

- + Tragwerksplanung und Baustatik für die Bereiche Stahlbetonbau, Mauerwerksbau, Lehm- und Holz-Lehm-Hybridbau, Fertigteilebau, Stahlbau, Holzbau, Glasbau- und Verbundbau (Stahl-Beton- und Holz-Beton-Verbundbau)
- + Nachhaltigkeitsberatung, CO₂-Einsparungspotentialberatung, unbewehrte Betonwände und unbewehrte Betonbauweisen, Bauteiloptimierung
- + Gebäudeenergieberatung, Energieausweise
- + Brandschutznachweise
- + Bauen im Bestand, Bauwerksanierung- und Tragwerksertüchtigung

Lindenstraße 1b
86949 Windach

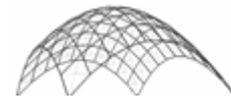
Tel.: + 49 (0) 81 93 – 99 70 93 8

Mobil: + 49 (0) 1 77 – 327 100 1

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

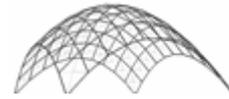
Web: www.mendler-consult.de





Inhalt

- 1 Historische Entwicklung
- 2 Anwendungsfälle unbewehrter Betonwände
- 3 Nachweisführung von unbewehrten Betonwänden nach DIN 1992-1-1
- 4 Beispiele zur Tragfähigkeit unbewehrter Betonwände
- 5 Schallschutz
- 6 Brandschutz
- 7 Risse Verhalten von Betonbauteilen
- 8 Beispiele:
Co2-Bilanz, Kosten- und Zeitersparnis durch die Ausführung unbewehrter Betonwände
- 9 Vorteile unbewehrter Betonwände
- 10 Ausführungsbeispiele unbewehrter Betonwände
- 11 Fazit

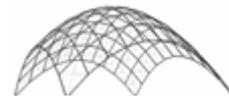


1 Historie

- 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
 - 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
 - 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
 - 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.

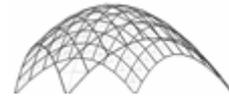
Ein Vergleich der beiden Normen zeigt, dass die Bemessung von Druckgliedern aus unbewehrtem Beton nach DIN 1045-1 bei größeren Schlankheit und ebenfalls größeren Ausmitten höhere Traglasten erzielt als die DIN 1045 (07.88).



- 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.
- Typenstatik und Bemessungsnomogramme für Kellerwände aus unbewehrtem Beton im Wohnungsbau (nach DIN 1045-1, Ausgabe 2001), Prüfbescheid Nr.II B 2-542-198, Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V., 2003

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.

- 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.
- 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



2 Anwendungsfälle unbewehrter Betonwände:

- Kelleraußenwand aus unbewehrtem Beton (Mindestauflast erforderlich, bzw. Reduktion des Erddruckes)
- Windbelastete Außenwand aus unbewehrtem Beton
- Innenwand aus unbewehrtem Beton
- Aussteifende Innen- und Außenwand aus unbewehrtem Beton (Zugkeildeckung erf.)

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

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 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.

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.

Es dürfen Betonwände wie auch Leichtbetonwände zur Bemessung herangezogen werden. Zweiteres können sich günstig durch die Dämmwirkung auswirken und evtl. das WDVS eingespart 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)**

Bei $l_0/h \leq 2,5$ ist ein Stabilitätsnachweis zu führen.

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

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

- **Nachweis der Querkraft**

$$\tau_{cp} \leq f_{cvd}$$

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

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

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

- **Nachweis der Duktilität über maximale Ausmitten**

$$e_d/h < 0,4$$

Berechnung Randeinspannmomente gemäß EC2 oder Heft 631.

- **Nachweis der Grenzschlankheit**

$$\lambda \leq 86$$

- **Mindestwanddicken (Auszug aus Tabelle NA.12.2)**

Wie man unschwer erkennt, ist es technisch möglich mit weitaus geringeren Wandstärken zu bauen, als wir das tatsächlich in der Praxis umsetzen.

Hier liegt ein Ressourceneinsparungspotential nicht nur am Betonstahl, sondern auch an den Wandstärken zugrunde.

Im Alltag beginnt eine tragende betonierte Innenwand der Regel bei $d=18$ cm. Hier könnte 6 cm Beton oder 6% Wohnfläche eingespart werden, wenn man in Zukunft nur 12 cm Innenwandstärken verbaut. Das bedeutet eine Einsparung von ca. 35 kg CO_2/m^2 oder 6% der Wohnfläche. In Großstädten wie München bedeutet das im Schnitt eine Einsparung von ca. $0,06 \times 10.000 = 600$ Euro/ m^2 Wohnfläche.

Bei Außenwänden gilt dasselbe. In der Regel verbauen wir eine betonierte Außenwand bei einer Wandstärke von $d=20$ cm. Hier können ebenfalls 6 cm Beton oder 6% Wohnfläche eingespart werden, wenn man in Zukunft nur 14 cm betonierte Außenwände verbaut.



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

- **Gebrauchstauglichkeit**

Der EC2 gibt Hinweise zur Gebrauchstauglichkeit (GZG)

a) im Hinblick auf eine Rissbildung:

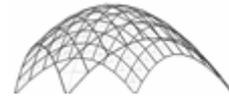
- Begrenzung der Betonzugspannungen auf zulässige Werte
- Einlegen einer konstruktiven Zusatzbewehrung (Oberflächenbewehrung, erforderlichenfalls Ring- und Zuganker)
- Anordnung von Fugen (in Außenwänden z.B. Sollbruchfugen $e = \max. 2xh$)
- betontechnologische Maßnahmen (z.B. geeignete Betonzusammensetzung,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

b) im Hinblick auf die Verformung

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

- **Konstruktionsregeln**

- Die Gesamtdicke h_w am Einbauort betonierter Wände darf in der Regel nicht kleiner als 120 mm sein.
- Schlitze 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.) 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).



4 Beispiele zur Tragfähigkeit unbewehrter Betonwände:

Vergleich der Tragfähigkeit zwischen einer bewehrten und unbewehrten Betonwand:

Beton-Innenwand $d=20$ cm, $h=2,60$ m, C25/30

zul.N,k= ca. 2500 kN/m (Q335 beidseits)

Eine unbewehrte Wand $d=20$ cm hat eine zulässige Normallast von
zul.N,k= ca. 1800 kN/m

→ hohe Bauteilbelastung von unbewehrten Wänden.

→ die hohen Lasten kommen im klassischen Hochbau nahezu selten vor.

Nachweis der Tragfähigkeit einer klassischen unbewehrten Tiefgaragenstütze:

Stütze $b/d=25/50$ cm, $h=2,5$ m, C35/45

60 cm Auflast durch Überschüttung, $q=5,0$ kN/m²

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

vorh. $F_d=1.535$ kN

Ergebnis: Ausnutzung der Tragfähigkeit 86 %

Das Beispiel zeigt, dass nahezu bei klassischen Tiefgaragenabmessungen die meisten Stützen unbewehrt nachgewiesen werden können.

5 Schallschutz:

Einen weiteren Vorteil einer unbewehrten Betonwand gegenüber einer bewehrten Stahlbetonwand zeigt sich im Schallschutznachweis.

Für Wohnungstrennwände werden im Geschosswohnungsbau unter Zugrundelegung des erhöhten zivilrechtlich geforderten Schallschutzes nach DIN 4109 mindestens 22 cm Betonwand gefordert. Hierbei spielt es keine Rolle, ob die Wand bewehrt wird oder nicht.



6 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 unbewehrte Betonwände dürfen dieselben Mindestdicken wie für bewehrte Betonwände verwendet werden.
- Für Brandwände ist die Mindestdicke von 20 cm für unbewehrte Betonwände festgelegt.
Für unbewehrte Betonwände dürfen dieselben Mindestdicken wie für bewehrte Betonwände verwendet werden.
- Als Betonfestigkeit für unbewehrte Betonwände darf dieselbe Festigkeit wie für bewehrte Stb.-Wände verwendet werden.

Mindestwanddicken bei unbewehrten Wänden aus brandschutztechnischer Sicht

Tabelle 5.4 — **AC** Mindestdicke und -achsabstände für tragende Betonwände **AC**

Feuerwiderstandsklasse	Mindestmaße (mm)			
	Wanddicke/Achsabstand für			
	$\mu_n = 0,35$		$\mu_n = 0,7$	
	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*	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

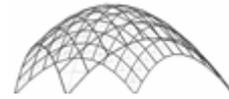
* Normalerweise reicht die nach EN 1992-1-1 erforderliche Betondeckung.
ANMERKUNG Für die Definition von μ_n siehe 5.3.2 (3).

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:

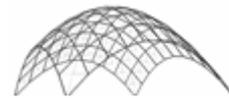
- 200 mm für eine unbewehrte Wand,
- 140 mm für eine bewehrte, tragende Wand,
- 120 mm für eine bewehrte, nichttragende Wand,

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



7 Risseverhalten von Betonbauteilen:

- 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.
- Da der Beton eine systemimmanente Bauweise darstellt, wird es nie einen völlig ungerissenen Beton geben.
- 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. 85 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 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.
- 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.



8 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/m^3 Betonstahl
80 kg Co_2/m^3 Beton
Arbeitszeit ca. 15h/ to

- Stahlersparnis ca.: $0,25 \times 2,6 \times 120 = 78 \text{ kg/ m Wandlänge}$
- Kostenersparnis ca.: $0,078 \text{ to} \times 1.800 \text{ Euro/to} = 140 \text{ Euro/ m Wandlänge}$
- CO_2 -Einsparung ca.: $1 \times 0,25 \times 2,6 \times 80 = 52 \text{ kg pro/ m Wandlänge}$
- Zeitersparnis ca.: $15\text{h/ to} \times (0,25 \times 120/1000) = 0,45 \text{ h/m}^2 \text{ Wandfläche}$

Beispiel 2: Außenwand

Eine bewehrte Außenwand $d=20$ cm muss aufgrund der geforderten Mindestbewehrung nach EC2, 9.5 mit $3,0 \text{ cm}^2/\text{m}$ (Q335 beidseits) bewehrt werden (Mattengewicht $5,38 \text{ kg/m}^2$).

Möchte man die Außenwände trotzdem bewehren (Angsthasenbewehrung), könnte man diese unbewehrt nachweisen und eine konstruktive Bewehrung Q188 einbauen (Mattengewicht $3,02 \text{ kg/m}^2$).

- Kostenersparnis: ca. 44 % bei der Bewehrung

Beispiel 3: Wohnanlage mit 100 Wohnungen

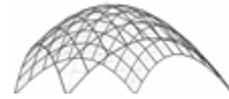
In einer rein betonierten Wohnanlage (UG-DG komplett betoniert) entstehen ca. $100-150 \text{ m}^2$ Betonwandfläche je Wohneinheit, im Mittel ca. $125 \text{ m}^2/\text{WE}$. Der Stahlpreis mit Einbau beträgt angenommen ca. 1.800 Euro/to.

In einer bewehrten Betonwand sind i. M. ca. 120 kg/m^3 Betonstahl enthalten (Mittel aus betonierten Wänden vom UG bis DG) bzw. ca. $80 \text{ kg Co}_2/\text{m}^3$.

Wandstärke im Mittel ca. $d=22$ cm, Wandhöhe ca. $h=2,60$ m

- Stahlersparnis ca.: $125 \times 100 \times 0,22 \times 120 / 1.000 = 330 \text{ to}$
- Kostenersparnis ca.: $125 \times 100 \times 0,22 \times 120 \times 1,8 = 594.000 \text{ Euro}$
- CO_2 -Einsparung ca.: $125 \times 100 \times 0,22 \times 80 / 1000 = 220 \text{ to pro 100 WE (2,2 to/WE)}$
- Zeitersparnis ca.: $15\text{h/ to} \times 330 = 4.950 \text{ h}$

Ein Oberklasse PKW muss ca. $1,9$ x die Entfernung von der Erde bis zum Mond zurücklegen (ca. 384.400 km), um so viel CO_2 zu erzeugen, wie allein der Stahleinsatz an CO_2 in betonierten Innen- und Außenwänden einer Wohnanlage mit 100 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 (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 |

→ CO₂-Emission unbewehrte Betonwand d=18 cm + 12,5 cm WDVS
 ca.: 195x0,18 + 59x0,125= 35+8= 43 kg CO₂/ m²

→ CO₂-Emission bewehrte Stb.-Betonwand d=18 cm + 12,5 cm WDVS
 ca.: 195x0,18 + 60x0,18 + 59x0,125= 35+11+8= 54 kg CO₂/ m²

→ CO₂-Emission Wärmedämmziegel d=36,5 cm (mit Perlitfüllung)
 ca.: 152x0,365= 56 kg CO₂/ m²

→ CO₂-Emission Mauerwerkswand d=24 cm + 12,5 cm WDVS
 ca.: 120x0,24 + 59x0,125= 29 + 8= 37 kg CO₂/ m²

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

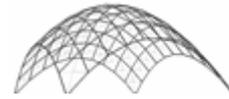
→ eine Mauerwerkswand + WDVS emittiert fast genauso viel CO₂ als eine unbewehrte Betonwand + WDVS mit gleichem U-Wert, nur lassen sich damit ca. 5x mehr Lasten aufnehmen, wenn die Außenwand betoniert wird!

→ 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

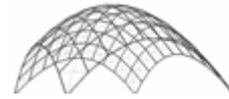
→ Die Kosten einer bewehrten Betonwand im Verhältnis zu einem Wärmedämmziegel sind ungefähr gleich!



9 Vorteile unbewehrter Betonwände:

Umweltschonender Beitrag:

- Einsparung von ca. 30% CO₂/m³ Beton.
- Umgerechnet ca. 60-90 kg CO₂/ m³ Betonwand (abhängig vom Bewehrungsgrad) wird durch den Entfall des Betonstahles eingespart (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).
- Durch die Wahl einer reduzierten Rissbreite gemäß Entwurfsgrundsatz a) oder c) aus der WU-Richtlinie, lassen sich große Mengen an Betonstahl einsparen, das den CO₂-Fußabdruck weiter verbessert.
- 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).
- CO₂-Emissionen bei Herstellung 1m³ Stahlbetonwand ca. 300 kg CO₂
(ca. 220 kg CO₂ bei Beton = ca. 70 % und ca. 85 kg CO₂ bei Stahl=ca. 30%)
- CO₂-Emissionen bei Herstellung 1m³ Stahlbetonstütze ca. 420 kg CO₂
(ca. 220 kg CO₂ bei Beton = ca. 50 % und ca. 200 kg CO₂ bei Stahl=ca. 50%)
- 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.280 km fährt.



Kostenvorteile:

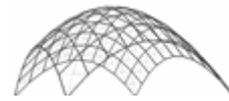
- Einsparung von ca. 125 Euro an Betonstahl/ lfd. Betonwandlänge.
- Unbewehrte Betonstützen und Betonwände in der Tiefgarage müssen nicht saniert werden aufgrund Chlorideintrag, falls Risse zum Tragen kommen.
- Kein Beschichtungssystem mit jährlicher Wartung erforderlich.
- Kein teilweises Schließen der Tiefgarage durch Sanierung des OS-Systeme.
- Geringere Prüfkosten durch den Prüfsachverständigen, 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 bewehrten Betonwand, die im Wohnungsbau gar nicht erforderlich sind.
- Mind. 5x höhere Tragfähigkeiten wie eine Mauerwerkswand (mehr Geschosse und mehr Wohnfläche möglich als bei Mauerwerk).
- Brandschutz (Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden Bauteile) exakt wie bewehrte Betonwände (siehe Beitrag im Artikel).
- 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.
- Wandstärken von 12-14 cm sind für tragende unbewehrte Innenwände ohne weiteres zu erreichen, im Mauerwerksbau dagegen sind für tragende Wände Dicken von $h \geq 17,5$ cm üblich und meist auch erforderlich.



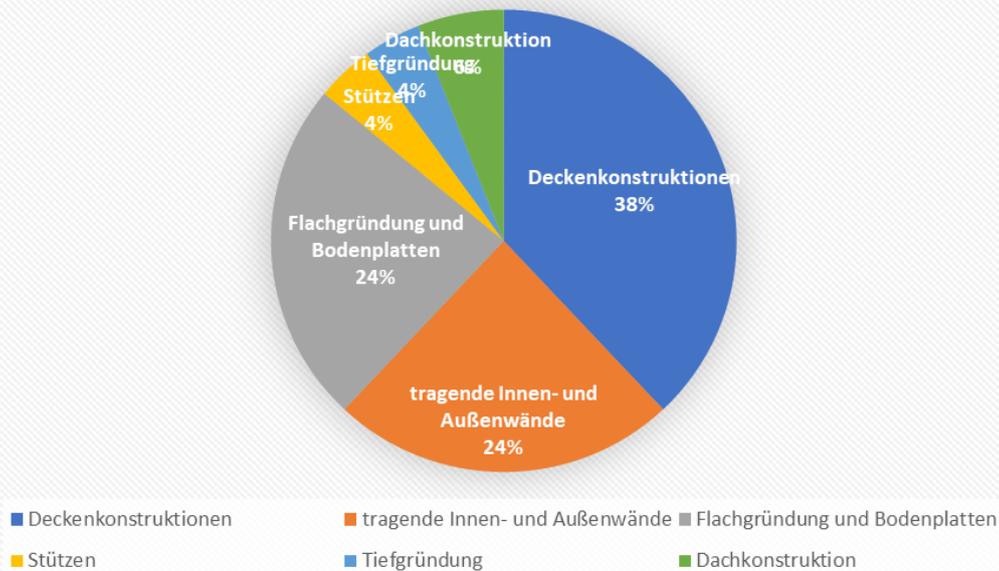
- Besserer Schallschutz als Mauerwerkswand (zum Vergleich: KS-Wand $d=17,5$ cm, $\rho_{0,4}$ entspricht unbewehrte Betonwand $d=13$ cm)
- optimaler Energiespeicher über massige Fläche (vgl. Thermodecken)
- keine Anschlussbewehrung zwischen Wand und Boden- bzw. Deckenplatte erforderlich, auch keine Einspannwinkel in die Decke

Politische und strategische Vorteile:

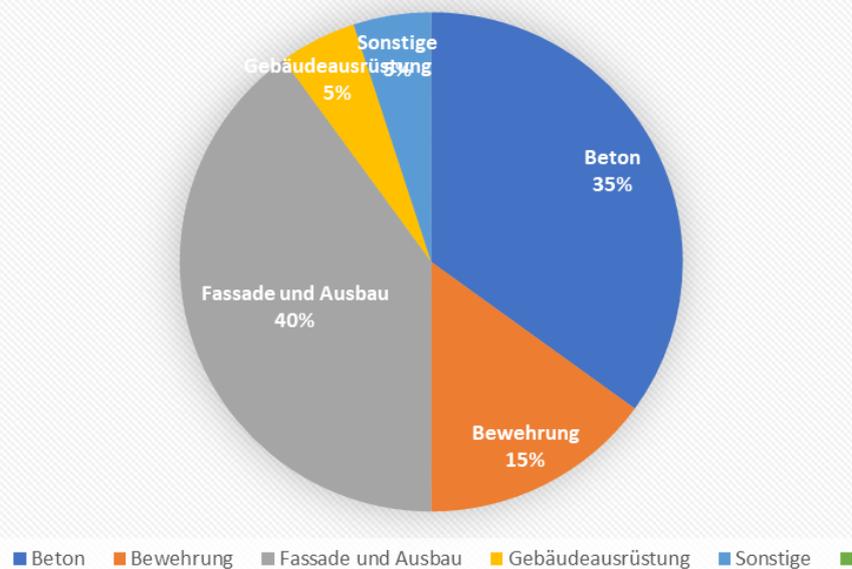
- Man macht sich unabhängig von ausländischen Lieferketten, da kein Stahl eingekauft werden muss.
- Umgehen von Lieferengpässen und politische Unabhängigkeit vor Kriegen. Beispiel: Die EU hat große Anteile des zerbombten Stahlwerkes in Mariupol bezogen. Der Stahlpreis ist 2022 um mind. 70 % teurer als noch 2021, da der Stahl nun aus anderen Zulieferländern (Indien etc.) bezogen werden muss.
- 20-jährige Langzeiterfahrung ist vorhanden.
- Große Wohnanlagen mit 140 WE wurden bereits erfolgreich umgesetzt und durch Prüferingenieure geprüft.

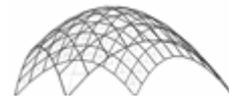


Einfluss von Bauteilen auf Emissionen eines 3-geschossigen Gebäudes (Quelle: Prof. Sobek)



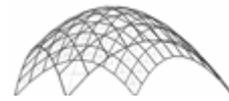
Typische Co2-Verteilung eines Massivgebäudes (Quelle: Prof. Sobek)

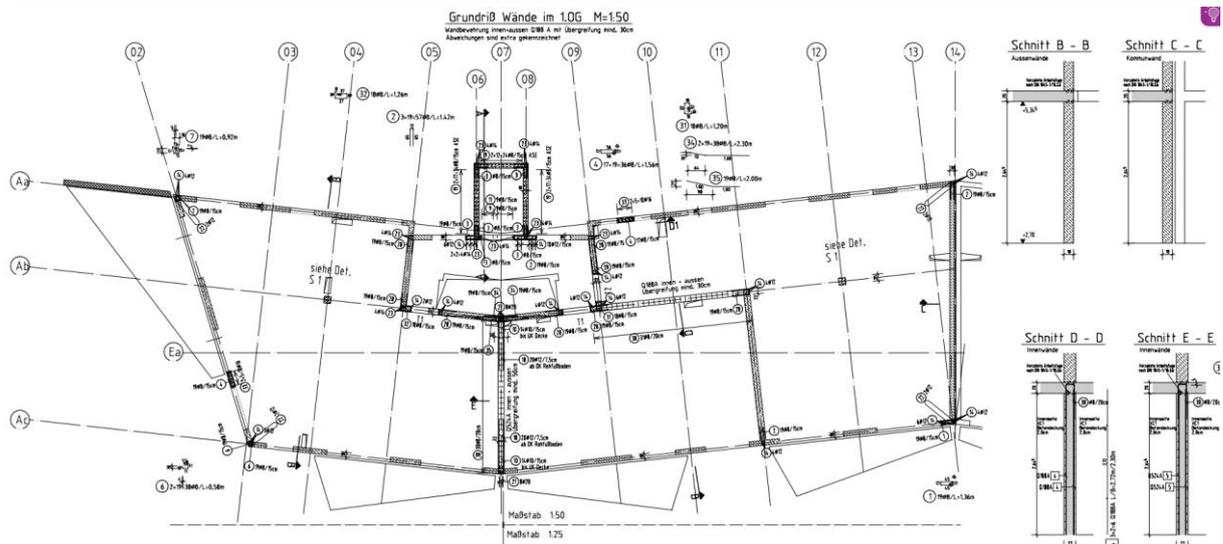
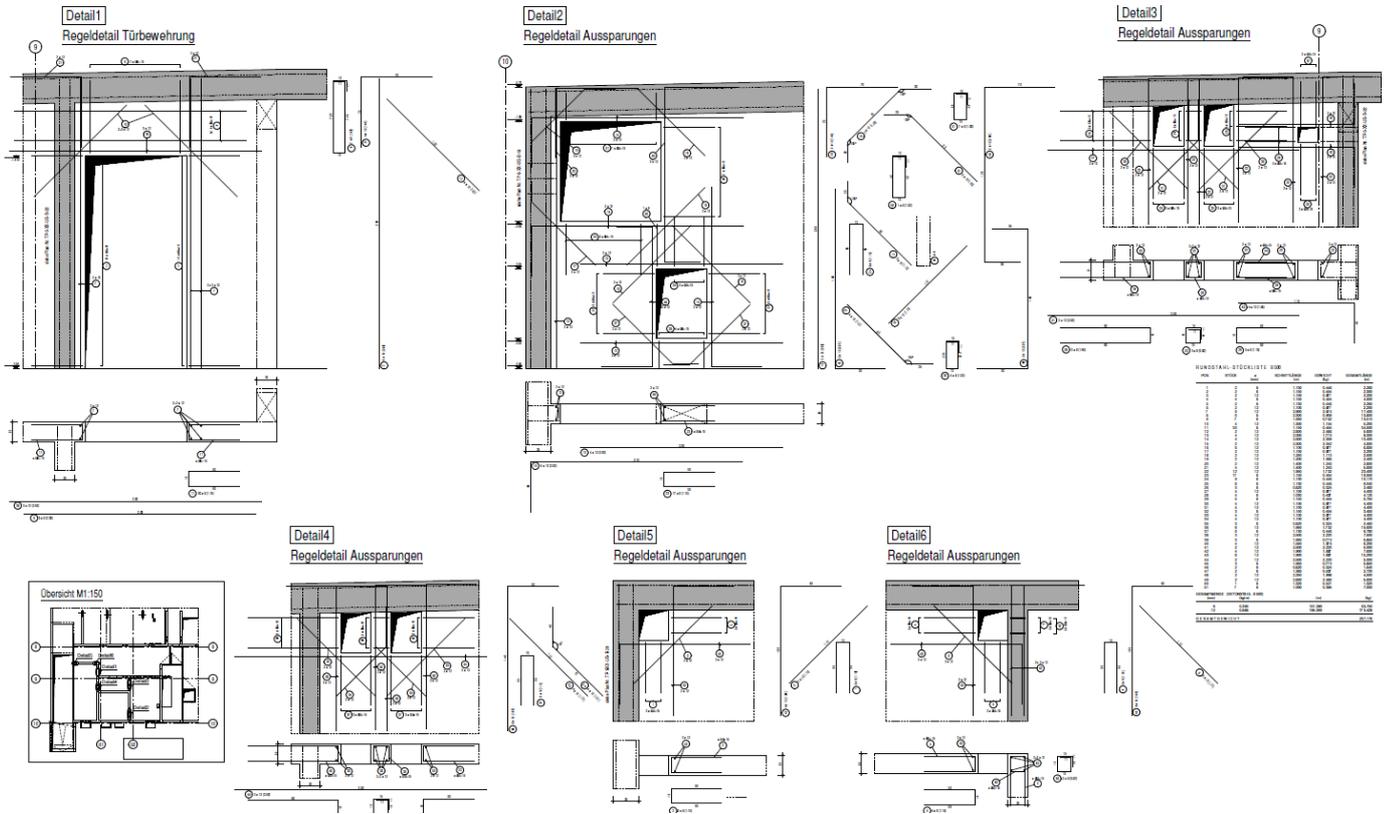
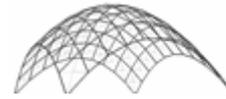


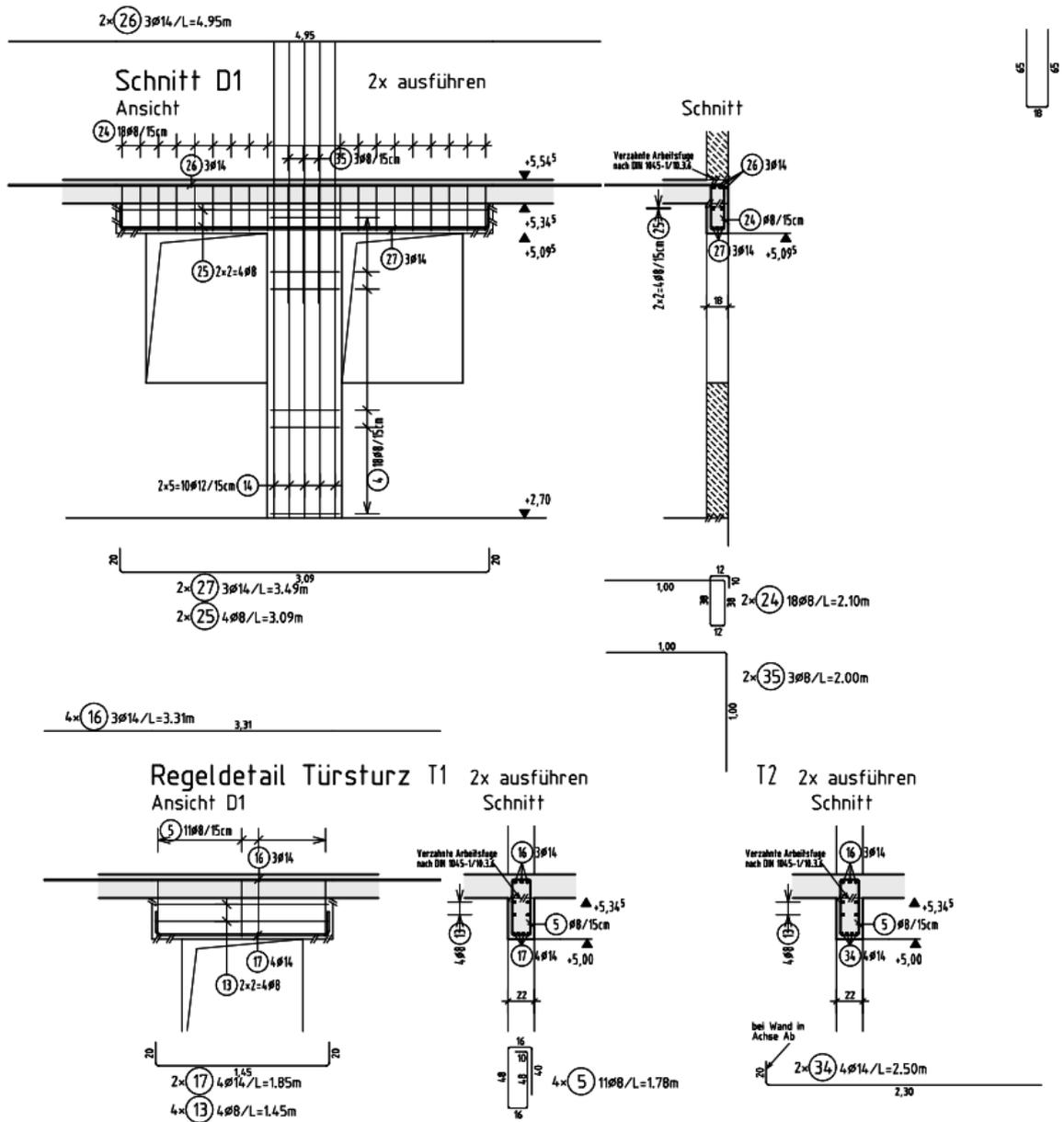
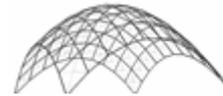


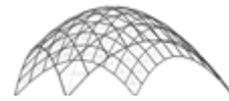
10 Ausführungsbeispiele unbewehrter Betonwände:











11 Fazit:

- Das Bauwesen ist für über 50% am weltweiten CO₂-Ausstoß verantwortlich.
- Nicht nur die globale Energie- und Umweltkrise ist mittlerweile bei uns in Deutschland deutlich spürbar, auch die Inflation von über 8% macht der Bauwirtschaft und dem Wohnungsbau sehr zu schaffen.
- Die Bauzinsen liegen mittlerweile bei weit über 4,5% (der Leitzins liegt in Europa nun bei 3,5%). Die meisten Immobilienmakler und Bauträger melden nun stark rückläufige Wohnungskäufe an und schieben geplante Projekte auf.
- Unbewehrte Betonwände können nun einen großen Beitrag leisten in Hinblick auf Kosteneinsparung am Bau und CO₂-Reduktion.
- Durch die Ausführung unbewehrter Betonwände liegen jetzt bereits Einsparungspotentiale vor, für die es keine Forschung oder Zustimmung im Einzelfall braucht.
- Was gemauert werden kann, kann erst recht betoniert werden, und zwar unbewehrt!
- Zum einen sind sie ein wesentlicher ökologischer Beitrag gegen die Klimaerwärmung, zum anderen lassen sich damit Kosten- und Zeitvorteile erzielen. Wenn die tragenden Wände übereinanderstehen und die Wände keine nennenswerte Biegemomente erhalten, dann können diese unbewehrt ausgeführt werden, das gilt auch für Kelleraußenwände.
- Unbewehrte Betonwände sind Druckbauteile und bedürfen keiner Bewehrung. Der Beton kann allein der Last standhalten.
- Tiefgaragen müssen nicht mit unsinnigen Oberflächenschutzsystemen beschichtet werden. Wo kein Stahl eingebaut wurde, ist auch kein Stahl zu schützen.
- 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 müssen uns nur trauen und den Mut haben neue ökologische Wege zu gehen!



Dipl.-Ing. (FH) Andreas Mendler
Beratender Ingenieur BaylKaBau