

Fassaden aus Betonelementen

Einführung

Der Betonfassadenbau hat während der letzten Jahre eine Entwicklung durchgemacht. Dank industrieller Fertigung haben sich viele Möglichkeiten eröffnet.

Im Werkstoff Beton stecken beinahe unbegrenzte Möglichkeiten. Er ist äusserst vielseitig und fordert deshalb den individuellen Gestaltungswillen jedes Architekten heraus.

Beton besteht hauptsächlich aus Naturprodukten. Er wird aus Materialien wie Kies, Sand und Zement hergestellt.

Die moderne Fassade mit Betonelementen kann differenziert entworfen und verwirklicht werden: farbig, plastisch, warm usw. Mit einer optimal aufgebauten Fassade aus Betonelementen hat der Elementbauherr keine physikalischen Probleme.

Die vorliegende Dokumentation stellt dar, welche Möglichkeiten die Element AG heute dem Architekten und dem Bauherrn zu bieten hat.



Form und Gliederung

Beton lässt wie kein anderes Material praktisch grenzenlose Freiheit für kubisch-plastische Gestaltung. Technische Überlegungen müssen beim primären Entwurf keine Rolle spielen. Kühn und phantasievoll können neue Fassadenformen entworfen werden.

Sobald der prinzipielle Entwurf vorliegt, ist der ideale Zeitpunkt gekommen, die Element AG zu kontaktieren. Mit ihrer gemeinsamen Berufserfahrung und Gestaltungskraft können Architekt und Element AG nun daran gehen, die vielen Möglichkeiten des modernen Schalungsbaues voll auszuschöpfen.

Die industrielle Herstellung erlaubt neue Elementformen. Die Lage der Schalung wird weder vom Bauablauf noch von der definitiven Lage des Elementes am Bau bestimmt. Fassadenelemente werden im Werk horizontal geschalt.

Als Raumelemente können sie aber auch in mehreren Arbeitsgängen hergestellt werden. So sind ansprechende, elegante Formen möglich, verbunden mit allen Vorteilen der Massivbauweise. Das Betonelement gliedert die Fassaden des Bauwerkes, seine Fugen gehören mit zum Gestalterischen. Wie bei Sichtmauerwerken oder Naturfassaden gestaltet der Architekt auch die sichtbare Unterteilung. So schafft er die richtigen Proportionen – die tatsächliche Aufteilung kann er dann dem Elementwerk überlassen.

Fassadenelemente können horizontal oder vertikal angeordnet, in Stützen, Brüstungen oder Stürze aufgelöst oder als ein- bis mehrgeschossige Elemente ausgeführt werden. Balkone und Dachgesimse sind voll integrierbar.

Der interessierte Besucher kann im Werk selbst erleben, wie interessant die Herstellung von Fassadenteilen abläuft. Denn neben industriellen Fertigungsmethoden kommt nach wie vor viel

präzise handwerkliche Arbeit zum Zug. Mit Hilfe natürlicher Zuschlagstoffe wie Sand und Kies kann Beton mit einer breiten Palette individueller Farbnuancen angereichert werden. Je nach Dosierung und Material reicht diese von Weiss bis Dunkelgrau, von Rot über Gelb bis Grün. Alle in natürlichen Steinen vorhandenen Farben können also auch für die Elementfassade verwendet werden.

Für sehr differenzierte Farbkonzepte kann die Farbskala zusätzlich erweitert werden, existiert doch ein reiches Angebot von Farbpigmenten wie Eisenoxyde, Titanoxyde usw.

Oberflächenstrukturen mit Schattenwirkung lassen sich mit einer ganzen Reihe von Methoden gestalten. Ebene, gerundete, abgestufte, vertiefte oder andere Oberflächen entstehen mit Hilfe des Schalungsabdruckes oder mit zusätzlichen Matrizen. Jede Oberfläche kann nachträglich gestockt, sandgestrahlt, gewaschen oder mit anderen Methoden strukturiert werden.

Durch Abrieb, Besenstrich, Glattstrich usw. des frisch gegossenen Elementes entstehen ebenfalls interessante Strukturen. Diese drei Grundmethoden lassen sich mit weiteren Möglichkeiten zusätzlich variieren: „Stockt“ man aufgeschlagenen Kieselstein, wird seine Farbe mitbestimmend. Vorsatzkiesel für "Waschbeton" ermöglicht weitere Farbvariationen in den verschiedensten Auswaschtiefen.

Die bauphysikalischen Eigenschaften

Vorfabrizierte Betonfassaden haben, aufgrund der hohen Masse, gute Wärmespeichereigenschaften – kombiniert mit einer guten Wärmedämmung eine ideale Konstruktion für Gebäude mit tiefem Energieverbrauch. Richtig dimensionierte Gebäude mit Betonelement-Fassaden sind Energiespargebäude! Ausserdem schützen Betonelement-Fassaden sehr gut vor Lärm und entsprechen ohne Sondermassnahmen den feuerpolizeilichen Anforderungen. Die Bauphysik der Betonfassaden ist nachfolgend beschrieben.

Aufbau der Fassade

Fassaden mit Betonelementen werden in verschiedenen Varianten hergestellt:

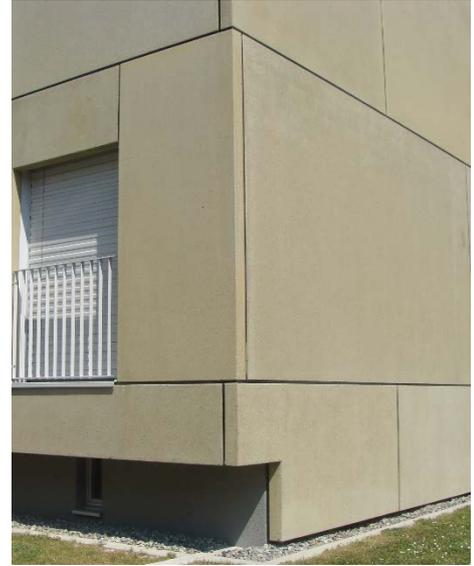
- Als einschalige, vorgehängte und hinterlüftete Konstruktion. Oder als dreischalige Sandwichkonstruktion. Das "Sandwich" besteht aus einer inneren, tragenden oder nicht tragenden Schale, einer äusseren Verkleidungsschale und einer dazwischenliegenden Wärmedämmung.
- Die Elemente werden abgestellt oder aufgehängt. Für alle Befestigungen und Verbindungen gibt es dem Bauwerk und dem Fertigungsablauf angepasste Lösung.
- Die Fugen sind als Kitt- oder Trockenfugen ausgebildet. Erprobte Lösungsmöglichkeiten stehen für alle Variationen zur Verfügung.



Vorderrain Luzern



Brunnenpark Zürich



Lilienthal, Opfikon

Fabrikation, Transport und Montage

Die beim Fassadenbau eingesetzten Elementgrössen sind in der Regel problemlos transportierbar. Sobald Installation und Organisation des Bauplatzes festgelegt sind, können sowohl Montageablauf als auch Art der Hebegeräte mit der Bauleitung besprochen werden.

Nachfolgende Bauphasen

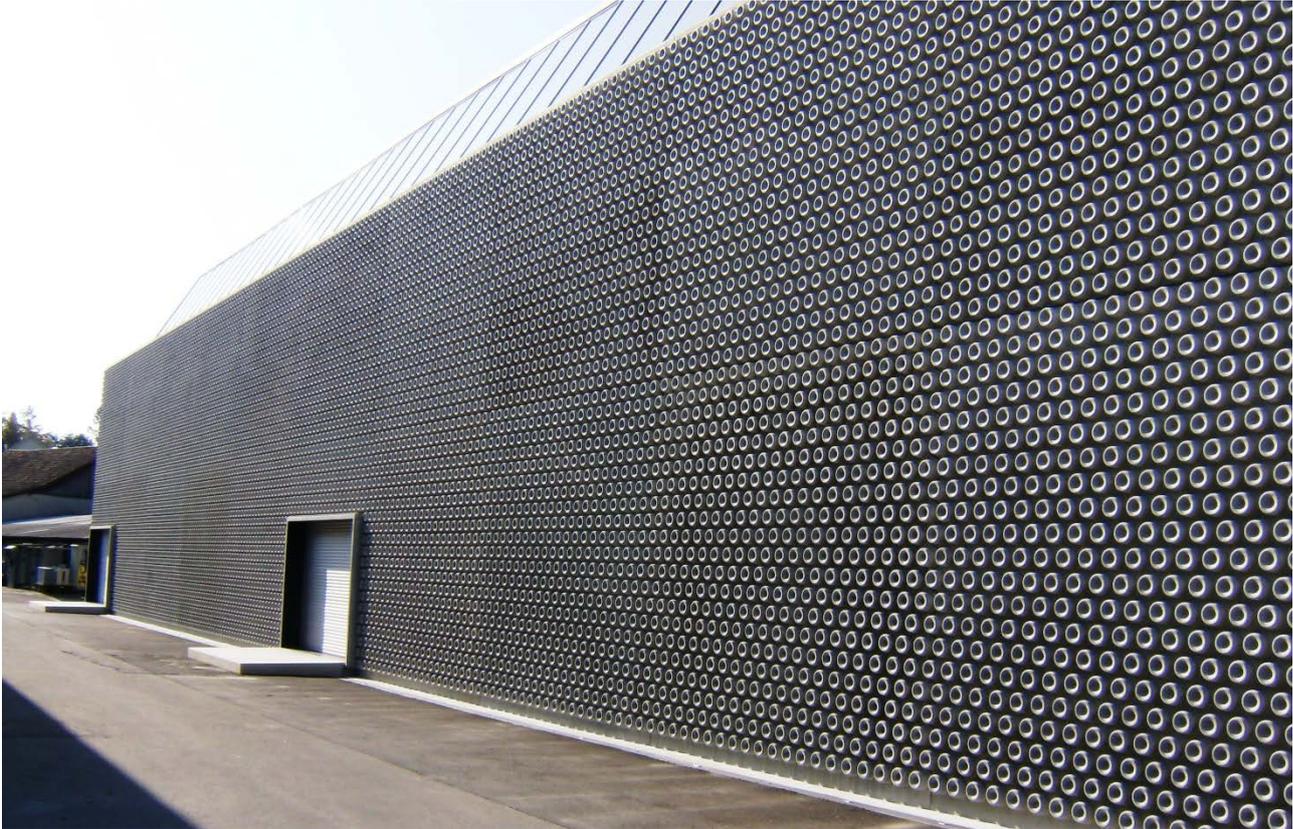
Die weiteren Installations- und Ausbaurbeiten stellen weniger Probleme als bei traditioneller Bauweise. Das verkürzt die Bauzeit. Unter Umständen entfallen gewissen Arbeitsgattungen sogar beispielsweise Teile der Bauinstallation, Fensterbänke, Innenverputz, Spitzen und Zuputzen für Elektroinstallationen, Abdeckungen für Lamellenstorenkasten usw.

Qualität

Fassaden aus Betonelementen werden unter optimalen Bedingungen in stets gleich hoher Qualität hergestellt. Dank hochentwickelter Betonsorten und Fertigungsmethoden kann eine konstante, hochwertige Qualität der Bauteile sichergestellt werden. In der Element AG werden die Prozesse laufend überwacht und dokumentiert. Unser Betrieb verfügt seit Jahren über die entsprechenden Zertifikate.

In internen Projekten entwickeln wir laufend neue Technologien, Produktionsmethoden und Verfahren im Hinblick auf die Verbesserung der Qualität und Ästhetik von Betonelementen.

Einige Beispiele



Halle Wirz, Oetwil am See



Schulanlage Goldbach, Küssnacht



IBA, Aarau



WÜB Triemli, Zürich



Schulheim, Effingen

Bauphysik der Betonfassaden

Einleitung

Seit Menschendenken besteht für den einzelnen die Notwendigkeit, sich vor der Unbill des Wetters zu schützen und eine Wohnstätte für einen persönlichen Bereich zu schaffen, die ihm auch behagliches Wohnen ermöglicht.

Die Gebäudehülle, wie auch immer aufgebaut, muss somit diesem doppelten Bedürfnis genügen. Man verlangt von ihr einerseits den Schutz vor äusseren Einflüssen und andererseits die Gewährleistung der Behaglichkeit im Innern. Die Bauphysik als Anwendung der physikalischen Gesetze im Bauwesen und als Vermittler der empirisch gewonnenen Erkenntnisse gibt wichtige Kriterien für Entscheide des Planers und Unternehmers.

Es geht dabei um Probleme, wie sie einerseits im Gebäudeinnern, andererseits an Bauelementen der Gebäude hülle als Trennung zwischen zwei unterschiedlichen Klimata auftreten. Die Bauphysik umfasst die Gebiete Wärme (Energie), Feuchte, Luftströmungen, Akustik, Brand und Tageslicht.

Aus diesen Bereichen sollen hier im Anhang über vorgefertigte Betonfassaden einige für diese Bauweise spezifische bauphysikalische Fragen behandelt werden.

Behaglichkeit

Die thermische Behaglichkeit ist eine wichtige Anforderung für den winterlichen Wärmeschutz und ist in den SIA-Normen definiert. Aufgrund des unterschiedlichen Empfindens der Menschen ist sie ein statischer Begriff.

Per Definition gilt ein Raum als thermisch behaglich, wenn der Zustand von den meisten Bewohnern bei definierter Kleidung und Tätigkeit als neutral, d. h. weder als zu kalt noch zu warm empfunden wird.

Die thermische Behaglichkeit hängt von den folgenden Einflüssen ab:

Einflüsse der Bewohner:

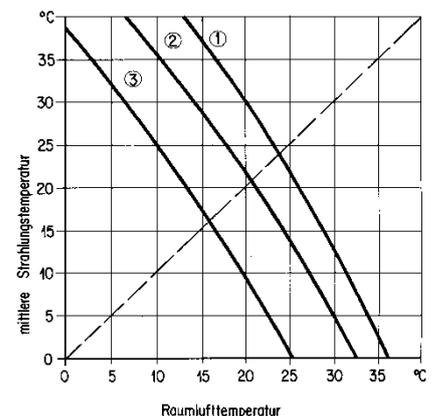
1. ihre Tätigkeit, welche die Wärmeproduktion im Körper bestimmt
2. ihre Bekleidung, die eine mehr oder weniger hohe individuelle Wärmedämmung aufweist

Einflüsse der Umgebung:

1. Raumlufttemperatur
2. Oberflächentemperaturen der umgebenden Bauteile (ergibt die mittlere Strahlungstemperatur)
3. Relative Raumluftfeuchte
4. Luftströmung

Einen entscheidenden Einfluss übt die mittlere Strahlungstemperatur aus: je höher die Temperatur der umgebenden Oberflächen, desto niedriger kann für gleiche Behaglichkeit die Raumlufttemperatur sein.

Eine gute Wärmedämmung (niedrige U-Werte) ergibt nicht nur kleinere Transmissionswärmeverluste, sondern ermöglicht auch niedrigere Raumlufttemperaturen, spart somit doppelt Heizenergie.



Behagliche Raumbedingungen nach P.O. Fanger für $v = 0,2 \text{ m/s}$, $\phi = 50\% \text{ r. F.}$

- ①, ②, ③: Kurven gleicher Behaglichkeit
①: sitzend, ruhend (etwa 100 W/Person) mittlere Bekleidung
②: mittlere Aktivität (etwa 200 W/Person) leichte Bekleidung
③: mittlere Aktivität (etwa 200 W/Person) mittlere Bekleidung

Aussenklima

Bauphysikalische Aufgabe	Quelle	Massgebende Grösse	Zahlenwerte für 3 typische Orte der Schweiz (Beispiele)		
			Zürich	Davos	Lugano
Wärmeschutz im Winter	SIA 180	T min	-15 °C	-20 °C	-4 °C
Wärmeschutz im Sommer	SIA 180	T min	32 °C	24 °C	33 °C
		T min	16 °C	26 °C	16 °C
	Metoplan Hlef 1	Sonneneinstrahlung	W/m2	W/m2	W/m2
		I max	785	965	820
		DH	144	74	109
Dimensionierung der Heizung	SIA 384/2 Wärmeleistungsbedarf	T min Leichte Bauweise	-11 °C	-17 °C	-5 °C
		T min Schwere Bauweise	-8 °C	-14 °C	-2 °C
Jahresenergiebedarf	SIA 380/1 Thermische Energie im Hochbau	Heizperiode	Sept-Mai	Jan-Dez	Okt-April
		Heiztage	218	315	176
		Heizgradtage (für TL = 20 °C)	3616 K d	5886 K d	36+8 K d
		Mittlere Globalstrahlung, Summe über alle Heiztage:			
		GH	483	1086	395
GN	117	291	111		
GE/W	278	604	239		
GS	519	1005	521		

Beton als Baustoff

Beton ist ein Baustoff, der den Bedürfnissen des heutigen Hochbaus entgegenkommt:

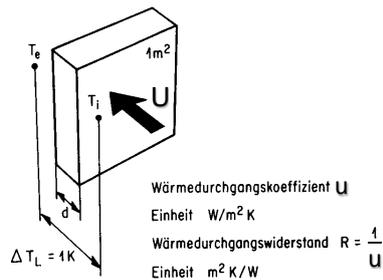
Er ist in geeigneter Qualität dauerhaft und wasserdicht, er bedarf kaum des Unterhaltes. Er ist statisch hoch belastbar. Seine Masse und damit thermische Trägheit trägt zur Ausnützung der Sonnenenergie im Winter bei, aber auch zum Schutz vor sommerlicher Tageshitze. Betonwände sind gut schalldämmend und besitzen eine hohe Feuerwiderstandsfähigkeit. Und Beton bietet durch seine Formbarkeit kreativen Architekten die Möglichkeit zur ästhetischen Gestaltung.

Aussenwände, die den heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz genügen, sind entweder aus einem homogenen Baustoff und dann sehr dick, oder mehrschichtig, wobei jeder Schicht eine bestimmte Funktion zugeordnet ist:

- **wetterschützend**
- **wärmedämmend**
- **statisch tragend**

Hier liegt der Anwendungsbereich der Betonfassaden. Die äussere Gebäudehülle wird vielseitig beansprucht. Die vorgefertigte Betonfassade bietet die Möglichkeit, durch eine bewusste Fugeneinteilung Zwängspannungen zu vermeiden und Verformungen ohne Schäden aufzunehmen.

Wärmedämmung



Der charakteristische Kennwert für die Wärmedämmung einer Aussenwand ist der Wärmedurchgangskoeffizient, kurz **U-Wert** genannt (u in $W/m^2 K$). Er ist gleich dem Wärmestrom in W , der durch $1 m^2$ der Wandfläche fliesst, wenn der Temperaturunterschied der angrenzenden Luftschichten $\Delta T = 1 K (=1 ^\circ C)$ beträgt. Der Wärmeverlust durch eine Wand der Fläche A und bei einer Temperaturdifferenz ΔT zwischen Innenluft und Aussenluft beträgt somit $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ (in W)

Und über eine Zeitperiode t : $Q = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t$ (in Wh)

Die $\Delta T \cdot t$, aufsummiert über eine bestimmte Zeitperiode, z. B. einen Monat, sind die sogenannten Heizgradstunden resp. Heizgradtage HGT. Sind diese aus Tabellen bekannt, berechnet sich der Wärmeverlust durch die Wandfläche zu:

$$Q = U \cdot A \cdot \frac{HGT \times 24}{1000} \quad (\text{in kWh})$$

Die Nutzenergie-Einsparung ΔQ durch eine Verbesserung des U-Wertes um ΔU beträgt entsprechend:

$$\Delta Q = \Delta U \cdot A \cdot \frac{HGT \times 24}{1000} \quad \text{in kWh}$$

Es ist zu beachten, dass dieser Wärmeverlust durch die Wandfläche nur einen Teil des gesamten Heizenergiebedarfs in der Heizperiode umfasst.

Diesen Verlusten stehen allerdings auch Wärmegewinne durch Sonnenstrahlung, Abwärme von Beleuchtung und Geräten und Wärmeangabe der Personen gegenüber.

Der U-Wert wird als Kehrwert des **Wärmedurchgangswiderstandes** berechnet. Dieser ist die Summe der einzelnen Widerstände, die der Wärmestrom von ihnen nach aussen zu überwinden hat.

Die U-Werte für verschiedene Ausführungen von vorfabrizierten Beton-Sandwich-Fassaden sind in der untenstehenden Tabelle und Bild dargestellt. Sie enthalten keine Zuschläge für eine Wärmebrückenwirkung von Verankerungen.

Mit U-Werten von $0.15 W/m^2 K$ bis $0.2 W/m^2 K$ genügen Aussenwandkonstruktionen den heutigen Anforderungen an Minergie-Gebäuden.

Typ Fassade	Innere Schale	äussere Schale	Typ Wärmedämmung EPS 30	U-Werte in W/m ² K
Sandwich-Fassade	Beton di = 15 cm	Beton di = 10 cm	160 mm	0.195
			180 mm	0.174
200 mm			0.158	
220 mm			0.144	
	Beton di = 20 cm	Beton di = 10 cm	160 mm	0.194
180 mm			0.174	
200 mm			0.157	
220 mm			0.143	

Bei Verankerungen aus rostfreiem Stahl (Qualität V4A = Chrom-Nickel-Stahl) ist die Wärmebrückenwirkung wegen der kleinen Querschnitte und der relativ niedrigen Wärmeleitfähigkeit von V4A-Stahl so gering, dass sie in der Regel vernachlässigt werden können.

Wärmespeicherung

Eine schwere Bauweise mit ihrer Wärmespeicherfähigkeit besitzt allgemein folgende Vorteile:

- grössere Behaglichkeit (kleinere Schwankungen der Raumlufttemperatur, geringere Maximaltemperaturen im Sommer, langsamerer Temperaturrückgang bei Ausfall der Heizung),
- bessere Ausnützung der während eines Tages durch die Fenster aufgenommenen Sonneneinstrahlung und innerer Wärmequellen (freier Wärme) und damit Heizenergie-Einsparungen.

Der Ausnutzungsgrad für die freie Wärme ist abhängig vom Verhältnis Wärmegewinn zu Wärmeverlust, von der wirksamen Speichermasse und von der Heizungsregelung, die gewisse Schwankungen der Raumlufttemperaturen zulassen soll.

Vorfabrizierte Betonfassaden als Sandwich-Fassaden wie auch als hinterlüftete Konstruktion bieten den Vorteil, dass die schwere Schale raumseitig der Wärmedämmung zur wirksamen Innenspeichermasse gezählt werden kann.

Wasserdampf-Diffusion

Bezüglich Dampfdiffusion stellt eine Wand aus Beton keine Probleme dar. Die Bauteilübergänge sind je nach Ausführung bauphysikalisch zu beachten.

Schalldämmung

Der wirksame Schutz vor dem Aussenlärm gehört neben den Anforderungen an den Wärmeschutz zu den wichtigen Bestandteilen des Komforts.

Gewöhnlich wird die Stärke eines Lärmereignisses mit dem bewerteten Schallpegel gemessen, und zwar in dB (A). Das menschliche Ohr empfindet eine Lärmabnahme um die Hälfte, wenn der Schallpegel um 10 dB (A) abnimmt, respektive eine Verdoppelung des Lärmes bei einer Zunahme um 10 dB (A).

Die folgenden Angaben veranschaulichen, wie das Lärmvolumen ausserhalb eines Gebäudes schwanken kann:

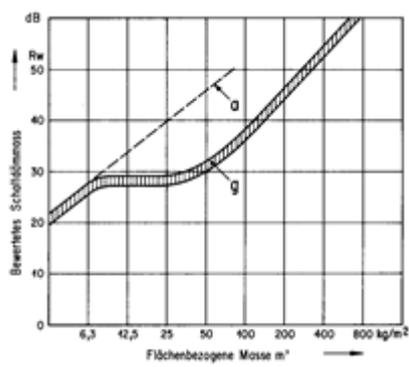
	Schallpegel	Empfindung
Wohnquartier ohne Verkehr	40 dB (A)	leise
ruhige Strasse	50 dB (A)	
Personenauto in 10 m Abstand	60 dB (A)	laut
laute Unterhaltungssprache	70 dB (A)	
lärmige Strasse	80 dB (A)	
Lastwagen in 5 m Abstand	90 dB (A)	sehr laut
Flugzeug 50 m über Grund	100 dB (A)	

Bei Aussenwänden steht der Schutz vor dem Aussenlärm im Vordergrund. Diese Luftschalldämmung wird mit dem Schalldämmmass R beschrieben, das wie folgt definiert wird:

$$R = 10 \cdot \log \frac{W_1}{W_2}$$

Dabei entspricht W1 der Schalleistungen auf der lauten Seite, W2 derjenigen auf der leisen Seite.

Das Schalldämmmass ist eine frequenzabhängige Grösse. Man kann daraus ein bewertetes Schalldämmmass RW bestimmen, das ungefähr dem algebraischen Mittelwert der verschiedenen Schalldämmmassen im bauakustischen Frequenzbereich von 100 bis 3'150 Hz entspricht. Je höher RW, desto besser ist die Schalldämmung eines Bauelementes.



Die Luftschalldämmung einschaliger Wände kann aus ihrer flächenbezogenen Masse (in kg/m²) aus dem nebenstehenden Diagramm annähernd bestimmt werden.

Kurve a: nach dem theoretischen Massengesetz (für f = 923 Hz) $R_w = 20 (\log m') + 12$

Kurve g: Erfahrungswerte aus der Praxis

Bewertetes Schalldämmmass R_w einer einschaligen homogenen Wand

Es zeigt sich, dass die schweren Betonwände eine vorzügliche Schallisolation aufweisen:

Beton 12 cm $R_w = 49$ dB (A)

Beton 15 cm $R_w = 52$ dB (A)

Beton 20 cm $R_w = 56$ dB (A)

Leider verschlechtert bei Sandwich-Fassaden die zwischen den Betonschalen liegende Wärmedämmung, besonders die relativ steifen Polystyrol-Platten, diese hohen Schalldämmwerte. Man kann dabei mit einer Verschlechterung um etwa 3 bis 6 dB (A) gegenüber einer gleich schweren Wand ohne Wärmedämmung rechnen. Die Ursache der verminderten Schalldämmung liegt darin, dass in der Nähe einer Resonanzfrequenz die Schallwellen besser übertragen werden. In Bezug auf Schalldämmungen bilden jedoch die Fenster die schwächsten Teile in einer Aussenwand. Sie weisen allgemein eine niedrigere Schalldämmung auf als die Aussenwände, insbesondere als schwere Betonfassaden.

Brandschutz

Für den baulichen Brandschutz besitzt der Baustoff Beton hervorragende Eigenschaften. Er ist unbrennbar, widersteht dem Feuer ohne besondere Massnahmen, auch ohne Verkleidungen irgendwelcher Art. Er verhindert das Übergreifen des Feuers, er qualmt nicht und setzt keine giftigen Gase frei. Dank seiner grossen Wärmeträgheit widersteht Beton auch sehr hohen Temperaturen während langer Zeit.

Bei einem raschen Temperaturanstieg und noch hohem Feuchtigkeitsgehalt besteht jedoch die Gefahr von Betonabplatzungen, wodurch die Stahlarmerung freigelegt wird. In diesem Zustand ist die Feuerwiderstandsfähigkeit der freigelegten Armierung rasch erschöpft.

Die Brandschutzanforderungen an Beton sind in der SIA 262 (inklusive Korrigendum C1) festgelegt.

Feuerwiderstand

Bei Bauteilen ist der Feuerwiderstand ein wichtiger Begriff. Als Feuerwiderstand wird die Dauer in Minuten bezeichnet, während der ein Bauteil einem definierten Brandtemperaturverlauf widersteht, d. h. den Durchtritt von Feuer und Rauch verhindert, seine statische Funktion aufrechterhält und auf der feuerabgewandten Seite keine unzulässigen hohen Oberflächentemperaturen auftreten. Eine Feuerwiderstandsklasse, z. B. EI/REI 60 bedeutet eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten.

Die auf der dem Feuer abgewandten Seite erreichten Temperaturen sind von der Dicke der Platte abhängig. Die Mindestdicke von Stahlbetonplatten zur Vermeidung von Temperaturüberschreitungen beträgt:

	Minimale Wandstärke in cm		
	REI 30	REI 60	REI 90
Tragende Wände			
Beton tragend	12	14	17
Nicht tragende Wände	EI 30	EI 60	EI 90
Beton nicht tragend	8	8	10

Ein Versagen der Tragfähigkeit tritt in der Regel dann ein, wenn durch die Erwärmung eine kritische Temperatur des Armierungsstahles erreicht wird (für Armierungsstahl S500 z. B. etwa 500 °C). Diese Erwärmung ist vor allem von der Betonüberdeckung abhängig. Eine Stahltemperatur von 500 °C wird erreicht:

- bei 2 cm Betonüberdeckung nach 60 Minuten Branddauer
- bei 3 cm Betonüberdeckung nach 90 Minuten Branddauer