichen aus der Angabe des Primärenergieaufwandes sowie der fünf anerkannten Wirkungspotenziale der Ökobilanz (Treibhauspotenzial / GWP, Ozonabbaupotenzial / ODP, Versauerungspotenzial / AP, Überdüngungspotenzial / NP, Sommersmogpotenzial / POCP). Darüber hinaus sind die Quellen der Primärenergie aus regenerativen und aus nicht regenerativen Ressourcen aufgeführt.

Die methodischen Festlegungen zur Ermittlung der Daten entsprechen denjenigen, die schon im Vorfeld der Datenerhebung für die ökologischen Baustoffprofile der Transportbetonindustrie in Abstimmung mit dem BMVBS und der Industrie festgelegt wurden [3]. Sie sind zudem in Übereinstimmung mit den Rahmenbedingungen, die im DAfStb-/BMBF-Verbundvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ definiert wurden [4].

2.2 Festlegung der Betonbauteile

Als typische Bauteile aus Transportbeton wurden die Bodenplatte, die Decke (in einem Gebäude) sowie die Kelleraußenwand ausgewählt. Diese Anwendungen werden in der Regel aus Transportbeton erstellt.

Für diese Betonbauteile wurden jeweils die ökobilanziellen Profile bestimmt. Dabei wurden für ihre Bemessung typische Abmessungen und Lastfälle zu Grunde gelegt [5]. Für die Berechnung der Profile wurde von den durchschnittlichen Zusammensetzungen der Betone ausgegangen wie sie auch der Berechnung der ökobilanziellen Baustoffprofilen für Transportbeton als Grundlage dienen [1]. Für die weiteren Baustoffe wurden typische Daten für Deutschland verwendet (siehe auch Abschnitt 3.1). Ferner wurde von typischen Aufwendungen für den Transport (Entfernungen, Transportmittel, Aufwand pro Tonne und Kilometer) sowie für die Bereitstellung der Energieträger und des benötigten Stroms ausgegangen.

2.3 Bezugsgrößen, Bezugsjahr und Systemgrenzen

Als Bezugsgröße dient jeweils ein Bauteil mit den in den nachfolgenden Abschnitten beschriebenen Abmessungen und Tragfähigkeit. Zu besserer Darstellung der Unterschiede werden die Ergebnisse bezogen auf 1 m² Bauteil ausgewiesen, jedoch kann auch innerhalb der gleichen Bauteilart im Allgemeinen kein Vergleich auf dieser Basis erfolgen, solange Abmessungen oder Tragfähigkeit als wesentliche Bestandteile der Funktion des Bauteils unterschiedlich sind. Als Bezugsjahr wurde das Jahr 2006 gewählt, das auch den aktuell gültigen ökobilanziellen Baustoffprofilen für Transportbeton zu Grunde liegt.

Die Betrachtung umfasst die Herstellung der Betonbauteile. Das bedeutet, dass die Aufwendungen für die Herstellung der Baustoffe wie die des Betons und des Betonstahls von der Entnahme aller Stoffe und Energieträger aus der Natur bis zur Auslieferung des Transportbetons auf der Baustelle sowie ihr Einbau betrachtet wurden. Die Nutzung der Bauteile sowie ihr Rückbau und ihr Recycling am Ende der Nutzung liegen außerhalb der Systemgrenzen. Für ein Beispiel wurde exemplarisch auch der Einfluss des Recyclings betrachtet.

3 Randbedingungen

3.1 Bemessung der betrachteten Betonbauteile

Es wurden als Bauteile verschiedene Varianten von Bodenplatten, Decken sowie Wänden aus Transportbeton betrachtet. Für diese Bauteile wurden Bauteilstärken und erforderliche Bewehrungsgrade auf Grund von statischen Bauteilbemessungen unter Annahme typischer Lastfälle bereitgestellt [5].

3.1.1 Bodenplatte (elastisch gebettet)

Für die Bodenplatte wurde eine Dicke von 25 cm angenommen. Als Betondruckfestigkeitsklasse wurde je nach Variante entweder C20/25 (im Fall von Mattenbewehrung) oder C30/37 (unter Verwendung von Stahlfaserbeton) angesetzt. Es wurden für alle Varianten drei verschiedene Lastfälle (Wandlasten) angenommen:

- A. $p_1 = p_3 = 40$ kN/m im Abstand von 42 cm von den Rändern der einachsigen gespannten Bodenplatte sowie $p_2 = 80$ kN/m in der Mitte der Bodenplatte.
- B. $p_1 = p_3 = 60$ kN/m im Abstand von 42 cm von den Rändern der einachsigen gespannten Bodenplatte sowie $p_2 = 120$ kN/m in der Mitte der Bodenplatte.
- C. $p_1 = p_3 = 80$ kN/m im Abstand von 42 cm von den Rändern der einachsigen gespannten Bodenplatte sowie $p_2 = 160$ kN/m in der Mitte der Bodenplatte.

Variante 1: 6,30 m Breite der Bodenplatte, 25 cm Dicke der Bodenplatte, Betondruckfestigkeitsklasse C20/25, Stahlbewehrung durch Betonstahlmatten BSt 500 M

Folgende Bewehrungsgehalte wurden für die betrachteten Wandlasten ermittelt:

Tabelle 1 Bewehrungsgehalte der Bodenplatten in Abhängigkeit der Wandlasten

Lastfall	A	B	C
p_1 [kN/m] bei 0,42 m	40	60	80
p_2 [kN/m] bei 3,15 m	80	120	160
p_3 [kN/m] bei 5,88 m	40	60	80
Bewehrung [kg/m²]	2,33	2,50	3,49

Variante 2: 12,00 m Breite der Bodenplatte, 25 cm Dicke der Bodenplatte, Betondruckfestigkeitsklasse C20/25, Bewehrung durch Betonstahlmatten BSt 500 M

Folgende Bewehrungsgehalte wurden für die betrachteten Wandlasten ermittelt:

Tabelle 2 Bewehrungsgehalte der Bodenplatten in Abhängigkeit der Wandlasten

Lastfall	A	B	C
p_1 [kN/m] bei 0,42 m	40	60	80
p_2 [kN/m] bei 6,00 m	80	120	160
p_3 [kN/m] bei 11,58 m	40	60	80
Bewehrung [kg/m²]	2,42	3,32	6,03

Variante 3: bis zu 12,00 m Breite der Bodenplatte, 25 cm Dicke der Bodenplatte, Betondruckfestigkeitsklasse C30/37, Bewehrung durch Stahlfasern RL-45/50-BN

Folgende Bewehrungsgehalte wurden für die betrachteten Wandlasten ermittelt:

Tabelle 3 Bewehrungsgehalte der Bodenplatten in Abhängigkeit der Wandlasten

Lastfall	A	B	C
p_1 [kN/m]	40	60	80
p_2 [kN/m]	80	120	160
p_3 [kN/m]	40	60	80
Bewehrung [kg/m²]	7,50	7,50	10,00

3.1.2 Decke

Für die Decken wurde eine einachsige gespannte Zweifeldplatte mit gleichen Feldweiten betrachtet. Es wurde eine Dicke von 18 cm angenommen. Als Betondruckfestigkeitsklasse wurde C25/30 angesetzt. Zur Bewehrung werden Betonstahlmatten BSt 500 M genutzt. Es wurden zwei verschiedene Feldbreiten (3 m und 6 m) betrachtet.

Folgende Bewehrungsgehalte wurden für die betrachteten Feldbreiten unter Ansatz für den Hochbau üblicher Verkehrslasten ermittelt:

Tabelle 4 Bewehrungsgehalte der Decken in Abhängigkeit der Feldbreiten

Feldbreite	3 m	6 m
Bewehrung [kg/m²]	3,67	9,77

3.1.3 Kelleraußenwand

Für die Kelleraußenwand wurde eine in voller Höhe angeschüttete zweiseitig gehaltene Pendelwand angenommen. Die lichte Höhe beträgt 2,80 m, die Knicklänge ebenfalls 2,80 m. Die Wandbreite beträgt 12 m, die Wanddicke 24 cm. Es erfolgte kein Nachweiß der Rissbreitenbeschränkung in Bezug auf die abfließende Hydratationswärme. Als Betondruckfestigkeitsklasse wurde C25/30 gewählt. Die Wand wird einerseits unbewehrt betrachtet (Variante U24), zum anderen bewehrt unter Verwendung von Betonstahlmatten BSt 500 M (Variante B24). Die Bewehrungsgehalte betragen unter diesen Voraussetzungen 6,02 kg/m² bis zu Wandlasten von 300 kN/m (Variante B24-1), und 10,42 kg/m² bei Wandlasten von 400 bis 600 kN/m (Variante B24-2).

Ergänzend wird eine unbewehrte Wand mit 18 cm Dicke nach den Verfahren der BTB-Typenstatik berechnet. Diese kann ab einer Wandlast von ca. 120 kN/m zum Einsatz kommen (Variante U18). Im Rahmen des BTB-Wettbewerbes „Beton als Wandbaustoff“ wurde diese Typenstatik für eine Wanddicke von 18 cm angewendet.

3.2 Aufwendungen zur Herstellung der Baustoffe sowie zum Einbau vor Ort

Die Ökobilanzen wurden mit Hilfe des Programms GaBi4 [6] durchgeführt. Die in diesem Programm enthaltene Datenbank wurde genutzt, um die Bereitstellung der Energieträger (Strom und Diesel) sowie die Transportaufwendungen zu berücksichtigen. Ferner wurden das unmittelbar in der Datenbank enthaltene Modul für die Betonpumpe genutzt. Weitere in der Datenbank enthaltene Module (wie z.B. zur Sperrholzherstellung) wurden genutzt, um die nachfolgend dargestellten Teilbilanzen zu erzeugen.

Um die Betonherstellung zu berücksichtigen, wurden die ökobilanziellen Baustoffprofile des Bundesverbandes der Deutschen Transportbetonindustrie genutzt [1].

Die Betonstahlherstellung wurde nach Angaben des Instituts für Stahlbetonbewehrung für ein typisches Betonstahlwerk modelliert [4].

Für die Herstellung der Stahlfasern wurde der Datensatz der TU München verwendet, wo dieser Herstellungsprozess im Detail betrachtet wurde [7].

Die Herstellung der Schalungen wurde aufgrund ihrer Einzelkomponenten modelliert. Diese Angaben sowie die Annahmen über die mittleren Nutzungsdauern basieren auf den Angaben eines Schalungsherstellers [8].

Ausgehend von Angaben der Deutschen Bauchemie [9] wurde der Einsatz eines Schalöls auf Paraffin-Basis angenommen und die Ökobilanz seiner Herstellung aufgrund der Daten der GaBi-Datenbank für die Schmierölherstellung abgeschätzt [6].

Der Strombedarf für Innenrüttler sowie für den Kran zur Unterstützung des Schalungseinbaus wurde auf Grund eigener Abschätzungen angesetzt.

Die Bereitstellung kleinere Einbauteile wie Kunststoffteile zur Unterstützung der Bewehrung wurden in den Berechnungen vernachlässigt.

3.3 Transportentfernungen und Transportmittel

Folgende Entfernungen und Anteile der unterschiedlichen Transportmittel wurden für die Transporte der Baustoffe berücksichtigt:

Die Transportentfernungen des Transportbetons vom Transportbetonwerk zur Baustelle wurde auf Grund der Erhebung für das Jahr 2006 des Bundesverbandes der Deutschen Transportbetonindustrie [1] zu 20 km bestimmt. Für den Fahrmischer wurde von einem durchschnittlichen Dieserverbrauch von 48 l/100 km ausgegangen [10]. Dabei wurde von der Erfüllung der Abgasnorm Euro 3 ausgegangen.

Die Transportentfernungen für Betonstahl und Stahlfasern wurden mit 200 km abgeschätzt, die Transporte für die Schalung wurde zu 50 km, diejenige für das Schalöl zu 100 km abgeschätzt. Als Transportmittel wurde immer ein LKW angenommen, was im Falle des Betonstahls eine pessimale Abschätzung darstellt.

4 Ergebnisse

4.1 Ökobilanzielle Profile für Bodenplatten aus Transportbeton

4.1.1 Variante 1: 6,30 m Breite und 25 cm Dicke der Bodenplatte, Betondruckfestigkeitsklasse C20/25, Bewehrung durch Betonstahlmatten BSt 500 M

Mit den o. g. Randbedingungen ergeben sich folgende ökobilanzielle Profile für die verschiedenen in Abschnitt 3.1 genannten Lastfälle:

Tabelle 5 Ökobilanzielle Profile für die Erstellung von 1 m² Bodenplatte aus Transportbeton (Var. 1)

Parameter	Einheit	Lastfall A	Lastfall B	Lastfall C
Primärenergie nicht erneuerbar	MJ	301	303	312
Primärenergie erneuerbar	MJ	8,6	8,7	9,5
Treibhauspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	52,2	52,4	53,0
Ozonabbaupotenzial (ODP)	kg R11-Äq.	1,54*10 ⁻⁶	1,55*10 ⁻⁶	1,64*10 ⁻⁶
Versauerungspotenzial (AP)	kg SO ₂ -Äq.	0,103	0,103	0,104
Eutrophierungspotenzial (NP)	kg PO ₄ -Äq.	0,0146	0,0147	0,0148
Photooxidantienpotenzial (POCP)	kg C ₂ H ₄ -Äq.	0,0102	0,0103	0,0104

Der Aufwand an Primärenergie aus nicht erneuerbaren Ressourcen teilt sich aufgrund der Daten der GaBi-Datenbank folgendermaßen auf die einzelnen Energieträger auf:

Tabelle 6 Anteil der verschiedenen Energieträger am Primärenergieaufwand aus nicht erneuerbaren Ressourcen (Bodenplatte, Variante 1)

Energieträger	Einheit	Lastfall A	Lastfall B	Lastfall C
Braunkohle	%	29,3	29,2	28,9
Steinkohle	%	17,1	17,2	17,4
Erdgas	%	6,7	6,8	7,2
Erdöl	%	31,0	30,9	30,1
Uran	%	15,9	15,9	16,3

Der Aufwand an Primärenergie aus erneuerbaren Ressourcen teilt sich folgendermaßen auf die einzelnen Energieträger auf:

Tabelle 7 Anteil der verschiedenen Energieträger am Primärenergieaufwand aus erneuerbaren Ressourcen (Bodenplatte, Variante 1)

Energieträger	Einheit	Lastfall A	Lastfall B	Lastfall C
Wasserkraft	%	36,0	36,0	36,2
Windkraft	%	30,8	30,6	29,7
Sonnenenergie	%	31,3	31,5	32,4
Biomasse	%	1,9	1,9	1,7

Die Unterschiede in den ökobilanziellen Profilen zwischen den verschiedenen Lastfällen sind gering und lediglich auf die unterschiedlichen Bewehrungsgehalte zurückzuführen.

Den relativen Anteil der Bereitstellung des Transportbetons und der Bewehrung sowie sonstige Einflüsse (Transporte, Baustellenprozesse) zeigt beispielhaft das folgende Diagramm:

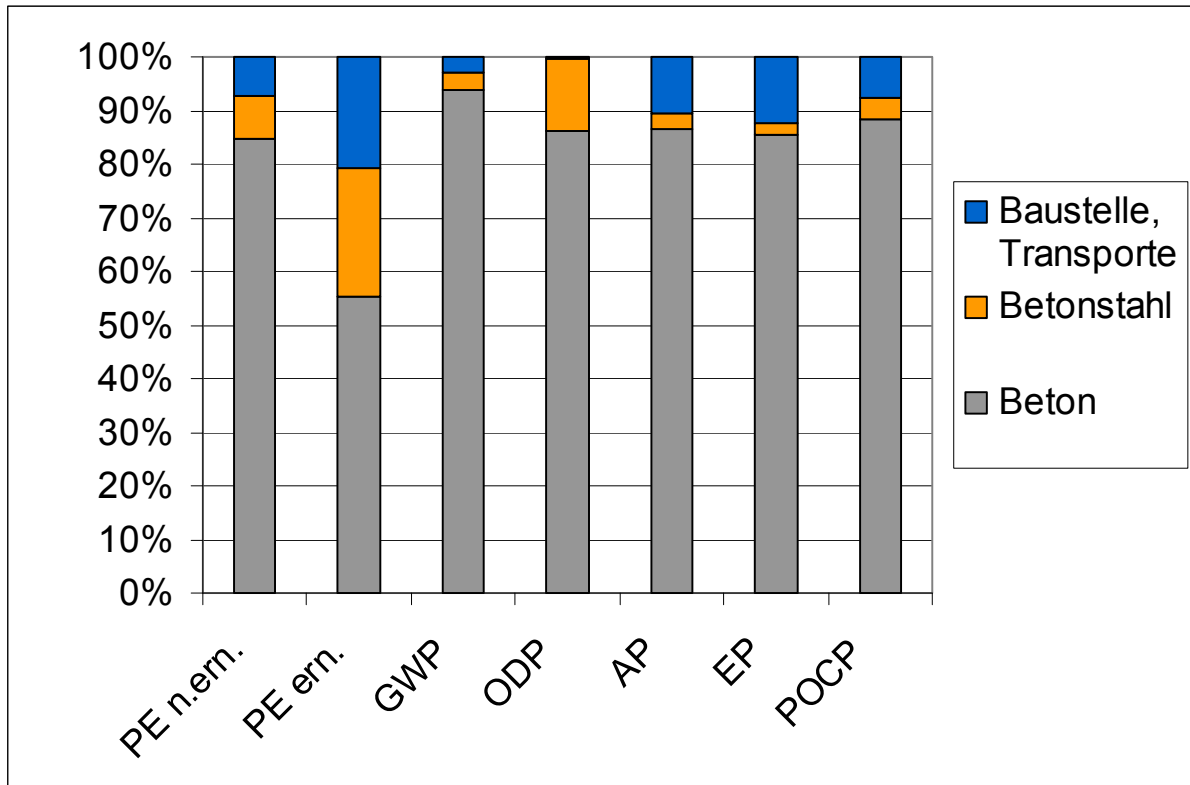


Abbildung 1 Anteil der Baustoffproduktion und der sonstigen Einflüsse (Transporte, Einbau) am ökobilanziellen Profil der Erstellung von 1 m² Bodenplatte (Variante 1), dargestellt für die einzelnen Indikatoren für den Lastfall B

4.1.2 Variante 2: 12,00 m Breite und 25 cm Dicke der Bodenplatte, Betondruckfestigkeitsklasse C20/25, Bewehrung durch Betonstahlmatten BSt 500 M

Mit den o. g. Randbedingungen ergeben sich folgende ökobilanzielle Profile für die verschiedenen in Abschnitt 3.1 genannten Lastfälle:

Tabelle 8 Ökobilanzielle Profile für die Erstellung von 1 m² Bodenplatte aus Transportbeton (Var. 2)

Parameter	Einheit	Lastfall A	Lastfall B	Lastfall C
Primärenergie nicht erneuerbar	MJ	302	311	337
Primärenergie erneuerbar	MJ	8,6	9,4	11,7
Treibhauspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	52,3	52,9	54,8
Ozonabbaupotenzial (ODP)	kg R11-Äq.	1,54*10 ⁻⁶	1,62*10 ⁻⁶	1,85*10 ⁻⁶
Versauerungspotenzial (AP)	kg SO ₂ -Äq.	0,103	0,104	0,108
Eutrophierungspotenzial (NP)	kg PO ₄ -Äq.	0,0146	0,0148	0,0151
Photooxidantienpotenzial (POCP)	kg C ₂ H ₄ -Äq.	0,0103	0,104	0,109

Der Aufwand an Primärenergie aus nicht erneuerbaren Ressourcen teilt sich folgendermaßen auf die einzelnen Energieträger auf:

Tabelle 9 Anteil der verschiedenen Energieträger am Primärenergieaufwand aus nicht erneuerbaren Ressourcen (Bodenplatte, Variante 2)

Energieträger	Einheit	Lastfall A	Lastfall B	Lastfall C
Braunkohle	%	29,3	29,0	28,2
Steinkohle	%	17,1	17,4	18,0
Erdgas	%	6,8	7,1	8,1
Erdöl	%	30,9	30,2	28,4
Uran	%	15,9	16,3	17,3

Der Aufwand an Primärenergie aus erneuerbaren Ressourcen teilt sich folgendermaßen auf die einzelnen Energieträger auf:

Tabelle 10 Anteil der verschiedenen Energieträger am Primärenergieaufwand aus erneuerbaren Ressourcen (Bodenplatte, Variante 2)

Energieträger	Einheit	Lastfall A	Lastfall B	Lastfall C
Wasserkraft	%	36,0	36,2	36,6
Windkraft	%	30,6	29,8	28,0
Sonnenenergie	%	31,5	32,3	34,0
Biomasse	%	1,9	1,7	1,4

Die Unterschiede in den ökobilanziellen Profilen zwischen den verschiedenen Lastfällen sind etwas stärker ausgeprägt als bei der Bodenplattenvariante 1, da die Unterschiede in den Bewehrungsgehalten größer sind. Insgesamt sind sie aber für die meisten Indikatoren noch immer gering. Lediglich für die Indikatoren „Primärenergie, nicht erneuerbar“ sowie „Ozonabbaupotenzial“ betragen die Unterschiede zwischen Lastfall A und Lastfall C mehr als 20%. Dort kommen u. a. die Unterschiede im Stromverbrauch besonders zum Tragen, die über die Betonstahlproduktion mit den Unterschieden im Betonstahleinsatz verbunden ist.

Der relative Anteil der Bereitstellung des Transportbetons, der Bereitstellung der Bewehrung sowie sonstige Einflüsse (Transporte, Einbau auf der Baustelle) zeigt das folgende Diagramm beispielhaft für den Lastfall B:

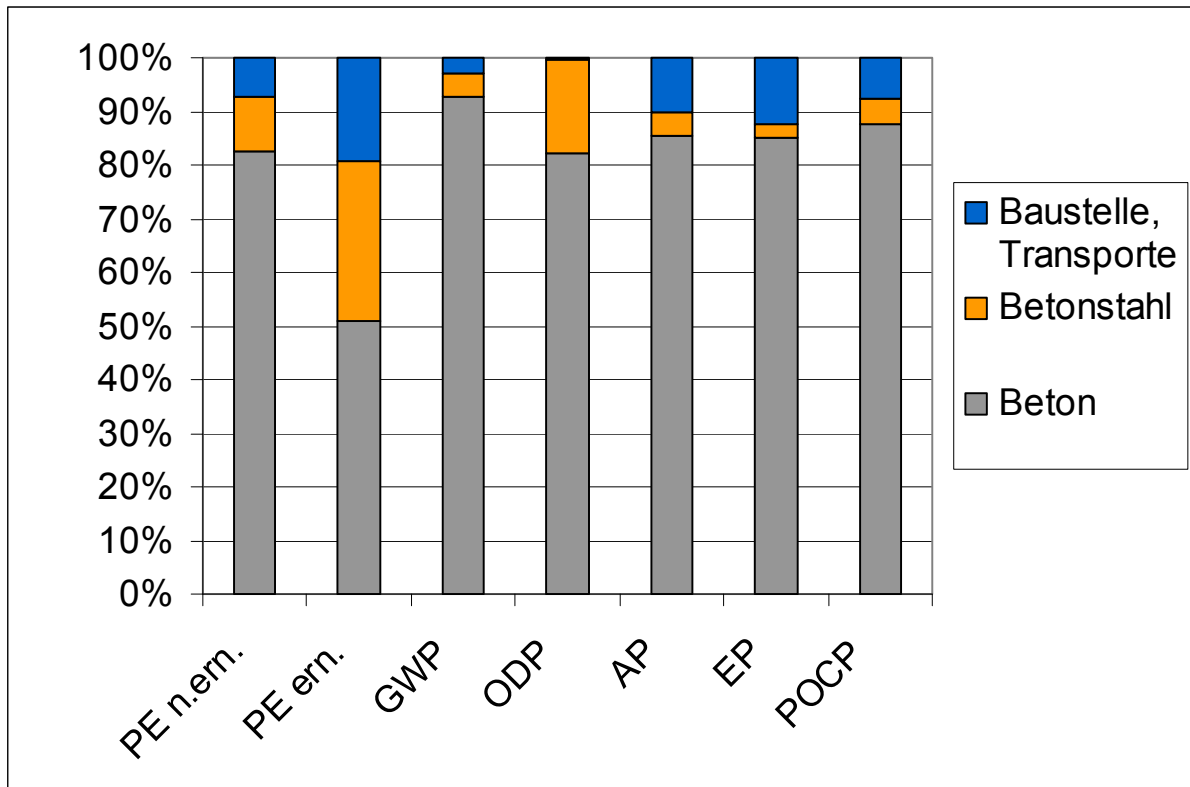


Abbildung 2 Anteil der Baustoffproduktion und der sonstigen Einflüsse (Transporte, Einbau) am ökobilanziellen Profil der Erstellung von 1 m² Bodenplatte (Variante 2), dargestellt für die einzelnen Indikatoren für den Lastfall B

4.1.3 Variante 3: bis zu 12,00 m Breite der Bodenplatte, 25 cm Dicke, Betondruckfestigkeitsklasse C30/37, Bewehrung durch Stahlfasern RL-45/50-BN

Mit den o. g. Randbedingungen ergeben sich folgende ökobilanzielle Profile für die verschiedenen in Abschnitt 3.1 genannten Lastfälle:

Tabelle 11 Ökobilanzielle Profile für die Erstellung von 1 m² Bodenplatte aus Transportbeton (Var. 3)

Parameter	Einheit	Lastfall A/B	Lastfall C
Primärenergie nicht erneuerbar	MJ	458	503
Primärenergie erneuerbar	MJ	15,4	18,7
Treibhauspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	70,3	73,5
Ozonabbaupotenzial (ODP)	kg R11-Äq.	2,01*10 ⁻⁶	2,16*10 ⁻⁶
Versauerungspotenzial (AP)	kg SO ₂ -Äq.	0,156	0,170
Eutrophierungspotenzial (NP)	kg PO ₄ -Äq.	0,0256	0,0287
Photooxidantienpotenzial (POCP)	kg C ₂ H ₄ -Äq.	0,0176	0,0197

Der Aufwand an Primärenergie aus nicht erneuerbaren Ressourcen teilt sich folgendermaßen auf die einzelnen Energieträger auf:

Tabelle 12 Anteil der verschiedenen Energieträger am Primärenergieaufwand aus nicht erneuerbaren Ressourcen (Bodenplatte, Variante 3)

Energieträger	Einheit	Lastfall A/B	Lastfall C
Braunkohle	%	82,8 ^{*)}	82,3 ^{*)}
Steinkohle	%		
Erdgas	%		
Erdöl	%		
Uran	%	17,2	17,7

*) Im Datensatz für Stahlfasern wird lediglich zwischen fossilen und nuklearen Energieträgern unterschieden

Der Aufwand an Primärenergie aus erneuerbaren Ressourcen teilt sich folgendermaßen auf die einzelnen Energieträger auf:

Tabelle 13 Anteil der verschiedenen Energieträger am Primärenergieaufwand aus erneuerbaren Ressourcen (Bodenplatte, Variante 3)

Energieträger	Einheit	Lastfall A/B	Lastfall C
Wasserkraft	%	50,4	50,8
Windkraft	%	23,8 ^{*)}	21,1 ^{*)}
Sonnenenergie	%		
Biomasse	%	25,8	28,1

*) Im Datensatz für Stahlfasern werden Sonnenenergie und Windkraft zusammenfasst

Die Unterschiede in den Umweltwirkungen zwischen den Lastfällen A/B und C liegt bei den meisten Indikatoren im Bereich zwischen 5% und 12% und resultiert aus den Unterschieden im Stahlfasereinsatz.

Die relativ hohen Unterschiede zwischen den Varianten 1 und 2 einerseits sowie Variante 3 andererseits ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen. So ist der Verwendung der höheren Betondruckfestigkeitsklasse mit höheren potenziellen Umweltwirkungen bezogen auf die Herstellung 1 m³ Transportbeton verbunden. Darüber hinaus sind die Gehalte an Bewehrung höher. Schließlich wurde für die Herstellung der Stahlfasern ein Anteil von 66% Oxygenstahl angenommen, der im Wesentlichen aus Eisenerz neu hergestellt wurde, während für den Betonstabstahl entsprechend den deutschen Produktionsverhältnissen zu 100% Elektrostahl angenommen wurde, der aus Stahlschrott erschmolzen wurde. In einer Sensitivitätsanalyse wird dem Einfluss dieser Annahme weiter nachgegangen (siehe Abschnitt 4.4). Insgesamt ist bei den Vergleichen zwischen Beton mit konventioneller Bewehrung und Beton mit Stahlfaserbewehrung auch zu beachten, dass die Vorketten der jeweiligen Datensätze aus unterschiedlichen Datenbanken stammen und daher aus diesem Grund im Vergleich Inkonsistenzen in ihrer Berechnung nicht ausgeschlossen werden können.

Der relative Anteil der Bereitstellung des Transportbetons, der Bereitstellung der Bewehrung sowie sonstige Einflüsse (Transporte, Einbau auf der Baustelle) zeigt das folgende Diagramm für die Bodenplatte aus Stahlfaserbeton beispielhaft für den Lastfall B:

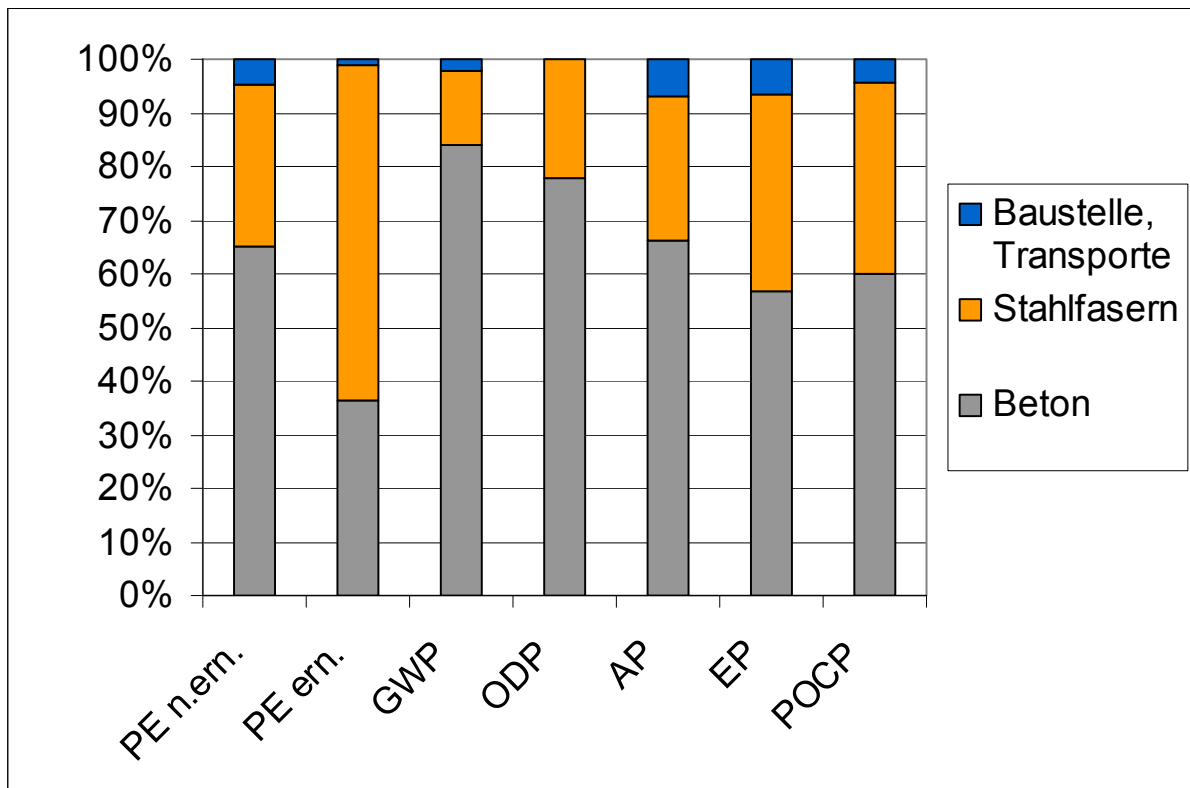


Abbildung 3 Anteil der Baustoffproduktion und der sonstigen Einflüsse (Transporte, Einbau) am ökobilanziellen Profil der Erstellung von 1 m² Bodenplatte (Variante 3), dargestellt für die einzelnen Indikatoren für den Lastfall B

4.2 Ökobilanzielle Profile für Gebäudedecken aus Transportbeton

Mit den o. g. Randbedingungen ergeben sich folgende ökobilanzielle Profile für die verschiedenen in Abschnitt 3.1 genannten Feldbreiten von 3 m und 6 m:

Tabelle 14 Ökobilanzielle Profile für die Erstellung von 1 m² Gebäudedecke aus Transportbeton

Parameter	Einheit	Feldbreite 3 m	Feldbreite 6 m
Primärenergie nicht erneuerbar	MJ	265	326
Primärenergie erneuerbar	MJ	30,6	35,3
Treibhauspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	44,1	48,4
Ozonabbaupotenzial (ODP)	kg R11-Äq.	1,43*10 ⁻⁶	1,94*10 ⁻⁶
Versauerungspotenzial (AP)	kg SO ₂ -Äq.	0,0857	0,0950
Eutrophierungspotenzial (NP)	kg PO ₄ -Äq.	0,0121	0,0130
Photooxidantienpotenzial (POCP)	kg C ₂ H ₄ -Äq.	0,0089	0,0100

Der Aufwand an Primärenergie aus nicht erneuerbaren Ressourcen teilt sich folgendermaßen auf die einzelnen Energieträger auf:

Tabelle 15 Anteil der verschiedenen Energieträger am Primärenergieaufwand aus nicht erneuerbaren Ressourcen (Gebäudedecken, verschiedene Feldbreiten)

Energieträger	Einheit	Feldbreite 3 m	Feldbreite 6 m
Braunkohle	%	28,0	26,1
Steinkohle	%	17,7	18,9
Erdgas	%	8,2	10,3
Erdöl	%	29,3	25,5
Uran	%	16,9	19,2

Der Aufwand an Primärenergie aus erneuerbaren Ressourcen teilt sich folgendermaßen auf die einzelnen Energieträger auf:

Tabelle 16 Anteil der verschiedenen Energieträger am Primärenergieaufwand aus erneuerbaren Ressourcen (Gebäudedecken, verschiedene Feldbreiten)

Energieträger	Einheit	Feldbreite 3 m	Feldbreite 6 m
Wasserkraft	%	10,9	15,1
Windkraft	%	7,8	9,7
Sonnenenergie	%	80,9	74,9
Biomasse	%	0,4	0,3

Der relative Anteil der Bereitstellung des Transportbetons und der Bewehrung sowie sonstige Einflüsse (Transporte, Baustellenprozesse) zeigt beispielhaft das folgende Diagramm:

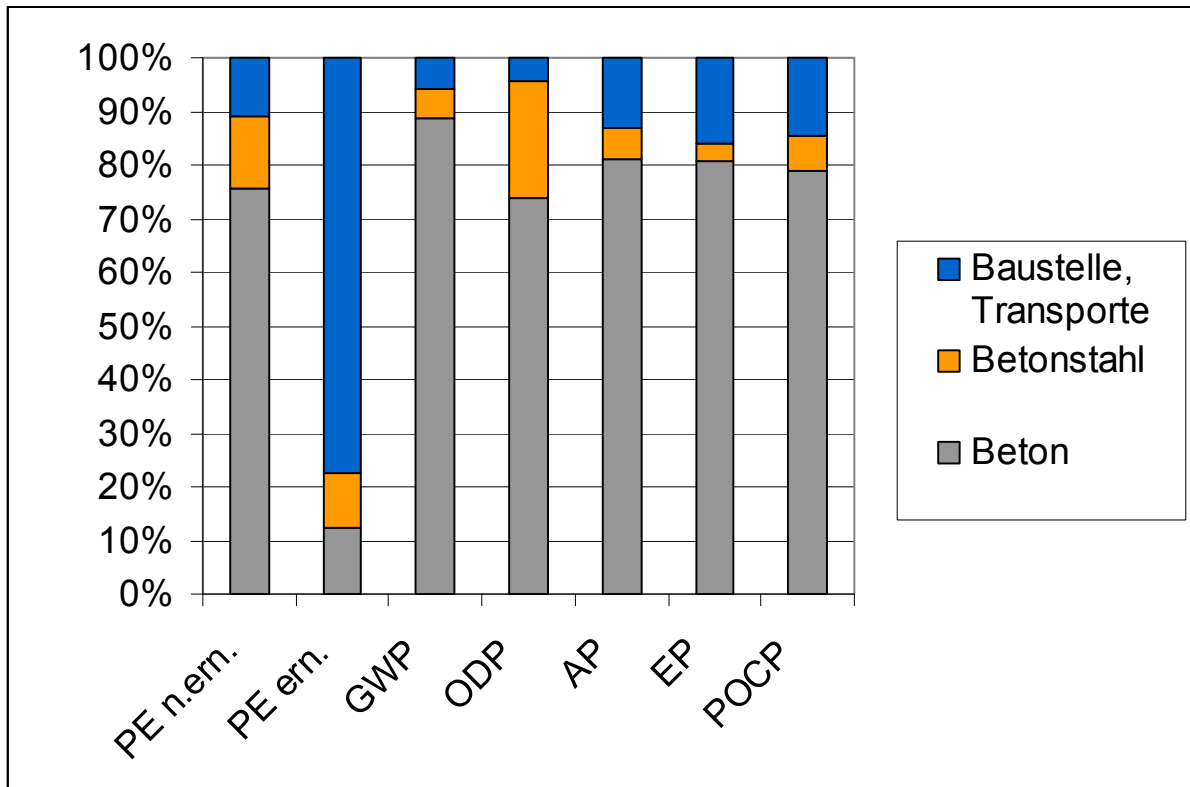


Abbildung 4 Anteil der Baustoffproduktion und der sonstigen Einflüsse (Transporte, Einbau) am ökobilanziellen Profil der Erstellung von 1 m² Decke, dargestellt für die einzelnen Indikatoren für die Feldbreite von 3 m

4.3 Ökobilanzielle Profile für Kelleraußenwände aus Transportbeton

Die ökobilanziellen Profile für die Erstellung von Kelleraußenwänden aus Transportbeton mit Bewehrung bei einer Wanddicke von 24 cm stellen sich entsprechend der in Abschnitt 3.1 dargestellten Bemessung in Abhängigkeit der Wandlasten p wie folgt dar :

Tabelle 17 Ökobilanzielle Profile für 1m² bewehrte Kelleraußenwand der Wanddicke 24 cm bei einer Wandlast $p \leq 300\text{kN/m}$ (Variante B24-1) sowie $400\text{kN/m} \leq p \leq 600\text{kN/m}$ (Variante B24-2)

Parameter	Einheit	Variante B24-1	Variante B24-2
Primärenergie nicht erneuerbar	MJ	370	413
Primärenergie erneuerbar	MJ	19,5	23,2
Treibhauspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	59,4	62,4
Ozonabbaupotenzial (ODP)	kg R11-Äq.	1,98*10 ⁻⁶	2,35*10 ⁻⁶
Versauerungspotenzial (AP)	kg SO ₂ -Äq.	0,117	0,123
Eutrophierungspotenzial (NP)	kg PO ₄ -Äq.	0,0163	0,0168
Photooxidantienpotenzial (POCP)	kg C ₂ H ₄ -Äq.	0,0119	0,0127

Der Aufwand an Primärenergie aus nicht erneuerbaren bzw. aus erneuerbaren Ressourcen teilt sich auf die einzelnen Energieträger entsprechend der nachfolgenden Tabellen auf.

Tabelle 18 Anteil der verschiedenen Energieträger am Primärenergieaufwand aus nicht erneuerbaren Ressourcen (bewehrte Kelleraußenwand, Wandbreite 24 cm)

Energieträger	Einheit	Variante B24-1	Variante B24-2
Braunkohle	%	27,4	26,5
Steinkohle	%	18,8	19,4
Erdgas	%	8,2	9,4
Erdöl	%	28,9	26,6
Uran	%	16,7	18,1

Tabelle 19 Anteil der verschiedenen Energieträger am Primärenergieaufwand aus erneuerbaren Ressourcen (bewehrte Kelleraußenwand, Wandbreite 24 cm)

Energieträger	Einheit	Variante B24-1	Variante B24-2
Wasserkraft	%	24,0	26,3
Windkraft	%	17,5	17,9
Sonnenenergie	%	57,6	55,0
Biomasse	%	0,9	0,7

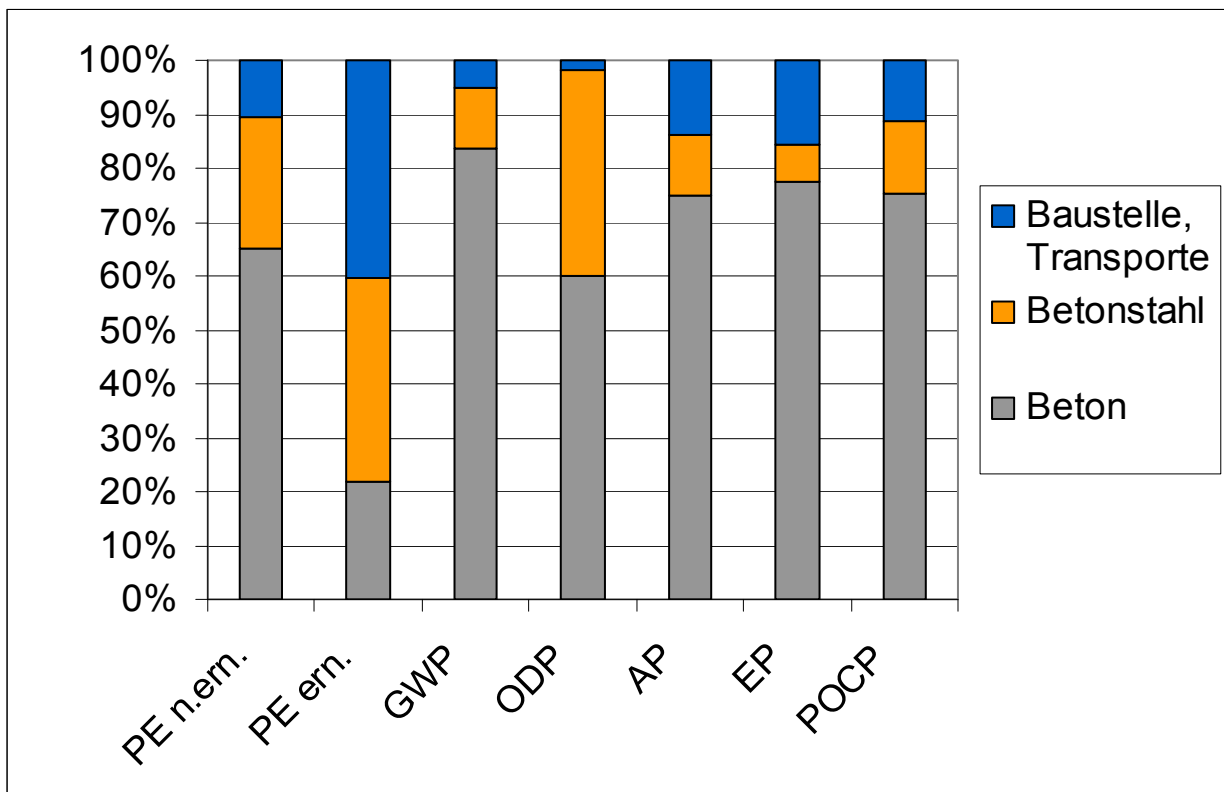


Abbildung 5 Anteil der Baustoffproduktion und der sonstigen Einflüsse (Transporte, Einbau) am ökobilanziellen Profil der Erstellung von 1 m² Kelleraußenwand, dargestellt für die einzelnen Indikatoren für die Variante B-2

Abbildung 5 zeigt beispielhaft den relativen Anteil der Bereitstellung des Transportbetons und der Bewehrung sowie sonstiger Einflüsse (Transporte, Baustellenprozesse).

Entsprechend der Typenstatik für Kellerwände aus unbewehrtem Beton im Wohnungsbau [11] können unter bestimmten Voraussetzungen Kellerwände auch vollständig ohne Bewehrung hergestellt werden. So wird für auf Biegung beanspruchte Wände die Standsicherheit in Anlehnung an Nachweise für Mauerwerkswände durch eine ausreichend große Normalkraft gewährleistet. Zudem werden am Wandkopf und am Wandfuß eine klaffende Fuge von der Hälfte der Wanddicke zugelassen. Nachfolgend sind die ökobilanziellen Profile für Kelleraußenwände aus Transportbeton mit Bewehrung bei der gleichen Wanddicke 24 cm dargestellt sowie bei einer Wanddicke von 18 cm, wie sie im Wettbewerb „Beton als Wandbaustoff“ eingesetzt wurde. Dabei ist aber nach [11] eine Normalkraft von mindestens 100 kN/m bzw. 120 kN/m erforderlich.

Tabelle 20 Ökobilanzielle Profile für die Erstellung von 1 m² unbewehrte Kelleraußenwand der Wanddicke 18 cm (Variante U18) bzw. 24 cm (Variante U24).

Parameter	Einheit	Variante U18	Variante U24
Primärenergie nicht erneuerbar	MJ	240	311
Primärenergie erneuerbar	MJ	13,2	14,5
Treibhauspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	41,9	55,3
Ozonabbaupotenzial (ODP)	kg R11-Äq.	1,12*10 ⁻⁶	1,47*10 ⁻⁶
Versauerungspotenzial (AP)	kg SO ₂ -Äq.	0,082	0,108
Eutrophierungspotenzial (NP)	kg PO ₄ -Äq.	0,0118	0,0155
Photooxidantienpotenzial (POCP)	kg C ₂ H ₄ -Äq.	0,0084	0,0109

Die Aufteilung der Primärenergie aus nicht erneuerbaren Ressourcen auf die einzelnen Energieträger zeigt nachfolgend Tabelle 21, Tabelle 22 zeigt die Aufteilung auf Energieträger für die Primärenergie aus erneuerbaren Ressourcen.

Tabelle 21 Anteil der verschiedenen Energieträger am Primärenergieaufwand aus nicht erneuerbaren Ressourcen (unbewehrte Kelleraußenwand, Wandbreite 18 cm bzw. 24 cm)

Energieträger	Einheit	Variante U18	Variante U24
Braunkohle	%	28,5	29,1
Steinkohle	%	17,8	17,6
Erdgas	%	6,1	6,0
Erdöl	%	33,5	33,0
Uran	%	14,1	14,2

Tabelle 22 Anteil der verschiedenen Energieträger am Primärenergieaufwand aus erneuerbaren Ressourcen (unbewehrte Kelleraußenwand, Wandbreite 18 cm bzw. 24 cm)

Energieträger	Einheit	Variante U18	Variante U24
Wasserkraft	%	16,1	16,4
Windkraft	%	13,6	18,9
Sonnenenergie	%	69,3	63,5
Biomasse	%	1,0	1,2

Der relative Anteil der Bereitstellung des Transportbetons sowie sonstige Einflüsse (Transporte, Baustellenprozesse) zeigt beispielhaft das folgende Diagramm:

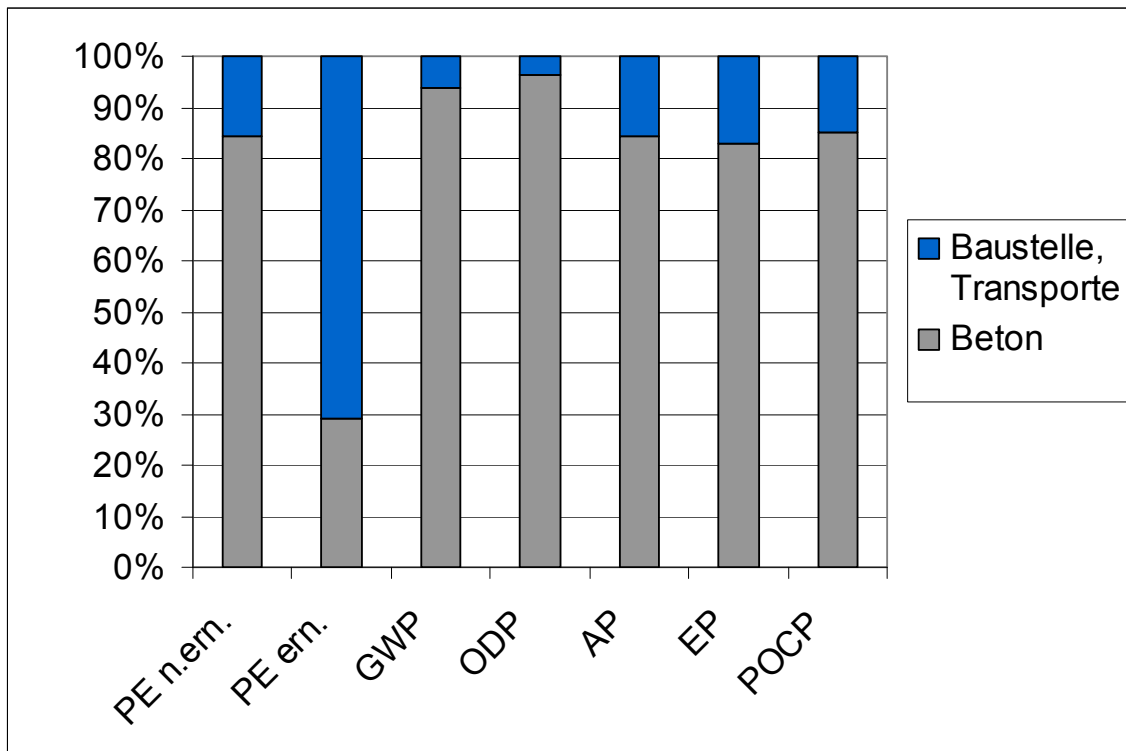


Abbildung 6 Anteil der Baustoffproduktion und der sonstigen Einflüsse (Transporte, Einbau) am ökobilanziellen Profil der Erstellung von 1 m² unbewehrte Kelleraußenwand, dargestellt für die einzelnen Indikatoren für die Variante U18 (Wandbreite 18 cm)

4.4 Ergänzende Analysen

4.4.1 Sensitivitätsanalyse: Variation des Baustoffprofils für die Stahlfaserbewehrung für den Fall der Bodenplatte

Das Baustoffprofil für die Stahlbewehrung wird zu einem großen Maße auch dadurch bestimmt, ob das Roheisen im Wesentlichen aus Eisenerz im Hochofen gewonnen wird oder aus Stahlschrott im Elektrostahlverfahren erschmolzen wird. Ein Teil der Unterschiede zwischen den Bodenplatten aus Stahlfaserbeton zu denjenigen mit konventioneller Bewehrung resultiert auch daher, dass die Stahlfasern entsprechend [7] nur zu durchschnittlich 34% aus dem Elektrostahlverfahren stammen, was dem weltweiten Produktionsmix entspricht, da bei Stahlfasern in der Regel die Herkunft auf Grund des weltweiten Handels nicht auf ein Verfahren festgelegt ist. Für Betonstahl wurde hingegen zu 100% Elektrostahl angesetzt, wie es auch für den aus deutscher Produktion stammenden Betonstahl richtig ist.

Um den Einfluss dieser Annahme auf das Ergebnis zu prüfen, wurde ausgehend von dem für die Analyse der Stahlfaserherstellung angesetzten Ökobilanzergebnis des Elektrostahlverfahrens der Anteil des Elektrostahls in den Stahlfasern von 34% auf 100% heraufgesetzt. Die Unterschiede in den Werten zeigt Tabelle 23:

Tabelle 23 Ökobilanzielle Profile für 1 m² Bodenplatte aus Stahlfaserbeton, Lastfall A/B, ausgehend von einem Anteil von 34 % Elektrostahlanteil in den Stahlfasern (Variante 3, siehe auch Abschnitt 4.1.3) und einem Elektrostahlanteil von 100% in den Stahlfasern (Variante 3-E)

Parameter	Einheit	Variante 3	Variante 3-E
Primärenergie nicht erneuerbar	MJ	458	445
Primärenergie erneuerbar	MJ	15,4	18,0
Treibhauspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	70,3	66,9
Ozonabbaupotenzial (ODP)	kg R11-Äq.	2,01*10 ⁻⁶	2,03*10 ⁻⁶
Versauerungspotenzial (AP)	kg SO ₂ -Äq.	0,156	0,143
Eutrophierungspotenzial (NP)	kg PO ₄ -Äq.	0,0256	0,0200
Photooxidantienpotenzial (POCP)	kg C ₂ H ₄ -Äq.	0,0176	0,0134

Durch diesen Wechsel in den Annahmen zur Stahlfaserherstellung werden die meisten potenziellen Umweltwirkungen geringer, am deutlichsten im Fall des Eutrophierungspotenzials mit einem Rückgang von 22%. Dadurch verringert sich auch der Unterschied zu der Variante 2 (Konventionelle Bewehrung, Tabelle 8), im Falle des Eutrophierungspotenzials und des Photooxidantienpotenzials sogar rund um die Hälfte. Hierin spiegeln sich die insgesamt geringeren Aufwendungen des Elektrostahlverfahrens gegenüber dem Hochofenprozess wider. Die Indikatoren „Primärenergie, erneuerbar“ sowie „Ozonabbaupotenzial“ steigen leicht an, was vermutlich auf den insgesamt leicht erhöhten Stromverbrauch zurückzuführen ist. Zu beachten ist, dass die hierbei für das Elektrostahlverfahren angenommenen Indikatorwerte sich von denen des Elektrostahlverfahrens bei der Betonstahlherstellung unterscheiden, da ein anderer Bilanzierungsraum und ein anderer Bezugszeitraum zugrunde liegen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Indikatorwerte teilweise noch geringer ausfallen würden,

wenn wie im Falle des Betonstahls von 100 % Elektrostahl aus deutscher Produktion des Jahres 2007 ausgegangen würde, während sich die der Stahlfaserherstellung zu Grunde liegenden Daten des Elektrostahlverfahrens auf Europa und auf frühere Jahre beziehen. Allerdings ist selbst bei der Verwendung der ökobilanziellen Analyse des Elektrostahlverfahrens, wie sie dem Baustoffprofil für Betonstahl zu Grunde liegt, nicht davon auszugehen, dass der Unterschied zu den Bodenplatten mit herkömmlicher Bewehrung aufgehoben werden kann, da im Falle der Bodenplatte aus Stahlfaserbeton sowohl auf Grund der höheren Betondruckfestigkeit als auch auf Grund des höheren Stahlgehalts mit größeren potenziellen Umweltwirkungen als bei den Varianten mit konventioneller Bewehrung zu rechnen ist.

4.4.2 Ökobilanz der unbewehrten Wand ausgehend von den Baustoffprofilen für Transportbeton für die Bezugsjahre 1995 [12] und 2006 [1]

Wie in der Sensitivitätsanalyse zur Bodenplatte aus Stahlfaserbeton schon angedeutet wurde, ist auch die Frage von Interesse, wie sich im Laufe der Zeit das ökobilanzielle Profil für ein Bauteil durch die Änderungen in den zugrundeliegenden Baustoffprofilen ändert. Dieser Frage wird nachfolgend für den Fall der unbewehrten Kelleraußenwand nachgegangen, wobei lediglich das Baustoffprofil für Transportbeton variiert wurde, das das ökobilanzielle Profil der Wand maßgebend bestimmt, während die anderen Beiträge (Transporte, Einbau auf der Baustelle) gleich gehalten wurden. Da für das Jahr 1995 kein Baustoffprofil zu Beton der Druckfestigkeitsklasse C25/30 vorlag, wie er bei der in Abschnitt 4.3 untersuchten Wand angesetzt wurde, wird nachfolgend eine unbewehrte Wand aus Beton der Druckfestigkeitsklasse C20/25 für das Jahr 2006 [1] einer Wand aus Beton der Druckfestigkeitsklasse B25 aus dem Jahr 1995 [12] gegenübergestellt, was einer Druckfestigkeitsklasse von C20/25 entspricht. Nach [11] dürfen unbewehrte Wände auch aus Beton dieser Druckfestigkeitsklasse hergestellt werden. Es ist dabei zu erwarten, dass die relativen Unterschiede denjenigen entsprechen, die sich auch im Falle von Betonen, die der Druckfestigkeitsklasse C25/30 nach derzeit gültiger Norm DIN EN 206-1/DIN 1045-2 entsprechen, ergeben würden.

Tabelle 24 Ökobilanzielles Profil für 1 m² unbewehrte Wand (Dicke: 18 cm) aus Beton der Druckfestigkeitsklasse B25 für das Bezugsjahr 1995 im Vergleich zu dem ökobilanziellen Profil der Wand unter Verwendung des Betons der Druckfestigkeitsklasse C20/25 für das Bezugsjahr 2006.

Parameter	Einheit	B 25 (1995)	C20/25 (2006)	Relativer Unterschied
Primärenergie nicht erneuerbar	MJ	284	225	-21 %
Treibhauspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	46,3	38,1	-18 %
Ozonabbaupotenzial (ODP)	kg R11-Äq.	-	1,00*10 ⁻⁶	-
Versauerungspotenzial (AP)	kg SO ₂ -Äq.	0,114	0,077	-32 %
Eutrophierungspotenzial (NP)	kg PO ₄ -Äq.	0,0148	0,0111	-25 %
Photooxidantienpotenzial (POCP)	kg C ₂ H ₄ -Äq.	0,00758	0,00780	+ 3 %

Die Unterschiede zwischen dem ökobilanziellen Profils des Jahres 2006 zu demjenigen des Jahres 1995 auf Grund der Änderungen im Baustoffprofil für Beton resultieren insbesondere aus dem verbesserten Baustoffprofil für Zement auf Grund des geringeren durchschnittlichen Klinkergehalts, des erhöhten Sekundärstoffeinsatzes und der verminderten Emissionen. Auch die veränderten Vorketten (Stromerzeugung) wirken sich günstig aus.

Nachteilig wirken sich die erhöhten Transportentfernungen aus (39 km statt 20 km für die Gesteinskörnung). Darüber hinaus wurde 1995 der für den Straßenbau erforderliche Splittanteil in der durchschnittlichen Rezeptur für Transportbeton nicht berücksichtigt, der vergleichsweise höhere Aufwendungen für die Gewinnung dieser Gesteinskörnung mit sich bringt.

Der POCP-Wert hat sich nicht wie die anderen Parameter verringert, da 1995 Emissionen methodisch noch nicht berücksichtigt wurden, die in der heutigen Berechnung dieses Potentials eine wesentliche Rolle spielen.

Der OPD-Wert wird insbesondere durch Emissionen in den Vorketten der Stromerzeugung beeinflusst. 1995 war dieser Wert auch schon nicht 0 gewesen, sondern der schon damals sehr kleine Wert war nur als Null ausgewiesen worden. Daher ist ein Vergleich mit den Werten von heute nicht möglich.

Es ist zu beachten, dass zusätzlich wegen der Veränderungen in den Transporten zur Baustelle sowie in den Baustellenaktivitäten weitere Unterschiede in den ökobilanziellen Profilen der unbewehrten Wand zu erwarten sind, die jedoch auf Grund des vergleichsweise geringen Beitrags dieser Aufwendungen keinen großen Einfluss auf das Ergebnis haben dürften.

4.4.3 Beitrag des Recyclings am Ende des Lebenszyklus

In den bisher beschriebenen Untersuchungen wurden lediglich die Aufwendungen für die Herstellung der Betonbauteile zu Beginn ihres Lebenszyklus beschrieben. Abbruch und Aufbereitung am Ende des Lebensweges wurden hingegen nicht berücksichtigt. Um einen Eindruck von der Größenordnung dieser Aufwendungen zu vermitteln, werden nachfolgend für das Beispiel der unbewehrten Wand entsprechend [12,13] die mit der Bauschutttaufbereitung verbundenen Umweltwirkungen angesetzt. Im Unterschied zu [12, 13] werden die Transporte des Altbetons zur Aufbereitungsanlage nicht betrachtet. Für die Aufbereitungsanlage selbst werden die in [12] beschriebenen Werte angesetzt, was eine pessimale Abschätzung darstellt, da von einer zwischenzeitlichen Verbesserung der Anlagentechnik gegenüber dem in [12] betrachteten Basisjahr 1996 auszugehen ist. Für die Vorketten wie die Bereitstellung von Strom und Diesel werden hingegen die aktuellen Daten der Datenbank GaBi 4 angesetzt.

Methodisch ist es im Übrigen nicht eindeutig geklärt, ob diese Aufbereitung noch zum Lebenszyklus des Betonbauteils gehört oder schon zum Lebenszyklus der Anwendung, in der das Rezyklat verarbeitet wird.

Tabelle 25 zeigt die so für das Recycling abgeschätzten Ökobilanzindikatoren im Vergleich zu dem ökobilanziellen Profil für die Herstellung der Betonwand.

Tabelle 25 Ökobilanzielles Profil für die Herstellung von 1 m² unbewehrte Wand (Dicke: 18 cm) aus Beton der Druckfestigkeitsklasse C20/25 im Vergleich zu den Ökobilanzindikatoren für das Recycling dieser Wand (Transport, Aufbereitung)

Parameter	Einheit	Herstellung	Recycling
Primärenergie nicht erneuerbar	MJ	240	25
Treibhauspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	41,9	1,7
Ozonabbaupotenzial (ODP)	kg R11-Äq.	1,12*10 ⁻⁶	0,04*10 ⁻⁶
Versauerungspotenzial (AP)	kg SO ₂ -Äq.	0,082	0,016
Eutrophierungspotenzial (NP)	kg PO ₄ -Äq.	0,0118	0,0025
Photooxidantienpotenzial (POCP)	kg C ₂ H ₄ -Äq.	0,0084	0,0017

Die Abschätzung zeigt, dass die Herstellung erwartungsgemäß dominiert und dass aufgrund der Aufbereitung des Betons am Ende der Nutzung zwischen 4 % und rund 20 % der Umweltwirkungen der Herstellung „zusätzlich“ anfallen können, sofern diese Phase noch der Herstellung hinzugerechnet wird. Wenn man zusätzlich typische Transportentfernungen des Altbetons von 15 km entsprechend [13] ansetzt, betragen die Umweltwirkungen des Recyclings (inkl. Transporte) zwischen 4 % (ODP) bzw. 5 % (GWP) und 26% (NP) der Umweltwirkungen in der Herstellung. Die genannten Werte können jedoch lediglich eine Abschätzung darstellen, die aufgrund der älteren Datenbasis eher ungünstig ist. Zudem ist von einer hohen Bandbreite der Ergebnisse bei der Gesamtheit der Aufbereitungsanlagen auszugehen.

5 Quellenangaben

- [1] Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e. V (Hrsg.): Ökobilanzielle Baustoffprofile für Transportbetone der Druckfestigkeitsklassen C20/25, C25/30 und C30/37. Duisburg, 2007
- [2] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): Baustoffdatenbank Ökobau.dat. www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebäuedaten/oekobaudat.html
- [3] PE International (Hrsg.): Methodische Grundlagen. Ökobilanzbasierte Umweltindikatoren im Bauwesen (Entwurf 24.08.2007). Leinfelden-Echterdingen, 2007
- [4] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb (Hrsg.): Abschlussberichte zum Verbundforschungsvorhaben Nachhaltig Bauen mit Beton. Berlin, in Vorbereitung
- [5] Middel, M.: Statische Berechnung – Beispielrechnungen. Mitteilung 26.8.2009
- [6] PE Europe GmbH (Hrsg.): Handbuch GaBi 4. Leinfelden-Echterdingen, 2003
- [7] Mitteilung T. Stengel, Centrum Baustoffe und Materialprüfung – cbm, Technische Universität München - TUM, 4.9.2009 und 8.10.2009
- [8] Mitteilung D. Kiess, NOE Schaltechnik, 26.8.2009 und 31.8.2009
- [9] Deutsche Bauchemie e.V. (Hrsg.): Concrete Release Agents and the Environment, 3rd edition. Frankfurt a. M., 2008
- [10] Mitteilung O. Aßbrock, Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e. V., 29. September 2009
- [11] Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e. V (Hrsg.): Typenstatik Unbewehrte Kellerwände aus Beton im Wohnungsbau nach DIN 1045-1. Duisburg, 2007
- [12] Eyerer, P; Reinhardt, H.-W.: Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden: Wege zu einer ganzheitlichen Betrachtung. Basel: Birkhäuser, 2000
- [13] Raichle, S.: Recycling von Baureststoffen aus der Sicht der Ganzheitlichen Bilanzierung. Diplomarbeit am Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart. Stuttgart, 1998

Forschungsinstitut der Zementindustrie

Abteilung Betontechnik

gez. Dipl.-Ing. Jochen Reiners

gez. Dr. Bruno Hauer

Weitere Informationen z. B. zu Messgeräten, Messverfahren, Messunsicherheiten und sonstigen Verfahrenskenndaten können auf Anfrage mitgeteilt werden. Wir werden, wenn vom Auftraggeber nicht anders gewünscht, die Proben vier Wochen nach Berichterstellung entsorgen.