

Beton- und Stahlbetonbau



Hochfester Betonstahl Top700 als Hebel zur Emissionsreduktion im Schlitzwandbau

Anne Rausch, Paul Steinmetz, Angelika Schießl-Pecka, Hursit Ibuk, Marc Zintel

Hochfester Betonstahl Top700 als Hebel zur Emissionsreduktion im Schlitzwandbau

Die EU hat sich dazu verpflichtet, bis 2050 klimaneutral zu werden, um dem Klimawandel entgegenzuwirken. Somit wird auch in der Baubranche umfassend nach Möglichkeiten gesucht, klimawirksame Emissionen, auch bezeichnet als Global Warming Potential (GWP), zu reduzieren. Die Umsetzungsmöglichkeiten hängen von verschiedenen Faktoren ab, wie dem jeweiligen Bauteil und den vorgesehenen Materialien sowie der Bauweise. In diesem Beitrag wird mithilfe einer Ökobilanzierung am Beispiel einer Schlitzwand zur temporären Baugrubensicherung untersucht, welche Stellschrauben zur Reduzierung des GWP zur Verfügung stehen. Im Vordergrund steht der Einsatz von zwei verschiedenen Stahlsorten: dem üblichen Bewehrungsstahl B500B und dem hochfesten Betonstahl Top700 (B700B) der Steeltec AG mit einer um 40 % höheren Streckgrenze. Ferner werden Reduzierungen der Querschnittsdicke und der Wechsel auf ein klinkerreduziertes Bindemittel bei der Betonherstellung betrachtet. Die Untersuchungen zeigen, dass ergänzend zu den Haupteinflussfaktoren – Betonkubatur und Klinkergehalt – der Einsatz von Top700 anstelle von B500B klimawirksame Emissionen bei der Schlitzwandherstellung weiter reduzieren kann.

Stichworte klimawirksame Emissionen; GWP; Ökobilanzierung; hochfester Betonstahl; Top700; Schlitzwände

High-strength Top700 reinforcing steel as a lever for reducing emissions in diaphragm wall construction

The EU has committed to achieving climate neutrality by 2050 to counteract climate change. As a result, the construction industry is also extensively seeking ways to reduce Global Warming Potentials (GWP). The possibilities to achieve this goal depend on various factors, such as the specific component, the materials used, and the construction method. In this report based on a life cycle analysis of the construction of a diaphragm wall intended for temporary excavation support the possible measures to reduce the GWP are examined. The focus is on the use of two different types of steel: a standard B500B reinforcing steel and the high-strength Top700 (B700B) reinforcing steel from Steeltec AG, which has a 40% higher yield strength. Furthermore, reductions in cross-sectional thickness and a switch to a clinker-reduced binder in concrete production are considered. The study demonstrates that in addition to the main influence factors – concrete volume and clinker content – the use of Top700 instead of B500B can further reduce the GWP during diaphragm wall construction.

Keywords GWP; global warming potential; life cycle assessment; high strength reinforcing steel; Top700; diaphragm walls

1 Einleitung

In der Baupraxis wird in allen Tätigkeitsbereichen, so auch im Spezialtiefbau, die Reduzierung der klimarelevanten Emissionen, auch bezeichnet als Global Warming Potential (GWP), angestrebt. In der vorliegenden Studie soll anhand einer Ökobilanzierung am Beispiel der Herstellung einer Schlitzwand beleuchtet werden, mit welchen Maßnahmen sich das GWP wirksam reduzieren lässt. Im Vordergrund dieser Studie steht der Wechsel von einem üblichen Bewehrungsstahl B500B auf einen hochfesten Bewehrungsstahl, den Top700-Stahl der Steeltec AG. Top700 ist seit 1998 in der Schweiz zugelassen und wird dort weit verbreitet eingesetzt. In Deutschland befindet sich Top700 aktuell im Zulassungsverfahren für eine bauaufsichtliche Zulassung (abZ). Das Ziel ist eine Markteinführung Anfang 2027. Im Vergleich zu Bewehrungsstahl B500B ($f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$) weist der Top700 eine höhere Streckgrenze auf ($f_{yk} \geq 700 \text{ N/mm}^2$), sodass bei relevanten Anwendungen eine nicht unerhebliche Reduzierung der Bewehrungsmenge möglich ist. Außerdem wird Top700 zu 100 % unter Verwendung von

Ökostrom hergestellt und weist daher ein geringeres GWP auf (0,562 kg CO₂eq/kg [1]) als üblicherweise verwendeter Bewehrungsstahl B500B (0,642 kg CO₂eq/kg [2]).

In einer Schlitzwand ist ein Einsatz des Top700 im Bereich der Längsbewehrung sinnvoll möglich. Kombiniert mit der Variation des Bewehrungstyps wird in der vorliegenden Studie die Schlitzwanddicke und damit die Betonkubatur schrittweise verringert. Ergänzend werden bei der Modellierung des Schlitzwandbetons zwei Zemente mit unterschiedlichem Klinkergehalt betrachtet. Für die Erstellung der Studie wurden Daten und Erfahrungswerte der Steeltec AG sowie der BAUER Spezialtiefbau GmbH bereitgestellt.

2 Grundlagen der Ökobilanzierung

Eine Ökobilanz beschreibt die Umweltauswirkungen eines Produkts oder Prozesses über einen definierten Lebensweg. Sie ist in DIN EN ISO 14040:2021-02 (Deutsche Fassung der EN ISO 14040:2006 + A1:2020) und

DIN EN ISO 14044:2021-02 (Deutsche Fassung der EN ISO 14040:2006 + A1:2018 + A2:2020) geregelt. Für die Bilanzierung sind folgende Schritte erforderlich:

- Definition der Ziele und des Untersuchungsrahmens.
- Sachbilanz: Erfassung aller Input- und Outputströme von Roh- und Betriebsstoffen, Energie, Produkten, Abfällen, Emissionen, Einleitungen in Wasser und Bodenverunreinigungen.
- Wirkungsabschätzung: Ermittlung der Umweltauswirkungen dieser Stoffströme und Zuordnung zu verschiedenen Wirkungskategorien, z. B. Globales Erwärmungspotenzial (GWP), Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP = Acidification Potential), Verwendung nicht-erneuerbarer Primärenergieressourcen (PENRT = Primary Energy Non-Renewable, Total use), u.v.m.
- Bewertung: Bewertung der Wirkungsabschätzung im Hinblick auf die definierten Ziele.

Für das bilanzierte Produkt werden die Phasen des Lebenszyklus getrennt nach den folgenden Stadien (Lebensphasen) bzw. Modulen betrachtet:

- Produktionsstadium (Module: A1 – Rohstoffversorgung, A2 – Transport, A3 – Herstellung),
- Stadium der Errichtung des Bauwerks (Module: A4 – Transport vom Hersteller zum Verwendungsort, A5 – Montage),
- Nutzungsstadium (Module: B1 – Nutzung/Anwendung, B2 – Instandhaltung etc.),
- Entsorgungsstadium (Module: C1 – Rückbau/Abriss, C2 – Transport, C3 – Abfallbehandlung, C4 – Beseitigung),
- Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenzen (Modul: D – Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial).

Bei der Definition der Systemgrenzen wird projektspezifisch festgelegt, welche Module betrachtet werden. Die Betrachtung und Bewertung erfolgt zur besseren Vergleichbarkeit immer bezogen auf eine projektspezifisch vordefinierte funktionelle Einheit.

Die maßgebende Wirkungskategorie bei der Bewertung von Bauwerken durch Zertifizierungsstellen, wie z. B. DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.) oder LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) etc., ist stets das Global Warming Potential (GWP). Dieses quantifiziert den Emissionsbeitrag von Treibhausgasen wie Kohlenstoffdioxid oder Methan zum Treibhauseffekt und wird in der Einheit CO₂-Äquivalente in Bezug auf eine funktionelle Einheit ausgewiesen (z. B. kg CO₂eq/m²).

In der Ökobilanzierung werden Materialmassen- und Energieströme innerhalb der festgelegten Systemgrenzen bilanziert. Die Prozesse, die zur Verarbeitung der Materialmassen erforderlich sind, werden modelliert. Jeder Prozess (Materialmassenströme und zugehörige Energieströme) muss mit Datensätzen zu den einzelnen Stoffströmen und der zugehörigen Wirkungsabschätzung hinter-

legt werden. Diese Datensätze werden aus verschiedenen Quellen entnommen, wie z. B. Umweltproduktdeklarationen (EPD), Datensätze der ÖKOBAUDAT [3] und der ecoinvent [4]. Daten für die Berücksichtigung des Verschleißes von Baumaschinen können über den EFC Carbon Calculator gewonnen werden [5].

3 Untersuchungsrahmen

In der Studie werden Schlitzwände als temporäre Sicherungsmaßnahme von Baugruben unter Berücksichtigung der Randbedingungen eines Münchner Baugrunds betrachtet. Der insgesamt 1000 m lange Verbau einer 12 m tiefen Baugrube ist mit einer Ankerlage rückverankert und wird im Greifer-Verfahren hergestellt. Grundwasser steht 3 m unter der Geländeoberkante an. Die Verbauwände sind 23 m tief, 17 m davon sind bewehrt (Bild 1).

Die Schlitzwandherstellung gliedert sich in verschiedene Teilprozesse:

- Herstellung Leitwand (LW),
- Herstellung Schlitzwand (SW),
- Herstellung Anker,
- Baustelleneinrichtung über alle Teilprozesse hinweg.

Auf Basis umfangreicher statischer Berechnungen sowie der gängigen Praxis bei der Herstellung von Schlitzwänden wurden verschiedene Varianten für die Betrachtungen festgelegt. Variiert werden

- der Stahltyp der Längsbewehrung von B500B zu Top700,
- die Schlitzwanddicke in den Schritten 60 cm, 80 cm und 100 cm (in der Folge variieren die Betonkubatur und der erforderliche Bewehrungsgehalt) und
- der Zementtyp von einem CEM II/A-LL zu einem klinkerärmeren CEM III/A.

Die wesentlichen Eckdaten der Varianten unter Berücksichtigung der verschiedenen Teilprozesse zeigt Tab. 1. Die Schlitzwand wird nach Ende der Baumaßnahme nicht rückgebaut, sondern verbleibt im Boden. Die vorliegende Betrachtung beschränkt sich somit auf die Gewinnung bzw. Produktion der Ausgangsstoffe, deren Transport, ggf. deren gemeinsame Weiterverarbeitung sowie die Errichtung der Schlitzwand auf der Baustelle einschließlich aller erforderlichen Zwischenschritte (cradle-to-gate). Dies entspricht den Modulen A1–A5 des Schlitzwand-Lebenszyklus. In einigen Teilprozessen werden Phasen der Entsorgung berücksichtigt, bspw. bei der Leitwand, der Stützsuspension sowie dem Aushub der Schlitzwand. Der Aushub der Baugrube selbst wird nicht bilanziert.

4 Durchführung der Ökobilanzierung

4.1 Sachbilanz

Als funktionelle Einheit wird 1 m² Schlitzwand festgelegt. Die variantenspezifischen Mengen an Baustoffen

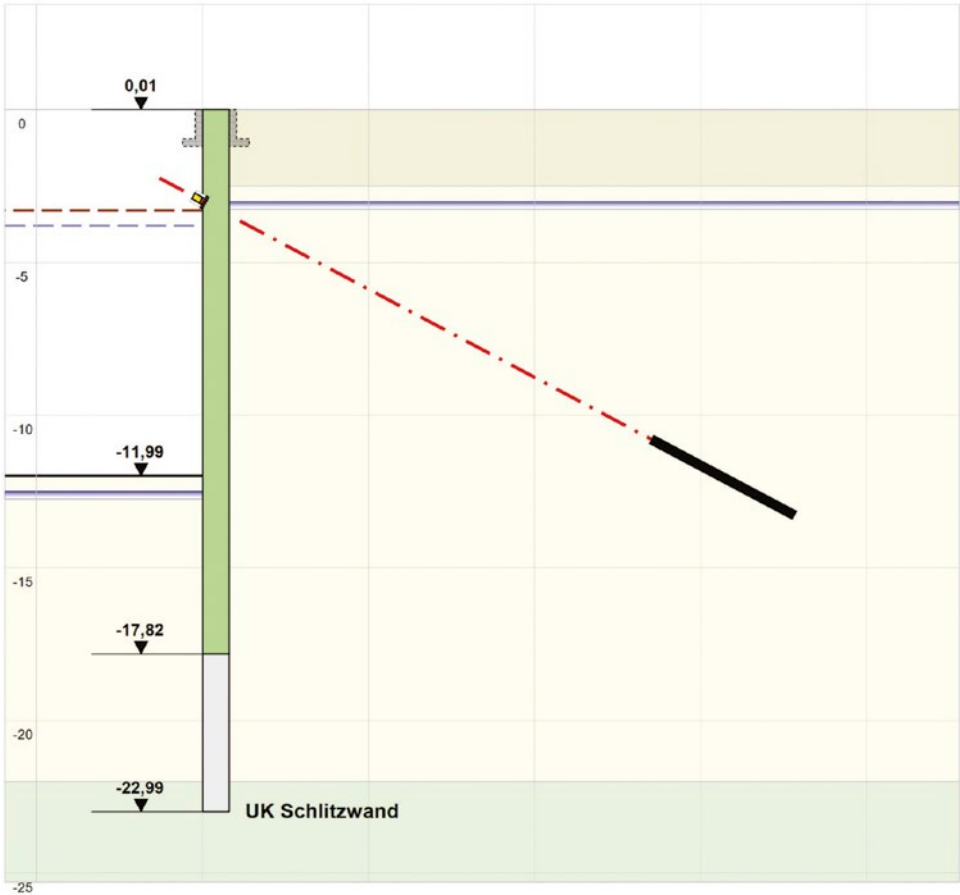


Bild 1 Darstellung Baugrubensituation – Ortbetonschlitzwand mit einer Ankerlage (Quelle: BAUER Spezialtiefbau GmbH)
Sketch of the excavation pit situation – concrete diaphragm wall with one anchor layer

und Betriebsmitteln sowie die Betriebsstoffverbräuche wurden in Anlehnung an praxisübliche Werte bei der Schlitzwandherstellung gewählt. In Tab.2 sind die in Bezug genommenen Datensätze angegeben. Die Modulbezeichnungen werden dabei bezogen auf die Teilprozesse angegeben, um kenntlich zu machen, für wel-

che Teilprozesse z.B. die Entsorgung berücksichtigt wurde.

Das InformationsZentrum Beton (IZB) hat für Betone aller gängigen Druckfestigkeitsklassen durchschnittliche EPDs veröffentlicht. Bei Schlitzwandbetonen ist jedoch

Tab. 1 Betrachtete Schlitzwandvarianten und Berechnungsannahmen für 1000 lfm Schlitzwand
Considered Diaphragm Wall Variants Considered and Assumptions for 1000 m of Diaphragm Wall

Variantenbezeichnung	B500-60	Top700-60	B500-80	Top700-80	B500-100	Top700-100
Volumen Leitwand [m³]				3910		
Beton Druckfestigkeitsklasse Leitwand				C25/30		
Stahltyp Leitwand				B500B		
Erforderliche Bewehrung Leitwand [t]				69		
Schlitzwanddicke [cm]	60	60	80	80	100	100
Fläche Schlitzwand [m²]				23.000		
Volumen Schlitzwand [m³/1000 lfm]	13.800	13.800	18.400	18.400	23.000	23.000
Beton Druckfestigkeitsklasse Schlitzwand				C25/30		
Stahltyp Längsbewehrung	B500B	Top700	B500B	Top700	B500B	Top700
Stahltyp Bügelbewehrung				B500B		
Erforderliche Längsbewehrung [t/1000 lfm]	1683	1172	1006	774	725	600
Erforderliche Bügelbewehrung [t/1000 lfm]	460	350	497	336	438	384
Bewehrungsgrad [%]	5,08	3,54	2,28	1,75	1,31	1,09
Anzahl Ankerlagen				1		
Ankertyp				Injektionsanker 6-Litzen (6 x 0,6“)		

Tab. 2 Datensätze und betrachtete Lebenszyklusphasen der Teilprozesse der Schlitzwandherstellung
Datasets and Life Cycle Phases considered for the Diaphragm Wall Construction Phases

Teilprozesse	Lebensphasen und Module der Teilprozesse									
	Produktion			Errichtung		Nutzung	Entsorgung			
	A1	A2	A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4
Beton LW		[6]		[7]	[6]	–	–	[7]	[8]	–
Stahl B500B LW		[2]		[7]	¹⁾	–	–	[7]	[9]	–
Beton SW	[10]	[6, 10, 11]		[7]	Siehe	²⁾		²⁾		
Stahl B500B SW		[2]		[7]	Montage SW	²⁾		²⁾		
Stahl Top700 SW		[1]		[7]		²⁾		²⁾		
Aushub		–		–		²⁾		[7]	[12]	
Montage SW	siehe Ausgangsstoffe				[13, 5]	²⁾		²⁾		
Bentonit trocken	[14]	–	[15]	[7]		siehe Bentonitsuspension				
Bentonitsuspension	siehe Bentonit trocken				[16, 5]		–	[7]	–	[13]
Anker		[17, 2]		[7]	[14, 17, 5]	²⁾		²⁾		
BE		²⁾				[18]		²⁾		

¹⁾Wird aufgrund untergeordneter Größenordnung vernachlässigt²⁾liegt außerhalb der Systemgrenzen

der Bindemittelgehalt im Vergleich zu einem Standardbeton derselben Druckfestigkeitsklasse verfahrensbedingt höher. Daher kann der Datensatz einer durchschnittlichen EPD des IZB für den hier betrachteten Schlitzwandbeton der Druckfestigkeitsklasse C25/30 nicht ohne Weiteres zugrunde gelegt werden. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde das folgende Vorgehen gewählt:

- Ermittlung des GWP des Bindemittels des Schlitzwandbetons ($340 \text{ kg/m}^3 \text{ CEM II/A-LL} + 60 \text{ kg/m}^3 \text{ Flugasche}$) [$\text{kg CO}_2\text{eq/m}^3 \text{ Beton}$] über die Datensätze [10] und [11].
- Bestimmung des Verhältnisswerts GWP Bindemittel / GWP Beton anhand der vorliegenden durchschnittlichen EPDs des IZB. Der Verhältnisswert GWP Bindemittel / GWP Beton liegt über alle Druckfestigkeitsklassen hinweg etwa bei 0,86.
- Bestimmung des GWP des Schlitzwandbetons durch die Berechnung $\text{GWP Beton} = \text{GWP Bindemittel} / \text{Verhältnisswert} (0,86)$.

Transportprozesse in den Modulen A4 und C2 wurden jeweils mit dem Datensatz [7] in Verbindung mit folgenden Transportstrecken verrechnet:

- Stahltransport auf die Baustelle unabhängig vom Stahltyp: 100 km (eine Sensitivitätsanalyse für davon abweichende Transportdistanzen bei Top700 wurde im Nachgang durchgeführt, s. u.),
- Betontransport auf die Baustelle: 18 km,
- Bentonittransport auf die Baustelle (pulverförmiger Ausgangsstoff für eine Suspension mit 5 % Feststoffgehalt): 60 km,
- Transport für Rückbau und Aufbereitung Abbruch Stahlbeton LW: 60 km,
- Transport des Aushubs (Rohdichte des Sand/Kies-Gemischs $\rho = 1,94 \text{ t/m}^3$) und der Bentonitsuspension (Rohdichte $\rho = 1,25 \text{ t/m}^3$) zur Deponierung: 20 km.

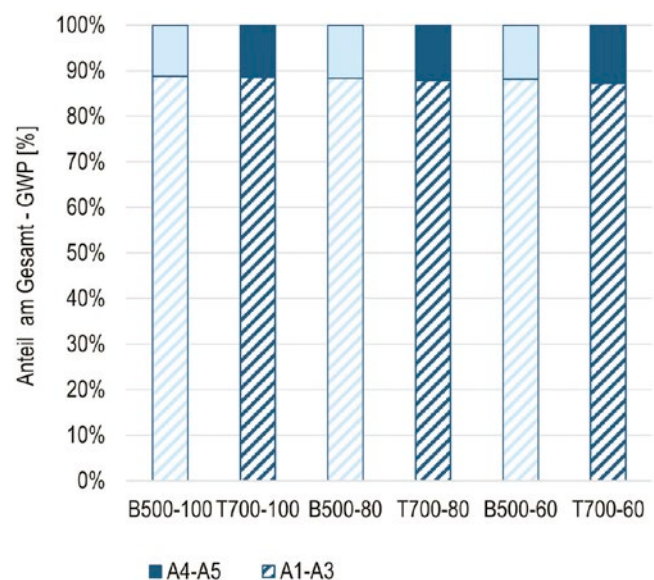


Bild 2 Anteil der Lebensphasen der Schlitzwand „Produktion“ A1–A3 und „Errichtung“ A4–A5 am Gesamt-GWP (A1–A5) (Quelle: Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH)
Share of the life cycle phases “production” A1–A3 and “construction” A4–A5 in the Total GWP (A1–A5)

4.2 Wirkungsabschätzung und Interpretation

4.2.1 GWP der Produktionsphase und der Errichtungsphase der Schlitzwand

In Bild 2 sind die sich aus der Ökobilanzierung ergebenden prozentualen Anteile der Produktionsphase der Schlitzwand A1–A3 (Produktion der Ausgangsstoffe Beton, Stahl, Bentonit etc.) der Errichtungsphase der Schlitzwand A4–A5 (Transport der Ausgangsstoffe auf die Baustelle, Herstellung der Schlitzwand einschließlich Nutzung und Entsorgung der Hilfsstoffe sowie des Verbrauchs von Betriebsstoffen) gegenübergestellt. Die Dicke der Schlitzwand nimmt von links nach rechts ab, die Varianten mit B500B und Top700 gleicher Schlitz-

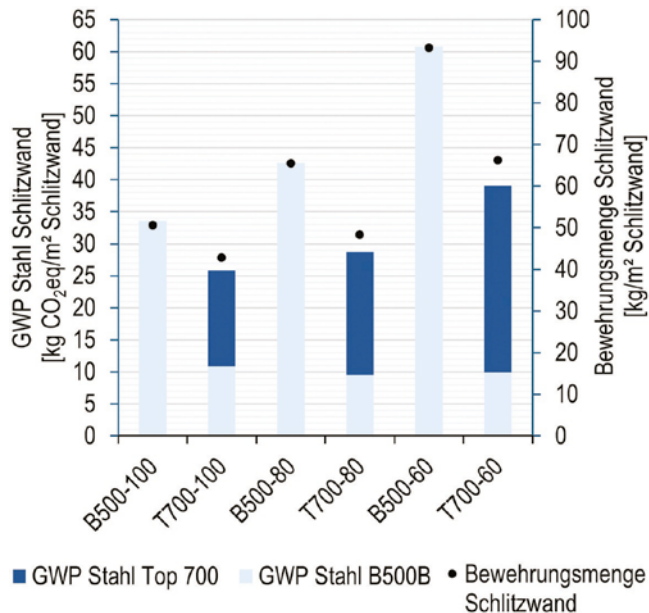


Bild 3 GWP aus Stahl vs Bewehrungsmenge der Schlitzwände in Abhängigkeit von den Varianten (Quelle: Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH)
Comparison of GWP from steel to steel content in diaphragm wall variants

wanddicke sind jeweils nebeneinander dargestellt. Die Produktion der Ausgangsstoffe (A1–A3) bewirkt unabhängig von allen betrachteten Varianten den Großteil der Gesamtemissionen (rd. 87–89 %). Die Emissionen aus der Errichtungsphase der Schlitzwand einschließlich des Gerätebetriebs bei der Montage (A4–A5) sind mit rd. 11–13 % deutlich geringer.

4.2.2 Einfluss des Stahltyps auf die Bewehrungsmenge und das Stahl-GWP

Zunächst wird der Einfluss einer Verwendung verschiedener Bewehrungstypen (B500B, Top700) auf das reine Stahl-GWP bzw. auf die Bewehrungsmenge der Schlitzwandvarianten untersucht (Bild 3). Die Dicke der Schlitzwand nimmt von links nach rechts ab, die Varianten mit B500B und Top700 gleicher Schlitzwanddicke sind jeweils nebeneinander dargestellt. Bei den B500-Varianten werden Bügel und Längsbewehrung aus B500B eingebaut. Bei den Top700-Varianten werden Bügel aus B500B, Längsbewehrung jedoch aus Top700 verwendet. Bewehrung von Leitwänden und der Stahl der Anker werden in dieser Darstellung nicht berücksichtigt. Bild 3 zeigt, dass mit abnehmender Schlitzwanddicke (100 mm, 80 mm und 60 mm) das Stahl-GWP ansteigt aufgrund der erforderlichen Mehrmenge an Stahl. Durch den Wechsel auf Top700 kann infolge der höheren Streckgrenze des Stahls die Bewehrungsmenge der Schlitzwand um rd. 15 bis rd. 29 % reduziert werden. Aufgrund der Verwendung von Ökostrom bei der Produktion des Top700 ist das GWP pro Tonne Stahl geringer als bei B500B. Deshalb ist die Reduktion des Stahl-GWP bei einem Wechsel von B500B auf Top700 (Säulen) im Vergleich zur Reduktion der Bewehrungsmenge (Punkte) noch ausgeprägter.

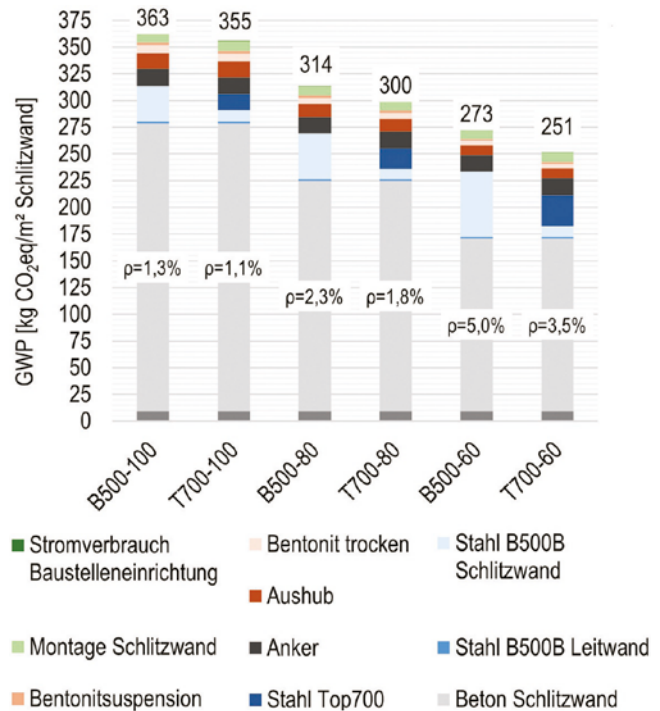


Bild 4 Wirkungsabschätzung A1–A5 der verschiedenen Schlitzwandvarianten (Quelle: Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH)
Impact Assessment A1–A5 of the different diaphragm wall variants

4.2.3 Maßgebende Einflussfaktoren auf das Schlitzwand-GWP

In einem weiteren Schritt wird untersucht, welche Teilprozesse bei der Schlitzwandherstellung den maßgebenden Einfluss auf die Gesamtemissionen aufweisen und wie sich die zuvor festgestellten Einsparungen durch den Stahlwechsel in Relation zu den Gesamtemissionen auswirken. In Bild 4 ist das GWP [kg CO₂eq/m² Schlitzwand] der betrachteten Varianten summiert über alle Teilprozesse gegenübergestellt. Die Teilprozesse sind mit ihren Anteilen kenntlich gemacht. Die Dicke der Schlitzwand nimmt von links nach rechts ab, die Varianten mit B500B und Top700 gleicher Schlitzwanddicke sind jeweils nebeneinander dargestellt. Ergänzend wird der Bewehrungsgrad ρ [%] angegeben.

Die Summe des GWP über alle betrachteten Prozesse liegt variantenspezifisch zwischen rd. 363 und 251 kg CO₂eq/m² Schlitzwand und nimmt deutlich mit einer Reduzierung der Schlitzwanddicke und leicht mit Einsatz von Top700 (bei gleicher Schlitzwanddicke) ab. Die Bereitstellung von Beton und mit deutlichem Abstand folgend – Stahl hat den größten Einfluss auf das Gesamt-GWP der Schlitzwandherstellung. Daher nimmt das GWP deutlich mit Reduzierung der Schlitzwanddicke und damit reduzierter Betonkubatur ab. Der mit abnehmender Schlitzwanddicke zunehmende Bewehrungsgrad führt zwar zu höheren Emissionen aus der Stahlbereitstellung (vgl. Bild 3), wird jedoch durch die deutlich geringeren Betonemissionen kompensiert.

Durch Reduzierung der Schlitzwanddicke bei Verwendung von B500B sind folgende Einsparungen im GWP festzustellen:

Tab. 3 GWP-Einsparung bei der Schlitzwandherstellung durch verschiedene Maßnahmen
GWP savings in diaphragm wall construction through various measures

Variante	B500-100	B500-80	B500-60	T700-100	T700-80	T700-60
Einheit	GWP [kg CO ₂ eq/m ² Schlitzwand]					
Schlitzwand mit Zement CEM II/A-LL	363	314	273	355	300	251
Schlitzwand mit Zement CEM III/A	295	259	232	287	245	210
Einsparungen durch:	Differenz GWP [kg CO ₂ eq/m ² Schlitzwand]					
Zementwechsel auf CEM III/A	-69	-55	-41	-69	-55	-41
Reduzierung der Schlitzwanddicke um 20 cm (CEM II/A-LL)	-49	-41	-	-56	-48	-
Reduzierung der Schlitzwanddicke um 20 cm (CEM III/A)	-36	-27	-	-42	-35	-
Stahlwechsel auf Top700 (CEM II/A-LL) bzw. (CEM III/A)	-8	-14	-22	-	-	-

- Schlitzwanddicke 100 cm → 80 cm: -49 kg CO₂eq/m² (-14 % bzgl. GWP_{B500-100}),
- Schlitzwanddicke 80 cm → 60 cm: -41 kg CO₂eq/m² (-13 % bzgl. GWP_{B500-80}),
- Schlitzwanddicke 100 cm → 60 cm: -90 kg CO₂eq/m² (-25 % bzgl. GWP_{B500-100}).

Ein Einsatz von Top700 führt ebenfalls zu einer Abnahme des GWP bei gleicher Schlitzwanddicke. Die durch den Einsatz von Top700 möglichen Einsparungen steigen mit abnehmender Schlitzwanddicke und somit zunehmendem erforderlichem Bewehrungsgehalt an.

Durch Einsatz von Top700 sind in Abhängigkeit von der Schlitzwanddicke folgende Einsparungen im GWP möglich:

- Schlitzwanddicke 100 cm, B500B → Top700: -8 kg CO₂eq /m² (-2 % bzgl. GWP_{B500-100}),
- Schlitzwanddicke 80 cm, B500B → Top700: -14 kg CO₂eq /m² (-4 % bzgl. GWP_{B500-80}),
- Schlitzwanddicke 60 cm, B500B → Top700: -22 kg CO₂eq /m² (-8 % bzgl. GWP_{B500-60}).

Nach den Berechnungen hat der Beton den signifikantesten Anteil am Gesamt-GWP zu verantworten (Bild 4). In der zuvor beschriebenen Analyse wurde eine in der Baupraxis für die Schlitzwandherstellung derzeit übliche Betonrezeptur mit einem Zement CEM II/A-LL 42,5 R betrachtet. Dieser Zement weist einen hohen Portlandzementklinkeranteil und damit auch ein verhältnismäßig hohes GWP auf. Wenn eine Reduzierung des GWP von Beton z. B. vom Bauherrn gefordert wird, wird aktuell in der Baupraxis häufig ein klinkerreduziertes Bindemittel eingesetzt, wie z. B. ein CEM III/A. Nachfolgend wird untersucht, wie sich ein solcher Bindemittelwechsel im Vergleich zur Reduzierung der Schlitzwanddicke oder des Wechsels von B500B auf Top700-Stahl auf das GWP einer Schlitzwand auswirkt.

Das GWP der beiden betrachteten Zementtypen beträgt entsprechend den zugrunde gelegten EPD:

- CEM II/A-LL 42,5 R: 0,591 kg CO₂eq/kg Zement [10]

- CEM III/A: 0,433 kg CO₂eq/kg Zement [19]

In Tab. 3 sind in Abhängigkeit von der Schlitzwanddicke die rechnerischen Einsparungen dargestellt durch

- eine Variation des Zementtyps von CEM II/A-LL zu CEM III/A,
- eine Reduzierung der Schlitzwanddicke um jeweils 20 cm,
- eine Variation des Stahltyps von B500B zu Top700.

In Bild 5 sind diese Einsparungen mit Bezug auf die Varianten mit B500B und CEM II/A-LL grafisch veranschaulicht. Der größte positive Einfluss auf das GWP kann unabhängig von der Schlitzwanddicke durch einen Wechsel des Zementtyps erzielt werden. Im hier gewählten Beispiel sind Einsparungen von maximal -69 kg CO₂eq/m² bei der 100er Schlitzwand bis minimal -41 kg CO₂eq/m² bei der 60er Schlitzwand möglich.

Der zweitwichtigste Einflussfaktor ist die Reduzierung der Schlitzwanddicke mit theoretisch möglichen Einsparungen von -49 kg CO₂eq/m² (100er → 80er Schlitzwand) bis -41 kg CO₂eq/m² (80er → 60er Schlitzwand) für die Varianten mit B500B und CEM II/A-LL. Für die Varianten mit CEM III/A fallen die Einsparmöglichkeiten hier etwas geringer aus, für die Varianten mit Top700 etwas größer. Der Einfluss des Wechsels des Stahltyps von B500B auf Top700 auf das GWP ist geringer, aber bei dünneren Schlitzwänden dennoch nicht unerheblich mit -8 kg CO₂eq/m² (100er Schlitzwand) bis -22 kg CO₂eq/m² (60er Schlitzwand).

In Bezug auf die Variante B500-100 kann durch die in Verbindung mit Top700 ausgeführte Reduzierung der Schlitzwandbreite auf 60 cm mehr GWP eingespart werden (363 kg CO₂eq/m²–251 kg CO₂eq/m² = 112 kg CO₂eq/m² bzw. 31 %) als durch den aktuell in der Baupraxis üblichen Wechsel des Bindemittels von CEM II/A-LL auf CEM III/A bei sonst gleichbleibenden Bauteilparametern (363 kg CO₂eq/m²–295 kg CO₂eq/m² = 68 kg CO₂eq/m² bzw. 19 %) (Tab. 3). Die Zusammenfassung der vorherigen Betrachtungen zeigt, dass eine Kombination

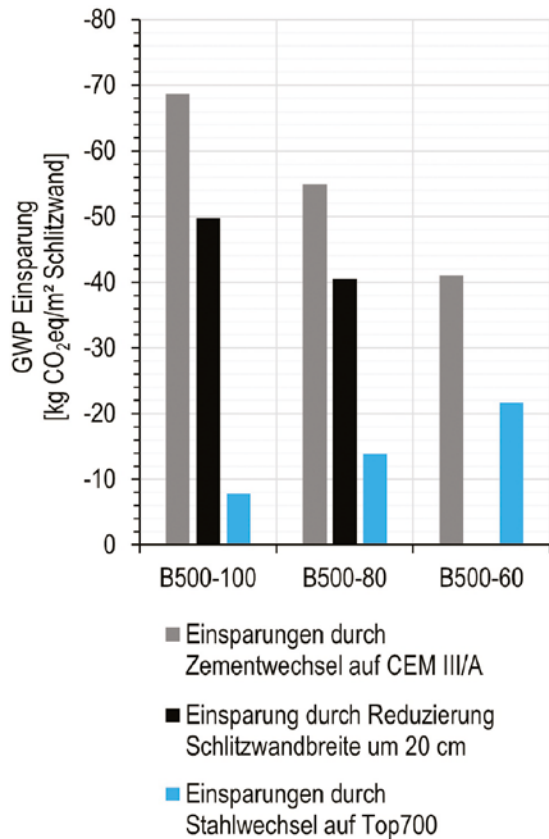


Bild 5 GWP-Einsparung bei der Schlitzwandherstellung durch verschiedene Maßnahmen, bezogen auf Varianten mit CEM II/A-LL (Quelle: Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH)
GWP savings in diaphragm wall construction through various measures related to variants using CEM II/A-LL

aller Maßnahmen (Reduzierung von Schlitzwanddicke und Klinkergehalt, Wechsel des Stahltyps auf Top700) zu den maximalen Einsparungen von $363 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^2 - 210 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^2 = 153 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^2$ bzw. 42 % (vgl. Tab. 3) führt.

4.2.4 Einfluss der Transportdistanz des Top700 auf das Schlitzwand-GWP

Stahl B500B ist in Deutschland i. d. R. flächendeckend verfügbar. Top700 wird jedoch in der Schweiz hergestellt und muss daher ggf. über größere Distanzen angeliefert werden. Die Lage der Baustelle wurde in den vorhergehenden Betrachtungen hinsichtlich der Anlieferungswege des Baustahls ortsunabhängig gewählt. Das heißt, für die Stahlanlieferung wurde eine Transportdistanz von 100 km sowohl für den B500B als auch für den Top700 gewählt. In einer Sensitivitätsanalyse werden nun für den Top700 fiktive Transportdistanzen von 0 km bis 1000 km betrachtet. Alle weiteren Datensätze einschließlich der Transportdistanz des B500B werden gleich belassen.

Das Gesamt-GWP der Schlitzwandherstellung ist in Abhängigkeit von der Transportdistanz in Bild 6 dargestellt. Die Darstellung zeigt, dass der Einfluss der Transportstrecke auf die Gesamtemissionen bei der Schlitzwandherstellung gering ist. Sehr lange Transportstrecken von 1000 km bei Anlieferung des Top700 auf die

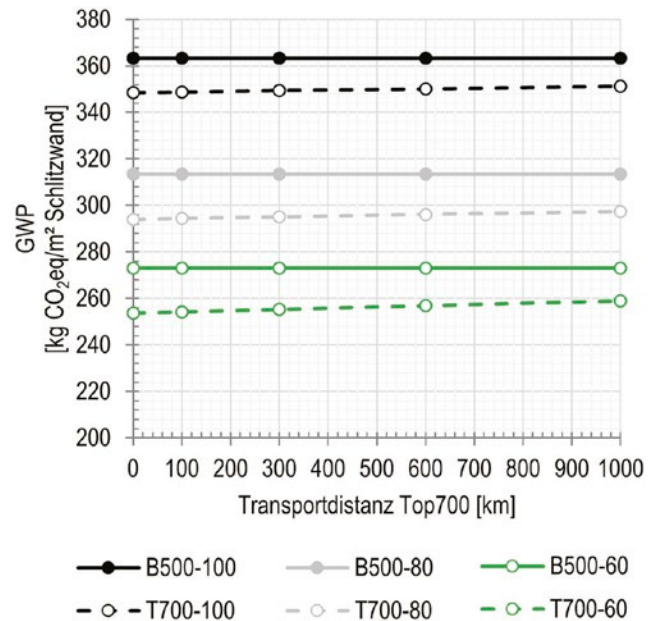


Bild 6 GWP der Schlitzwandvarianten für verschiedene Transportdistanzen des Top700 (Quelle: Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH)
GWP of the diaphragm wall variants for different transport distances of Top700

Baustelle bewirken im Verhältnis zum gesamten GWP mit Transportstrecke 100 km einen sehr kleinen zusätzlichen Beitrag von maximal rd. $3 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^2$ (1 %) bis rd. $5 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^2$ (2 %). Dies ist bedingt durch den im Vergleich zur Betonkubatur geringen Einfluss des Stahleinsatzes auf das Gesamt-GWP (Bild 4). Bei Stahlbetonbauteilen mit höherem Bewehrungsgrad kann der Einfluss der Transportentfernung an Bedeutung gewinnen.

5 Baupraktische Vorteile bei Verwendung von Top700

Durch einen Einsatz von Top700 ergeben sich neben der Reduzierung des GWP weitere baupraktische Vorteile:

Der Beton wird mittig in den Bewehrungskorb eingebracht und muss u. a. horizontal zwischen den Beweh-

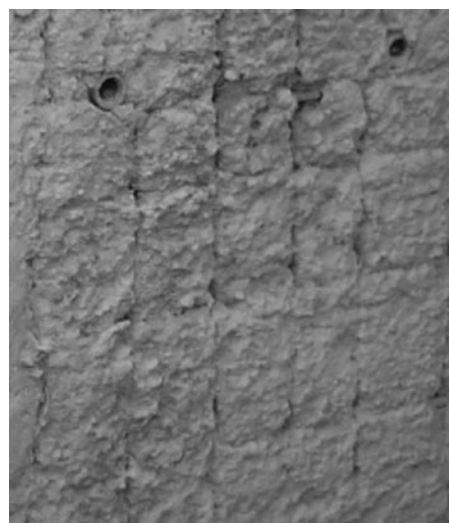


Bild 7 Betonierfehlstellen an der Bewehrung im Bereich der Betondeckung einer Schlitzwand [20] (Quelle: EFFC & DFI)
Mattressing in a diaphragm wall panel [20]

rungsstäben des Bewehrungskorbs hindurch in die Betondeckung fließen. Hohe Bewehrungsgehalte können diesen Fließvorgang (insb. bei geringen Schlitzwanddicken) deutlich erschweren. Die Folge können Verbundstörungen zwischen Beton und Bewehrung im Bereich der Betondeckung sein (Bild 7)

Neben dem Bewehrungsgehalt wirken sich auch die Fließfähigkeit, Stabilität und Zusammensetzung des Frischbetons, die Anordnung der Bewehrung, die Dicke der Betondeckung sowie die hydrostatische Druckhöhe entscheidend darauf aus, ob der Beton die Bewehrung einwandfrei umströmt und sich fehlerstellenfrei im Bauteil verteilt. Top700 erlaubt i. d. R. eine Reduzierung des Bewehrungsgehalts im Vergleich zu B500B und schafft mehr Möglichkeiten bei der statischen Auslegung des Bewehrungskorbs. Der Betonfluss kann daher bei Einsatz von Top700 ggf. zusätzlich verbessert werden durch die Vergrößerung der lichten Weite zwischen den Bewehrungsstäben und/oder den Verzicht auf Stabbündel oder eine zweite Bewehrungslage.

Die vorgefertigt angelieferten Bewehrungskorbabschnitte mit Top700 sind aufgrund des reduzierten Bewehrungsgehalts leichter und enthalten i. d. R. weniger Einzelstäbe. Dadurch lässt sich die Montage vereinfachen und potenziell beschleunigen.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurde mittels Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040/44:2021-02 bewertet, inwiefern Variationen der Bauteilausführung bei statischer Gleichwertigkeit die Klimabilanz der Schlitzwandherstellung beeinflussen können. Variiert wurden

der Stahltyp der Längsbewehrung (B500B bzw. Top700 der Steeltec AG), die Schlitzwanddicke (100 cm, 80 cm, 60 cm) sowie der verwendete Zement der Betonrezeptur (CEM II/A-LL bzw. CEM III/A). In der durchgeführten Parameterstudie wurde eine Schlitzwand als temporäre Baugrubensicherung mit einer Ankerlage untersucht. Bewertet wurde jeweils der Lebenszyklus „from-Cradle-to-Gate“ – von der Gewinnung der Ausgangsstoffe bis zur Errichtung der jeweiligen Schlitzwandvariante unter den hier definierten Baustellenrandbedingungen. Folgende Erkenntnisse wurden gewonnen:

- Bei der Schlitzwandherstellung hat der Ausgangsstoff Beton den größten Einfluss auf das GWP. Die Wahl klinkereffizienter Bindemittel oder die Reduzierung der Betonkubatur durch verringerte Schlitzwanddicken führt damit zu den größten GWP-Einsparungen.
- Der Bewehrungstyp hat ebenfalls einen Einfluss auf das GWP – mit einem Wechsel von B500B auf einen Top700 kann das GWP weiter verringert werden.
- Die geringsten klimarelevanten Emissionen können durch die Kombination mehrerer Maßnahmen erzielt werden (Reduzierung der Schlitzwandbreite, Verwendung klinkerreduzierter Bindemittel, Einsatz von Top700).
- Durch die Reduzierung der Bewehrungsmenge wird bei Einsatz von Top700 die Betonierbarkeit der Bauteile insbesondere bei hohen Bewehrungsgehalten verbessert.
- Der Einsatz von Top700 eröffnet zusätzliche Möglichkeiten bei der statischen Auslegung des Bewehrungskorbs und erweitert damit den Gestaltungsspielraum für Tragwerksplaner.
- Die gewonnen Erkenntnisse beziehen sich auf das betrachtete Fallbeispiel von Schlitzwänden mit einer Ankerlage und stellen sich gegebenenfalls für andere Bauteile oder Bauweisen anders dar.

Literatur

- [1] Steeltec AG (2025) *Umwelt-Produktdeklaration „EPD-STC-20250105-CBA1-DE“* [online]. https://www.steelforconstruction.com/images/steelforconstruction/SWSpdf/EPD_Top700.pdf [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [2] Sphera Solution GmbH, OEKOBAU.DAT (2023) *Prozess-Datensatz: Bewehrungsstahl (de)* [online]. <https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=f6861618-5a92-4c3a-94ba-9f7329b29662&version=20.24.070> [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [3] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2025) *Datensätze für Bauprodukte – EN 15804 und BNB konform* [online]. <https://www.oekobaudat.de/> [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [4] ecoinvent (2023) *About sources, citation and confidential Datasets* [online]. <https://support.ecoinvent.org/sources-citation> [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [5] EFCF & DFI (2023) *What is the EFCF-Carbon Calculator, Version V5* [online]. <https://www.efcf.org/how-we-operate/eco%E2%82%82-foundations/> [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [6] Informationszentrum Beton GmbH (2023) *Umwelt-Produktdeklaration „EPD-IZB-20230421-IBA1-DE“* [online]. <https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Wissen/Beton-Bautechnik/Nachhaltigkeit/2023-10-20-EPD-C25-30.pdf> [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [7] ecoinvent v3.11 (2024) *Datensatz: „market for transport, freight, lorry, >32 metric ton, diesel, EURO 6“* [online]. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.11/cutoff/dataset/18953/documentation> [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [8] ecoinvent v3.11 (2024) *Datensatz: „market for waste cement in concrete and mortar“* [online]. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.11/cutoff/dataset/15591/documentation> [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [9] ecoinvent v3.11 (2024) *Datensatz: „market for waste steel“* [online]. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.11/cutoff/dataset/15758/documentation> [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [10] Cemex Zement GmbH (2024) *Umwelt-Produktdeklaration „EPD-CEM-20240344-CAA1-DE“* [online]. <https://www.cemex.de/cem-ii/a-ll-42-5-r> [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [11] BauMineral GmbH (2021) *Umweltproduktdeklaration: „EPD-BauMineral-168-DE“* [online]. <https://www.kiwa.com/globalassets/germany/veroeffentlichte-epds/09-1221/epd-baumineral-168-de.pdf> [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [12] ecoinvent v3.11 (2024) *Datensatz: „treatment of inert waste, inert material landfill“* [online]. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.11/cutoff/dataset/6879/documentation> [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [13] ecoinvent v3.11 (2024) *Datensatz: „Market for diesel (CH)“* [online]. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.11/cutoff/dataset/7229/documentation> [Zugriff am: 15. Juni 2025]

- [14] ecoinvent v3.11 (2024) *Datensatz: „bentonite quarry operation (DE)“* [online]. https://ecoquery.ecoinvent.org/3.11/cutoff/dataset/5689/impact_assessment [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [15] ecoinvent v3.11 (2024) *Datensatz: „activated bentonite production (DE)“* [online]. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.11/cutoff/dataset/4198/documentation> [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [16] ecoinvent v3.11 (2024) *Datensatz: „market for electricity, medium voltage“* [online]. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.11/cutoff/dataset/9369/documentation> [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [17] Verein Deutscher Zementwerke e.V. (2022) *Umwelt-Produktdeklaration „EPD-VDZ-20220153-1AG1-DE“* [online]. https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/umweltschutz/Portlandzement_CEM_I.pdf [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [18] Verein Deutscher Zementwerke e.V. (2022) *Umwelt-Produktdeklaration „EPD-VDZ-20220154-1AG1-DE“* [online]. https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/umweltschutz/Hochofenzement_CEM_IIIA.pdf [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [19] Verein Deutscher Zementwerke e.V. (2022) *Umwelt-Produktdeklaration „EPD-VDZ-20220154-1AG1-DE“* [online]. https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/umweltschutz/Hochofenzement_CEM_IIIA.pdf [Zugriff am: 15. Juni 2025]
- [20] EFFC & DFI [Hrsg.] (2024) *Guide to Tremie Concrete for Deep Foundations (THIRD)* [online]. https://www.effc.org/content/uploads/2025/01/EFFC-DFI_Tremie_Concrete_Guide_Dec2024_FINAL.pdf [Zugriff am: 01. Oktober 2025]

Autor:innen



Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Anne Rausch
(Korrespondenzautor:in)
rausch@ib-schiessl.de
Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH
Landsberger Straße 370
80687 München



Dr.-Ing. Hursit Ibuk
hursit.ibuk@bauer.de
BAUER Spezialtiefbau GmbH
BAUER-Straße 1
86529 Schrobenhausen



Paul Steinmetz, M.Sc.
steinmetz@ib-schiessl.de
Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH
Landsberger Straße 370
80687 München



Dr.-Ing. Marc Zintel
marc.zintel@swisssteelgroup.com
Steeltec AG
Emmenweidstrasse 90
6020 Emmenbrücke
Schweiz



Dr.-Ing. Angelika Schießl-Pecka
schiessl-pecka@ib-schiessl.de
Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH
Landsberger Straße 370
80687 München

Zitieren Sie diesen Beitrag

Rausch, A.; Steinmetz, P.; Schießl-Pecka, A.; Ibuk, H.; Zintel, M. (2026) *Hochfester Betonstahl Top700 als Hebel zur Emissionsreduktion im Schlitzwandbau*. Beton- und Stahlbetonbau 121, H. 1, S. 69–77.
<https://doi.org/10.1002/best.70053>



Passion for Progress

KOMPLEXE PROJEKTE? UNSER STANDARD.

Jede Baugrube stellt individuelle Anforderungen – wir liefern die passende Lösung. Mit Schlitzwänden, ge- greifert oder gefräst, realisieren wir als der Experte im Spezialtiefbau sichere und langlebige Baugrubenum- schließungen. Für sichtbare Qualität und spürbare Sicherheit.