



Leitfaden

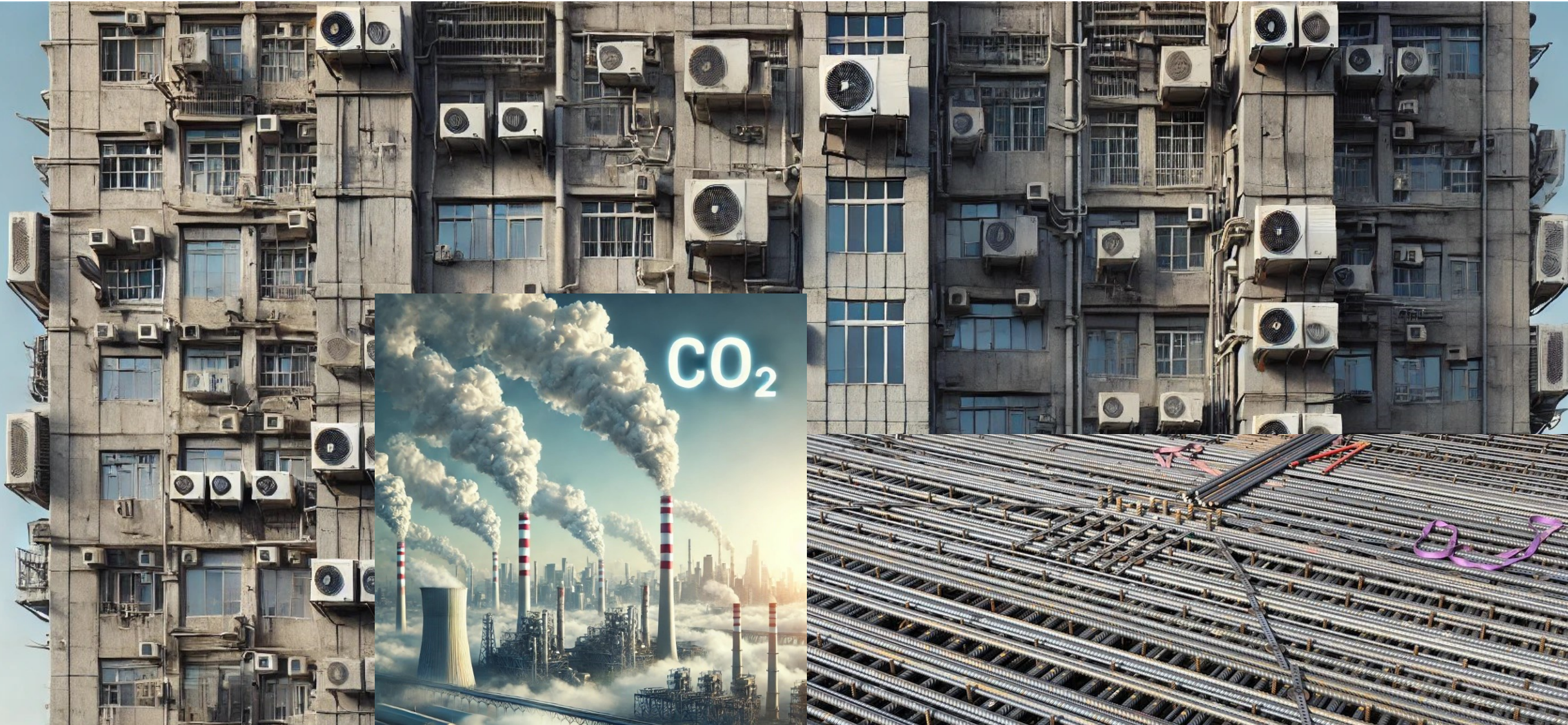
Unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände nach Eurocode 2

Seite	Kapitel
5.	1. Das Klimaproblem
6.	2. Die Rolle – des Stahlbetones und Betones
7.	3. CO₂ - Hardfacts
8.	4. Einfluss von Bauteilen auf die Emission
9.	5.1 Zulässige + vorhandene Emissionen (K, BRI)
10.	5.2 Zulässige + vorhandene Emissionen (K, NGF)
11.	6. Zulässige CO₂-EMISSIONEN (K+N, NGF)
12.	7. Konsequenzen des Bauschaffens
13.	8. Grundsätze des zirkulären Bauens – BIG 5
14.	9. Beton ist kein Klimakiller
15.	10. Unbewehrte & bewehrte Betonwand
16.	11. Historische Entwicklung
17.	11. Historische Entwicklung
18.	11. Historische Entwicklung
19.	12. Anwendungsfälle unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände
20.	13. Allgemeines: unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände
21.	14. Nachweisführung unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände
22.	14. Nachweisführung unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände
23.	15. Beton festigkeit
24.	16. Mindest wandstärken
25.	17. Gebrauch stauglichkeit

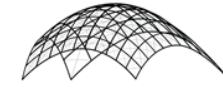
Seite	Kapitel
26.	18. Konstruktionsregeln
28.	19. Schall- und Brandschutz
29.	20.1. Beispiele zur Tragfähigkeit: unbewehrte Betonwand
30.	20.2. Beispiele zur Tragfähigkeit: unbewehrte Betonstütze
31.	20.3. Beispiele zur Tragfähigkeit: verschiedene Wandtypen
32.	21. Risseverhalten von Beton- und Leichtbetonwänden
33.	21. Risseverhalten von Beton- und Leichtbetonwänden
34.	22.1. Beispiele zur CO ₂ -Bilanz, Kosten- & Zeiteinsparung, BEISPIELRECHNUNG EINER UNBEWEHRTEN INNENWAND
35.	22.2. Beispiele zur CO ₂ -Bilanz, Kosten- & Zeiteinsparung, BEISPIELRECHNUNG EINER WOHNANLAGE MIT 500 WOHNEINHEITEN
36.	22.3. Beispiele zum CO ₂ - und Kostenvergleich verschiedener Wandtypen, BEISPIELRECHNUNG
37.	22.4. Beispiele zur CO ₂ -Bilanz, Kosten- & Zeiteinsparung, BEISPIELRECHNUNG EINER BEWEHRTEN AUSSENWAND
38.	23. Bewehrungs- und CO ₂ - Gehalte in Stahlbetonwänden- und Stützen
39.	24. Kosten- und Arbeitszeiteinsparung von unbewehrten Betonwänden- und Stützen
40.	25.1. Vorhandene Betonwandflächen im Geschosswohnungsbau für Stb.-Innen- und Außenwände, REINER BETONBAU
41.	25.2. Vorhandene Betonwandflächen im Geschosswohnungsbau für Stb.-Innen- und Außenwände, MAUERWERK+BETON

Seite	Kapitel
42.	26.1. Ausführungsbeispiele: Wörthsee
43.	26.2. Ausführungsbeispiele: Altenmarkt
44.	26.3. Ausführungsbeispiele: Worms
45.	26.4. Ausführungsbeispiele: Beckum
46.	26.4. Ausführungsbeispiele: Beckum
47.	26.5. Ausführungsbeispiele: Kirchheim
48.	26.6. Ausführungsbeispiele: München
49.	26.7. Ausführungsbeispiele: Konstanz
50.	26.8. Ausführungsbeispiele: München
51.	26.9. Ausführungsbeispiele: Bad Aibling
52.	27. Bewehrung Türrahmen & Aussparungen
53.	28. Vorteile unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände
54.	28. Vorteile unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände
55.	28. Vorteile unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände
56.	29. Ausblick: unbewehrte Hohlwände
57.	30. Planervorbehalte
58.	31. Fazit: unbewehrte Betonwände
59.	32. Kontaktdaten

1. Das **Klimaproblem**



2. Die Rolle – des Stahlbetones und Betones



1 = **300** = **4.000**
m³ Stahlbeton kg CO₂ einzelne Bäume

1 = **200** = **2.500**
m³ Unbewehrter Beton kg CO₂ einzelne Bäume

3. CO₂ - Hardfacts

800

Jahre
Halbwertszeit in der Atmosphäre

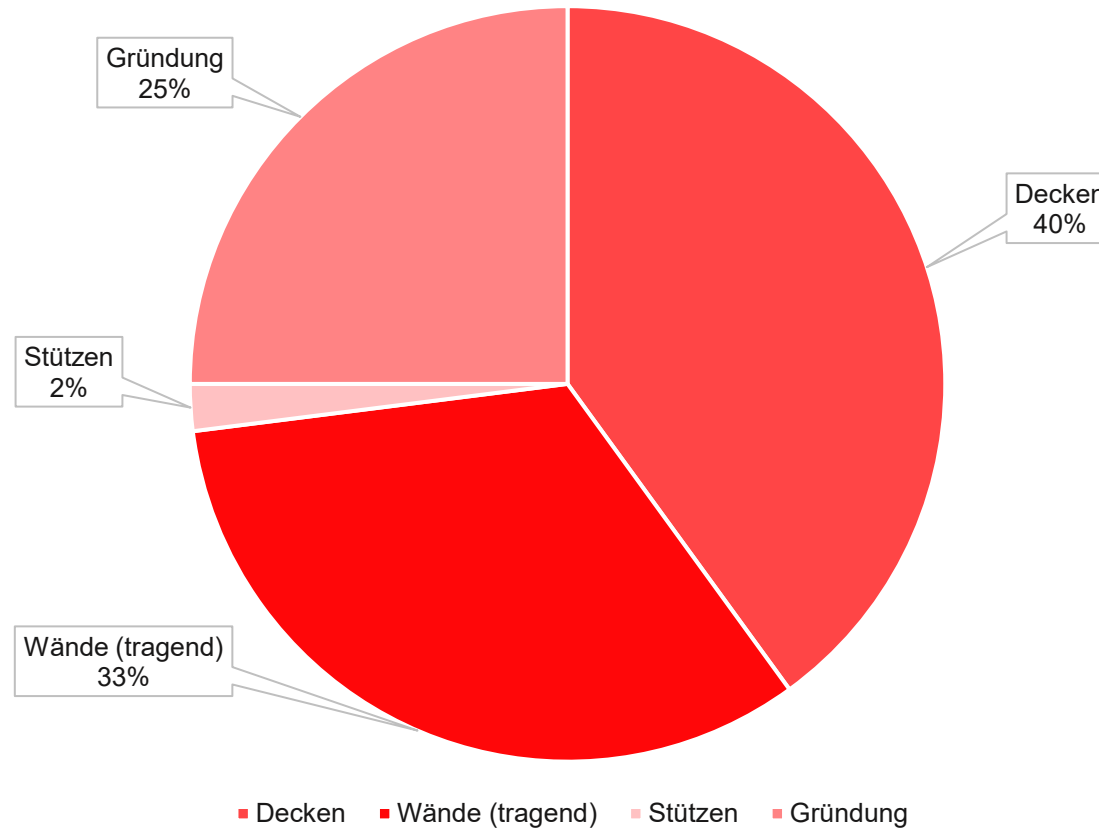
50.000.000.000

Tonnen
weltweit anthropogener Emissionen pro Jahr

8

Prozent
der weltweit emittierten Treibhausgase durch Zement

4. Einfluss von Bauteilen auf die Emission



Übersicht konstruktionsbedingter Treibhausgasemissionen im Wohngebäude - Quelle: Mendler Ingenieur Consult

5.1 Zulässige + vorhandene Emissionen (K, BRI)

Zulässiger Verbrauch Gebäude (Phase A):

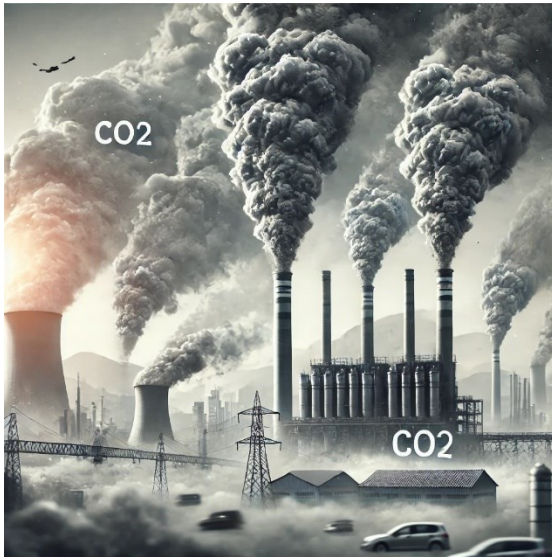
32 kg CO₂ / m³ BRI, (Quelle: Prof. Sobek)

Mehrfamilienhäuser (vorhandene Emissionen):

∅ **80** kg CO₂ / m³

Einfamilienhäuser (vorhandene Emissionen):

∅ **95** kg CO₂ / m³



5.2 Zulässige + vorhandene Emissionen (K, NGF)

Zulässiger Verbrauch Gebäude (Konstruktion):

9,4 kg CO₂ / m² x a (NGF) (Quelle: DGNB)

50 geprüfte Häuser nach DGND-Standard (Konstruktion):

8,7 kg CO₂ / m² x a (NGF) (Quelle: DGNB)

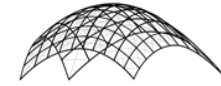
Vorhandener Verbrauch Neubau-Gebäude (Konstruktion):

∅ **10-16** kg CO₂ / m² x a (NGF)

(Quelle: Studie Umweltbundesamt)



6. Zulässige CO₂-EMISSIONEN (K+N, NGF)



Zulässiger Verbrauch Gebäude (Konstruktion + Nutzung):
in Deutschland- nicht verpflichtend:

24 (13+11) kg CO₂ / m² x a (NGF)

(Quelle: kfw/ QNG)

Zulässiger Verbrauch Gebäude (Konstruktion + Nutzung):
in Dänemark seit 2023 - verpflichtend:

12 kg CO₂ / m² x a (NGF)

(Quelle: Methodenaufsatz T.Lützkendorf, nbau 08.2023)

7. Konsequenzen **des Bauschaffens**

- Ressourcenproblem
 - Treibhausgasproblem
 - Abfallproblem
 - Energieverteilungsproblem
-
- **kein Energieproblem**

8. Grundsätze des zirkulären Bauens – BIG 5

- Reduce
- Reuse
- Recycle
- Refuse
- Repair

9. Beton ist kein Klimakiller

45

Prozent
Wiederaufnahme CO₂ aus der Atmosphäre

100

Prozent
rezyklierbar

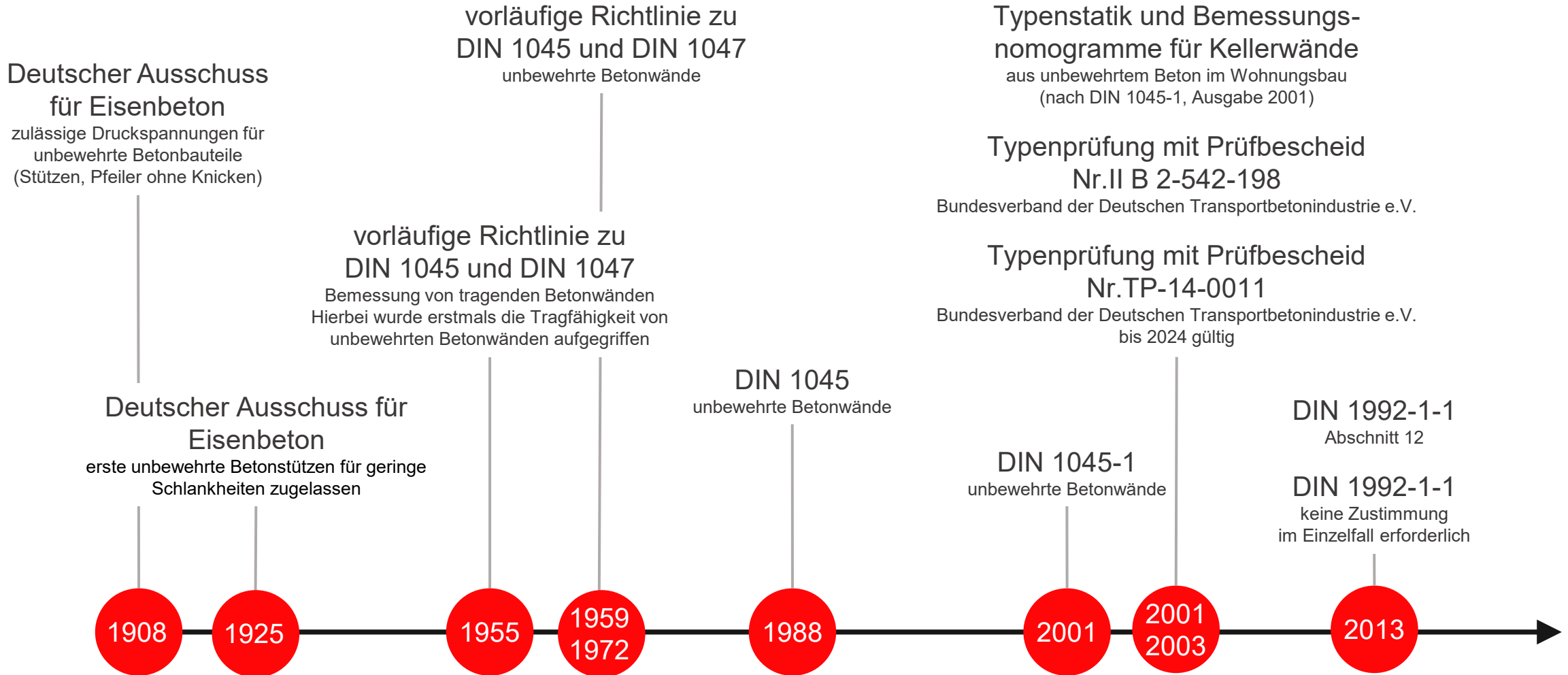
30

Prozent
CO₂ Einsparung durch unbewehrten Beton

10. Unbewehrte & bewehrte Betonwand



11. Historische Entwicklung



11. Historische **Entwicklung**

- Ab 1950 wurden in größerem Umfang tragende Wände aus Beton- oder Stahlbeton im Wohnungsbau verwendet
- Seit **fast 70 Jahren** sind unbewehrte Betonwände in Deutschland anwendbar.
- Unbewehrte Betonwände sind **in Frankreich standard**.
- Prof. Klaus Stiglat (Platten nach Stiglat und Wippel) hatte **1972 Hochhäuser mit 14 Geschossen gebaut, deren aussteifende Kernwände unbewehrt** waren.

- vorläufige Richtlinie zu DIN 1045 und DIN 1047, Ausgabe 1955, unbewehrte Betonwände
 - Mindest-Betondruckfestigkeit B120
 - Mindestdicke allgemein $d=15$ cm, max. Geschosshöhe 3,75 m
 - Reduzierte Mindestdicke $d=10$ cm, wenn Geschosshöhe max. 3,0 m und dreiseitig bis vierseitig gehaltene Wand
 - Zulässige Schlankheit von 25 (Knicklänge/ Wanddicke) musste eingehalten werden
 - Nachweis für ω -fache mittige Last mit zulässigen Druckspannungen (Abminderung der zulässigen. Last aus unbewehrten Normalbeton)
 - **Bis zu 1,20 m lichte Weite bei Fensterstürzen keine Bewehrung erforderlich, wenn die Stürze zusammen mit der Wand betoniert und 40 cm Sturz vorhanden**

- DIN 1045, Ausgabe 1988, 17.9, unbewehrte Betonwände dort geregelt
 - Max. Betondruckfestigkeit B35
 - Schlankheit bis $\lambda=70$ und über $\lambda=70$ (genauerer Nachweis + Kriechen) möglich
 - Betonzugspannungen dürfen nicht in Rechnung gestellt werden
 - Klaffende Fuge höchstens bis zum Schwerpunkt des Gesamtquerschnittes

➤ DIN 1045-1, Ausgabe 2001, 8.6.7, 10.2.(2), 13.7.4, Tab.32, unbewehrte Betonwände dort geregelt

- Maximale Betonfestigkeitsklasse C35/45
- Minimale Betonfestigkeitsklasse C12/15
- Schlankheit max. $\lambda=85$
- Mindestdicke $d=10$ cm für Fertigteile, $d=12$ cm in Ortbeton
- Nachweis der Duktilität über max. Ausmitten $e/h \leq 0,4$
- Nachweis der Normalkrafttragfähigkeit über zulässige Last
- Nachweis der Stabilität (Knicknachweis)
- Nachweis der Querkraftbeanspruchung

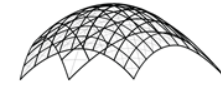
In DIN 1045-1 wurde eine genauere Abbildung der Traglastkurve erreicht.

Ein Vergleich der beiden Normen zeigt, dass die Bemessung von Druckgliedern aus unbewehrtem Beton nach DIN 1045-1 bei größerer Schlankheit und ebenfalls größeren Ausmitten höhere Traglasten erzielt als die DIN 1045 (07.88).

➤ DIN 1992-1-1: 2011-01, Abschnitt 12 und DIN 1992-1-1: NA, 2013

- Maximale Betonfestigkeitsklasse C35/45 bzw. LC20/22
- Minimale Betonfestigkeitsklasse C12/15
- Schlankheit max. $\lambda=86$
- Mindestdicke $d=10$ cm für Fertigteile, $d=12$ cm in Ortbeton
- Nachweis der Duktilität über max. Ausmitten $e/h \leq 0,4$
- Nachweis der Normalkrafttragfähigkeit über zulässige Last
- Nachweis der Stabilität (Knicknachweis)
- Nachweis der Querkraftbeanspruchung

➤ DIN 1992-1-1: ca. 2026, Ausblick, keine Änderungen zu Ausgabe 2011 erwartet



- Grundsätzlich bieten sich bewehrungsfreie Bauteile bei fast überall an.
- Im Hallenbau kann der Betonstahl eher in tragenden Bodenplatten (Industriehallen) eingespart werden, im Wohnungs- und Gewerbebau vielmehr in Wand, -Stützen- und Gründungsbereich.
- Alle Autobahnbodenplatten bestehen zu 100% aus unbewehrten Bodenplatten mit Scheinfugen.

- **Kelleraußenwand** aus unbewehrtem Beton
(Mindestauflast erforderlich, bzw. Reduktion des Erddruckes z.B. durch leichte Anschüttung)

- **Windbelastete Außenwand** aus unbewehrtem Beton

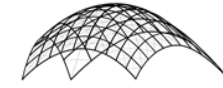
- **Innenwand** aus unbewehrtem Beton

- **Aussteifende Innen- und Außenwand** aus unbewehrtem Beton
(Zugkeildeckung erforderlich)

- Ausführung unbewehrter **Betonwände-** und **Stützen** in Leicht- oder Normalbeton

13. Allgemeines: unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände

NACH DIN 1992-1-1, KAPITEL 12



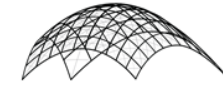
Mendler
Ingenieur Consult

- Die DIN EN 1992-1-1 behandelt im Kapitel 12 Bauteile aus unbewehrtem Beton.
- Überwiegend auf **Druck beanspruchte tragende Wände** oder Stützen als unbewehrte Bauteile
- Die Betonwichte wird mit $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$ berechnet.
- Es werden die **Nachweise der Tragfähigkeit, der Stabilität und der Querkraft** geführt, die man mit der Hand führen kann, ohne aufwendige Statik Programme
- Wände oder Stützen, die **weniger als die Mindestbewehrung** aufweisen werden auch als unbewehrte Bauteile beschrieben.
- Unbewehrte **wandartige Träger** zur Abfangung von darüberliegenden Geschossen sind nicht möglich, da der Beton nicht auf Zug beansprucht werden darf.
- Eine unbewehrte Beton- und Leichtbetonwand **gleichet einer klassischen Mauerwerkswand**, bei der keine Einspannwinkel in die Decke erforderlich werden.
- Auch in **Erdbebenzonen** zugelassen!

DEUTSCHE NORM		April 2013
DIN EN 1992-1-1/NA		DIN
ICS 91.010.30; 91.080.40		Ersatz für DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 und DIN EN 1992-1-1/NA Berichtigung 1:2012-05
Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau		
National Annex – Nationally determined parameters – Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings		
Annexe Nationale – Paramètres déterminés au plan national – Eurocode 2: Calcul des structures en béton – Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments		
		Gesamtumfang 97 Seiten
Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN		
<small>© 2013 by Deutsches Institut für Normung e. V. / Institut für Normung e. V., Berlin. Alle Rechte vorbehalten. DIN EN 1992-1-1/NA:2013 ist eine deutsche Normung. Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist eine Kopie der Originalnorm. Die Weiterverbreitung ist ohne schriftliche Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet. Alle Rechte vorbehalten.</small>		<small>Preisgruppe 31 www.din.de www.bauib.de 1946465</small>

14. Nachweisführung unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände

NACH DIN 1992-1-1, KAPITEL 12



Mender
Ingenieur Consult

- Nachweis der **Normkrafttragfähigkeit**

$$n_{Ed} \leq n_{Rd}$$

mit $n_{Rd} = \eta \cdot f_{cd,pl} \cdot h$ (zentrisch) bzw. $n_{Rd} = \eta \cdot f_{cd,pl} \cdot h \cdot (1 - 2 \cdot e/h)$ (exzentrisch)

- Nachweis der **Stabilität (Knicknachweis)**

$$n_{Ed} \leq n_{Rd}$$

mit $n_{Rd} = f_{cd,pl} \cdot h \cdot \Phi$ ($\Phi = \text{Th. II.O.}$, Mindestmomente nicht erf.)

$$\Phi = 1,14 \cdot (1 - 2 \cdot e_{tot} / h_w) - 0,02 \cdot l_o / h_w \leq 1 - 2 \cdot e_{tot} / h_w$$

Bei $l_o / h \leq 2,5$ ist ein Stabilitätsnachweis zu führen.

- Nachweis der **Querkraft**

$$\tau_{cp} \leq f_{c,vd}$$

mit $\sigma_{cp} = N_{Rd} / A_{cc}$

mit $\tau_{cp} = 1,5 \cdot V_{ed} / A_{cc}$

mit $f_{c,vd} = \sqrt{f_{ctd,pl}^2 + (\sigma_{cp} \cdot f_{ctd,pl})}$ bzw. $f_{c,vd} = \sqrt{f_{ctd,pl}^2 + (\sigma_{cp} \cdot f_{ctd,pl}) - (\sigma_{cp}/2 - \sigma_{c,lim}/2)}$

- Nachweis der **Duktilität über maximale Ausmitten**

$e_d/h < 0,4 = 1 / 2,5$ (größer als $h/6$ bzw. $h/3!$)

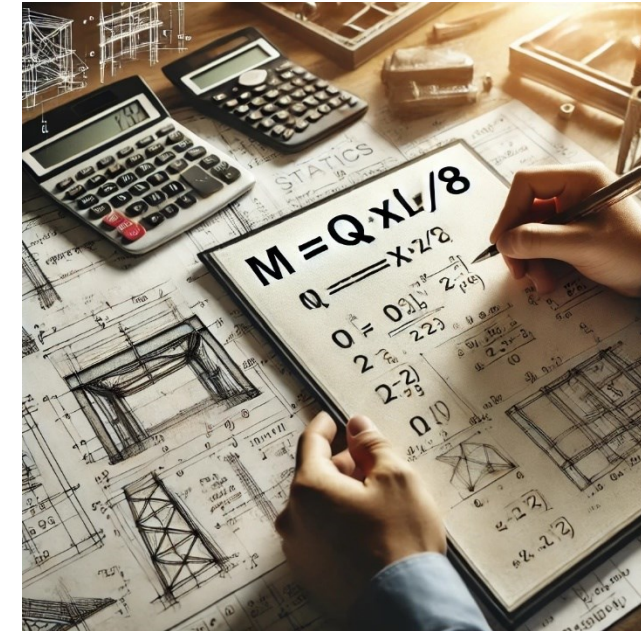
mit $e_d = e_{tot} = e_0 + e_i = M_1 / N + l_o / 400$ (Ausmitte Th.I.O. + ungewollte Ausmitte)

bei Innenwänden: e_0 darf unberücksichtigt bleiben

bei Aussenwänden: dreiecksförmige Spannungsverteilung $h/6$ als Ausmitte aus exz. Auflagerung bzw. el. Einspannung zu berücksichtigen

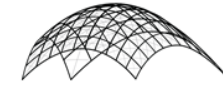
- Nachweis der **Grenزشlankheit**

$$\lambda \leq 86$$

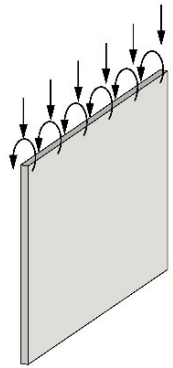


14. Nachweisführung unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände

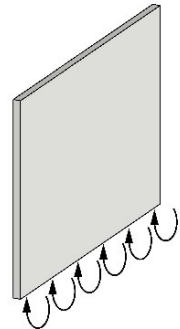
NACH DIN 1992-1-1, KAPITEL 12



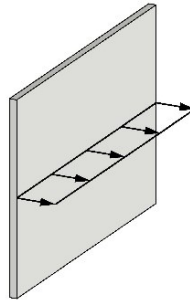
Mender
Ingenieur Consult



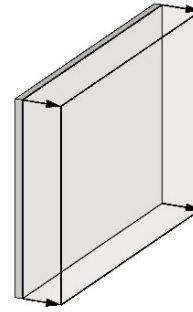
a) Belastungen am Kopf



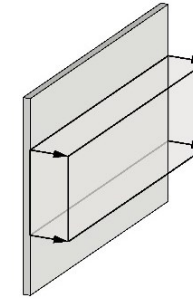
b) Belastungen am Fuß



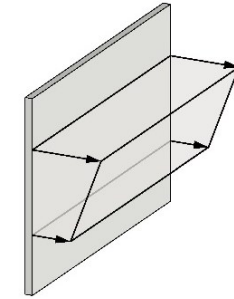
c) Streckenlast horizontal
auf die Wand



d) Gleichflächenlast horizontal
auf die Wand



e) Blockflächenlast horizontal
auf die Wand



f) Trapezflächenlast horizontal
auf die Wand

- **Minimale Betonfestigkeit ab C12/15**
- **Maximale Betonfestigkeit bis C35/45 bzw. LC20/22** (Leichtbeton), (für alle Gebäudeklasse möglich)
- Achtung: „**Büscher Wand**“ = unbewehrte 100% recycelte unbewehrte Betonfertigteilwand mit bauaufs. Zulassung **ab C20/25** möglich (bis Gebäudeklasse 4 möglich)

16. Mindestwandstärken

- Keine größeren Wandstärken gegenüber bewehrter Stb.-Wand.
- Für unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände dürfen **dieselben Mindestdicken** aus brandschutztechnischer Sicht wie für bewehrte Betonwände geplant werden.
- Für unbewehrte **Brandwände** ist eine Mindestdicke von 20 cm festgelegt.
- **Wohnflächeneinsparung** bei reduzierter Wandstärke!

Tabelle NA.12.2 — Mindestwanddicken für tragende unbewehrte Wände

	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

Mindestwanddicken (Auszug aus DIN DIN 1992-1-1, Tabelle NA.12.2)

17. Gebrauchstauglichkeit

- Der EC2 gibt Hinweise zur Gebrauchstauglichkeit (GZG)
- *a) im Hinblick auf eine Rissbildung:*
 - **Betonzugspannungen** dürfen im Allgemeinen nicht angesetzt werden
 - Einlegen einer **konstruktiven Zusatzbewehrung örtlich erlaubt** (Oberflächenbewehrung, erforderlichenfalls Ring- und Zuganker)
 - **Anordnung von Fugen** (in Außenwänden z.B. Sollbruchfugen $e = \max. 2xh$)
→ Zwang aus Temperatur und Schwinden darf vernachlässigt werden!
 - Betontechnologische Maßnahmen (z.B. geeignete Betonzusammensetzung, **Nachbehandlung**)
- *b) im Hinblick auf die Verformung*
 - Festlegung einer minimalen Querschnittsgröße von 12 cm bei Ortbeton
 - Begrenzung der Schlankheit bei Druckgliedern ($\lambda \leq 86$)

18. Konstruktionsregeln

- Wände sollten/ müssen **übereinanderstehen**, nicht versetzt oder auskragend angeordnet.
- **Große Deckendrehwinkel**
bzw. große Deckenspannweiten vermeiden (vgl. Büscher Wand $l = \max. 8,50 \text{ m}$), 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.
- **Belastung aus Staffelgeschoss** auf Decke darunterliegendes Geschoss: Deckendrehwinkel überprüfen, evtl. Zentrierleisten planen oder Wände darunter bewehren und in Decke einspannen.
- **Schlitze und Aussparungen** sind in der Regel nur zulässig, wenn eine ausreichende Festigkeit und Stabilität nachgewiesen werden kann.
- Bei **aussteifenden Wänden** werden nur die Wandenden mit einer Zugkeilbewehrung versehen.
- **Keine Eckverbindung** der Wände erforderlich (Saumbügelstoß).

- Bei **Aussenwänden** muss folgendes überprüft werden:
 - Rolladenkasten als Aufsatz (optimal) oder Auflager von 5-10 cm auf Aussenwand
 - Unterputzgurtwickler vorhanden? → Störung Wandende
 - Laibungslüfter ALD vorhanden? → Störung Wandende
- kommen ungünstige Faktoren zusammen, muss das Wandende auf ca. 50 cm-1,0 m bewehrt werden
- Biegebauteile wie **Stürze und Unterzüge** müssen bewehrt werden!
 - Für die **Halterung im Bauzustand** nach dem Ausschalen ist aus dem Restecontainer eine Matte mittig in die Decke einzubauen (gegen Umfallen bei Windlast gesichert) oder einreihige $\varnothing 8/50$ in Decke vorsehen.
 - **Vorschlag:** Wenn Aussteifungsberechnung erforderlich, dann aussteifende Wände bewehren, Rest kann unbewehrt ausgeführt werden (Bsp. Hochhaus).
 - Wände überprüfen mit **großen Lasteinflussflächen aus der Decke** (Wandenden + Wandecken)!
 - Wenn wandartige Träger auf darunter liegenden Wänden ablasten, dann werden WAT und Auflagerwände bewehrt ausgeführt.

- **Keine Nachteile** gegenüber bewehrter Stb.-Wand!
- **Erhöhter Schallschutz** für unbewehrte Wohnungstrennwände nach DIN 4109 mindestens 22 cm Betonwandstärke (analog bewehrter Stb.-Wand).
- Bei unbewehrten Betonwänden **entfällt der Nachweis des Achsabstandes** im Nachweis der Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden Bauteile.
Hier sind nur Mindestwanddicken, abhängig vom Ausnutzungsgrad gemäß Tabelle 5.4, einzuhalten.
- Für **Brandwände** ist die Mindestdicke von 20 cm für unbewehrte Betonwände festgelegt.
- Für unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände dürfen **dieselben Mindestdicken** aus brandschutztechnischer Sicht wie für bewehrte Betonwände geplant werden.

Tabelle 5.4 —  Mindestdicke und -achsabstände für tragende Betonwände 

Feuerwiderstands- klasse	Mindestmaße (mm)			
	Wanddicke/Achsabstand für			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	Brandbean- sprucht auf einer Seite	Brandbean- sprucht auf zwei Seiten	Brandbean- sprucht auf einer Seite	Brandbean- sprucht auf zwei Seiten
	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60

* Normalerweise reicht die nach EN 1992-1-1 erforderliche Betondeckung.
ANMERKUNG Für die Definition von μ_{fi} siehe 5.3.2 (3).

5.4.3 Brandwände

(1) Sofern eine Brandwand zusätzlich zu 5.4.1 und 5.4.2 die Anforderung an mechanische Widerstandsfähigkeit gegen horizontale Stoßbeanspruchung (Kriterium M, siehe 2.1.2 (6)) erfüllen muss, darf die Mindestdicke bei Ausführung in Normalbeton nicht kleiner sein als:

- 200 mm für eine unbewehrte Wand,
- 140 mm für eine bewehrte, tragende Wand,
- 120 mm für eine bewehrte, nichttragende Wand,

und der Achsabstand einer tragenden Wand darf nicht kleiner als 25 mm sein.

Mindestwanddicken (Auszug aus DIN DIN 1992-1-2, Tabelle 5.4)

20.1. Beispiele zur Tragfähigkeit: unbewehrte Betonwand



Vergleich der Tragfähigkeit zwischen einer bewehrten und unbewehrten Betoninnenwand

$d=25\text{ cm}$, $h=2,60\text{ m}$, C25/30

Bewehrte Betoninnenwand

zul. $N_k = \text{ca. } 2400\text{ kN/m}$ (Q257 beidseits)

40 Elefanten pro m (zulässige Auflast bewehrte Wand)

Unbewehrte Betoninnenwand

zul. $N_k = \text{ca. } 1800\text{ kN/m}$

30 Elefanten pro m (zulässige Auflast unbewehrte Wand)

- hohe Bauteilbelastung
- hohe Lasten kommen im klassischen Hochbau selten vor



Nachweis der Tragfähigkeit einer klassischen unbewehrten Tiefgaragenstütze

$b/d=25/50$ cm, $h=2,5$ m, C35/45, 60 cm Auflast durch Überschüttung
 $q=5,0$ kN/m², Anpralllast PKW 40/25 kN

Stellplatzbreiten $3 \times 2,5=7,5$ m, 6,0 m Fahrgassenbreite, Stellplatztiefe von 5,0 m

vorh. $F_k=1.110$ kN

19 Elefanten (vorhandene Auflast)

zul. $F_k = 1.305$ kN

22 Elefanten (zulässige Auflast unbewehrte Stütze)

- Ausnutzung im Grenzzustand der Tragfähigkeit beträgt 80 %
- Die meisten TG-Stützen sind unbewehrt ausführbar

20.3. Beispiele zur Tragfähigkeit: verschiedene Wandtypen

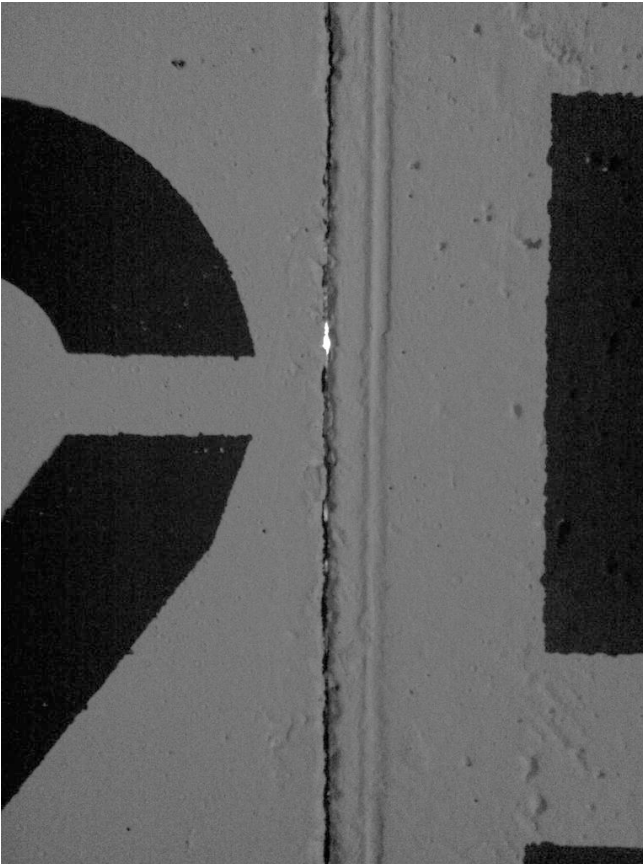


Zulässige charakteristische Auflast für verschiedene Wandtypen

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

	C25/30	C35/45	LC20/22
unb. Beton-Innenwand $d=20$ cm	1.300 kN/m (15VG)	1.900 kN/m (23VG)	1.000 kN/m (13VG)
Stb.-Innenwand $d=20$ cm	1.900 kN/m (23VG)	2.600 kN/m (30VG)	1.300 kN/m (15VG)
unb. Beton-Innenwand $d=25$ cm	1.800 kN/m (20VG)	2.500 kN/m (28VG)	1.400 kN/m (17VG)
Stb.-Innenwand $d=25$ cm	2.400 kN/m	3.300 kN/m (38 VG)	1.700 kN/m (20VG)
unb. Beton-Außenwand $d=20$ cm, $d/3$	500 kN/m (9VG)	700 kN/m (12VG)	400 kN/m (7VG)
Stb.-Außenwand $d=20$ cm, $d/3$	800 kN/m	1.100 kN/m	500 kN/m
unb. Beton-Außenwand $d=25$ cm, $d/3$	700 kN/m (12VG)	900 kN/m (14VG)	500 kN/m (9VG)
Stb.-Außenwand $d=25$ cm, $d/3$	1.000 kN/m (15VG)	1.300 kN/m (18VG)	700 kN/m (12VG)

→ Leichtbetonwände weisen mind. 7 Vollgeschosse Tragkraft auf



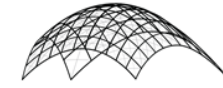
- Risse in unbewehrten Beton- und Leichtbetonwänden treten **nicht häufiger** als in bewehrten Wänden auf (statistische Erfahrungswerte).
- Abgestimmten Betonrezeptur, niedrigerer Hydratationswärmeentwicklung, schwindarmen Betonen ist zu begrüßen.
- **Nachbehandlungskonzept** in Abstimmung mit Baufirma.
- Sollbruchfugen Abstand $e=2xh$.
- Betonier- oder Schwindgassen .
- **Keine Anforderung an Rissbreiten**, da kein Stahl vorhanden, der geschützt werden muss (Wände dürfen aufreißen).
- Systemimmanente Bauweise, völlig ungerissenen Beton gibt es weltweit nicht.
- Ziel ist nur die **Minimierung der Risse**, nicht das Ausschließen der Risse.
- **Keine Anforderungen an Dauerhaftigkeit**, speziell in Tiefgaragen (Beschichtungssystem + Wartung + spätere Sanierungen entfallen).

21. Risseverhalten von Beton- und Leichtbetonwänden

- Unbewehrte Wände bleiben **rissfrei**, wenn die Bruchdehnung des Betons mit einem Sicherheitsabstand unterschritten bleibt oder wenn die Zugfestigkeit nicht überschritten wird.
- Die Zugbruchdehnung **etwa 0,1‰**
- Größte **Schwindanteil** in den ersten vier Jahren abgeklungen
- **Fugenplanung** u.U. erforderlich
- **Entlastung der Hausverwaltungen**

22.1. Beispiele zur CO₂-Bilanz, Kosten- & Zeiteinsparung

BEISPIELRECHNUNG EINER UNBEWEHRTEN INNENWAND



Mender
Ingenieur Consult

b=25 cm, h=2,6 m, Wandlänge l=1,0 m

Stahlpreis: 1.800 €/to
Stahlmenge: 120 kg/m³ Betonstahl
Co₂-Emission: 683 kg Co₂/ to Betonstahl
Arbeitszeit: ca. 15h/to

Stahlersparnis ca.: **78** kg/m, **30** kg/m²

Kostensparnis ca.: **140** €/m, **50** €/m²

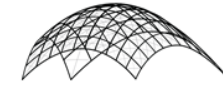
CO₂-Einsparung ca.: **52** kg/m, **20** kg/m²

Zeitersparnis ca.: **0,45** h/m²



22.2. Beispiele zur CO₂-Bilanz, Kosten- & Zeiteinsparung

BEISPIELRECHNUNG EINER WOHNANLAGE MIT 500 WOHN EINHEITEN



Mender
Ingenieur Consult

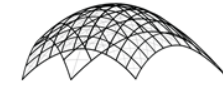
b=22 cm, h=2,6 m, ca. 125 m² Betonwandfläche je Wohneinheit, 500 WE

Stahlpreis: 1.800 €/to
Stahlmenge: 120 kg/m³ Betonstahl
Co₂-Emission: 683 kg Co₂/ to Betonstahl
Arbeitszeit: ca. 15h/to

Stahlersparnis ca.: **1.650** to
Kostensparnis ca.: **3 Mio** € (35% = ca. 1 Mio €)
CO₂-Einsparung ca.: **1.100** to pro 500 WE (35% = 385 to)
Zeitersparnis ca.: **24.750** h (35% = 8.660h)

22.3. Beispiele zum CO₂- und Kostenvergleich verschiedener Wandtypen

BEISPIELRECHNUNG



Mendler
Ingenieur Consult

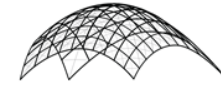


- Es wird eine unbewehrte Betoninnen- und Außenwand mit einer Innen- und Außenwand aus Mauerwerk verglichen (Preise gemäß BKI 2023 brutto, ohne Regionalfaktor).
- GPW nach QNG (Qualitätssiegel nachhaltiges Gebäude)
- Unbewehrte Betonwände sind den Mauerwerkswänden meist überlegen

	Kosten, brutto	Co ₂ -Bilanz	Bewertung
unbewehrte Beton-Innenwand d=24 cm	110 Euro/m ²	45 kg Co ₂ /m ²	günstiger als MW IW d=24 cm
			emittiert mehr Co ₂ als MW IW 24
unbewehrte Beton-Außenwand d=18 cm (inkl. WDVS 18 cm)	175 Euro/m ²	46 kg Co ₂ /m ²	günstiger als MW AW d=42,5 cm
			emittiert weniger Co ₂ als MW AW 42,5
bewehrte Stb.-Innenwand d=24 cm	165 Euro/m ²	61 kg Co ₂ /m ²	teurer als MW IW d=24 cm
			emittiert mehr Co ₂ als MW IW 24
bewehrte Stb.-Außenwand d=18 cm (inkl. WDVS 18 cm)	220 Euro/m ²	59 kg Co ₂ /m ²	kostenneutral zu MW AW d=42,5 cm
			emittiert weniger Co ₂ als MW AW 42,5
Mauerwerk-Innenwand d=24 cm	120 Euro/m ²	31 kg Co ₂ /m ²	teurer als unbewehrte IW d=24 cm
			emittiert weniger Co ₂ als unbewehrte Beton IW 24
Mauerwerk-Außenwand d=42,5 cm (Wärmedämmziegel mit Perlitefüllung)	220 Euro/m ²	71 kg Co ₂ /m ²	teurer als unbewehrte Beton AW d=18 cm
			emittiert mehr Co ₂ als unbewehrte Beton AW 18

22.4. Beispiele zur CO₂-Bilanz, Kosten- & Zeiteinsparung

BEISPIELRECHNUNG EINER BEWEHRTEN AUSSENWAND



Mender
Ingenieur Consult

- Eine bewehrte Außenwand $d=20$ cm muss aufgrund der geforderten Mindestbewehrung nach EC2, 9.6 mit Q257 beidseits bewehrt werden (Mattengewicht $4,12$ kg/m²).
- Ist eine bewehrte Wand gewünscht (Angsthasenbewehrung), könnte man diese unbewehrt nachweisen und eine konstruktive Bewehrung R188 einbauen (Mattengewicht $2,43$ kg/m²).

Kostenersparnis ca.: **41%** der Bewehrung

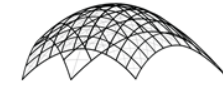
23. Bewehrungs- und CO₂- Gehalte in Stahlbetonwänden- und Stützen

- Hier sind **CO₂-Einsparungen zwischen 24 bis 40 %** bei einer unbewehrten Betonwandausführung möglich.
- Bei Stützen liegt zwar das CO₂-Einsparpotential höher, fällt aber aufgrund des gering verbauten Betonvolumens hier nicht ins Gewicht.

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

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

24. Kosten- und Arbeitszeiteinsparung von unbewehrten Betonwänden- und Stützen



- Da die Einsparung abhängig ist 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.
- Schnellerer Bauablauf.
- Personal- und Materialkosteneinsparung.

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

(Stahlpreis aktuell ca. 1.800 Euro/ to mit Einbau, Arbeitsaufwand Eisenflechten ca. 15h/ to, Stundenlohn Eisenflechter ca. 17 Euro/h)

25.1. Vorhandene Betonwandflächen im Geschosswohnungsbau für Stb.-Innen- und Außenwände

REINER BETONBAU

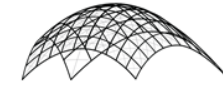
Bauteil	Betonwandfläche/ Wohneinheit	Betonwandfläche/ Wohnfläche	Betonwandfläche/ m ³ BRI
Stahlbetoninnen- und Außenwand	ca. 100-150 m ² /WE	ca. 1,30-2,2 m ² / m ² WF	ca. 0,20-0,40 m ² / m ³




(Quelle: Mendler Ingenieur Consult)

25.2. Vorhandene Betonwandflächen im Geschosswohnungsbau für Stb.-Innen- und Außenwände

MAUERWERK+BETON



Bauteil	Betonwandfläche/ Wohneinheit	Betonwandfläche/ Wohnfläche	Betonwandfläche/ m ³ BRI
Stahlbetoninnen- und Außenwand	ca. 40-120 m ² /WE	ca. 0,7-1,5 m ² / m ² WF	ca. 0,10-0,40 m ² / m ³



(Quelle: Mender Ingenieur Consult)

26.1. Ausführungsbeispiele: **Wörthsee**

Alle Innenwände vom UG bis DG als unbewehrte Betoninnenwände ausgeführt.



Wohnanlage **Wörthsee**

26.2. Ausführungsbeispiele: **Altenmarkt**

Nahezu alle Innen- und Aussenwände vom EG bis DG als unbewehrte Betonwände geplant.



unbewehrte Beton- und Leichtbetonwände nach Eurocode 2

26.3. Ausführungsbeispiele: **Worms**

Hoher Anteil der Innenwände vom EG bis DG als unbewehrte Betoninnen- und Aussenwände geplant.



Wohnquartier **Worms**

26.4. Ausführungsbeispiele: **Beckum**

Aussenwände teils als unbewehrte Betonwände geplant.



Bürogebäude **Beckum**

26.4. Ausführungsbeispiele: **Beckum**



Bürogebäude **Beckum**

26.5. Ausführungsbeispiele: **Kirchheim**

Alle Wände im Keller als unbewehrte Betonwände geplant.



Grüner Wohnen **Kirchheim**

26.6. Ausführungsbeispiele: **München**

Hoher Anteil der Innenwände vom EG bis DG als unbewehrte Betoninnenwände geplant.



Wohnanlage **München**

26.7. Ausführungsbeispiele: **Konstanz**

Alle Außen- und Innenwände vom 1.OG bis 6.OG als unbewehrte Betoninnenwände ausgeführt.



Hotel
Konstanz

26.8. Ausführungsbeispiele: **München**

Alle Außen- und Innenwände vom EG bis DG als unbewehrte Betoninnenwände ausgeführt.



Wohnanlage
Bogenhauser Höfe München

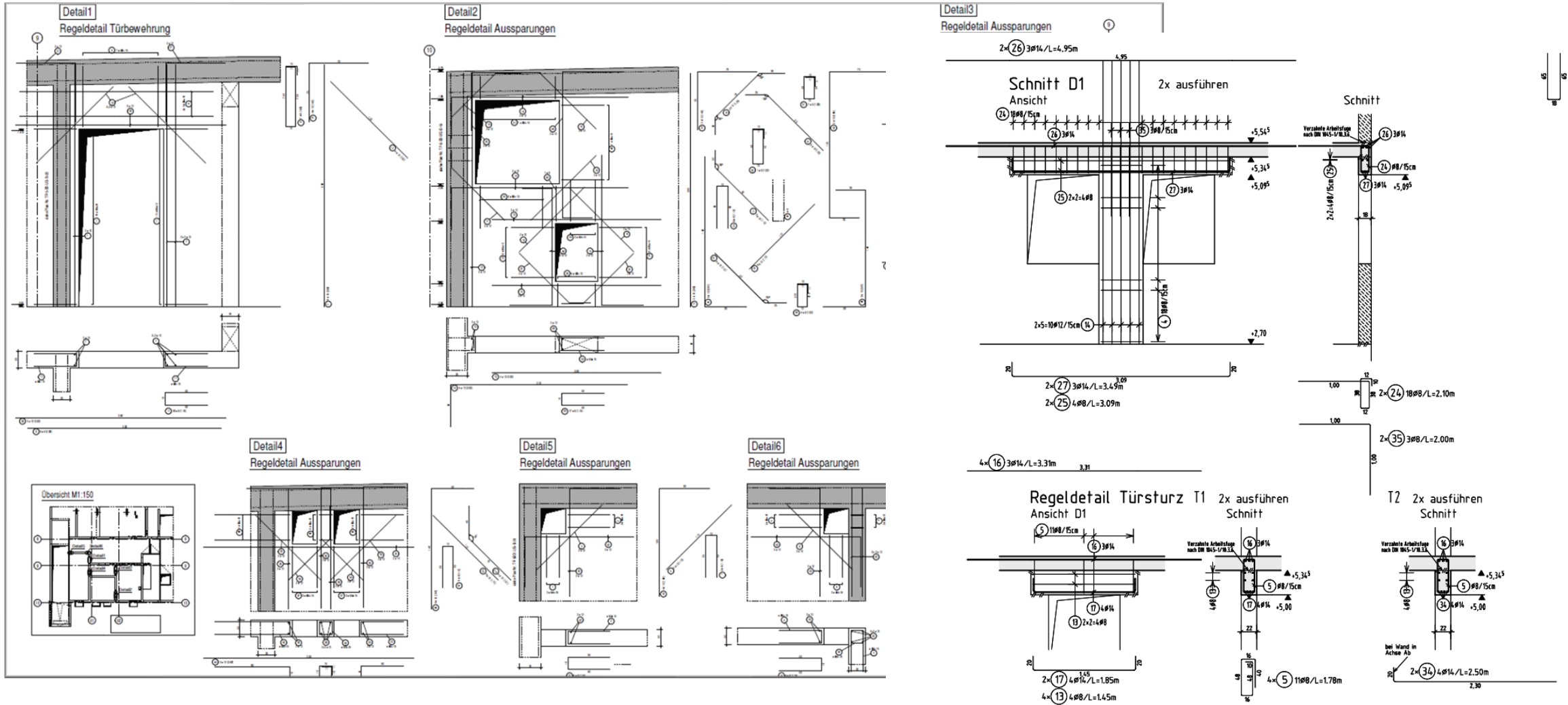
26.9. Ausführungsbeispiele: **Bad Aibling**

Das linke Gebäude mit unbewehrten Wänden ausgeführt.



E-Häuser Bad Aibling

27. Bewehrung Türrahmen & Aussparungen

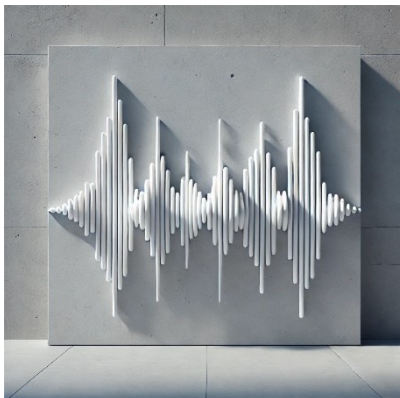


28. Vorteile unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände



- ✓ Einsparung von ca. **30% CO₂/m³ Beton** (ca. 80 kg CO₂/m³ Beton)
- ✓ Ressourcenschonung durch **Stahleinsparung**
- ✓ **kein Beschichtungssystem** mit jährlicher Wartung erforderlich (Einsparung von ca. 30 kg CO₂/m² Beschichtungssystem)
- ✓ Enorme **Kosteneinsparung** beim Betonstahl **von ca. 140 Euro/ lfdm.** und **Bauzeiteinsparung** durch schnelleren Bauablauf
- ✓ **Keine höheren Wandstärken** oder Betonfestigkeiten wie bewehrte Betonwände
- ✓ Keine Nachteile **Brandschutz und Schallschutz**
- ✓ Unabhängigkeit von ausländischen Lieferketten

28. Vorteile unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände



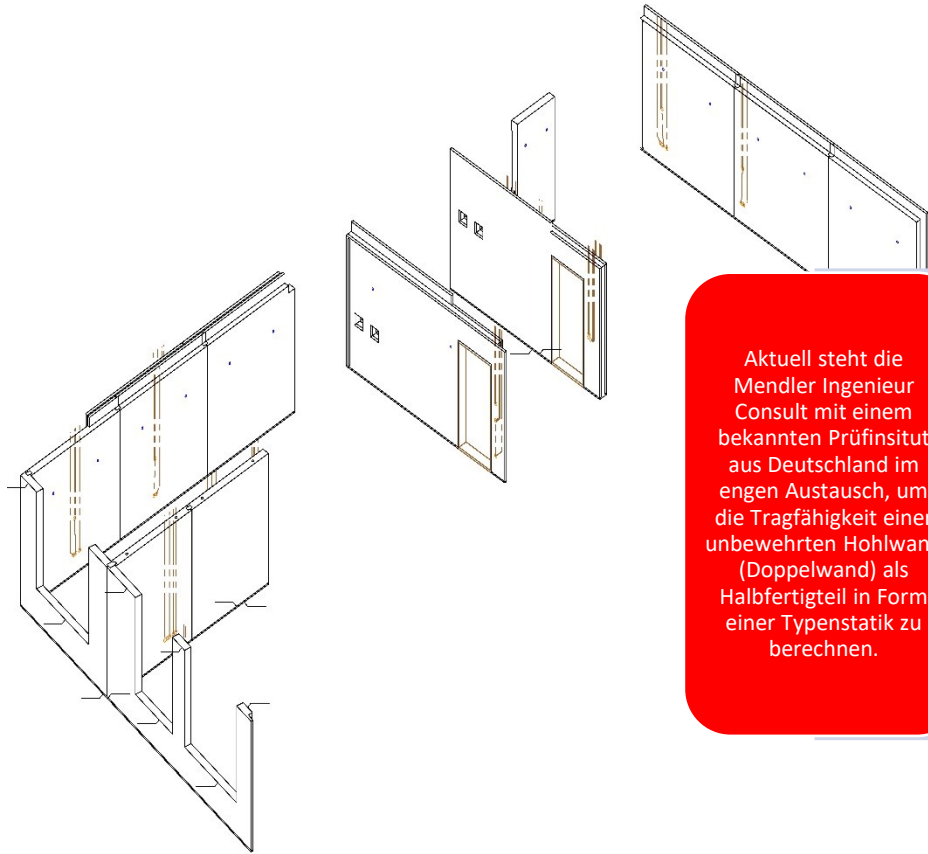
- ✓ Unbewehrte Betonwände lassen sich sehr gut mit CO₂-reduzierten oder **rezyklierten Betonen** kombinieren
- ✓ **Geregelte Bauweise** in der Norm Eurocode 2 als **Leicht- oder Normalbeton** und darf in ganz Europa für tragende Betonwände- und Stützen angewendet werden (keine Zustimmung im Einzelfall erforderlich)
- ✓ Was gemauert werden kann, kann erst recht betoniert werden
- ✓ **optimaler Energiespeicher** über massige Fläche (vgl. Thermodecken)

28. Vorteile unbewehrter Beton- und Leichtbetonwände



- ✓ Bis zu. 9x **höhere Tragfähigkeiten** wie eine Mauerwerkswand, ähnliche Tragfähigkeit wie bewehrte Betonwand
- ✓ Besitzt sehr **hohe Tragfähigkeiten** ähnlich einer bewerten Betonwand, die im Wohnungsbau gar nicht erforderlich sind
- ✓ Verdichten des Betons wird durch den Entfall der Bewehrung erheblich erleichtert und das Oberflächenergebnis der Wandbauteile tendenziell verbessert
- ✓ **Langzeiterfahrung** unbewehrter Betonbauweisen
- ✓ Entspricht den **allgemein anerkannten Regeln der Technik**

29. Ausblick: unbewehrte Hohlwände



Aktuell steht die Mendler Ingenieur Consult mit einem bekannten Prüfinstitut aus Deutschland im engen Austausch, um 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, sind die beiden äußeren Schalen unbewehrt in additiver Fertigungstechnik gedruckt und mit U-förmigen Mauerankern aus Edelstahl verbunden worden. Die Forschung unter Prof. Gehlen und Herrn Dr. Weger von der TUM haben gezeigt, dass es sehr wohl möglich ist, unbewehrte Hohlwände herzustellen.

Wir erwarten Ende des Jahres 2024 validierte Ergebnisse.

Allein in Deutschland werden jedes Jahr mehrere Mio. m² an Hohlwände verbaut und dabei über

22 Mio. kg an CO₂ emittiert. Das Potential für den Einsatz der unbewehrten Hohlwände im Sinne der Nachhaltigkeit ist enorm.

„Das haben wir noch nie geplant und hier bestehen keine Langzeiterfahrungswerte“.

„Dazu müsste ich neue Statikprogramme kaufen“.

„Unbewehrte Betonwände haben mehr Risse im Bauteil“.

„Ich habe Angst, dass die Tragfähigkeit nicht ausreicht“.

„Diese Bauweise akzeptiert doch kein Prüfenieur“.

„unbewehrte Beton- und
Leichtbetonwände macht Sie zu
Gewinner in der Klima- und
Wirtschaftskrise und hat sich seit
70 Jahren **bewährt**“



Mendler Ingenieur Consult

Lindenstraße 1b
86949 Windach

Tel.: + 49 (0) 81 93 – 36 39 110

Mobil: + 49 (0) 1 77 – 327 100 1

E-mail: a.mendler@mendler-consult.de

Web: www.mendler-consult.de



Nachhaltigkeitsberatung

unbewehrte Betonbauweisen, tragender Lehm- und Mauerwerksbau, Bauteiloptimierung, Kosteneinsparung



Folgen Sie uns, wenn Sie nichts mehr verpassen wollen