

beton

DIE FACHZEITSCHRIFT FÜR BAU+TECHNIK

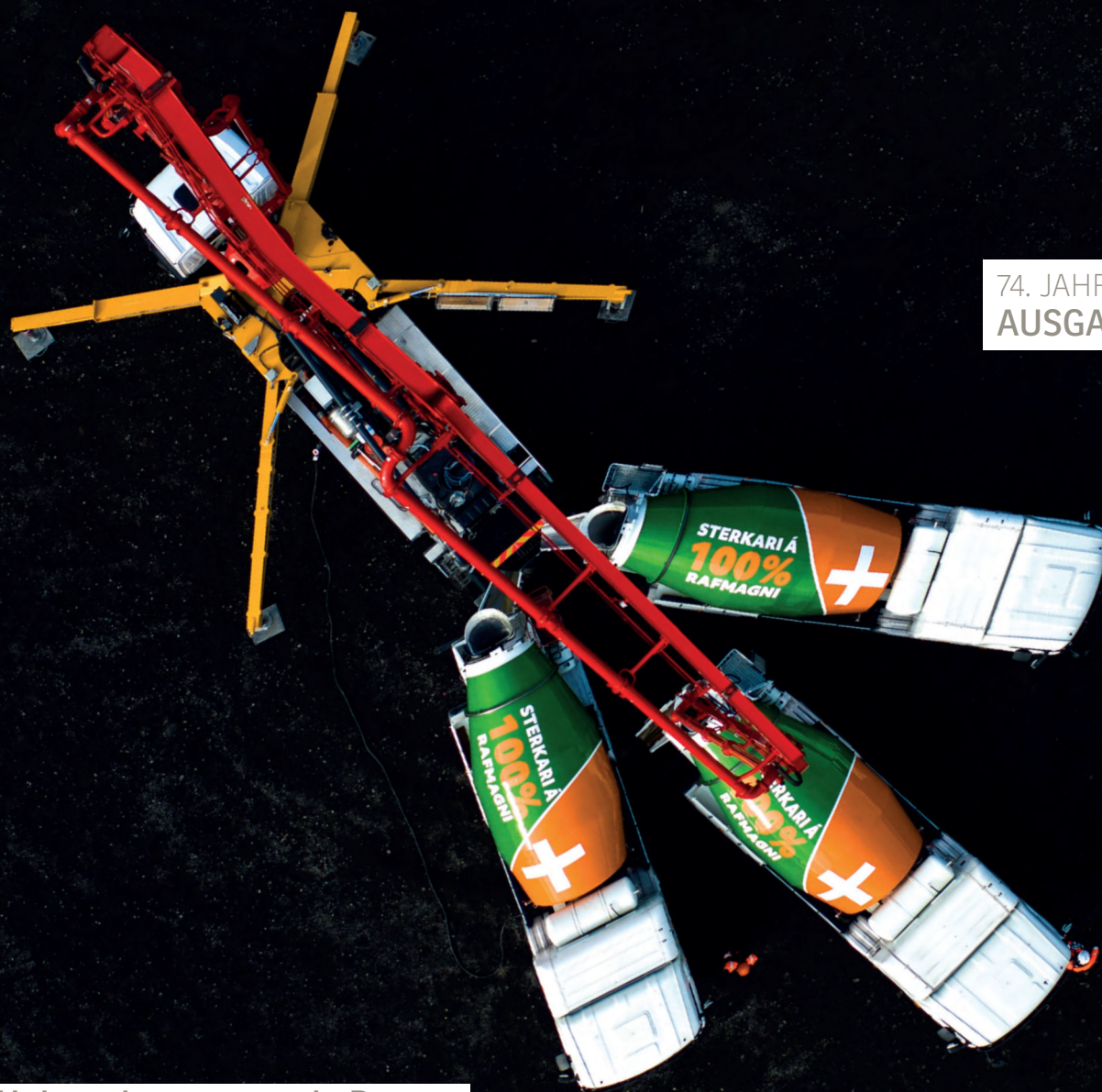
74. JAHRGANG · 1739
AUSGABE 6 | 2024

Unbewehrte tragende Beton-
und Leichtbetonwände nach EC2

Bauvorhaben Cityringen Kopenhagen,
Tübbings aus Stahlfaserbeton

Marktübersicht Transportbeton-Fahrmischer 2024

Zementmerkblatt B14 Infraleichtbeton



Beitrag zur Ressourcenschonung, Kosten- und CO₂-Reduzierung

Unbewehrte tragende Beton- und Leichtbetonwände nach EC2

Andreas Mendl, Windach

Obwohl die Anwendung von tragenden und unbewehrten Betonwänden seit fast 70 Jahren in der Norm geregelt ist, kommen sie in Deutschland wenig zum Einsatz. Dabei liegen die Vorteile auf der Hand: Allein durch den Entfall des Betonstahls in unbewehrten Beton- und Leichtbetonwänden lassen sich rd. 30 % an CO₂-Emissionen sparen und die Kosten erheblich reduzieren, was diese einfache Bauweise in Zeiten einer Klima- und Wirtschaftskrise so willkommen macht und wodurch sie aktuell immer mehr an Beliebtheit gewinnt. In dem Beitrag wird gezeigt, dass es keine nennenswerten Nachteile bei der Planung und Ausführung von Beton- und Leichtbetonwänden gibt. Die vielen Vorteile bilden somit die Grundlage einer neuen Gebäudegeneration von E-Häusern, die einfach, kostengünstig und schnell erstellt werden können, ohne dabei an Tragfähigkeit einzubüßen.

1 Einleitung

Beton ist der meistverbaute Baustoff der Welt und genießt aufgrund seiner vermeintlich schlechten CO₂-Bilanz einen tragischen Ruf als Klimakiller. Das Bauwesen ist aktuell für rd. 53 % der anthropogenen CO₂-Emissionen verantwortlich (rd. 27,5 Gt CO₂/a). Daran hat die Zementindustrie mit rd. 8 % des weltweit emittierten Kohlendioxids einen großen Anteil.

Aktuelle Studien von Professor Sobek und Dr. Weidner zeigen, dass für die Errichtung neuer Gebäude nur 32 kg CO₂/m³ Brutto-Rauminhalt (BRI) aufgewendet werden dürfen, wenn das 1,5-°C-Ziel des Pariser

Abkommens eingehalten werden soll. Aktuell betragen die Emissionen für Einfamilienhäuser rd. 100 kg CO₂/m³ BRI und für Mehrfamilienhäuser rd. 80 kg CO₂/m³ BRI. Die anzustrebenden Emissionen für Neubauten werden also um den Faktor 2,3 bis 3,5 überschritten. Diese Diskrepanz gilt es in Zukunft deutlich zu reduzieren, wobei der Baustoff Beton hier eine wichtige Rolle spielt.

Für die Herstellung von 1 m³ Stahlbeton werden rd. 300 kg bis 350 kg an CO₂ (abhängig vom Bewehrungsgrad) freigesetzt, was der CO₂-Aufnahme von rd. 4000 Bäumen pro Tag entspricht. 1 m³ unbewehrte

Betonwand (Bild 1) verursacht rd. 200 kg CO₂, also rd. 30 % weniger CO₂, was auf den Verzicht des Betonstahls zurückzuführen ist. Weitere Vorteile hinsichtlich Kosten- und Zeitersparnis werden nachfolgend erläutert.

2 Historische Entwicklung

Seit 1955 sind unbewehrte Betonwände in der Norm geregelt (Bild 2). Sie spiegeln damit die allgemeinen Regeln der Technik wider und bedürfen keiner Zustimmung im Einzelfall in Deutschland. Auch in der Überarbeitung des neuen Eurocode 2, der voraussichtlich 2026 erscheinen wird, wer-



Bild 1: Unbewehrte Betonwand vor dem Zuschalen und nach dem Ausschalen



Fotos: Mendl Ingenieur Consult

Der Autor:

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Mendl ist studierter Bauingenieur und Geschäftsführer der Mendl Ingenieur Consult, die sich mit Nachhaltigkeitskonzepten und Ressourceneinsparung im Bereich Tragwerksplanung beschäftigen. Er befasst sich mit Innovationen im Bauwesen und den einhergehenden Kosten-, Zeit- und CO₂-Einsparungen. Aktuelle Projekte seines Unternehmens befassen sich mit dem 3D-Druck im Bauwesen, Gebäuden aus tragenden Lehmwänden, unbewehrten Betonbauweisen, 100 % rezyklierbaren Betonen und dem Leichtbetonbau. Er sucht nach Lösungen im Bereich Digitalisierung, die zur planerischen Arbeitserleichterung dienen, wie eye-tracking und remote support.

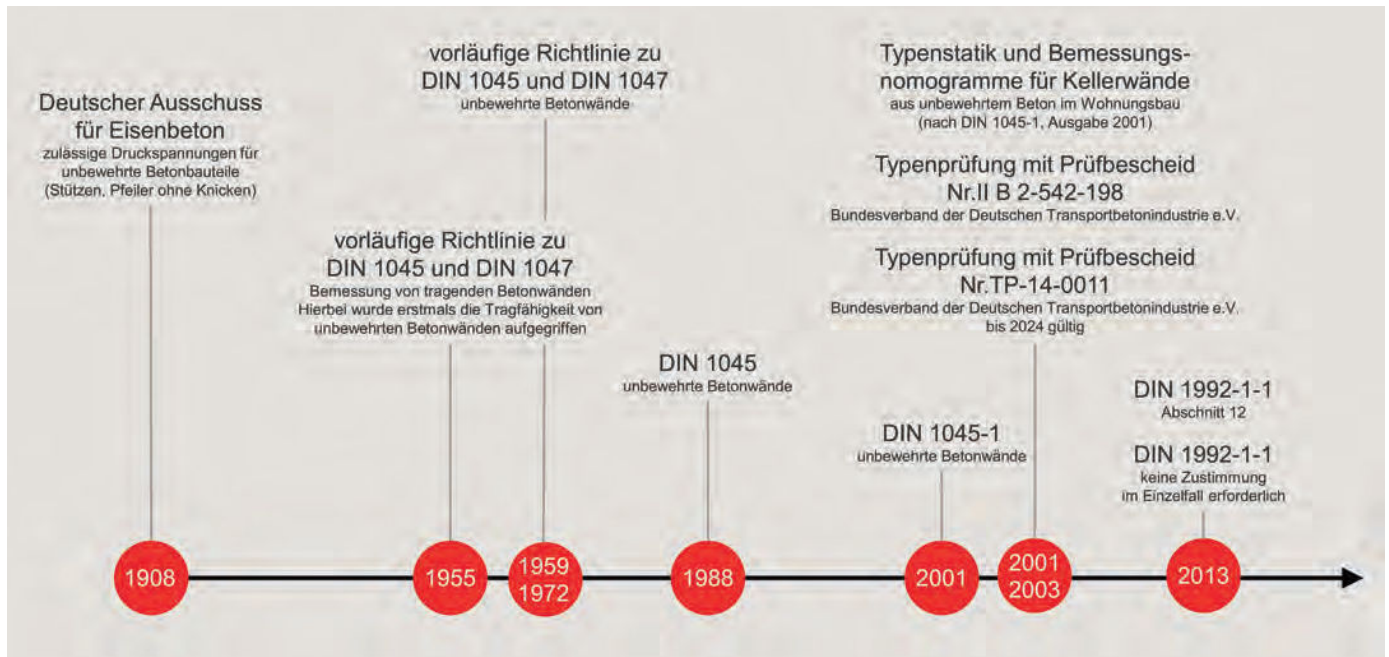


Bild 2: Historische Entwicklung unbewehrter Betonbauteile

den im Kapitel 12 die Nachweisführung zur Tragfähigkeit für unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände dargelegt. Aktuell werden keine Veränderungen hinsichtlich der Nachweisformate gegenüber dem aktuellen EC2 erwartet.

3 Potenzial

Wenn man den Zementverbrauch nach Baubereichen beleuchtet, kommt man grob zu folgender Aufteilung: rd. 1/3 Wohnungsbau, rd. 1/3 Nichtwohnungsbau und rd. 1/3 Tiefbau. Der Anteil konstruktionsbedingter Treibhausgasemissionen für tragende Innen- und Außenwände von Wohngebäuden liegt rd. bei 30 % bis 40 %, gemessen an allen Bauteilen (Bild 3). Mit anderen Worten: rd. 125 m² Betonwandfläche je Wohneinheit oder rd. 0,2 m² bis 0,4 m² Betonwandfläche je BRI bzw. 1,3 m² bis 2,2 m² Betonwandfläche je Wohnfläche werden in einem Wohngebäude als tragende Innen- und Außenwände verbaut (reiner Betonbau).

Die Erkenntnis, dass der Anteil der tragenden Innen- und Außenwänden in einem Wohngebäude bezogen auf alle Bauteile rd. 30 % beträgt und der Zementverbrauch im Wohn- und Nichtwohnbau rd. 2/3 aller Baubereiche ausmacht (Hallen und Brücken müssten abgezogen werden), lässt das hohe Einsparpotenzial der unbewehrten Beton- und Leichtbetonwände erahnen.

Betrachtet man zudem die Verwendung der Zementproduktion in Deutschland, so stellt man fest, dass sie sich in rd. 30 % Putze und rd. 70 % Betone untergliedert. Dabei nehmen Putze und Betone während ihrer Nutzungsdauer wieder enorme Mengen des CO₂ auf, das bei der Herstellung der einge-

setzten Zemente emittiert wurde. Genauer gesagt resorbieren verputzte Fassaden rd. 97 % des produktionsbedingten CO₂ durch Re-Carbonatisierung und Betone rd. 20 % bis 25 %. In der Summe werden rd. 45 % der prozessbedingten CO₂-Emissionen vom Bauteil während der Nutzung wieder aufgenommen. Diese Resorptionswerte sind in der Fachwelt leider den wenigsten bekannt.

Leichtbetone haben ein weit größeres Potenzial zur Carbonatisierung. Bei unbewehrten Leichtbetonwänden ist die hohe Carbonatisierungstiefe bis zum Gesamtquerschnitt erwünscht, um den CO₂-Fussabdruck merklich zu reduzieren. Der Weltklimarat IPCC (Intergovernmental Panel on

Climate Change) hat in seinem Report 2021 erstmals die Carbonatisierung zementgebundener Baustoffe als „Kohlenstoffsénke“ anerkannt und quantifiziert. Leider bleiben die Werte aber in der aktuellen CO₂-Bilanz unberücksichtigt [4, 5].

Unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände lassen sich außerdem zu 100 % recyceln, wobei keine aufwendige Trennung des Betonstahls erforderlich ist. Sie tragen also aus Sicht der Nachhaltigkeit zu einem deutlich geringeren CO₂-Ausstoß und Ressourcenschonung bei, wenn auf den Einbau des Betonstahls verzichtet wird, der ohnehin bei überdrückten Betonbauteilen nicht erforderlich ist.

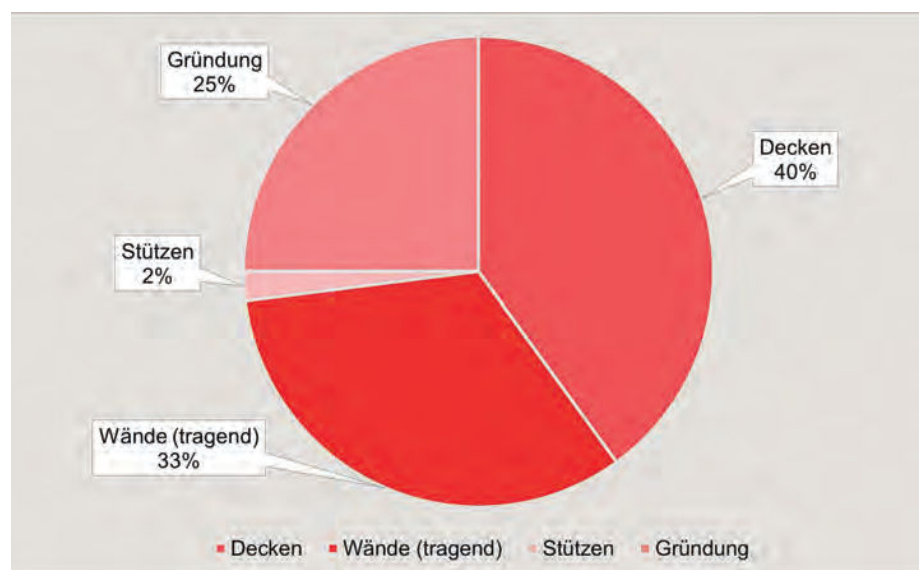


Bild 3: Übersicht konstruktionsbedingter Treibhausgasemissionen im Wohngebäude

Grafik: Mendler Ingenieur Consult

Tafel 1: Mindestwanddicken gemäß EC2, Tabelle NA.12.2

Wandkonstruktion			1	2
			mit Decken	
			nicht durchlaufend	durchlaufend
1	C12/15	Ortbeton	200 mm	140 mm
2	≥ C16/20	Ortbeton	140 mm	120 mm
3		Fertigteil	120 mm	100 mm

Tafel 2: Mindestwanddicken gemäß EC2, Tabelle 5.4

Feuerwiderstands- standsklasse	Mindestmaße (mm) Wanddicke/Achsabstand für			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	Brandbeansprucht auf einer Seite	Brandbeansprucht auf zwei Seiten	Brandbeansprucht auf einer Seite	Brandbeansprucht auf zwei Seiten
1	2	3	4	5
REI 30	100/10 ^{a)}	120/10 ^{a)}	120/10 ^{a)}	120/10 ^{a)}
REI 60	110/10 ^{a)}	120/10 ^{a)}	130/10 ^{a)}	140/10 ^{a)}
REI 90	120/20 ^{a)}	140/10 ^{a)}	140/10	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/40	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60

^{a)} Normalerweise reicht die nach EN 1992-1-1 erforderliche Betondeckung.

■ Aussteifende Innen- und Außenwände aus unbewehrtem Beton (Zugkeildeckung erforderlich)

■ Betonstützen

■ Ausführung unbewehrter Betonwände- und Stützen in Leicht- oder Normalbeton. Dabei müssen die Wände übereinanderstehen und dürfen nicht versetzt oder auskragend angeordnet werden.

Zu große Deckendrehwinkel durch Belastung aus Staffelgeschossen oder zu hohen Stützweiten sollten vermieden werden, da die Ausmitte aus exzentrischer Auflagerung am Stützenkopf maximal auf $d/3$ bzw. $d/6$ begrenzt und analog im Mauerwerksbau nach EC6 eine Dreiecksverteilung am Auflager anzusetzen ist.

Unbewehrte wandartige Träger zur Abfangung von darüber liegenden Geschossen sind nicht möglich, da der Beton nicht auf Zug beansprucht werden darf.

Lange Wände, die Türöffnungen aufweisen oder Wände mit Aussparungen, können unbewehrt geplant werden, wenn die Öffnungen rahmenartig mit einer Bewehrung eingesäumt werden.

4 Planung

Der Eurocode 2 ist in den aktuellen technisch eingeführten Baubestimmungen aller Bundesländer bauaufsichtlich eingeführt, wonach unter Abschnitt 12 in Verbindung mit dem nationalen Anhang die unbewehrten Beton- und Leichtbetonwände geregelt sind.

Es besteht die Möglichkeit, überwiegend auf Druck (zentrisch oder exzentrisch) beanspruchte tragende Wände oder Stützen als unbewehrte Bauteile zu planen und auszuführen. Dabei dürfen die Wände nicht nur vertikale Druckkräfte erfahren, sondern auch horizontale Windlasten, Erddrucklasten, oder gar Randeinspannmomente aufnehmen.

In unbewehrten Betonbauteilen darf jedoch auch Betonstahlbewehrung zur Erfüllung der Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und/oder die Dauerhaftigkeit bzw. in bestimmten Bereichen der Bauteile angeordnet werden. Diese Bewehrung darf für örtliche Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und für Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt werden.

Bei der Planung lassen sind folgende Einsatzmöglichkeiten unbewehrter Betonbauweisen in Druckbauteilen ableiten:

- Kelleraußenwände aus unbewehrtem Beton (Mindestauflast erforderlich, bzw. Reduzierung des Erddrucks z.B. durch leichte Anschüttung)
- Windbelastete Außenwände aus unbewehrtem Beton
- Innenwände aus unbewehrtem Beton



Bild 4: Wohnanlage mit 140 Wohneinheiten in München, Bogenhauser Höfe Fotos: Concept Bau



Bild 5: Neubau eines innovativen Verwaltungsgebäudes für das Deutsche Rote Kreuz in Beckum
Grafik: ars Architekten

Eine unbewehrte Beton- und Leichtbetonwand gleicht einer klassischen Mauerwerkswand, bei der keine Einspannwinkel in die Decke erforderlich werden. Sie weisen bis zu 9-mal höhere Tragfähigkeiten als eine entsprechend dicke Mauerwerkswand auf, die im Wohnungsbau meistens nicht erforderlich sind.

Die Ausführung unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände sind in der Regel in Erdbebenzonen zugelassen, bei denen die Auswirkungen von dynamischen Einwirkungen vernachlässigt werden können. Ergänzender Hinweis siehe Typenstatik 6.2 (8): Für Bauten in deutschen Erdbebenzonen 1-3 gemäß DIN 4149: 2005-04 gelten die Festlegungen für unbewehrte Mauerwerksbauten aus Abschnitt 11 dieser Norm.

Die Nachweise der Tragfähigkeit, der Stabilität und der Querkraft können mit der Hand geführt werden, ohne Einsatz aufwendiger Statikprogramme.

4.1 Mindestwanddicken und Betonklassen

Unbewehrte Betonwände- und Stützen dürfen nach Norm bis zur maximalen Normalbetonfestigkeitsklasse C35/45 und einer minimalen Betonfestigkeitsklasse C12/15 angesetzt werden. Leichtbetonwände sind bis zur Druckfestigkeitsklasse LC20/22 geregelt.

Die Grenzsclankheit wird mit $\max. \lambda = 86$ berechnet, wobei die Mindestdicke für Innenwände im Fall von Fertigteilen 10 cm und im Fall von Ortbetonwänden 2 cm beträgt. Bei unbewehrten Außenwänden ist die Mindestdicke im Fall von Ortbeton mit 14 cm und im Fall des Fertigteils mit 12 cm festgelegt (Tafel 1).

Unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände müssen also nicht mit größeren Wanddicken oder einer höheren Betondruckfestigkeit als bewehrte Wände hergestellt werden. Wie man unschwer erkennen kann, wäre es technisch möglich, mit weit-

aus geringeren Wanddicken zu bauen als es in der Praxis der Fall ist. Das würde teure Wohnfläche einsparen.

4.2 Brandschutz und Schallschutz

Unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände weisen hinsichtlich brandschutztechnischer Auslegung keine Nachteile gegenüber bewehrten Betonwänden auf. Für unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände dürfen aus brandschutztechnischer Sicht dieselben Mindestdicken wie für bewehrte Betonwände eingeplant werden. Für unbewehrte Brandwände ist eine Mindestdicke von 20 cm festgelegt (DIN 1992-1-2, 5.4.3).

Bei unbewehrten Beton- und Leichtbetonwänden entfällt der Nachweis des Achsabstands im Nachweis der Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden Bauteile. Hier sind nur Mindestdicken, abhängig vom Ausnutzungsgrad gemäß Tafel 2, einzuhalten.

Der erhöhte Schallschutz ist auch ohne Betonstahl bei Wohnungstrennwänden von 22 cm Dicke gewährleistet.

5 Risse

Risse treten in unbewehrten Betonwänden statistisch gesehen nicht häufiger auf als in bewehrten Stahlbetonwänden. Die Wahl einer Betonzusammensetzung mit niedrigerer Hydratationswärmeentwicklung und geringem Schwinden ist zu begrüßen. Ein Nachbehandlungs- und Fugenkonzept sollte der Tragwerksplaner in Abstimmung mit der Baufirma zu Beginn der Planung anstreben. Sollbruchfugen in den Außenwänden sowie Betonier- oder Schwindgassen können hilfreich sein.

Grundsätzlich sind Risse bei unbewehrten Betonwänden als unproblematisch zu



Bild 6: Neubau einer Wohnanlage mit 130 Wohneinheiten in München an der Landsbergerstrasse

Foto: Concept Bau

Tafel 3: Zulässige charakteristische Auflast g,k+q,k in kN/m für verschiedene Wandtypen

	C25/30	C35/45	LC20/22
unb. Beton-Innenwand d = 20 cm Stb.-Innenwand d = 20 cm	1300 kN/m (15 VG) 1900 kN/m (23 VG)	1900 kN/m (23 VG) 2600 kN/m (30 VG)	1000 kN/m (13 VG) 1300 kN/m (15 VG)
unb. Beton-Innenwand d = 25 cm Stb.-Innenwand d = 25 cm	1800 kN/m (20 VG) 2400 kN/m	2500 kN/m (28 VG) 3300 kN/m (38 VG)	1400 kN/m (17 VG) 1700 kN/m (20 VG)
unb. Beton-Außenwand d = 20 cm, d/3 Stb.-Außenwand d = 20 cm, d/3	500 kN/m (9 VG) 800 kN/m	700 kN/m (12 VG) 1100 kN/m	400 kN/m (7 VG) 500 kN/m
unb. Beton-Außenwand d = 25 cm, d/3 Stb.-Außenwand d = 25 cm, d/3	700 kN/m (12 VG) 1000 kN/m (15 VG)	900 kN/m (14 VG) 1300 kN/m (18 VG)	500 kN/m (9 VG) 700 kN/m (12 VG)

bewerten, da es nicht zu eine Korrosion der Bewehrung infolge von Depassivierung durch Carbonatisierung oder eindringen-dem Chlorid kommen kann. Es bestehen also keine Anforderungen an die Dauerhaftigkeit, respektive die vorgegebenen zuläs-sigen Rissbreiten für 0,4 mm im Innenbe-reich und 0,3 mm in Tiefgaragen müssen aus Dauerhaftigkeitsgründen nicht einge-halten werden. Der Beton darf also aus Sicht der Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit auf-reißen (zivilrechtliche Anforderungen nicht betrachtet).

Unbewehrte Betonstützen und Beton- und Leichtbetonwände in der Tiefgarage müs-sen bei einem Chlorideintrag nicht instand-gesetzt werden, falls Risse vorhanden sind. Beschichtungen wie auch jährliche Wartun-gen und spätere Instandsetzungskosten, die nicht unerheblich sein können, entfallen.

Für den Fall, dass von der Bauherrschaft unerwünschte Risse auftreten, können die Kosten für mögliche kosmetische Maßnah-men aus den Einsparungen, die aus dem

Wegfall der Stahlbewehrung resultieren, bestritten werden. Damit kann die Schlie-ßung der Risse durch einen kleinen Bruch-teil der Einsparungen wieder kompensiert werden. Es verbleibt ein großes monetäres Einsparungspotenzial.

6 Ausführungsbeispiele

Die Bilder 4 bis 6 zeigen Ausführungsbei-spiele.

7 Beispiele zur Tragfähigkeit

Nachfolgend wird der Vergleich der Trag-fähigkeit und Stabilität zwischen Normal-beton- und Leichtbetoninnen- und Außen-wänden angestellt. Eine Zusammenfassung ist in Tafel 3 aufgeführt.

- Wanddicke d = 20 cm/25 cm, Wandhöhe h = 2,60 m, C25/30, C35/45, LC20/22
- Brandschutz R90 berücksichtigt
- Stb.-Wand ohne Mindestbewehrung, nur statische Bewehrung bis Q335

Die Klammerwerte bezeichnen die Ge-schosse, ab welchem Vollgeschoss die auf-

nehmbaren Lasten der jeweiligen Beton- oder Leichtbetonwand im klassischen Hoch-bau erreicht werden. Als Ergebnis lässt sich feststellen, dass z.B. die Tragfähigkeit ei-ner unbewehrten Leichtbetoninnenwand LC20/22 mit d = 20 cm mit einer zulässigen Auflast von 1000 kN/m erst bei ca. 13 Voll-geschossen (VG) erreicht ist. Diese Lasten kommen im klassischen Hochbau bis Ge-bäudeklasse 5 (bis 7 VG) selten bis nicht vor.

8 Beispiele zu CO₂- und Kosten-vergleich verschiedener Wandtypen

In Tafel 4 wird eine unbewehrte Betoninnen- und Außenwand mit einer Innen- und Au-ßenwand aus Mauerwerk verglichen (Preise gemäß BKI 2023 brutto, ohne Regionalfak-tor). Man erkennt sehr deutlich, dass sowohl im Preissegment sowie auch im Bereich der CO₂-Emission die unbewehrten Beton-wände den Mauerwerkswänden überlegen sind, mit Ausnahme der Mauerwerks-In-nenwand d = 24 cm, die in der CO₂-Bilanz ein wenig besser aufgestellt ist, wie die un-bewehrte Betonwand.

9 CO₂-Einsparung

In Tafel 5 sind die CO₂-Einspar-Potenziale von unbewehrter Betonwand und -stütze dargestellt (Einsparung Betonstahl), abhän-gig vom Bauteil und dessen Bewehrungsge-halt. Hier sind bei einer unbewehrten Beton-wandausführung CO₂-Einsparungen zwi-schen 24 % bis 40 % im Vergleich zu einer Stahlbetonwand möglich. Bei Betonstützen liegt zwar das CO₂-Einsparpotenzial höher, es fällt aber aufgrund des gering verbauten Betonvolumens hier nicht ins Gewicht.

Tafel 4: CO₂- und Kostenvergleich verschiedener Wandtypen (Beton, Schalung, Betonstrahl) (Globales Erwärmungspotenzial (GWP) aus ÖKOBAUDAT in kg CO₂-ÄQ.: Beton C25/30 mit 160 kg CO₂/m³, Betonstahl mit 683 kg CO₂/t, Mauerwerk perlitegefüllt mit 152 kg CO₂/m³, Mauerwerk uverfüllt mit 129 kg CO₂/m³, Stahlpreis 2 400 €/t, Stahlgehalt Wand 85 kg/m³)

	Kosten, brutto	CO ₂ -Bilanz	Bewertung
unbewehrte Beton-Innenwand d = 24 cm	110 €/m ²	38 kg CO ₂ /m ²	rd. 8 % günstiger als MW IW 24 cm
			emittiert rd. 27 % mehr CO ₂ als MW IW 24
unbewehrte Leichtbeton-IW d = 24 cm (z.B. Fa. Tinglev LC16/18 mit CEM III)	110 €/m ²	40 kg CO ₂ /m ²	kostenneutral zu B IW d = 24 Nahezu gleiche CO ₂ -Werte wie B IW 24
bewehrte Stb.-Innenwand d = 24 cm	160 €/m ²	52 kg CO ₂ /m ²	rd. 33 % teurer als MW IW d = 24 cm emittiert rd. 73 % mehr CO ₂ als MW IW 24
bewehrte Stb.-Außenwand d = 18 cm (inkl. WDVS 12 cm)	190 €/m ²	47 kg CO ₂ /m ²	kostenneutral zu MW AW 36,5
			emittiert rd. 16 % weniger CO ₂ als MW AW 36,5
Unbewehrte Beton-Außenwand d = 18 cm	150 €/m ²	36 kg CO ₂ /m ²	rd. 21 % günstiger als MW AW 36,5 ermittelt rd. 36 % weniger CO ₂ als MW AW 36,5
Mauerwerk-Innenwand d = 24 cm	120 €/m ²	30 kg CO ₂ /m ²	rd. 25 % günstiger als Stb. IW d = 24
			rd. 9 % teurer als B IW d = 24 cm
			emittiert rd. 42 % weniger CO ₂ als Stb. IW 24 emittiert rd. 21 % weniger CO ₂ als B IW 24
Mauerwerk-Außenwand d = 36,5 cm (Wärmedämmziegel mit Perlitefüllung)	190 €/m ²	56 kg CO ₂ /m ²	rd. 27 % teurer als B AW d = 18 cm
			emittiert rd. 56 % mehr CO ₂ als B AW 18
			emittiert rd. 19 % mehr CO ₂ als Stb. AW 18

Tafel 5: Bewehrungs- und CO₂-Gehalte in Stahlbetonwänden- und Stützen

Bauteil	Bewehrungsgehalt [kg/m ³ Beton]	CO ₂ -Einsparung Bewehrung [t CO ₂ /m ³ Beton]	Anteil Bewehrung [%]	Summe CO ₂ -Äq. (Beton+Bewehrung) [t CO ₂ /m ³ Beton]
Stahlbetoninnen- und Außenwand	rd. 85 bis 110	rd. 58 bis 75	24 bis 29	241 bis 258
Stahlbetonaußenwand in WU	rd. 140 bis 175	rd. 96 bis 120	34 bis 40	279 bis 303
Stahlbetoninnenwand in TG	rd. 110 bis 125	rd. 75 bis 85	29 bis 32	258 bis 268
Wandartiger Träger	rd. 120 bis 160	rd. 82 bis 110	31 bis 38	265 bis 293
Stahlbetonstützen	rd. 300 bis 400	rd. 205 bis 273	53 bis 60	388 bis 456

Globales Erwärmungspotenzial (GWP) aus ÖKOBAUDAT in kg CO₂-Äq.: Beton C20/25 mit 183 kg CO₂/m³ (A1 bis A5), Betonstahl mit 683 kg CO₂/ t, (A1 bis A3)

Tafel 6: Kosten- und Arbeitszeiteinsparpotenziale bei unbewehrten Betonwänden- und Stützen

Bauteil	Arbeitszeiteinsparung [h/m ³ Beton]	Kosteneinsparung Arbeitszeit [€/m ³ Beton]	Kosteneinsparung Bewehrung [€/m ³ Beton]	Kosteneinsparung Bewehrung+Arbeitszeit [€/m ³ Beton]
Stahlbetoninnen- und Außenwand	rd. 1,28 bis 1,65	rd. 22 bis 28	rd. 153 bis 198	rd. 175 bis 226
Stahlbetonaußenwand in WU	rd. 2,1 bis 2,63	rd. 36 bis 45	rd. 252 bis 315	rd. 288 bis 360
Stahlbetoninnenwand in TG	rd. 1,65 bis 1,88	rd. 28 bis 32	rd. 198 bis 225	rd. 226 bis 257
Wandartiger Träger	rd. 1,8 bis 2,4	rd. 31 bis 41	rd. 216 bis 288	rd. 247 bis 329
Stahlbetonstützen	rd. 4,5 bis 6,0	rd. 77 bis 102	rd. 540 bis 720	rd. 617 bis 822

Stahlpreis aktuell rd. 1800 €/t mit Einbau, Arbeitsaufwand Eisenflechten rd. 15 h/t, Stundenlohn Eisenflechter rd. 17 €/h

10 Einsparung an Betonstahl, Kosten und Arbeitszeit

Wenn auf der Baustelle kein Betonstahl einzubauen ist, führt das einerseits zu einem schnelleren Bauablauf und andererseits zu enormen Personal- und Materialkosteneinsparungen. Da die Einsparung abhängig sind von der Bauweise (MW/Beton bzw. Beton/Beton), der Anzahl der Wohneinheiten, Art der Gebäude (MFH, Wohnanlage, Hochhaus) etc., lässt sich am besten eine bauteilbezogene Einsparung darstellen (Tafel 6). Hier werden die Kosten- und Zeiteinsparpotenziale von Betonwänden- und Stützen gegenübergestellt.

11 Ausblick: unbewehrte Hohlwände

Aktuell steht die Mendl Ingenieur Consult im engen Austausch mit einem bekannten Prüfinstitut aus Deutschland. Ziel ist es, die Tragfähigkeit einer unbewehrten Hohlwand (Doppelwand) als Halbfertigteil in Form einer Typenstatik zu berechnen. Dabei wird die Tragfähigkeit der unbewehrten Halbfertigteilwand über die zwei unbewehrten FT-Schalen und den Ortbetonkern über den gemeinsamen Verbund der Gitterträger hergestellt und Betonier- und Hebe- bzw. Bauzustände berechnet.

In Analogie zu dem ersten 3D-gedruckten Gebäude in Deutschland, das 2021 der Öffentlichkeit vorgestellt wurde, wurden die beiden äußeren Schalen unbewehrt in additiver Fertigungstechnik gedruckt und mit U-förmigen Mauerankern aus Edelstahl verbunden. Die Forschung unter Professor Gehlen und Dr. Weger von der TUM haben gezeigt, dass es möglich ist, unbewehrte

Hohlwände herzustellen. Validierte Ergebnisse werden Ende des Jahres 2024 erwartet.

Allein in Deutschland werden jedes Jahr mehrere Mio. m² an Hohlwände verbaut und dabei über 30 Mio. kg an CO₂ emittiert. Das Potenzial für den Einsatz der unbewehrten Hohlwände im Sinne der Nachhaltigkeit ist enorm.

12 Zusammenfassung

Tragende unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände liegen spätestens seit der Baukostenexplosion der vergangenen Jahre und der aktuellen Nachhaltigkeitsdebatte seit vielen Jahren deutschlandweit stark im Trend, auch wenn die Anwendung noch nicht überall verbreitet ist. Dabei ließen sich mit dieser Bauweise rd. 30 % an klimaschädlichen Treibhausgasen einsparen und gleichzeitig, durch den Wegfall des statisch nicht erforderlichen Betonstahls, günstiger bauen. Konkret werden die CO₂-Emissionen um rd. 80 kg CO₂/m³ Beton bei Wänden reduziert, verbunden mit einer Kosteneinsparungen von rd. 140 €/lfd. m Betonwandlänge.

Unbewehrte Betonwände lassen sich sehr gut mit CO₂-reduzierten oder rezyklierten Betonen herstellen, um ein noch höheres CO₂ Einsparungspotenzial zu generieren.

Eine unbewehrte Betonwand gleicht einer klassischen Mauerwerkswand mit bis zu 9-mal höheren Tragfähigkeiten, ohne Sicherheitsdefizite.

Unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände weisen sehr hohe zulässige Auflasten auf, die im Wohnungsbau meistens nicht erforderlich sind.

Diese ressourcenschonende Bauweise ist seit fast 70 Jahren in der Norm als Leicht- oder Normalbeton zugelassen und darf in ganz Europa (in Frankreich sind unbewehrte Betonwände standard) für tragende Betonwände- und Stützen im Eurocode 2 angewendet werden, wie z.B. unbewehrte erddruckbeanspruchte Kelleraußenwände, Innenwände und bewehrungsfreie Stützen aus Beton- und Leichtbeton.

Der schnellere Bauablauf, die Ressourcenschonung, die enormen Personal- und Materialkosteneinsparungen, kombiniert mit sehr hohen Tragfähigkeiten, wie der Entfall von Beschichtungssystemen in Tiefgaragen, machen die Ausführung von unbewehrten Betonwänden so sinnvoll.

Literatur

[1] DIN EN 1992-1-1:2011-01 „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“ mit DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 „Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“

[2] DIN EN 1992-1-2:2010-12 „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken Teil 1-2: Allgemeine Regeln Tragwerksbemessung für den Brandfall“ mit DIN EN 1992-1-2/NA:2010-12 „Nationaler Anhang National festgelegte Parameter Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken Teil 1-2: Allgemeine Regeln Tragwerksbemessung für den Brandfall“

[3] Mendl, A.: Leitfaden unbewehrte Betonwände. Windach 2023

[4] Veröffentlichte EPD's. Institut Bauen und Umwelt e.V.

[5] Veröffentlichte EPD's. ÖKOBAUDAT

[6] non nobis – über das Bauen in der Zukunft, Band 1 und Band 2. av edition GmbH, Stuttgart 2022