

Ein Neues Bemessungsverfahren für Mauerwerkswände unter Druck- und Biegebeanspruchung

A new Design Method for Masonry Walls under Axial Load and Bending Moment

Dr. René Furler, dipl.Ing. et lic.oec.
c/o Zürcher Ziegeleien, Zürich, Schweiz

Kurzfassung :

Es wird ein neues Bemessungsverfahren für Mauerwerkswände unter Druck- und Biegebeanspruchung vorgestellt, das eine gesonderte Bemessung auf den Grenzzustand der Tragfähigkeit (Bruchsicherheit) und der Gebrauchsfähigkeit (Beschränkung der Rissweiten) ermöglicht. Am Beispiel eines zehnstöckigen Gebäudes wird das Bemessungsverfahren schrittweise dargestellt.

Abstract :

A new design method for masonry walls under axial load and bending moment is explained. Two limit states, the ultimate limit state and the serviceability state have to be considered. An example shows how to use the new design method.

1. Einleitung

Den Ausgangspunkt jeder Bemessung bilden die Anforderungen, die an ein Bauwerk gestellt werden. Zum einen wird erwartet, dass die vorgesehene Nutzung des Bauwerks gewährleistet werden kann, und zum andern soll die Sicherheit aller im Einflussbereich des Bauwerks befindlichen Menschen garantiert sein.

Die herkömmlichen Bemessungsverfahren für Mauerwerkswände beruhen auf dem Vergleich von durchschnittlichen, rechnerischen Druckspannungen mit nominellen, zulässigen Spannungen. Solchen Bemessungsverfahren liegt wohl der Gedanke zugrunde, durch die Beschränkung der Spannungen beide Anforderungen, also die Nutzung bzw. die Gebrauchsfähigkeit und die Bruchsicherheit gleichzeitig zu gewährleisten. Zahlreiche Schadenfälle an Mauerwerksbauten weisen jedoch darauf hin, dass insbesondere die Gebrauchsfähigkeit mit den herkömmlichen Bemessungsverfahren nicht immer in genügendem Masse sichergestellt werden konnte.

Im Stahl- und Stahlbetonbau sowie auch vereinzelt im Mauerwerksbau beginnen sich in letzter Zeit neue Bemessungsverfahren durchzusetzen; Sie halten die Begriffe der Gebrauchsfähigkeit und der Bruchsicherheit klar auseinander und verlangen eine gesonderte Bauwerksbemessung auf diese beiden Grenzzustände. Im Bild 1 ist dieses Bemessungskonzept schematisch dargestellt:

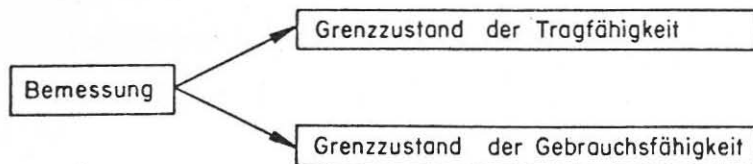


Bild 1: Bemessungskonzept

In den Jahren 1975 bis 1980 wurden an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich umfangreiche experimentelle und theoretische Arbeiten zur Ausarbeitung eines derartigen Bemessungsverfahrens für Mauerwerkswände¹⁾ unter Druck und Biegung durchgeführt (1,2,3). Es wird im vorliegenden Bericht in seinen Grundzügen erläutert und an einem einfachen Bemessungsbeispiel verdeutlicht.

Das Bemessungsverfahren wird in absehbarer Zeit im Normenwerk des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins als Richtlinie SIA 177/1 zur heute gültigen Mauerwerksnorm SIA 177(4) erscheinen.

2. Neues Bemessungsverfahren

2.1. Bemessung auf Grenzzustände

Im neuen Bemessungsverfahren wird eine gesonderte Bemessung auf den Grenzzustand der Tragfähigkeit und den Grenzzustand der Gebrauchsfähigkeit verlangt:

- Im Grenzzustand der Tragfähigkeit soll das Bauwerk eine ausreichende Sicherheit gegen Bruch aufweisen und
- Im Grenzzustand der Gebrauchsfähigkeit beziehungsweise unter Gebrauchslasten soll das Bauwerk ein normales Verhalten aufweisen. Insbesondere sollen keine unzulässigen Risse auftreten die zu Folgeschäden führen.

2.2. Bemessungsfälle

In der Schweiz stellen Mauerwerkswände in Kombination mit Stahlbetondecken ein übliches Tragsystem des Hochbaus dar. Die Bemessungsfälle E und V ergeben sich aus der konstruktiven Gestaltung der Deckenaufleger.

Bemessungsfälle E (Exzentrizität)

Zwischen Dachdecke und Wand werden vielfach Gleitlager eingebaut (Bild 2). Die Last wird dadurch konzentriert eingeleitet und die Exzentrizität der Axiallast ist durch die Lage des Gleitlagers fixiert. Im Fall E3 wird vorausgesetzt, dass das untere Wandende beziehungsweise die darunter liegende Betondecke nicht verdreht wird (Bild 4).

1) für Backstein- und Kalksandstein-Mauerwerk

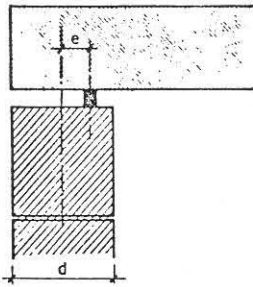


Bild 2: Bemessungsfälle E

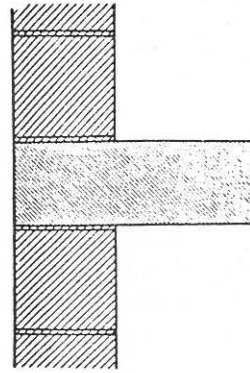


Bild 3: Bemessungsfälle V

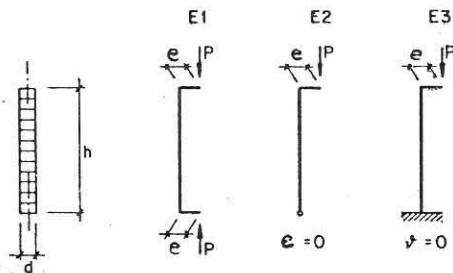
Bemessungsfälle V (Verdrehung)

In den meisten Fällen werden die Betondecken direkt auf die Mauerkrone betoniert (Bild 3). Durch das Zusammenwirken von Wand und Decke ergibt sich eine Einspannwirkung und die Axiallast stellt sich bezüglich der Wandaxe exzentrisch. Die resultierenden Verformungen von Wänden und Decken ergeben sich aus den Steifigkeitsverhältnissen. Im Gegensatz zu den Bemessungsfällen E ist die Exzentrizität nicht fixiert und verformungsabhängig.

Bemessungsfall V1 kann der Beanspruchung einer Zwischenwand und Fall V2 einer solchen einer Aussenwand entsprechen. Beim Fall V3 wird wiederum vorausgesetzt, dass ein Wandende durch die angrenzende Decke oder Fundamentplatte nicht verdreht wird.

Für die Bemessung der Mauerwerkswände werden je drei Bemessungsfälle E und V unterschieden (Bild 4). Es wird dabei vorausgesetzt, dass jede Wandbeanspruchung durch einen der sechs aufgeführten Fälle näherungsweise beschrieben werden kann.

Bemessungsfälle E



Bemessungsfälle V

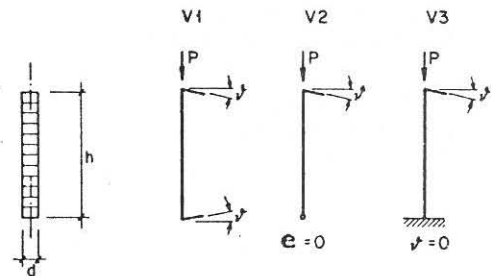


Bild 4: Bemessungsfälle E, V

2.3. Nachweis der Bruchsicherheit

Der Nachweis der Bruchsicherheit beruht auf der Forderung, dass die um einen Materialfaktor γ_R reduzierte Traglast P^* die Beanspruchung infolge der mit einem Lastfaktor γ_L multiplizierten Belastung P übersteigt:

$$\frac{P^*}{\gamma_R} \geq \gamma_L \cdot P \quad \text{Gl. (1)}$$

Werden P^* bzw. P auf die Bruttoquerschnittsflächen der Wand bezogen, so lautet obenstehende Bedingung:

$$\frac{\sigma^*}{\gamma_R} \geq \sigma_d \quad \text{Gl. (2)}$$

σ^* wird als Traglastspannung und σ_d als nominelle Spannung bezeichnet.

Bei den Bemessungsfällen E hängt die Traglastspannung σ^* (Stabilitäts- oder Materialversagen) vom Exzentrizitätsmass γ sowie von der Wandschlankheit Λ und den Stein- und Mörtelqualitäten ab (Bild 5a). Das Exzentrizitätsmass γ ist das Verhältnis von Exzentrizität und Kernweite k des Rechteckvollquerschnittes ($k=d/6$, d =Wandstärke). Die Wandschlankheit Λ ist das Verhältnis zwischen Wandhöhe und Wandstärke d (Bild 5c).

Bei den Bemessungsfällen V ist die Traglastspannung σ^* von der Verdrehung φ des Deckenaufagers sowie wiederum der Wandschlankheit Λ und den Stein- und Mörtelqualitäten abhängig (Bild 5b).

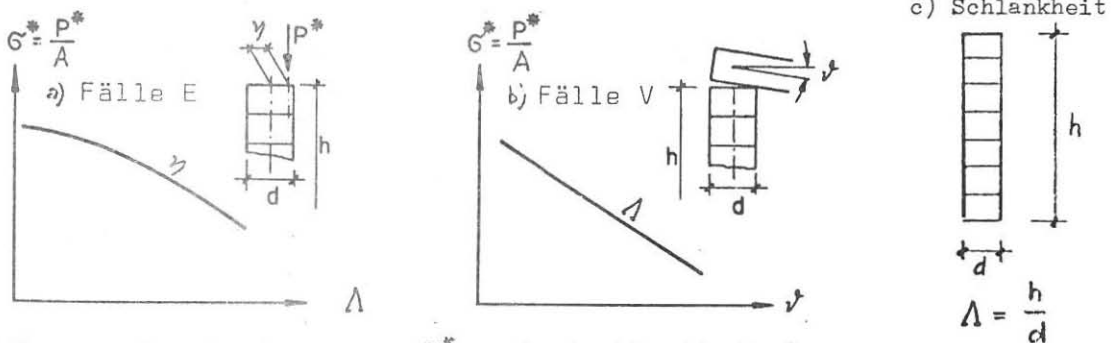
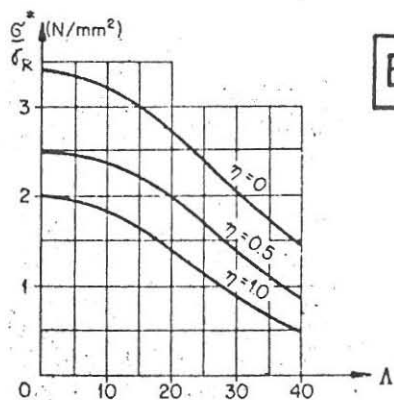


Bild 5: Traglastspannung σ^* , Wandschlankheit Λ

Die in den Bildern 5 a und 5 b dargestellten Zusammenhänge wurden experimentell und theoretisch ermittelt (1), (2), (3).

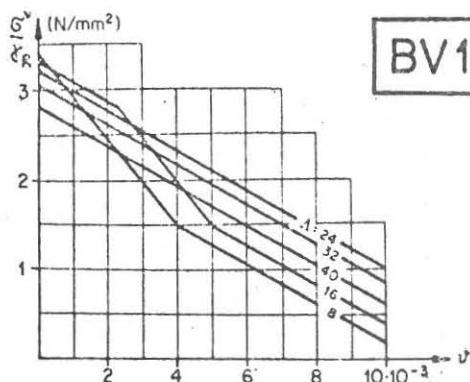
Für die Bemessungsfälle E1 bis E3 und V1 bis V3 sind im Bemessungsverfahren Bemessungsdiagramme angegeben. Die Bemessungsdiagramme wurden auf der Grundlage von nominellen Stoffgesetzen mit Hilfe eines Computerprogrammes berechnet. In Bild 6 sind stellvertretend die Bemessungsdiagramme der Fälle E1 und V1 dargestellt.

Da es sich um Diagramme für den Nachweis der Bruchsicherheit handelt, werden sie mit BE1 und BV1 bezeichnet.



BE 1

a) BE 1 für Bemessungsfall E 1



BV 1

b) BV 1 für Bemessungsfall V 1

Bild 6: Bemessungsdiagramme BE1, BV1

Beim Nachweis der Bruchsicherheit ist für die Bemessungsfälle E neben der Wandschlankheit λ das Exzentrizitätsmass η zu ermitteln und aus dem entsprechenden Bemessungsdiagramm BE1, BE2 oder BE3 die um den Materialfaktor reduzierte Traglastspannung zu bestimmen (Bild 6a). Bei den Bemessungsfällen V ist neben der Wandschlankheit λ die resultierende Verdrehung ν des Deckenaufagers zu bestimmen. (Vgl. 2.5.).

Gemäss Gl. (2) soll die nominelle Spannung σ_d den Wert $\frac{\sigma_R^*}{\gamma_R}$ nicht übersteigen.

$$\sigma_d = \frac{P_g + P_p}{A} \quad \text{Gl. (3)}$$

P_g ist die Linienlast pro Laufmeter Wand infolge von Eigenlast und ständiger Last und P_p infolge von Nutzlasten. A ist die Bruttoquerschnittsfläche der Wand pro Laufmeter.

2.4. Nachweis der Gebrauchsfähigkeit

Der Nachweis der Gebrauchsfähigkeit beruht auf der Forderung, dass die Risse, die unter den massgebenden Lasten im Gebrauchszustand, Verdrehungen der Deckenaufleger sowie Zwängungen infolge von Schwind-, Kriech- und Temperaturverformungen der Decken auftreten, keine Folgeschäden nach sich ziehen.

Unter exzentrisch liegender Axiallast (Bemessungsfälle E) bzw. Verdrehungen der Deckenaufleger (Bemessungsfälle V) können sich in den Lagerfugen sowie in der Fuge zwischen Wand und Decke horizontale Risse ergeben (Bild 7).

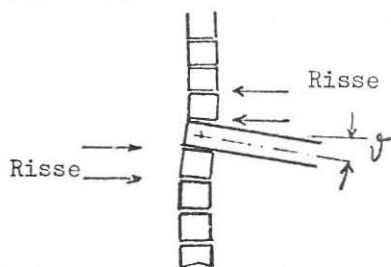


Bild 7: Rissbilder

Die maximale Grösse solcher Risse kann mit dem Bemessungsverfahren näherungsweise bestimmt werden.

Der Nachweis der Gebrauchsfähigkeit ist erbracht, wenn diese maximalen Rissweiten die vorgegebenen Richtwerte von Tabelle nicht übersteigen. Die Richtwerte wurden unter Berücksichtigung der Lage der Wand bezüglich Witterungseinfluss, der Art des Verputzes sowie des Zeitpunktes des Auftragens des Verputzes festgelegt.

Lage bezüglich Witterungseinfluss		Verputztes Mauerwerk		Unverputztes Mauerwerk, Sichtmauerwerk
		abgesackt oder dünner Putz bzw. feine Oberfläche	dicker Putz bzw. grobe Oberfläche	
Vollkommen vor Witterungseinflüssen geschützt	A	0.10 mm	0.15 mm	0.15 mm
	B	0.15 mm	0.20 mm	
Direkter Schlagregen durch ausladendes Vordach weitgehend abgehalten	A	0.05 mm	0.10 mm	0.10 mm
	B	0.10 mm	0.15 mm	
Den Witterungseinflüssen ungeschützt ausgesetzt	A	0.0 mm	0.05 mm	0.05 mm
	B	0.05 mm	0.10 mm	
Extreme Lage bezüglich Witterung	A	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm
	B	0.0 mm	0.05 mm	

A: Massgebliche Schwind- und Kriechverformungen der Decken nach Auftragen des Verputzes

B: Schwinden und Kriechen der Decken im wesentlichen abgeklungen beim Auftragen des Verputzes

Tabelle 1

Näherungsweise Ermittlung der maximalen Rissweiten

Für die Bemessungsfälle V sind im Bemessungsverfahren Diagramme zur einfachen Ermittlung der maximalen Rissweiten angegeben. In Bild 8 ist ein solches Diagramm für den Bemessungsfall V2 dargestellt. Das Diagramm GV2 (Gebrauchsfähigkeit, Bemessungsfall V2) steht stellvertretend für die Diagramme GV1 und GV3.

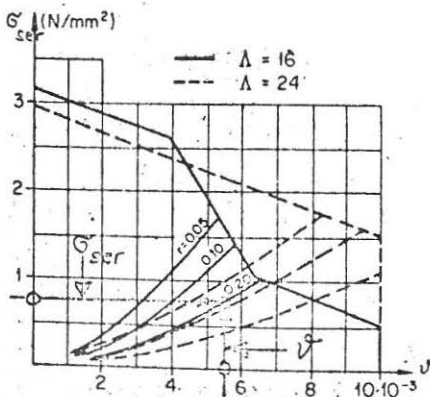


Bild 8: Diagramm GV2, Rissweiten

Neben der Wandschlankheit Λ ist die resultierende Deckenauflagerverdrehung ϑ sowie die nominelle Spannung σ_{ser} unter Gebrauchslasten zu ermitteln. Damit kann die maximale Rissweite abgeschätzt werden (Vgl. Bild 8). Sie beträgt unter den angenommenen Werten in Bild 8 ca. 0.2 mm.

Für die Bemessungsfälle E ist in einem Zwischenschritt mit Hilfe von angegebenen Diagrammen DE die Wandend- bzw. Deckenauflagerverdrehung zu ermitteln. Mit diesem Wert kann sodann die Rissweite wie im Bemessungsfall V aus den Diagrammen GV1 bis GV3 ermittelt werden.

Selbstverständlich können Rissbildungen nicht nur durch Zwängungen und Verdrehungen der Deckenauflager entstehen. Andere Risse (netz-förmige Putzrisse, Risse infolge des Schwindens des Mauerwerks, Schubrisse) können mit dem vorliegenden Bemessungsverfahren nicht erfasst werden.

2.5. Auflagerverdrehung der Decke

Für die Nachweise der Bruchsicherheit und der Gebrauchsfähigkeit ist in den Bemessungsfällen V (Bild 3) die Auflagerverdrehung der Decke zu bestimmen.

Infolge der Verdrehungen ϑ des Deckenaufslagers stellen sich die Axiallasten P_o und P_u bezüglich der Wandachsen exzentrisch (Bild 9). Dadurch wird einerseits in den Mauerwerkswänden ein Biege-widerstand W erzeugt und andererseits wirkt auf die Decke das Einspannmoment M .

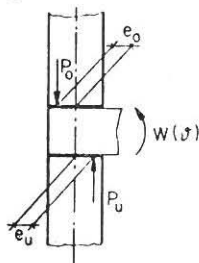


Bild 9 : Biege-widerstand der Mauerwerkswände $W(\vartheta)$

Die resultierende Auflagerverdrehung ϑ stellt sich so ein, dass der Biege-widerstand W gleich dem Einspannmoment M der Decke ist:

$$W(\vartheta) = M(\vartheta) \quad \text{Gl. (4)}$$

Der Biege-widerstand W lautet:

$$W(\vartheta) = P_o \{ e_o(\vartheta) + e_u(\vartheta) \} \quad \text{Gl. (5)}$$

wobei die Exzentrizitäten e_o und e_u von ϑ , der Wandschlankheit Λ , der Axiallast P sowie vom Bemessungsfall (V1, V2 oder V3) abhängig sind. Für die vier angegebenen Exzentrizitätsmasse η kann W punktweise aus den Diagrammen DE ermittelt werden (Bild 10a, 11). In Bild 10 b ist ein solches Diagramm für den Bemessungsfall V2 und für die Wandschlankheiten von 16 und 24 dargestellt.

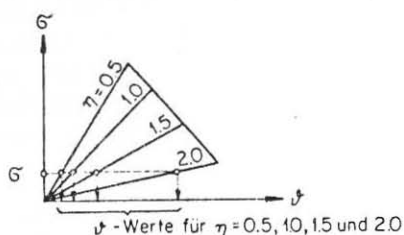


Bild 10 a : $\eta - \vartheta$ - Werte

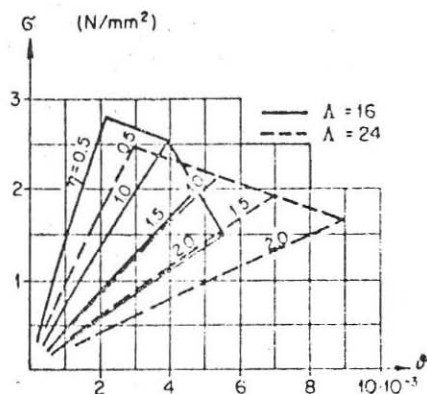


Bild 10 b : Diagramm DE2

Unter der Voraussetzung eines linear elastischen Materialverhaltens der Decke ergibt sich zwischen dem Einspannmoment M der Decke und der Auflagerverdrehung ϑ der Decke ein linearer Zusammenhang (Bild 11). Für das Festeinspannmoment M ist $\vartheta = 0$. Bei $M = 0$ entspricht ϑ der Auflagerverdrehung des einfachen Balkens.

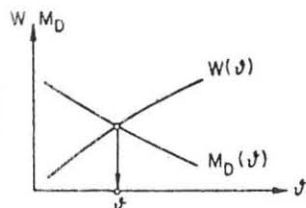


Bild 11 : $W(\vartheta)$, $M(\vartheta)$

Im Schnittpunkt der beiden Kurven $W(\vartheta)$ und $M(\vartheta)$ ist der Biege-
widerstand W der Mauerwerkswände gleich dem Einspannmoment M der
Decke. Damit ist der Winkel der resultierenden Auflagerverdrehung ϑ
bestimmt.

3. Bemessungsbeispiel

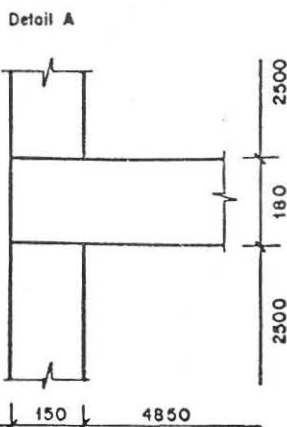
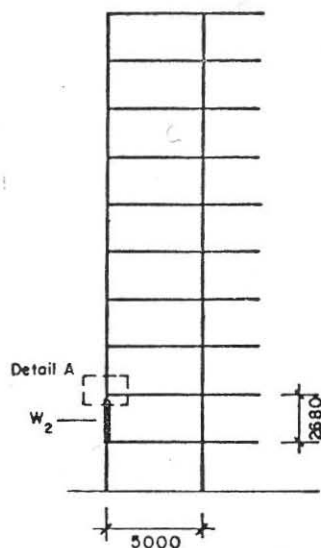
Zur Verdeutlichung des neuen Bemessungsverfahrens sollen mit Hilfe
eines einfachen Bemessungsbeispiels die einzelnen Schritte der Be-
messung, insbesondere die Nachweise der Bruchsicherheit und der Ge-
brauchsfähigkeit quantitativ durchgeführt werden.

In Bild 12 ist ein Ausschnitt aus dem Tragsystem eines zehnstöckigen
Gebäudes dargestellt. Die Mauerwerkswand W_2 im 2. Geschoss sei zu be-
messen.

Die Stahlbetondecken weisen eine Stärke von 18 cm auf und sind voll-
ständig in die Mauerwerkswände eingebunden.

Bei den aussenliegenden Mauerwerkswänden handelt es sich um die
innere, tragende Schale eines Zweischalenmauerwerks.

Die bei der Bemessung einzurechnenden Belastungen sind im Bild 12
aufgeführt.



Mauerwerkswand im 2. Geschoss
Stahlbetondecken

$d = 150 \text{ mm}$
 $d = 180 \text{ mm}$

Belastungen : Eigengewicht/ständige Lasten :

- Decke $g = 5 \text{ kN/m}^2$
- Wand (pro 2.50m Höhe) $G_W = 6 \text{ kN/m}'$

Nutz- und Verkehrslasten :

- auf Decke $p = 2 \text{ kN/m}^2$
- auf Dach (Schnee) $p_s = 1 \text{ kN/m}^2$

Bild 12 : Tragsystem, Belastungen

3.1. Nachweis der Bruchsicherheit

Gemäss 2.3. ist nachzuweisen, dass die um einen Materialfaktor reduzierte Traglastspannung σ^* die nominelle Spannung σ_d übersteigt :

$$\frac{\sigma^*}{\gamma_R} \geq \sigma_d$$

Wahl des Bemessungsfalles

Bei der Wahl des Bemessungsfalles wird die Annahme getroffen, dass die Auflagerverdrehung der angrenzenden Decken näherungsweise gleich gross sind (Bild 13).

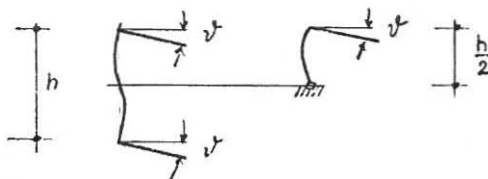


Bild 13 : Bemessungsfall

Es handelt sich somit um den Bemessungsfall V2 (Vgl. Bild 4).

Wandschlankheit

Bei der Ermittlung der Wandschlankheit Λ ist von der halben Wand-

höhe h auszugehen (Bild 13) :

$$\Lambda = \frac{h}{2d} = \frac{250}{2 \cdot 0.15} = 8.3$$

Bestimmung von σ_d

σ_d wird gemäss Gl.(3) ermittelt und beträgt :

$$\sigma_d = \frac{1.4 (p_g + p_f)}{A} = 1.35 \text{ N/mm}^2$$

Auflagerverdrehung der Decke

Für die Bestimmung der Auflagerverdrehung ψ der Decke können aus dem in Bild 14 dargestellten Diagramm DE2 (mit $\sigma_d = 1.35 \text{ N/mm}^2$, $\Lambda = 8.3$) für die Exzentrizitätsmasse η von 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 die entsprechenden ψ -Werte bestimmt werden. Mit Gl. (4) kann W punktweise für die vier η -Werte ermittelt werden. Es wurde dabei vereinfachend angenommen, dass $e_u(\psi) = e_o(\psi)$. Der Verlauf von $W(\psi)$ ist in Bild 15 dargestellt.

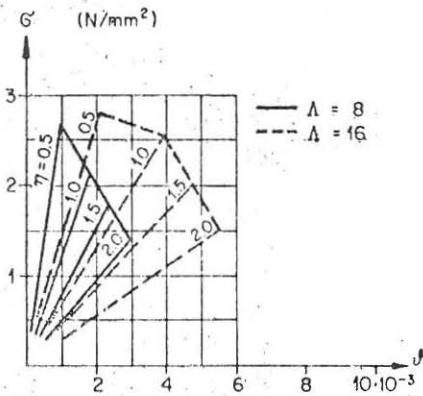


Bild 14 : Diagramm DE2

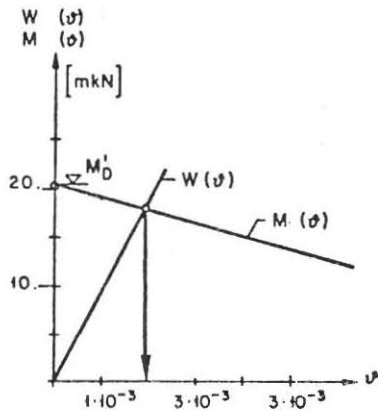


Bild 15 : $W(\psi)$, $M(\psi)$

Der Verlauf von $M(\psi)$ ist ebenfalls in Bild 15 dargestellt. Das Fest-einspannmoment M_D' beträgt :

$$M_D' = \frac{1.4 (g + p) l^2}{12} = 20.4 \text{ kNm}$$

und für $M = 0$ ergibt sich die Auflagerverdrehung ψ' des einfachen Balkens. Sie beträgt :

$$\psi' = \frac{1.4 (g + p) l^3}{24 EI \cdot k} = 0.0156$$

Der Kriecheinfluss ($\varphi_n = 2$) wurde mit einem reduzierten E-Modul berücksichtigt. Der Faktor k trägt der verminderten Biegesteifigkeit im Stadium II Rechnung (gerissener Querschnitt).

Im Schnittpunkt von $W(\psi)$ und $M(\psi)$ ist das Einspannmoment der Decke gleich dem Biege widerstand der Mauerwerkswände. Damit ist die resultierende Verdrehung des Deckenauf lagers bestimmt. Sie beträgt : $\psi = 0.002$ (Bild 15).

Bestimmung von σ^*/σ_R

Aus dem Bemessungsdiagramm BV2 kann nun die um den Materialfaktor reduzierte Traglastspannung σ^*/σ_R gemäss Bild 16 ermittelt werden. Sie beträgt 2.05 N/mm^2 .

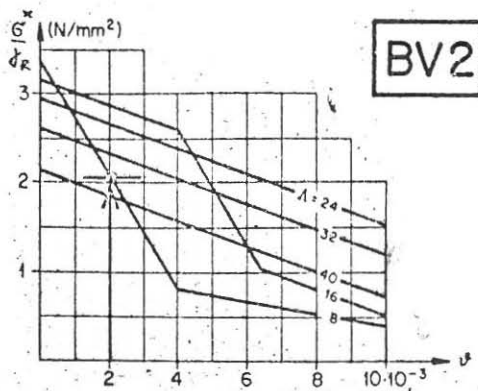


Bild 16 : Diagramm BV2

Nachweis der Bruchsicherheit

Der Nachweis der Bruchsicherheit gemäss Gl. (2) ist erfüllt :

$$\sigma_{\text{R}}^* = 2.05 \text{ N/mm}^2 \geq \sigma_d = 1.35 \text{ N/mm}^2$$

3.2. Nachweis der Gebrauchsfähigkeit

Beim Nachweis der Gebrauchsfähigkeit ist zu zeigen, dass die maximale, rechnerische Rissweite den aus der Tabelle 1 ermittelten Wert von 0.15 mm nicht übersteigt.

Für die Bestimmung dieses Richtwertes wurde davon ausgegangen, dass der zu beurteilende Riss auf der von der Witterung geschützten Wandinnenseite auftreten wird (Bild 7). Zudem wurde angenommen, dass im Gebäudeinnern ein feiner Putz aufgetragen wird. Diese Annahmen führen gemäss Tabelle 1 zu einem Richtwert von 0.15 mm. Der auf der Wandaussenseite zu erwartende Riss gleicher Grösse ist beim Zweischalenmauerwerk durch die äussere Schale vollkommen geschützt und zudem nicht sichtbar. Ein Nachweis seiner Grösse ist demnach nicht zu erbringen.

Bestimmung von σ_{ser}

Analog Gl. (3) wird die nominelle Spannung unter Gebrauchslasten bestimmt :

$$\sigma_{\text{ser}} = 0.86 \text{ N/mm}^2$$

Es wurde dabei die Annahme getroffen, dass in 4 Stockwerken keine Nutzlasten vorhanden sind. Die Schneelast auf dem Dach wurde vernachlässigt.

Auflagerverdrehung der Decke

Die Bestimmung der Auflagerverdrehung der Decke erfolgte auf analoge Weise wie beim Nachweis der Bruchsicherheit. Die resultierende Auflagerverdrehung beträgt :

$$\psi = 0.0013$$

Bestimmung der maximalen Rissweite

Mit Hilfe von Diagramm GV2 (Bild 17) kann nun die maximal zu erwartende Rissweite abgeschätzt werden. Mit $\sigma_{\text{ser}} = 0.86 \text{ N/mm}^2$, $\Delta = 8.3$ und $\psi = 0.0013$ wird sie gleich null.

Nachweis der Gebrauchsfähigkeit

Da die zu erwartende Rissweite gleich null ist, ist der Nachweis der Gebrauchsfähigkeit erbracht. Sie ist damit kleiner als der aus der Tabelle 1 ermittelte Richtwert von 0.15 mm.

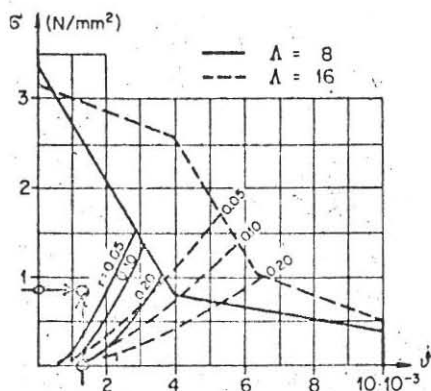


Bild 17 : Diagramm GV2

4. Schlussbemerkungen

Mit dem neuen Bemessungsverfahren können Mauerwerkswände (Backstein- und Kalksandstein-Mauerwerk) unter Druck und Biegebeanspruchung sowohl auf den Grenzzustand der Tragfähigkeit als auch auf den Grenzzustand der Gebrauchsfähigkeit bemessen werden.

Die in der Schweiz festgelegten Stein- und Mörtelqualitäten sowie der Lochanteil der Steine können mit dem Bemessungsverfahren berücksichtigt werden. Aus Platzgründen musste im vorliegenden Bericht auf eine Darstellung dieser Zusammenhänge verzichtet werden.

Das Bemessungsbeispiel zeigt, dass eine Mauerwerkswand ohne grossen Rechenaufwand auf beide Grenzzustände bemessen werden kann.

Literaturverzeichnis :

- (1) R. Furler, B. Thürlimann: "Versuche über die Rotationsfähigkeit von Backsteinmauerwerk", Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Bericht Nr. 7502-1, September 1977. Birkhäuserverlag Basel und Stuttgart.
- (2) R. Furler, B. Thürlimann: "Versuche über die Rotationsfähigkeit von Kalksandstein-Mauerwerk", Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Bericht Nr. 7502-2, September 1980, Birkhäuser Verlag Basel und Stuttgart.
- (3) R. Furler : "Tragverhalten von Mauerwerkswänden unter Druck und Biegung", Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Bericht Nr. 109, Februar 1981. Birkhäuser Verlag Basel und Stuttgart.
- (4) Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA): Norm SIA 177 : Norm für die Berechnung und Ausführung von Mauerwerk aus künstlichen Bausteinen". Zürich 1981.