

unbewehrte Betonwände nach EC2

Dipl.- Ing. (FH) Andreas Mender



Klimaproblem einfach erklärt...





Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung
- 2 Einfluss von Bauteilen auf die Emission
- 3 Historische Entwicklung
- 4 Anwendungsfälle unbewehrter Betonwände
- 5 Nachweisführung von unbewehrten Betonwänden nach DIN 1992-1-1
- 6 Beispiele zur Tragfähigkeit unbewehrter Betonwände
- 7 Schallschutz
- 8 Brandschutz
- 9 Risse Verhalten von Betonbauteilen
- 10 Einsparung an Betonstahl, Kosten und Arbeitszeit
- 11 CO₂-Einsparung
- 12 Beispiele: Co2-Bilanz, Kosten- und Zeitersparnis durch die Ausführung unbewehrter Betonwände
- 13 Vorteile unbewehrter Betonwände
- 14 Ausführungsbeispiele unbewehrter Betonwände
- 15 Fazit



1 Einleitung

- Das Bauwesen ist für über 50% am weltweiten CO₂-Ausstoß verantwortlich von den über 50 Mrd. to weltweit anthropogener Emissionen pro Jahr.
- Der Baustoff Beton ist der am meisten verwendete Baustoff der Welt und zugleich der Baustoff, der einen schlechten Ruf besitzt, da er an ca. 10% der weltweit emittierten Treibhausgase verantwortlich ist.
- 1 m³ verbauter Stahlbeton emittiert ca. 300 kg an CO₂, was der CO₂- Aufnahme von ca. 4.000 Bäumen pro Tag entspricht.
- Co₂ ist geruchlos, ungiftig, farblos und hat eine Halbwertszeit in der Atmosphäre von ca. 800 Jahre. Es kommt zu weniger als 1% in der Luft vor.
- Nach bisherigen Studien werden wir das 1,5 Grad-Ziel aus dem Pariser Abkommen von 2015 in 7 Jahren nicht erreichen, wenn wir weiterhin verschwenderisch mit Ressourcen umgehen.
- Je Sekunde kommen 2,6 Nettomenschen auf die Welt, für die wir eine gebaute Umwelt schaffen müssen. Nach dem Prinzip „less für more“ müssen wir mit weniger Material für mehr Menschen bauen.
- Nicht nur die globale Energie- und Umweltkrise ist mittlerweile bei uns in Deutschland deutlich spürbar, auch die Inflation von über 7% macht der Bauwirtschaft und dem Wohnungsbau sehr zu schaffen. Das macht sich beim deutlichen Einbruch des Wohnungsmarktes in Deutschland von über 30% zum Vorjahr bemerkbar. Von den geplanten 400.000 Wohnungen werden voraussichtlich nur 200.000 im Jahr 2023 realisiert.
- Unbewehrte Betonwände- und Stützen tragen aus Sicht der Nachhaltigkeit zu einem deutlich geringeren CO₂- Ausstoß und Ressourcenschonung bei, wenn auf den Einbau des Betonstahles verzichtet wird. Ca. 30 % wird an CO₂ eingespart, bei der Ausführung unbewehrter Betonwände.
- Unbewehrte Betonwände können nun einen großen Beitrag leisten in Hinblick auf Kosten- und Zeiteinsparung am Bau bei aktueller Rezession, für die es keine Forschung oder Zustimmung im Einzelfall braucht, da in der Norm geregelt.
- Wir haben bereits seit 1955 normentechnisch alle Möglichkeiten mit weniger Baustoff und weniger Ressourcen die heutigen hohen gesetzlichen wie auch zivilrechtlichen Anforderungen zu erzielen.
- Wir haben also weltweit ein Ressourcenproblem, ein Treibhausgasproblem, ein Abfallproblem und ein Energieverteilungsproblem, aber kein langfristiges Energieproblem!

2 Einfluss von Bauteilen auf die Emission

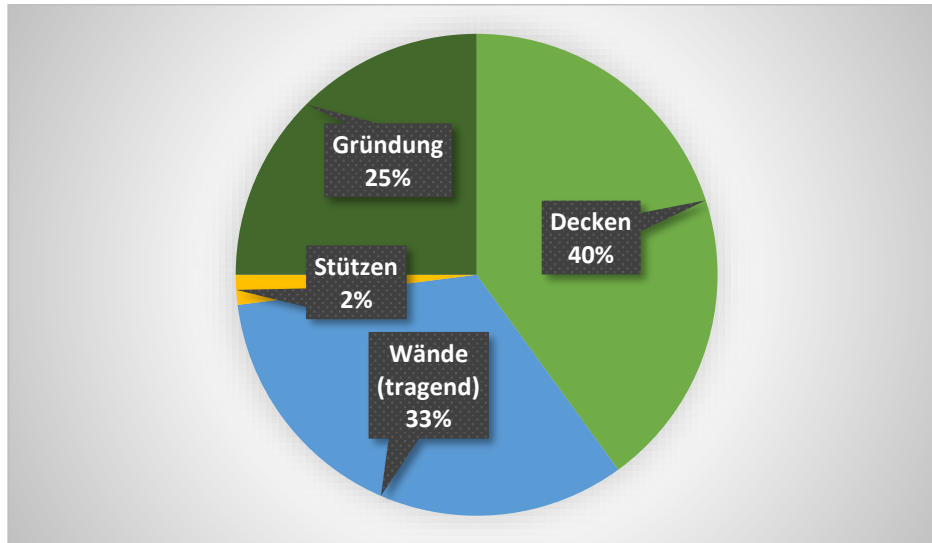


Bild 1, Übersicht konstruktionsbedingter Treibhausgasemissionen im Wohngebäude

Quelle: Mendler Ingenieur Consult

- Zementverbrauch nach Baubereichen:
Ca. 32% Wohnungsbau, ca. 33,5% Nichtwohnungsbau, ca. 34,5% Tiefbau
- Die Kenntnis, dass der Anteil an tragenden Innen- und Außenwänden in einem Wohngebäude ca. 30% gemessen an allen Bauteilen entspricht und der Zementverbrauch im Wohn- und Nichtwohnbau ca. 2/3 aller Baubereiche ausmacht, lässt das hohe Einsparungspotential der unbewehrten Betonwände erahnen.
- Gemäß Prof. Sobek/ Dr. Weidner sind nur 32 kg CO₂/ m³ BRI (Phase A=Herstellung + Errichtung Gebäude) zulässig, um das 1,5⁰- Ziel zu erreichen.
 - Mehrfamilienhäuser Ø 80 kg CO₂/ m³
 - Einfamilienhäuser Ø 95 kg CO₂/ m³
 - Faktor 2,3-3,5 überschritten



3 Historische Entwicklung

- 1908, Deutscher Ausschuss für Eisenbeton: zulässige Druckspannungen für unbewehrte Betonbauteile (Stützen, Pfeiler ohne Knicken)
- 1925, Deutscher Ausschuss für Eisenbeton: erste unbewehrte Betonstützen für geringe Schlankheiten zugelassen
- DIN 1045 und DIN 1047 (je Ausgabe 1943) enthielten kaum Aussagen zur Ausführung von Stahlbetonwänden
- Ab 1950 wurden in größerem Umfang tragende Wände aus Beton- oder Stahlbeton im Wohnungsbau verwendet
- Ergänzende Vorschriften zur DIN 1045 und DIN 1047 als vorläufige Richtlinie für die Bemessung von tragenden Betonwänden in der Ausgabe 1955 ergänzt. **Hierbei wurde erstmals die Tragfähigkeit von unbewehrten Betonwänden aufgegriffen.**
- 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
- Prof. Klaus Stiglat (Platten nach Stiglat und Wippel) hatte 1972 Hochhäuser mit 14 Geschossen gebaut, deren aussteifende Kernwände unbewehrt waren.
- DIN 1045, Ausgabe 1959 + 1972, unbewehrte Betonwände dort geregelt
- 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).

- Hegger, J.; Will, N.; Goralski, C.: Kellerwände aus unbewehrtem Beton, Beton- und Stahlbetonbau 97, Heft 3; S. 121-129, Berlin, Verlag W. Ernst & Sohn 2002.
- Hegger, J.; Will, N.; Niewels, J.: Kellerwände aus unbewehrtem Beton, Beton- und Stahlbetonbau 99, Heft 2; S. 108-113, Berlin, Verlag W. Ernst & Sohn 2004.
- Typenstatik und Bemessungsnomogramme für Kellerwände aus unbewehrtem Beton im Wohnungsbau (nach DIN 1045-1, Ausgabe 2001), Typenprüfung mit Prüfbescheid Nr.II B 2-542-198, Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V., 2003
Typenprüfung mit Prüfbescheid Nr.TP-14-0011, Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V., bis 2024 gültig

Zur Annäherung der Bemessungsmodelle des Betonbaus an die des Mauerwerksbaus wurden am Lehrstuhl und Institut für Massivbau der RWTH Aachen im Rahmen eines von der Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. geförderten Forschungsvorhabens Bemessungsnomogramme für unbewehrte Wände unter vertikaler Auflast mit und ohne zusätzlichen Erddruck entwickelt.

Im Ergebnis lag nun eine bundesweit gültige Typenstatik mit Prüfbescheid des Landes NRW vor, die es erlaubt, unbewehrte Wände schnell über unkomplizierte Nomogramme zu bemessen.



- DIN 1992-1-1: 2011-01, Abschnitt 12 und DIN 1992-1-1: NA, 2013
 - Maximale Betonfestigkeitsklasse C35/45
 - 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

4 Anwendungsfälle unbewehrter Betonwände:

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 im Wand, -Stützen- und Gründungsbereich.

Bei der Planung lassen sich folgende Einsatzmöglichkeiten unbewehrter Betonbauweisen ableiten:

- 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



5 Nachweisführung von unbewehrten Betonwänden nach DIN 1992-1-1

5.1 Allgemein

- Die DIN EN 1992-1-1 behandelt im Kapitel 12 Bauteile aus unbewehrtem Beton.
- Es besteht die Möglichkeit überwiegend auf Druck beanspruchte tragende Wände oder Stützen als unbewehrte Bauteile auszuführen.
- Dabei müssen die Wände übereinanderstehen und dürfen nicht versetzt oder auskragend angeordnet werden.
- Große Deckendrehwinkel bzw. große Deckenspannweiten vermeiden
- Dabei sind gewisse Anwendungsgrenzen einzuhalten und die Nachweisformate entsprechend zu führen.
- Wände oder Stützen, die weniger als die Mindestbewehrung aufweisen werden auch als unbewehrte Bauteile beschrieben.
- 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 darüberliegenden Geschossen sind nicht möglich, da der Beton nicht auf Zug beansprucht werden darf.
- 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 GZT und für Nachweise im GZG berücksichtigt werden.
- Die Betonwichte wird mit $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$ berechnet.
- Dabei dürfen die Wände nicht nur vertikale Druckkräfte erfahren, sondern auch horizontale Windlasten, Erddrucklasten, oder gar Randeinspannmomente aufweisen, die nach Heft 631 berechnet werden.
- Es werden die Nachweise der Tragfähigkeit, der Stabilität und der Querkraft geführt, die man mit der Hand führen kann, ohne aufwendige Statik Programme.



- Nachweis der Normalkrafttragfähigkeit**

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

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 $n_{Rd} = f_{cd,pl} \cdot h \cdot \Phi$

Bei $l_0/h \leq 2,5$ 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**

$$e_d/h < 0,4$$

Berechnung Randeinspannmomente gemäß EC2 oder Heft 631.

- Nachweis der Grenzschlankheit**

$$\lambda \leq 86$$

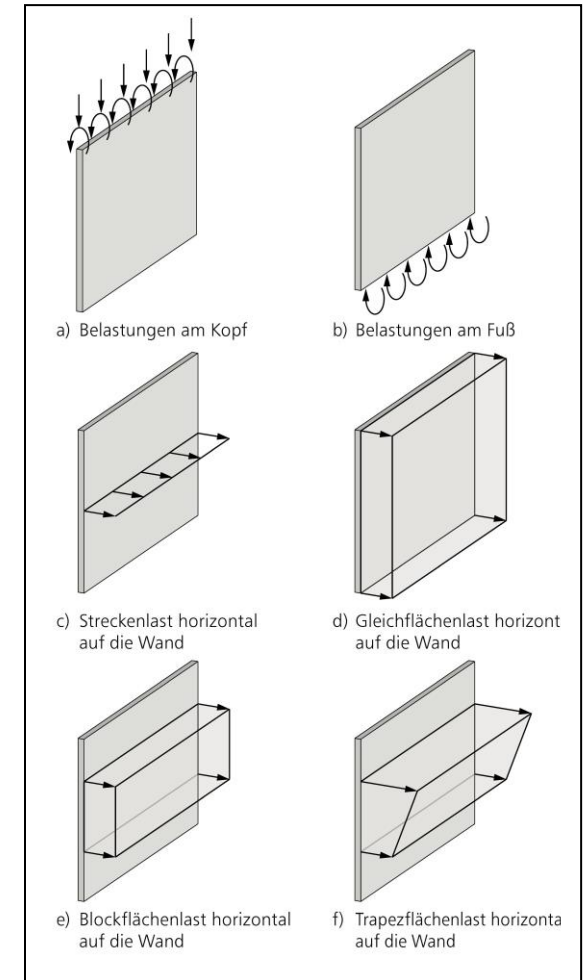
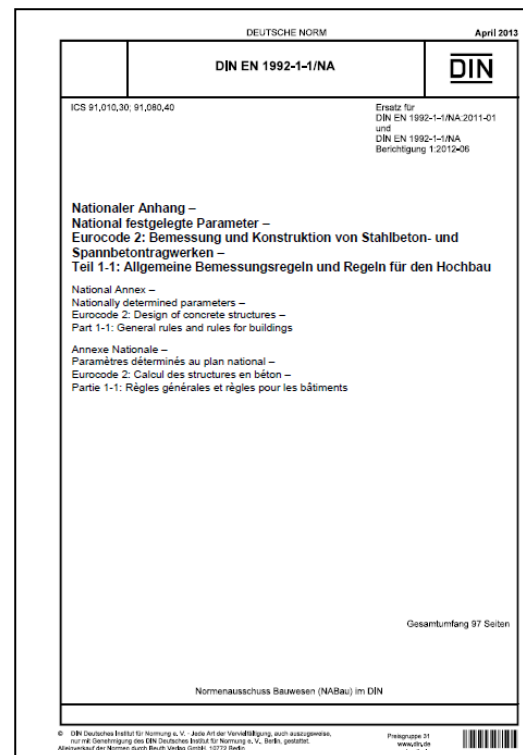


Bild 2, Lastarten



5.2 Mindestwandstärken und Betongüten

- Maximale Betonfestigkeitsklasse C35/45, minimale Betonfestigkeitsklasse C12/15

→ Keine erhöhten Betongüten gegenüber bewehrter Stb.-Wand

→ keine größeren Wandstärken gegenüber bewehrter Stb.-Wand

- Innenwände $d_{\min}=10$ cm für Fertigteile und $d_{\min}=12$ cm in Ortbeton beträgt.
- Bei unbewehrten Außenwänden wird die Mindestwandstärke in Ortbeton mit 14 cm und als Fertigteil mit 12 cm festgelegt.
- Für unbewehrte Betonwände dürfen dieselben Minstdicken aus brandschutztechnischer Sicht wie für bewehrte Betonwände geplant werden.
- Für unbewehrte Brandwände ist eine Minstdicke von 20 cm festgelegt.
- Beispielweise ist für eine feuerbeständige Anforderung (Gebäudeklasse 5) mit Brandbeanspruchung auf einer Seite eine Minstdicke bei voller statischer Ausnutzung von 14 cm erforderlich, analog eine Mindestwandstärke von 17 cm bei Brandbeanspruchung auf zwei Seiten.
- Der erhöhte Schallschutz ist auch ohne Betonstahl bei Wohnungstrennwänden von 22 cm Stärke gewährleistet.
- Einsparung 6% Wohnfläche von 18 cm auf 12 cm Innenwandstärke (München: ca. $0,06 \times 10.000 = 600$ Euro/ m² Wohnfläche).
- 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	$\geq$ C16/20	Ortbeton	140 mm	120 mm
3		Fertigteil	120 mm	100 mm

Tabelle 1, Mindestwanddicken (Auszug aus Tabelle NA.12.2)



5.3 Gebrauchstauglichkeit

Der EC2 gibt Hinweise zur Gebrauchstauglichkeit (GZG)

a) im Hinblick auf eine Rissbildung:

- Begrenzung der Betonzugspannungen auf zulässige Werte
- Einlegen einer konstruktiven Zusatzbewehrung (Oberflächenbewehrung, erforderlichenfalls Ring- und Zuganker)
- Anordnung von Fugen (in Außenwänden z.B. Sollbruchfugen $e = \max. 2xh$)
- betontechnologische Maßnahmen (z.B. geeignete Betonzusammensetzung, Nachbehandlung)

b) im Hinblick auf die Verformung

- Festlegung einer minimalen Querschnittsgröße
- Begrenzung der Schlankheit bei Druckgliedern.

5.4 Konstruktionsregeln

- Schlitz- und Aussparungen sind in der Regel nur zulässig, wenn eine ausreichende Festigkeit und Stabilität nachgewiesen werden kann.
- Es werden nur Aussparungen (Türen, Fenster, WD etc.) rahmenartig eingesäumt und bewehrt.
- Bei aussteifenden Wänden werden nur die Wandenden mit einer Zugkeilbewehrung versehen.
- Keine Eckverbindung der Wände erforderlich (Saumbügelstoß).
- Kein Einspannwinkel in die Decke erforderlich.
- Für die Halterung im Bauzustand nach dem Ausschalen ist aus dem Restecontainer eine Matte mittig in die Decke einzubauen (gegen Umfallen bei Windlast gesichert).



6 Beispiele zur Tragfähigkeit unbewehrter Betonwände:

Vergleich der Tragfähigkeit zwischen einer bewehrten und unbewehrten Betoninnenwand:

Es wird der Vergleich der Tragfähigkeit zwischen einer zentrisch belasteten bewehrten und unbewehrten Betoninnenwand angestellt.

$d=20\text{ cm}$, $h=2,60\text{ m}$, C25/30

$\text{zul. } N, k = \text{ca. } 2500\text{ kN/m}$ (Q335 beidseits) $\cong 42\text{ Elefanten/ m}$
(zulässige Auflast bewehrte Wand)

$\text{zul. } N, k = \text{ca. } 1800\text{ kN/m}$ $\cong 30\text{ Elefanten/ m}$
(zulässige Auflast unbewehrte Wand)

- hohe Bauteilauslastung von unbewehrten Wänden.
- die hohen Lasten kommen im klassischen Hochbau nahezu selten vor.

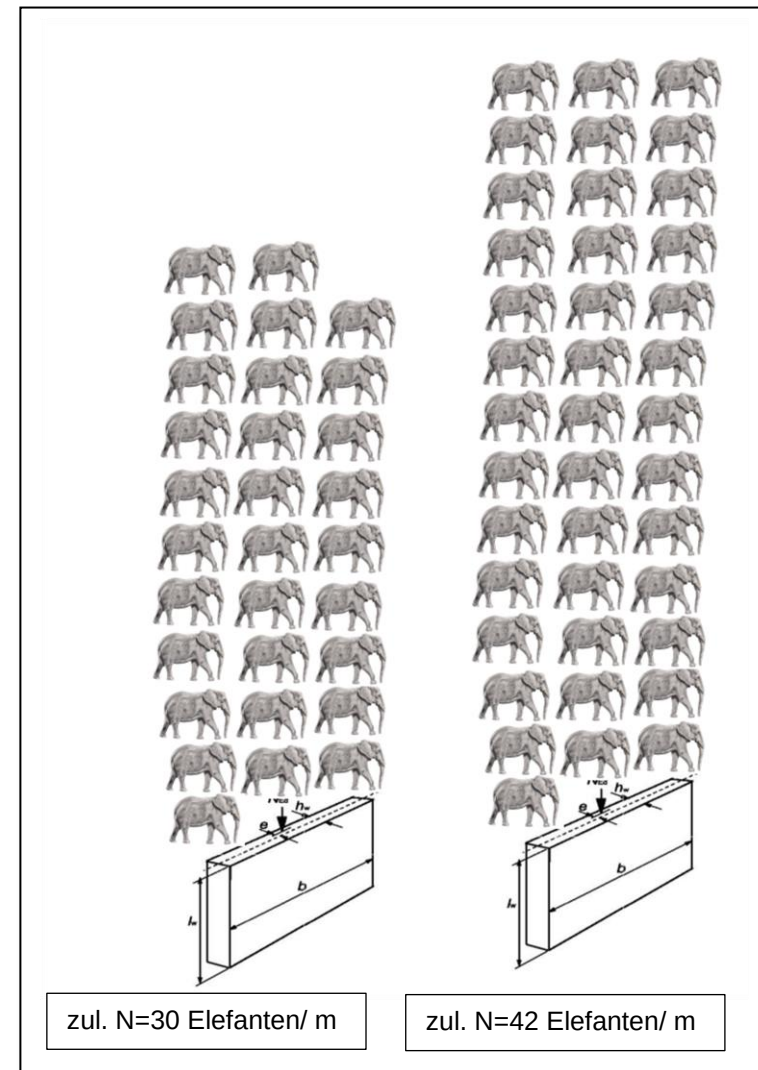


Bild 3+4, Tragfähigkeit unbewehrte Betonwand, Tragfähigkeit bewehrte Betonwand

Nachweis der Tragfähigkeit einer klassischen unbewehrten Tiefgaragenstütze:

Es wird der Nachweis der Tragfähigkeit einer klassischen unbewehrten Tiefgaragenstütze geführt, mit 60 cm Auflast durch eine Überschüttung, einer Verkehrslast von $5,0 \text{ kN/m}^2$ und einer Anpralllast durch PKW von $40/25 \text{ kN}$ in beiden Achsrichtungen, wobei Stellplatzbreiten von insg. $3 \times 2,5 = 7,5 \text{ m}$, $6,0 \text{ m}$ Fahrgassenbreite und eine Stellplatztiefe von $5,0 \text{ m}$ berücksichtigt wurde.

$b/d = 25/50 \text{ cm}$, $h = 2,5 \text{ m}$, C35/45

vorh. $F_k = 1.110 \text{ kN} \cong 19 \text{ Elefanten}$ (vorhandene Auflast)

zul. $F_k = 1.305 \text{ kN} \cong 22 \text{ Elefanten}$ (zulässige Auflast unbewehrte Stütze)

Die Ausnutzung im Grenzzustand der Tragfähigkeit beträgt 85% und zeigt, dass nahezu bei klassischen Tiefgaragenabmessungen die meisten TG-Stützen unbewehrt nachgewiesen werden können.

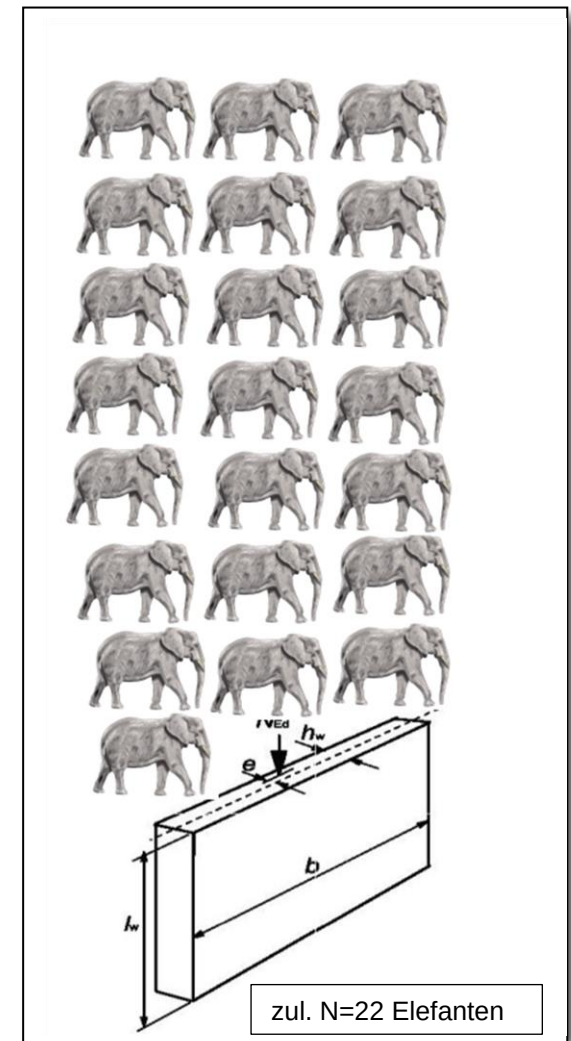


Bild 5, Tragfähigkeit unbewehrte Betonstütze



7 Schallschutz:

- Keine Nachteile gegenüber bewehrter Stb.-Wand
- Erhöhter Schallschutz für Wohnungstrennwände nach DIN 4109 mindestens 22 cm Betonwand. Hierbei spielt es keine Rolle, ob die Wand bewehrt wird oder nicht.

8 Brandschutz:

- 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 Betonwände dürfen dieselben Mindestdicken wie für bewehrte Betonwände verwendet werden.

Tabelle 5.4 — ⁴⁵ Mindestdicke und -achsabstände für tragende Betonwände ⁴⁵

Feuerwiderstands-kategorie	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
1	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.

Tabelle 2, Mindestwanddicken bei unbewehrten Wänden aus brandschutztechnischer Sicht



9 Risseverhalten von Betonbauteilen:

- Risse in unbewehrten Betonwänden treten nicht häufiger als in bewehrten Wänden auf (statistische Erfahrungswerte).
- Da der Beton eine systemimmanente Bauweise darstellt, wird es nie einen völlig ungerissenen Beton geben.
- Ziel ist nur die Minimierung der Risse, nicht das Ausschließen der Risse
- Unbewehrte Wände bleiben rissfrei, wenn die Bruchdehnung des Betons mit einem Sicherheitsabstand unterschritten bleibt oder wenn die Zugfestigkeit nicht überschritten wird.
- Die Zugbruchdehnung bei normalfesten Betonen beträgt etwa 0,1‰, was einer Abkühlung des Bauteils um 10 K entspricht.
- Dann entsteht der erste Riss, wenn das Bauteil an der Dehnung behindert wird.
- Die Kenntnis des Betons und seiner Dehnfähigkeit, die auftretenden Lasten aus Zwang, Temperatur, Schwinden etc. sind Voraussetzungen für weitere Betrachtungsweisen, um das Risse Risiko zu minimieren.
- Dabei ist zu beachten, dass der größte Schwindanteil in den ersten vier Jahren nach Rohbaufertigstellung abgeklungen ist.
- Wird nach Entwurfsgrundsatz a) oder c) nach der WU-Richtlinie geplant, ist ohnehin auf konstruktive, betontechnologische und ausführungstechnische Maßnahmen zu achten.
- Die Wahl einer abgestimmten Betonrezeptur mit niedrigerer Hydratationswärmeentwicklung und schwindarmen Betonen ist ebenfalls zu begrüßen.
- Ein Nachbehandlungskonzept (in Abstimmung mit der Baufirma) wie auch eine entsprechende Fugenplanung sollten vom Tragwerksplaner zu Beginn der Planung angestrebt werden.
- Eine Sollbruchfuge ist in Abständen von der doppelten Wandhöhe in den Außenwänden einzuplanen, falls die erforderliche Auflast gewährleistet und die Wand unbewehrt nachweisbar ist.
- Betonier- oder Schwindgassen können hilfreich sein.



- Die angegebenen zulässigen Rissbreiten nach EC2 stellen eine Empfehlung dar und sind mit der Bauherrschaft abzustimmen.
- Als Vorschlag kann ihr unterbreitet werden, dass die eingesparte Menge an Betonstahl (ca. 110 kg/m³ Beton) zu einer Summe x im Leistungsvolumen durch Kosmetik wieder zu schließen ist. Damit kann die Risse Schließung durch einen kleinen Bruchteil der Einsparungen wieder kompensiert werden. Es verbleibt ein großes monetäres Einsparungspotenzial.
- Grundsätzlich sind Risse bei unbewehrten Betonwänden eher positiv zu bewerten, da weder Stahl vorhanden ist, der Chloriden ausgesetzt werden könnte, noch Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung möglich ist.
- Es bestehen also keine Anforderungen an die Dauerhaftigkeit, speziell in Tiefgaragen. Beschichtungen wie auch Wartung und spätere Sanierungen entfallen. Unbewehrte Betonstützen und Betonwände in der Tiefgarage müssen bei einem Chlorideintrag nicht saniert werden, falls Risse zum Tragen kommen.
- Das führt zu mehr Sicherheit im Tragwerk und Entlastung der Hausverwaltungen und Eigentümer, auch hinsichtlich der entfallenen Kosten, die auf 50 Jahre hochgerechnet nicht unerheblich sind.



Bild 6, Riss in 80 m Wand ohne Sollbruchfuge



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 einer enormen Personal- und Materialkosteneinsparung.
- 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 (siehe Tabelle 3).
- Hier werden die Kosten- und Zeiteinsparung der Betonwände- und Stützen gegenübergestellt.

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)

Tabelle 3, Kosten- und Arbeitszeiteinsparung von unbewehrten Betonwänden- und Stützen



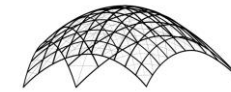
11 CO₂-Einsparung

- Aus den Tabelle 5+6 lässt sich schnell eine Abschätzung der komplett geplanten Betoninnen- und Außenwandflächen im Geschosswohnungsbau ablesen, in Abhängigkeit einer rein betonierten oder gemischt gebauten Wohnanlage.
- In Tabelle 4 ist die CO₂-Einsparung einer unbewehrten Betonwand und Stütze dargestellt (Einsparung Betonstahl), abhängig vom Bauteil und dessen Bewehrungsgehalt.
- Hier sind bei einer unbewehrten Betonwandausführung CO₂-Einsparungen zwischen 24 bis 40 % 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
Stahlbetonstützen	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))

Tabelle 4, Bewehrungs- und CO₂- Gehalte in Stahlbetonwänden- und Stützen



Bauteil	Betonwandfläche/ Wohneinheit	Betonwandfläche/ Wohnfläche	Betonwandfläche/ m³ BRI
Stahlbetoninnen- und Außenwand	ca. 100-150 m²/WE	ca. 1,30-2,2 m²/ m² WF	ca. 0,20-0,40 m²/ m³

Tabelle 5, Betonwandflächen Geschosswohnungsbau (reiner Betonbau) für Stahlbetoninnen- und Außenwände
(Quelle: Mendler Ingenieur Consult)

Bauteil	Betonwandfläche/ Wohneinheit	Betonwandfläche/ Wohnfläche	Betonwandfläche/ m³ BRI
Stahlbetoninnen- und Außenwand	ca. 40-120 m²/WE	ca. 0,7-1,5 m²/ m² WF	ca. 0,10-0,40 m²/ m³

Tabelle 6, Betonwandflächen im Geschosswohnungsbau (Mauerwerk + Beton) für Stahlbetoninnen- und Außenwände
(Quelle: Mendler Ingenieur Consult)



12 Beispiele: Co₂-Bilanz, Kosten- und Zeitersparnis durch die Ausführung unbewehrter Betonwände

Beispiel 1: Innenwand

Wandlänge $l=1$ m, Wandstärke $d=25$ cm, Wandhöhe $h=2,60$ m

Stahlpreis 1.800 Euro/to.

Stahlmenge 120 kg/m³ Betonstahl

80 kg Co₂/m³ Beton

Arbeitszeit ca. 15h/ to

- Stahlersparnis ca.: $0,25 \times 2,6 \times 120 = 78$ kg/ m Wandlänge
- Kostenersparnis ca.: $0,078 \text{ to} \times 1.800 \text{ Euro/to} = 140$ Euro/ m Wandlänge
- CO₂-Einsparung ca.: $1 \times 0,25 \times 2,6 \times 80 = 52$ kg pro/ m Wandlänge
- Zeitersparnis ca.: $15 \text{ h/ to} \times (0,25 \times 120 / 1000) = 0,45$ h/m² Wandfläche

Beispiel 2: Außenwand

Eine bewehrte Außenwand $d=20$ cm muss aufgrund der geforderten Mindestbewehrung nach EC2, 9.5 mit 3,0 cm²/m (Q335 beidseits) bewehrt werden (Mattengewicht 5,38 kg/m²).

Möchte man die Außenwände trotzdem bewehren (Angsthasenbewehrung), könnte man diese unbewehrt nachweisen und eine konstruktive Bewehrung Q188 einbauen (Mattengewicht 3,02 kg/m²).

- Kostenersparnis: ca. 44 % bei der Bewehrung



Beispiel 3: Wohnanlage mit 500 Wohnungen

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

Stahlpreis 1.800 Euro/to.

Stahlmenge 120 kg/m³ Betonstahl

80 kg CO₂/m³ Beton

Arbeitszeit ca. 15h/ to

→ Stahlersparnis ca.:	125x500x0,22x120/1.000	1.650 to
→ Kostenersparnis ca.:	125x500x0,22x120x1,8	2.970.000 Euro (35% ≈ 1.039.500 Euro)
→ CO ₂ -Einsparung ca.:	125x500x0,22x80/1000	1.100 to pro 500 WE (2,2 to/WE) (35% ≈ 385 to)
→ Zeitersparnis ca.:	15h/ to x 1.650	24.750 h (35% ≈ 8.660 h)

Ein Oberklasse PKW muss ca.10 x die Entfernung von der Erde bis zum Mond zurücklegen (ca. 384.400 km), um so viel CO₂ zu erzeugen, wie allein der Stahleinsatz an CO₂ in betonierten Innen- und Außenwänden einer Wohnanlage mit 500 WE entspricht.

Beispiel 4: CO₂-Vergleich Betonaussenwand + WDVS zu Mauerwerkswand d=36,5 cm/ 24 cm

Es wird eine Bauweise verglichen, die denselben U-Wert aufweist.

MW-Außenwand d=36,5 cm (z.B.Poroton S9)

(U=0,24 W/m²xK.)

Beton-Außenwand d=18 cm + 12,5 cm WDVS (WLS 032)

(U=0,24 W/m²xK.)

• EPD Beton C20/25,	ca. 195 kg CO ₂ /m ³
• EPD Betonstahl,	ca. 680 kg CO ₂ / to
• Betonstahl in Betonwand	ca. 85 kg/m ³ ≈ 60 kg CO ₂ / m ³
• EPD Wärmedämmziegel (mit Dämmstoff gefüllt),	ca. 152 kg CO ₂ /m ³
• EPD unverfülltes Mauerwerk	ca. 120 CO ₂ /m ³
• EPD WDVS aus EPS	ca. 59 CO ₂ /m ³

EPD (Environmental Product Declaration) erstellt nach DIN EN Iso 14025 und DIN EN 15804



→ CO₂-Emission unbewehrte Betonwand d=18 cm + 12,5 cm WDVS
ca.: $195 \times 0,18 + 59 \times 0,125 = 35 + 8 =$ 43 kg CO₂/ m²

→ CO₂-Emission bewehrte Stb.-Betonwand d=18 cm + 12,5 cm WDVS
ca.: $195 \times 0,18 + 60 \times 0,18 + 59 \times 0,125 = 35 + 11 + 8 =$ 54 kg CO₂/ m²

→ CO₂-Emission Wärmedämmziegel d=36,5 cm (mit Perlitfüllung)
ca.: $152 \times 0,365 =$ 56 kg CO₂/ m²

→ CO₂-Emission Mauerwerkswand d=24 cm + 12,5 cm WDVS
ca.: $120 \times 0,24 + 59 \times 0,125 = 29 + 8 =$ 37 kg CO₂/ m²

→ eine unbewehrte Betonwand + WDVS emittiert weniger CO₂ als ein Wärmedämmziegel mit gleichem U-Wert!

→ eine Mauerwerkswand + WDVS emittiert fast genauso viel CO₂ als eine unbewehrte Betonwand + WDVS mit gleichem U-Wert, nur lassen sich damit ca. 5x mehr Lasten aufnehmen, wenn die Außenwand betoniert wird!

→ eine unbewehrte Betonwand + WDVS erhöhte die Wohnfläche um $36,5 - (18 + 12,5) = 6\%$ gegenüber einem Wärmedämmziegel.

→ Kosten Betonwand d=18 cm (Beton + Schalung) ca.	90 Euro/m ²
→ Kosten WDVS 12 cm inkl. Putz ca.	<u>120 Euro/m²</u>
	210 Euro/m ²

→ Kosten Wärmedämmziegel d=36,5 cm ca.	160 Euro/m ²
→ Kosten Putz ca.	<u>50 Euro/m²</u>
	210 Euro/m ²

→ Die Kosten einer bewehrten Betonwand im Verhältnis zu einem Wärmedämmziegel sind ungefähr gleich!



13 Vorteile unbewehrter Betonwände:

Umweltschonender Beitrag:

- ✓ Einsparung von ca. 30% CO₂/m³ Beton.
- ✓ Umgerechnet ca. 60-120 kg CO₂/ m³ Betonwand (abhängig vom Bewehrungsgrad) wird durch den Entfall des Betonstahles einspart (allg. ca. 680 kg CO₂/ to Betonstahl).
- ✓ Ressourcenschonung fängt bereits bei Stahleinsparung an, durch die Ersparnis von ca. 120 kg Betonstahl/m³ Beton.
- ✓ Unbewehrte Betonstützen und Betonwände in der Tiefgarage müssen nicht saniert werden aufgrund von Chlorideintrag und es ist kein Beschichtungssystem mit jährlicher Wartung erforderlich. Einsparung von ca. 30 kg CO₂/m² Beschichtungssystem.
- ✓ Reduktion von Papier, da teilweise keine Bewehrungspläne mehr gezeichnet werden müssen (von 100% gerodeten Bäumen entfallen ca. 30 % auf den Einbau im Gebäude, 50 % werden verbrannt und Energie erzeugt und ca. 20 % gehen in die Papierindustrie).
- ✓ Direkter Beitrag zur Reduktion des Anstieges der weltweiten Durchschnittstemperatur von über 2 Grad auf 1,5 Grad zu senken (wesentlicher ökologischer Beitrag gegen die Klimaerwärmung).
- ✓ Zum Vergleich: CO₂-Emissionen PKW zwischen ca. 15-30 kg CO₂/ 100 km
- ✓ Ein Oberklassewagen erzeugt nach ca. 1.000 gefahrenen km genauso viel CO₂ wie 1 m³ betonierte Stahlbetonwand.
- ✓ Ein Oberklassewagen erzeugt nach ca. 650 gefahrenen km genauso viel CO₂ wie 1 m³ unbewehrte Betonwand.
- ✓ Die CO₂- Ersparnis des nicht eingebauten Betonstahles einer 1 m³ Betonwand entspricht dem, wenn ein Oberklasse PKW ca.250 km fährt.



Kostenvorteile:

- ✓ Einsparung von ca. 140 Euro an Betonstahl/ lfd. Betonwandlänge.
- ✓ Unbewehrte Betonstützen und Betonwände in der Tiefgarage müssen nicht saniert werden aufgrund Chlorideintrag, falls Risse zum Tragen kommen.
- ✓ Kein Beschichtungssystem mit jährlicher Wartung erforderlich.
- ✓ Kein teilweises Schließen der Tiefgarage durch Sanierung des OS-Systeme.
- ✓ Geringere Prüfkosten durch den Prüfenieur, da weniger Bewehrungspläne geprüft werden müssen.

Zeitvorteile:

- ✓ Verkürzte Bauzeit und schnellerer Bauablauf. Einsparung von ca. 0,7 h/m² (15h/ to); kein Verlegen der Bewehrung, Zuschalen und am nächsten Tag ausschalen + Nachbehandlung + Fugenkonzept.
- ✓ Einsparung in der Ausführungsplanung LP5 beim Statiker, da teilweise keine Bewehrungspläne mehr gezeichnet werden müssen.

Technische Vorteile:

- ✓ Keine Zustimmung im Einzelfall erforderlich, da seit 1955 in der Norm geregelt.
- ✓ Besitzt sehr hohe Tragfähigkeiten ähnlich einer bewerten Betonwand, die im Wohnungsbau gar nicht erforderlich sind.
- ✓ Bis zu. 9x höhere Tragfähigkeiten wie eine Mauerwerkswand (mehr Geschosse und mehr Wohnfläche möglich als bei Mauerwerk).
- ✓ Was gemauert werden kann, kann erst recht betoniert werden.
- ✓ Brandschutz (Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden Bauteile) exakt wie bewehrte Betonwände.



- ✓ Mindestwanddicken aus Brandschutz und EC2 exakt wie bewehrte Betonwände.
- ✓ Erhöhter Schallschutz ist gewährleistet wie eine bewehrte Betonwand z.B. Wohnungstrennwand $d=22$ cm.
- ✓ Das Einbringen und Verdichten des Betons wird durch den Wegfall der Bewehrung erheblich erleichtert und das Oberflächenergebnis der Wandbauteile tendenziell verbessert.
- ✓ Chloride oder Karbonatisierung haben keinen Einfluss mehr auf Risse in der Wand. Die Risse müssen aus Dauerhaftigkeitsgründen nicht mehr geschlossen werden.
- ✓ optimaler Energiespeicher über massige Fläche (vgl. Thermodecken)

Politische und strategische Vorteile:

- ✓ Man macht sich unabhängig von ausländischen Lieferketten, da kein Stahl eingekauft werden muss.
- ✓ Umgehen von Lieferengpässen und politische Unabhängigkeit vor Kriegen. Beispiel: Die EU hat große Anteile des zerbombten Stahlwerkes in Mariupol bezogen. Der Stahlpreis ist 2022 um mind. 70 % teurer als noch 2021, da der Stahl nun aus anderen Zulieferländern (Indien etc.) bezogen werden muss.
- ✓ Langzeiterfahrung unbewehrter Betonbauweisen ist vorhanden und die unbewehrte Bauweise entspricht den allgemein anerkannten Regeln der Technik.



Hohe
Tragfähigkeit



Reduzierter CO₂-Fussabdruck

14 Ausführungsbeispiele unbewehrter Betonwände:



Bild 7+8+ 9, unbewehrte Wand vorm Zuschalen, betonierte Wand, bewehrte Wand



Bild 10, Bogenhauser Höfe, München, Haus A1



Bild 11, Bogenhauser Höfe, München, Haus B1



Bild 12, Bogenhauser Höfe, München, Haus A1-A4



Bild 13, Wolfratshauser Straße München



Bild 14, Wohnanlage Wörthsee



Bild 15, Seniorenwohnheim Altenmarkt



Bild 16, Wohnquartier Worms

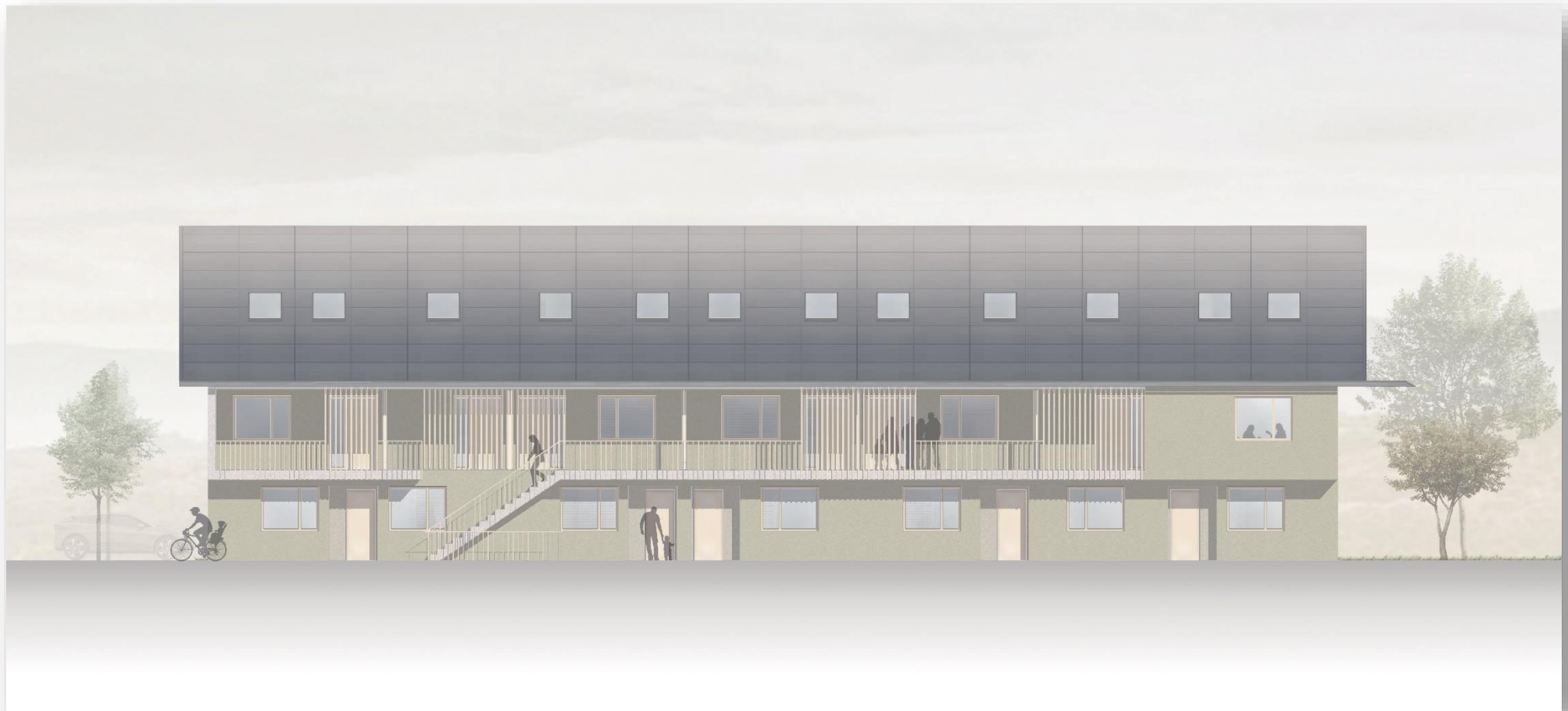


Bild 17, Grüner Wohnen in Kirchheim

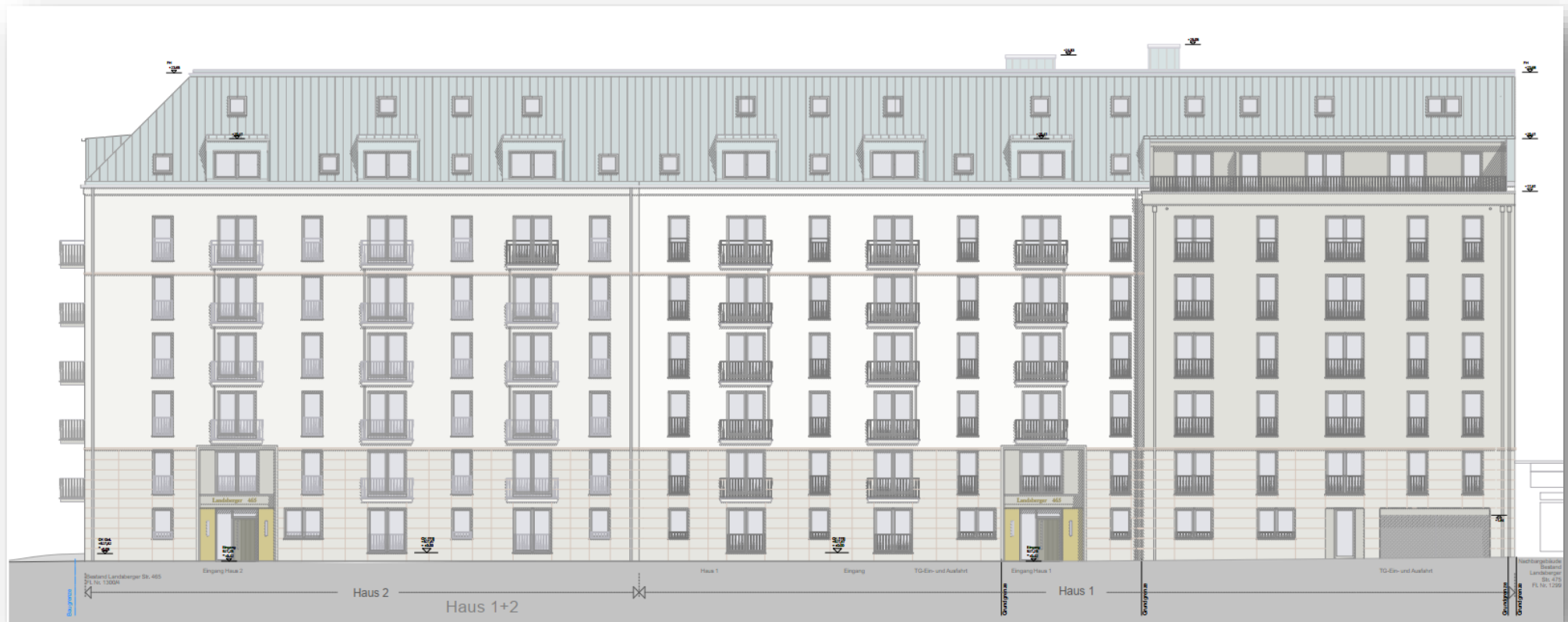


Bild 18, Landsberger Straße, München



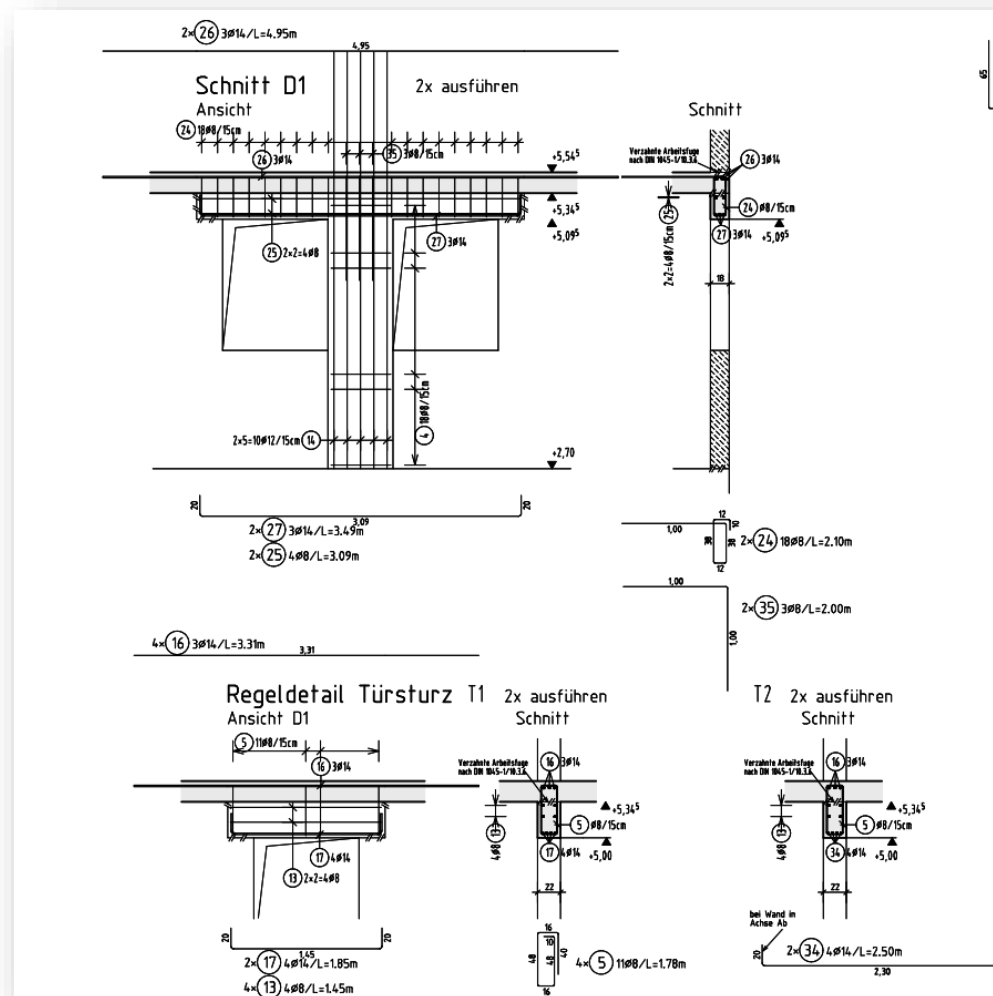


Bild 21, Bewehrung Aussparungen



15 Fazit:

- ✓ Unbewehrte Betonwände lösen nicht unser Klimaproblem, auch nicht der Holzbau oder Lehm- oder alle anderen Bauweisen.
- ✓ Die Lösung aus der Klimakrise liegt in jeder Bauweise, in jeder Anstrengung und in jeder noch so verrückten Idee, die zum Ziel führt und CO2 einspart!
- ✓ Die Klimakrise kann nur bewältigt werden, wenn alle mitmachen, jeder in seinem Tempo, seinen Fähigkeiten und Möglichkeiten.
 1. Dazu gehörten auch die Überwindung und der Mut, Bauweisen zu planen, die wir aus Angst oder Unkenntnis früher nicht geplant haben.
 2. Dazu gehört auch die Umbauten voranzutreiben und mit weniger Material für mehr Menschen zu bauen.
 3. Dazu gehört auch die Baustoffe wieder in eine Kreislaufwirtschaft, bestenfalls zu 100% zurückzuführen
 4. Dazu gehört, dass sich unser Mindset ändert! Ohne Verhaltensveränderung, werden wir auch der Klimakrise nichts entgegensetzen können.
 5. Dazu gehört, dass wir die Geschwindigkeit enorm erhöhen müssen, um die Klimaziele zu erreichen.
- ✓ Krisen ermöglichen immer neue Chancen.



„Unbewehrter Beton hat sich 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 Stahlbau, Bauteiloptimierung, Kosteneinsparung



Folgen Sie uns, wenn Sie nichts mehr verpassen wollen