Formelblatt

Formeln für den Zusammenhang zwischen Fläche, Spannung, Kraft und Elastizitätsmodul

$$\sigma = \frac{N}{A} \qquad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \rightarrow L_1 = L_0 \cdot (1 + \varepsilon)$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{\Delta L}{L_0} \qquad \frac{N}{A} = E \cdot \frac{\Delta L}{L_0} \rightarrow \Delta L = \frac{N \cdot L_0}{A \cdot E}$$

σ	Spannung	[N/mm²]
L0	Länge unbelastet	[mm]
L1	Länge unter Belastung N	[mm]
ε_0	Ausdehnungskoeffizient	[-]
ε_U	Ausdehnungskoeffizient Bruch-/Enddehnung	[-]

Formeln für den Zusammenhang zwischen Materialfestigkeit, Normalkraft und Querschnitt

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \qquad A_{req} = \frac{N_d}{f_d} \qquad N_{d,\,max} = A \cdot f_d$$

f_d	Bemessungswert der Materialfestigkeit	[N/mm²]
A_{req}	notwendige Fläche	[mm²]
$N_{d,max}$	maximale Normalkraft	[kN]

Formeln für die Druckbelastung unter Berücksichtigung von Knicken

$$N_{d,\,max} = k_{cor} \cdot A \cdot f_d$$

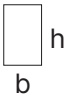
k_{cor}	Korrekturfaktor Knicken (aus Diagramm; abhängig von Material, Querschnitt und Knicklänge)	[-]

Formeln für die Berechnung der Durchbiegung bei Linienlasten

SIA 260: $w \leq \frac{L}{350}$

$$w = c \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I} \rightarrow I = \frac{c \cdot \frac{q \cdot L^4}{E}}{w}$$

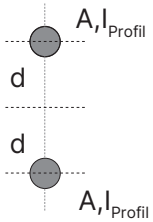
$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \rightarrow h = \sqrt[3]{\frac{I \cdot 12}{b}}$$



w	Durchbiegung	[m]
L	Spannweite	[m]
c	Durchbiegungskonstante	[-]
q	Linienlast	[N/m]
E	Elastizitätsmodul	[N/m²]
I	Trägheitsmoment	[m⁴]
b	Breite Träger	[m]
h	Höhe Träger	[m]
A	Querschnittsfläche	[m²]
d	Hebelarm	[m]

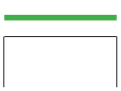
Trägheitsmoment für Fachwerke

$$I = 2 \cdot (I_{Profil} + A \cdot d^2)$$



Durchbiegungskonstante c für Spannweiten ohne Auskragung

$$c = \frac{5}{384}$$



Sicherheitsfaktoren

Sicherheitsfaktoren

	Tragsicherheit (ULS)	Gebrauchstauglichkeit (SLS)
Ständige Lasten	$\gamma_{G(ULS)} = 1.35$	$\gamma_{Q(SLS)} = 1$
Veränderliche Lasten	$\gamma_{Q(ULS)} = 1.5$	$\gamma_{Q(SLS)} = 1$

Reduktionsbeiwerte für Gebäude

Einwirkungen Vgl. SIA 260	ψ_0
Nutzlasten in Gebäuden - Kategorie A Wohnflächen - Kategorie B Büroflächen - Kategorie C Versammlungsräume - Kategorie D Verkaufsflächen - Kategorie E Lagerflächen	 0.7 0.7 0.7 0.7 1.0
Verkehrslasten in Gebäuden - Kategorie F Fahrzeuge unter 3.5 t - Kategorie G Fahrzeuge von 3.5 bis 16 t - Kategorie H Dächer	 0.7 0.7 0
Schneelasten	$\Psi_0 = 1 - 60/h_0$
Windkräfte	0.6
Temperatureinwirkungen	0.6
Einwirkungen aus dem Baugrund - Erddruck - Wasserdruck	 0.7 0.7

Lasten

Werte Nutzlasten Vgl. SIA 261	**Spezifische Nutzung**	$\overline{q}_k$ in kN/m²
Wohnflächen	Wohnräume, Hotelzimmer, Stationsräume, Krankenhäuser	2
	Balkone	3
	Treppe	4
Büroflächen		3
Versammlungsflächen	Flächen mit Tischen und Bestuhlung	3
	Flächen mit fester Bestuhlung	4
	Flächen für Menschenansammlung	5
Verkaufsflächen	Warenhäuser, Ladengeschäft	5
Park- und Verkehrsflächen	Für Fahrzeuge unter 3.5t	2
	Für Fahrzeuge von 3.5t bis 16t	5
Nicht begehbare Dächer	Zugang nur für Unterhaltungsarbeiten	0.4

Werte Auflasten	**Gewicht**	**Last**
Wasser	1000 kg/m³	10 kN/m³
Erde	1800 kg/m³	18 kN/m³
Unterlagsboden (6cm)	100 kg/m²	1 kN/m²
Extensive Begrünung (5-15cm)	170 kg/m²	1.7 kN/m²
Intensive Begrünung (15-25cm)	300 kg/m²	3 kN/m²
PV-Anlage	33 kg/m²	0.33 kN/m²

Schneelast q_s Dachbeiwert μ Expositionsbeiwert C_e Thermischer Beiwert C_T	$\overline{q}_s = \mu \times C_e \times C_T \times s_k$ $s_k = [1 + (h_0/350m)^2] \times 0.4\ kN/m^2 \geq 0.9\ kN/m^2$ $h_0 = h$ (Höhe über Meer) + h_{corr} siehe „Bezugshöhen für Schneelasten“ Anhang S.6
Winddruck bzw. -sog (Näherungswert)	$\overline{q}_w = 1.0\ kN/m^2$
Erdbeben (Näherungswert)	$G_h = 0.25 \times G_k$

Materialwerte

Material	**Fichtenholz** C 24	**Brettschichtholz** GL24h	**Stahl** S 235	**Stahl** S 355	**Bewehrungsstahl** B 500 B	**Beton** C 30 /37	**Mauerwerk** MB
Zugfestigkeit f_{tk} [N/mm²]	14.5	19	235	355	500	2.9	0
Druckfestigkeit f_{ck} [N/mm²]	21.1	24	235	355	500	30	7.0
Wiederstandsbeiwerte y_M	1.7	1.5	1.05		1.15	1.5	2.0
Dichte g [kg/m³]	500	500	7‘850			2500*	1300
Raumlast y_k [kN/m³]	5.0	5.0	78.5			25*	13
Elastizitätsmodul E [N/mm²]	11‘000	11‘500	210‘000		205‘000	34‘000	3‘500
kg CO_2-aequivlalent pro kg Material [$kg_{co2\text{-}aeq}$/kg]	0.156	0.336	0.731			0.101 0.135*	0.280

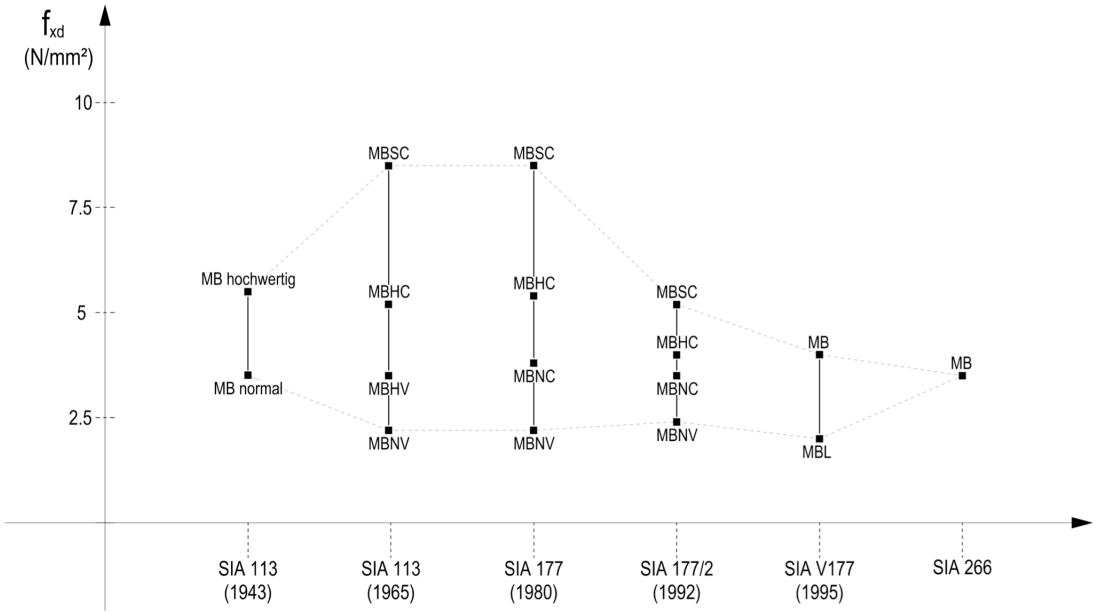
*inkl. typischer Bewehrung für armierten Beton

Material	**Tragwerk**	**Schlankheit** L/h*
Holz	Balken	10 - 12
	Brettsperrholzplatte (BSP/CLT)	25 - 28
Stahlbeton	Balken	12 - 15
	Platten	28 - 30
Stahl	Balken	15 - 20
	Fachwerkträger	

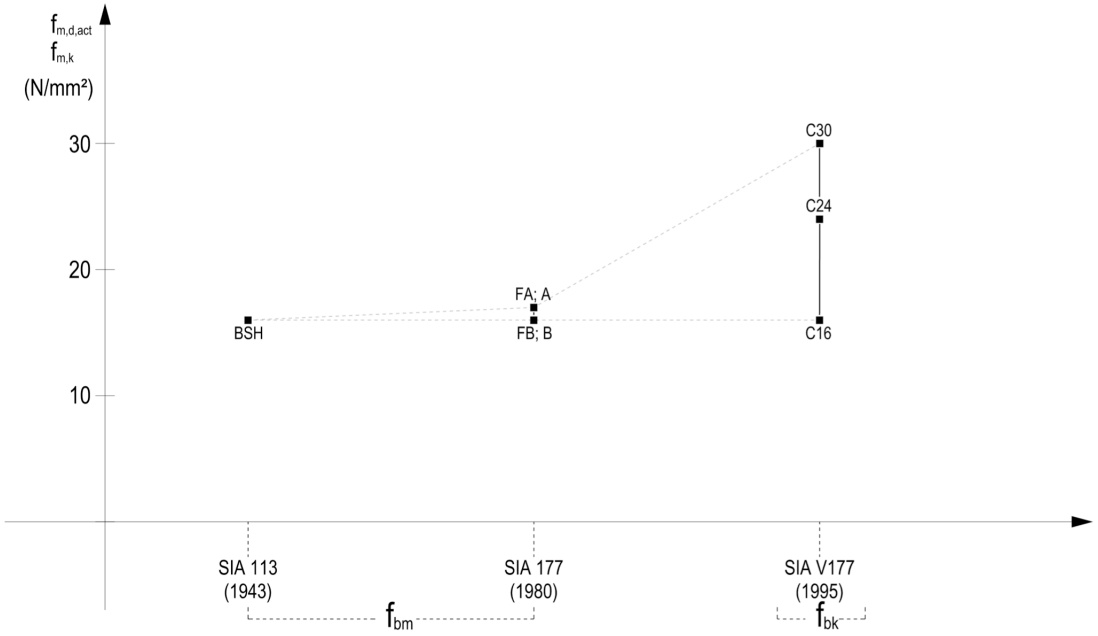
*bei Auskragungen muss für L die doppelte Weite der Auskragung verwendet werden

Anhang: Historische Materialwerte

Backstein

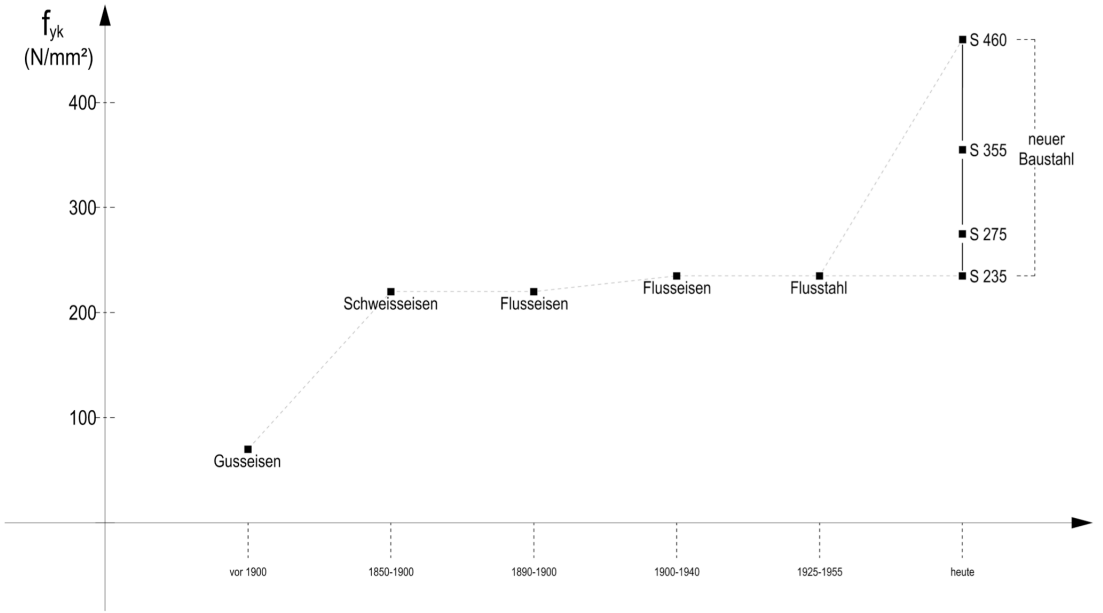


Holz

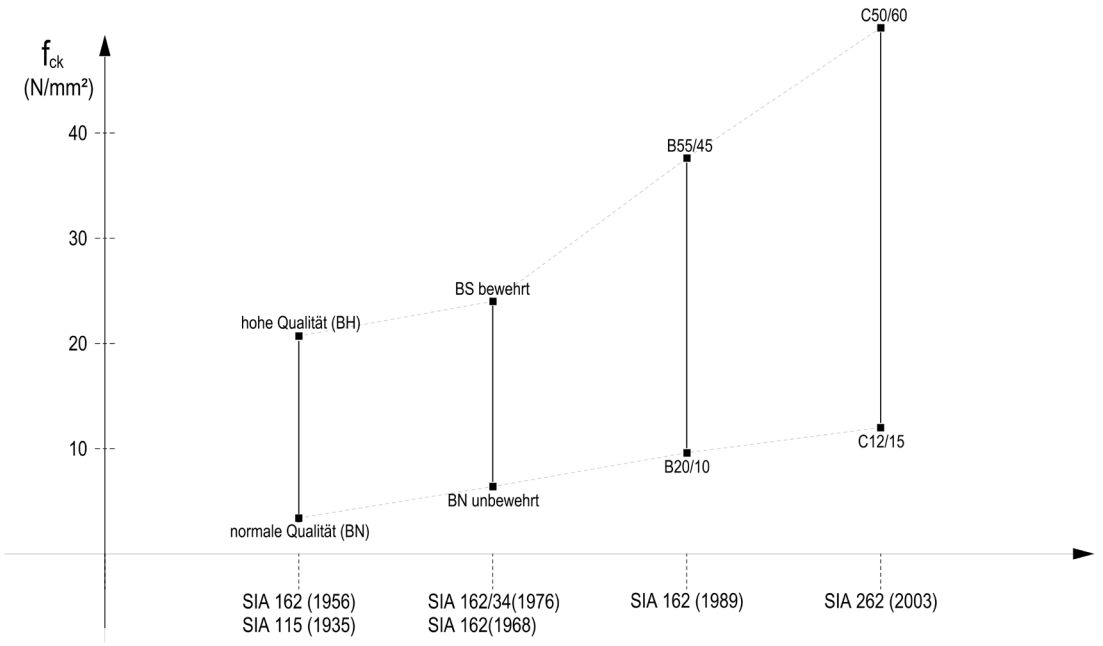


Anhang: Historische Materialwerte

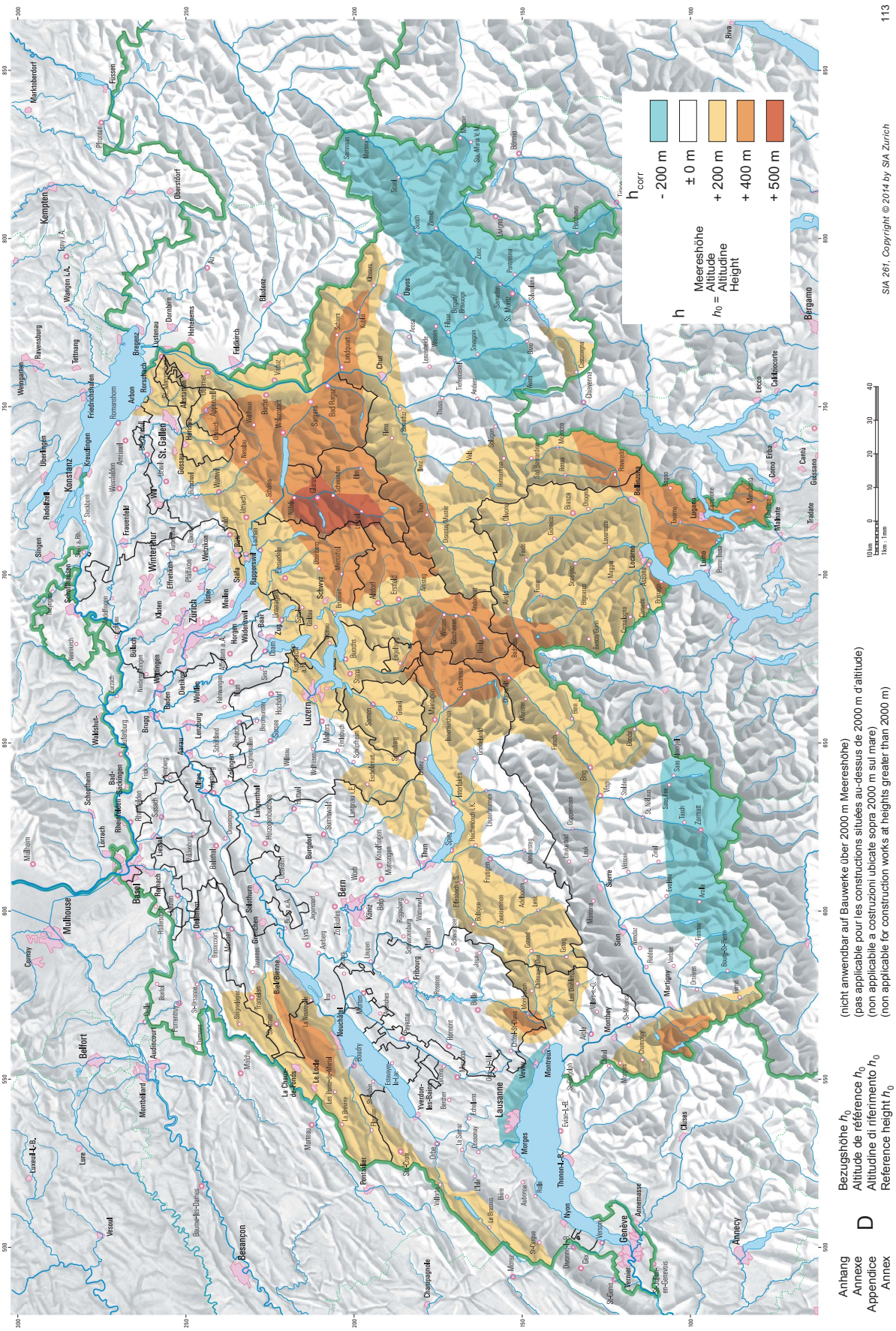
Stahl



Beton



Anhang: Bezugshöhe Schneelasten



Anhang: Faustformel horizontale Aussteifung

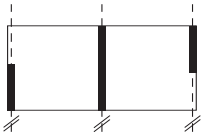
Um die horizontale Aussteifung zu gewährleisten werden mindestens drei Scheiben benötigt, die sich in mindestens zwei Schnittpunkten treffen.

Drei Scheiben

Stabile, günstige Anordnung: Windlasten in Richtung der zwei parallelen Scheiben werden durch diese abgetragen. Durch deren großen Abstand zueinander kann kein Verdrehen auftreten, Windlasten in Querrichtung werden durch die dritte Scheibe abgetragen. Dem dabei auftretenden Moment (Betrag der Resultierenden mal deren Abstand zur Scheibe in Windrichtung) wirkt ein Kräftepaar der zwei parallelen Scheiben entgegen.

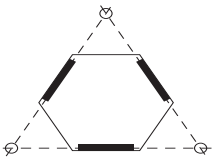
Vier Scheiben

Stabile, günstige Anordnung auch unter Temperaturbelastung: Infolge von Temperaturdehnung verformt sich die Deckenscheibe in den Bereichen der Wandscheiben orthogonal zu den Wänden. Die Wände behindern die Verschiebung kaum, da sie sich orthogonal zu ihrer Ebene weich verhalten (wie Pendelstützen), sodass nur geringe Zwangsbeanspruchungen entstehen.



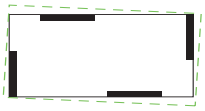
Drei parallele Scheiben

Instabil: Wirkungslinien der Scheiben verlaufen alle parallel, horizontale Einwirkungen mit Lastanteil orthogonal zur Scheibenebene führen zum Kippen.



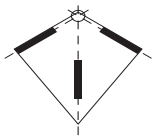
Drei Scheiben

Stabile, günstige Anordnung: Es sind drei Scheiben vorhanden, die nicht parallel ausgerichtet sind und deren Wirkungslinien sich nicht in einem Punkt schneiden.



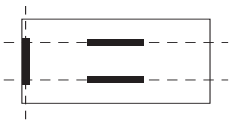
Vier Scheiben

Stabil, jedoch treten Zwänge unter Temperaturbeanspruchung auf: Die Deckeneckpunkte würden sich bei ungehinderter Temperaturdehnung diagonal vom Deckenmittelpunkt weg verschieben. Die dort angeordneten Scheiben wirken dem Verschiebungsanteil in Scheibenebene entgegen und führen zu Zwängen.



Drei Scheiben

Instabil: Wirkungslinien der Scheiben schneiden sich in einem Punkt, eine Verdrehung des Systems um den Schnittpunkt ist möglich.

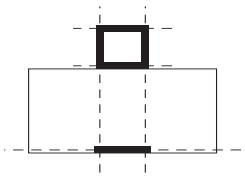


Drei Scheiben

Stabil, jedoch ungünstig: Der Hebelarm zwischen den zwei parallelen Scheiben ist sehr gering. Dies führt zu großen Kräften infolge von Momenteneinleitung durch Wind orthogonal zu diesen Scheiben.

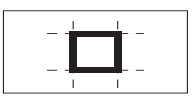
Kern

Stabil, jedoch ungünstig: Die Windlast orthogonal zur Gebäudelängsseite, deren Resultierende einen großen Abstand zum Kern aufweist, führt zu einer deutlichen Torsionsbeanspruchung des Kerns.



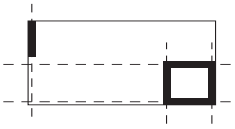
Scheibe und Kern

Stabil, günstig: Torsion im exzentrisch angeordneten Kern wird durch eine Einzelscheibe mit großem Hebelarm zum Kern vermindert.



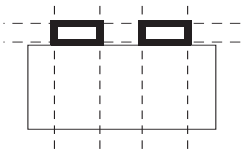
Kern

Stabil und günstig durch zentrale Anordnung des Kerns: Die Resultierende der Windlast verläuft durch den Kern. Dadurch wird eine Torsionsmomentenbeanspruchung des Kerns vermieden.



Scheibe und Kern

Günstig: Die Einzelscheibe reduziert die Torsionsbeanspruchung des Kerns. Ihr großer Abstand vom Kern ergibt einen großen Hebelarm und führt somit zu kleinen Kräften.



Zwei Kerne

Stabil, jedoch ungünstig: Windlast orthogonal zur Deckenquerseite verursacht durch die exzentrische Anordnung ein Moment, das nur über die schlanken Kerne abgetragen werden kann, sodass diese stark beansprucht werden.

Anhang: Symbole & Konventionen

Symbol	Bedeutung	English	Übliche Einheit
γ	Sicherheitsfaktor	safety factor	[-]
γ_G	Sicherheitsfaktor für ständige Lasten	safety factor dead load	[-]
γ_Q	Sicherheitsfaktor für veränderliche Lasten	safety factor for variable load	[-]
γ_M	Sicherheitsfaktor für Material	safety factor material	[-]
σ	Spannung	generic stress	[N/mm^2 = MPa]; [kN/cm^2]
ε	Dehnung	generic strain	[mm/mm]
F	Kraft	generic force	[kN]
s	Linienlast	generic line load	[kN/m]
N	Normalkraft	internal force	[kN]
P	Vorspannkraft	prestress force	[kN]
Q	Veränderliche Punktlast	live load	[kN]
G	Ständige Punktlat	dead load	[kN]
q	Veränderliche Linienlast	linear live load	[kN/m]
$\overline{q}$	Veränderliche Flächenlast	area live load	[kN/m^2]
g	Ständige Linienlast	linear dead load	[kN/m]
$\overline{g}$	Ständige Flächenlast	area dead load	[kN/m^2]
R	Resultierende (Kraft)	Resultant force	[kN]
A, B, C, ...Z	Reaktionskraft	Reaction force	[kN]
A	Fläche	area	[m^2]; [mm^2]
L	Länge	length	[m]
b	Breite	width	[m]
h	Höhe / Tiefe	height / depth	[m]
t	Dicke	hickness	[m]
E	Elastizitätsmodul	Elastic/Young's modulus	[N/mm^2]
f	Festigkeit eines Materials	generic strength of material	[N/mm^2]
ρ	Dichte	density	[kg/m^3]
I	Flächenträgheitsmoment	moment of inertia	[m^4]; [mm^4]

Anhang: Symbole & Konventionen

Notation für Festigkeiten

$$f_{\text{Richtung, Bemessungswert}}^{\text{Zug / Druck}}$$

Beispiel: $\mathbf{f_{\parallel,d}}^{+}$ ist der Bemessungswert der die Festigkeit parallel zu Faser unter Zugbeanspruchung

Richtung

$\parallel$	Parallel zur Faser (für Holz)	entspricht 0°
$\perp$	Senkrecht zur Faser (für Holz)	entspricht 90°

Design

d	Bemessungswert $f_d = f/\gamma_M$
u	Bruchfestigkeit
k	Charakteristischer Wert

Zug / Druck

+	Zug
-	Druck