

# Beitrag zur Berechnung von Hochhäusern: Auflagerdrücke rechteckiger durchlaufender Platten, Knickberechnung einseitig ausgesteifter Backsteinwände

Autor(en): **Brunner, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **80 (1962)**

Heft 36

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-66223>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Beitrag zur Berechnung von Hochhäusern

DK 624.921.012:72.012.322.2

Auflagerdrücke rechteckiger durchlaufender Platten, Knickberechnung einseitig ausgesteifter Backsteinwände

Von **W. Brunner**, dipl. Ing., Dietikon

Da beim heutigen Backstein-Hochhausbau sehr hohe Mauerwerkspannungen zugelassen werden, ist es von grosser Wichtigkeit, dass die statischen Berechnungen, umfassend Bestimmung der Wandbelastungen und Knickberechnung der Wände, trotz den in der Praxis häufig auftretenden komplizierten Wandanordnungen (Fenster, Türen usw.) sehr sorgfältig und genau durchgeführt werden. Diese statischen Berechnungen zu verfeinern und überdies eine allgemein gültige einfache Methode zur Bestimmung der Gesamtaflagerdrücke beliebiger durchlaufender Platten zu entwickeln, ist das Ziel der vorliegenden Arbeit.

### 1. Auflagerdrücke rechteckiger, durchlaufender Platten (gleichmässig verteilte Belastung)

#### 1.1 Uebliche Berechnungsmethoden

Im allgemeinen bestehen die Decken aus einem System von durchlaufenden, kreuzweise gespannten Platten, da im Backstein-Hochhausbau möglichst viele Wände zur Uebertragung der Lasten herangezogen werden. Die Bestimmung der Auflagerreaktionen der kreuzweise gespannten Platten ist vorerst das dringlichste statische Problem. Diese Auflagerreaktionen werden oft nach der Trapezmethode bestimmt. Dieses Verfahren berücksichtigt jedoch die Kontinuität der Plattenränder nicht und liefert in den meisten Fällen zu ungenaue Resultate. Auch die verbesserte Trapezmethode von H. J. Eichstaedt [8] berücksichtigt die Wirkung der Kontinuität nur sehr annäherungsweise, wie im Abschnitt 1.3, Genauigkeitsnachweis, dargelegt wird. Oftmals werden die durchlaufenden Platten nach der Streifenmethode als durchlaufende Träger berechnet, so dass auch die Auflagerreaktionen entsprechend den Auflagerreaktionen dieser durchlaufenden Träger berechnet werden. Auch diese Methode liefert — wie leicht nachzuweisen ist — zu ungenaue Werte. Ferner besitzt sie den grossen Nachteil, dass sie nur die Auflagerreaktionen in den Seitenmitten als Laufmeterlasten angibt. Wird nun die gesamte Wand mit dieser Laufmeterlast belastet, so ergibt sich viel zu viel Last, da in Wirklichkeit

die Belastung gegen die Ecken hin abnimmt. Bei mehreren Stockwerken verteilen sich die Wandlasten und können im Erdgeschoss praktisch als gleichmässig verteilt angenommen werden. Folglich darf nicht mit den Laufmeterlasten in den Wandmitten, sondern nur mit den Gesamtaflagerdrücken pro Wand oder bei Türen pro Wandteil gerechnet werden.

#### 1.2 Grundgedanke des neuen Verfahrens

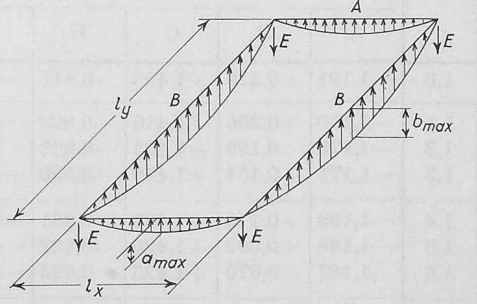
Nachdem nun heute genügend exakte statische Werte der Einfeldplatten in der Literatur vorliegen, ist es ein leichtes, die Auflagerreaktionen tabellarisch nach der Plattentheorie zu berechnen, ohne den Arbeitsaufwand für den Statiker zu erhöhen. Lediglich für den Verlauf der Einspannmomente der Platten, genannt Randmomente, muss eine einfache Annahme getroffen werden, um die Berechnung auf allgemeiner Basis durchführen zu können. Werden nun die Randmomente sinusförmig angenommen, was in erster Annäherung richtig ist, so können sowohl für die freiaufliegenden Platten als Grundsystem, wie auch für die einzelnen Randmomente exakt nach der Plattentheorie die Gesamtaflagerdrücke tabellarisch angegeben werden. Die Gesamtaflagerdrücke der elastisch eingespannten Platte erhält man durch Superposition der Gesamtaflagerdrücke der freiaufliegenden Platte mit den Gesamtaflagerdrücken hervorgehoben durch die an den Plattenrändern angreifenden effektiven Randmomente.

#### 1.3 Gesamtaflagerdrücke der freiaufliegenden Platte

Tafel I zeigt die Auflagerdrücke der freiaufliegenden rechteckigen Platte infolge gleichmässig verteilter Belastung. Die Gesamtaflagerdrücke  $A$  und  $B$  sind nach Czerny [1] durch Integration der Auflagerreaktionen ermittelt und die Zusatzkräfte  $E$  in den Ecken nach Thimoshenko [2] unter Umrechnung von  $\nu = 0,30$  auf  $\nu = 1/6$  bestimmt worden. Die Kolonnen 4 und 5 enthalten die Scheitelwerte der Auflagerdrücke, die in den Randmitten auftreten. Sie sind ebenfalls nach Czerny unter Umrechnung von  $\nu = 0$  auf  $\nu = 1/6$  er-

**Tafel I.** Gesamtaflagerdrücke und Scheitelwerte der Auflagerdrücke rechteckiger Platten infolge gleichmässig verteilter Belastung (Querdehnung  $\nu = 1/6$ )

$l_y/l_x$	A	B	E	$a_{max}$	$b_{max}$	A + E	B + E
1,0	+ 0,327	+ 0,327	— 0,077	+ 0,436	+ 0,436	+ 0,250	+ 0,250
1,1	+ 0,339	+ 0,377	— 0,083	+ 0,456	+ 0,456	+ 0,256	+ 0,294
1,2	+ 0,349	+ 0,429	— 0,089	+ 0,472	+ 0,471	+ 0,260	+ 0,340
1,3	+ 0,357	+ 0,481	— 0,094	+ 0,484	+ 0,482	+ 0,263	+ 0,387
1,4	+ 0,364	+ 0,532	— 0,098	+ 0,494	+ 0,491	+ 0,266	+ 0,434
1,5	+ 0,369	+ 0,583	— 0,101	+ 0,502	+ 0,498	+ 0,268	+ 0,482
1,6	+ 0,372	+ 0,634	— 0,103	+ 0,508	+ 0,503	+ 0,269	+ 0,531
1,7	+ 0,375	+ 0,685	— 0,105	+ 0,512	+ 0,506	+ 0,270	+ 0,580
1,8	+ 0,377	+ 0,735	— 0,106	+ 0,515	+ 0,508	+ 0,271	+ 0,629
1,9	+ 0,379	+ 0,787	— 0,108	+ 0,518	+ 0,510	+ 0,271	+ 0,679
2,0	+ 0,381	+ 0,837	— 0,109	+ 0,520	+ 0,511	+ 0,272	+ 0,728
	$\times p \cdot l_x^2$			$\times p \cdot l_x$		$\times p \cdot l_x^2$	
	Gesamtaflagerdrücke			Scheitelwerte		Nur für Hochhäuser	
Kolonne	1	2	3	4	5	6	7



Positive A-, B-, E- usw. -Werte bedeuten Druck zwischen Plattenrand bzw. Plattenecke und Unterstüzung.  
 $p$  = gleichmässig verteilte, nach unten wirkende Belastung.  
 $l_x$  = kürzere Spannweite.

mittelt worden. Bei mehrstöckigen Bauten entlasten die Eckkräfte die Wände, da sie nach oben gerichtet sind und sich bei mehreren Stockwerken infolge Scheibenwirkung auf die ganzen Wände auswirken. Ferner ist zu bedenken, dass letzten Endes die Summe aller Auflagerreaktionen nicht größer als die gesamte Deckenlast sein kann. Lediglich bei der untersten Decke sollten die Eckkräfte nicht als Entlastung eingesetzt werden, da sie für die darunterliegende Wand nur örtlich wirken und somit nicht in der Lage sind, die Wandmitten zu entlasten. Wird nun unter Vermeidung einer genauen Scheibenberechnung der Wände angenommen, dass sich die Eckkräfte je zur Hälfte auf die beiden anliegenden Wände verteilen, so können die Wandbelastungen direkt mit den Werten  $A + E$  und  $B + E$  (Kolonnen 6 und 7, Tafel I) bestimmt werden. Bei den Werten  $A + E$  und  $B + E$  handelt es sich um Gesamtauflagerdrücke, die nicht unter dem betreffenden Deckenrand selbst, sondern erst ein oder mehrere Stockwerke darunter annähernd gleichmässig verteilt auftreten.

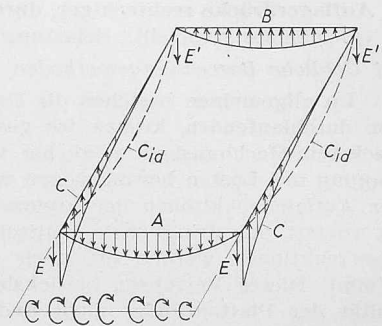
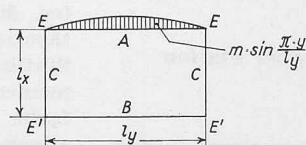
#### 1.4 Gesamtauflagerdrücke infolge sinusförmiger Randmomente

Tafel II enthält die Auflagerdrücke rechteckiger Platten infolge der Randmomente. Die Kolonnen 1, 2 und 3 stellen die Gesamtauflagerdrücke pro Plattenrand, die Kolonnen 4 und 5 die Eckkräfte dar. Die Kolonnen 6, 7 und 8 enthalten die Gesamtauflagerdrücke einschliesslich der Eckkräfte. Die Werte dieser Kolonnen dürfen nur zur Bestimmung der Wandbelastungen von mehrstöckigen Bauten entsprechend den im vorhergehenden Abschnitt dargelegten Ueberlegungen verwendet werden.

Kolonne 9 enthält einen ideellen Gesamtauflagerdruck  $C_{id}$ , der für die Berechnung von direkt unter den Decken liegenden Unterzügen wichtig ist und deshalb der Vollständigkeit halber angegeben ist. Dabei ist  $C_{id}$  derjenige sinusförmig verteilt angenommene Gesamtauflagerdruck, der auf den Unterstützungsträger das gleiche maximale Feldmoment erzeugt, wie der effektive unsymmetrisch verteilte Gesamtauflagerdruck  $C$ . Die Berechnung der in Tafel II enthaltenen

Tafel II. Gesamtauflagerdrücke freiauflegender, rechteckiger Platten infolge sinusförmigem Randmoment (Querdehnung  $\nu = 1/6$ )

$l_y/l_x$	Momentenangriff am langen Rand									
	A	B	C	E	E'	A + E	B + E'	$C + \frac{1}{2}(E + E')$	$C_{id}$	
1,0	-1,191	+0,329	+1,403	-0,817	-0,155	-2,008	+0,174	+0,917	+0,841	
1,1	-1,206	+0,411	+1,386	-0,807	-0,180	-2,013	+0,231	+0,892	+0,866	
1,2	-1,226	+0,495	+1,362	-0,795	-0,201	-2,021	+0,294	+0,864	+0,881	
1,3	-1,251	+0,578	+1,336	-0,782	-0,218	-2,033	+0,360	+0,836	+0,887	
1,4	-1,279	+0,660	+1,307	-0,766	-0,231	-2,045	+0,429	+0,808	+0,887	
1,5	-1,312	+0,742	+1,276	-0,750	-0,242	-2,062	+0,500	+0,780	+0,882	
1,6	-1,348	+0,822	+1,245	-0,733	-0,249	-2,081	+0,573	+0,754	+0,873	
1,7	-1,387	+0,900	+1,212	-0,715	-0,254	-2,102	+0,646	+0,728	+0,859	
1,8	-1,429	+0,977	+1,180	-0,697	-0,257	-2,126	+0,720	+0,703	+0,847	
1,9	-1,473	+1,053	+1,147	-0,679	-0,258	-2,152	+0,795	+0,679	+0,831	
2,0	-1,519	+1,127	+1,116	-0,661	-0,258	-2,180	+0,869	+0,656	+0,814	
$\times m$ nur für Hochhäuser										
$l_y/l_x$	Momentenangriff am kurzen Rand									
	A	B	C	E	E'	A + E	B + E'	$C + \frac{1}{2}(E + E')$	$C_{id}$	
1,0	-1,191	+0,329	+1,403	-0,817	-0,155	-2,008	+0,174	+0,917	+0,841	
1,1	-1,180	+0,256	+1,415	-0,823	-0,130	-2,003	+0,126	+0,939	+0,808	
1,2	-1,175	+0,199	+1,422	-0,828	-0,107	-2,003	+0,092	+0,955	+0,771	
1,3	-1,171	+0,154	+1,425	-0,830	-0,087	-2,001	+0,067	+0,967	+0,734	
1,4	-1,169	+0,119	+1,426	-0,831	-0,070	-2,000	+0,049	+0,976	+0,698	
1,5	-1,168	+0,092	+1,426	-0,832	-0,056	-2,000	+0,036	+0,982	+0,662	
1,6	-1,167	+0,070	+1,425	-0,833	-0,044	-2,000	+0,026	+0,987	+0,628	
1,7	-1,167	+0,054	+1,424	-0,833	-0,035	-2,000	+0,019	+0,990	+0,596	
1,8	-1,167	+0,041	+1,423	-0,833	-0,027	-2,000	+0,014	+0,993	+0,567	
1,9	-1,167	+0,031	+1,422	-0,833	-0,021	-2,000	+0,010	+0,995	+0,539	
2,0	-1,167	+0,024	+1,421	-0,833	-0,016	-2,000	+0,008	+0,996	+0,513	
$\times m$ nur für Hochhäuser										
Kol.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	



Positives Randmoment  $m$

Allgemein gilt:  
Gesamtauflagerdruck od. Eckkraft = Faktor  $\times$  Moment

Momente (z. B. in mt/m = t) algebraisch nach der in der Statik üblichen Vorzeichenregelung.

Positive A-, B-, C-, E- usw. -Werte bedeuten Druck zwischen Plattenrand bzw. Platten Ecke und Unterstützung (d. h. bei negativen Werten sind die Plattenränder bzw. Ecken gegen Abheben zu verankern).

Gesamtauflagerdrücke und Eckkräfte bereitet keine Schwierigkeiten und ist nach G. Fischer [3] durchgeführt worden. Der Vollständigkeit halber sind die verwendeten Formeln unten angegeben, wobei  $a$  die Länge des Randes ist, an dem das sinusförmige Moment  $\sin \pi x/a$  angreift.

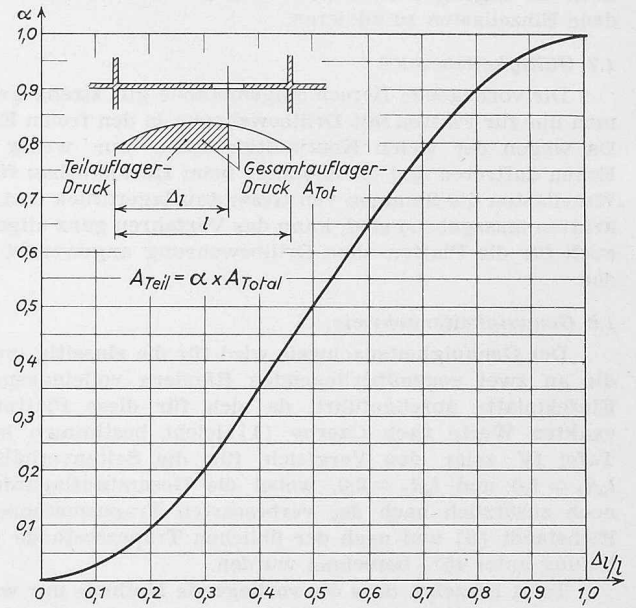
$$\left. \begin{aligned}
 A &= - \frac{(1 + \nu) \cdot \sin 2\beta + (1 - \nu) \cdot 2\beta}{\cos 2\beta - 1} \cdot m \\
 B &= + 2 \cdot \frac{(1 - \nu) \cdot \beta \cdot \cos \beta + (1 + \nu) \cdot \sin \beta}{\cos 2\beta - 1} \cdot m \\
 C &= + \frac{[(1 - \nu) \cdot \beta + (3 - \nu) \cdot \sin \beta] \cdot [\cos \beta - 1]}{\cos 2\beta - 1} \cdot m \\
 E &= - (1 - \nu) \cdot \frac{\sin 2\beta - 2\beta}{\cos 2\beta - 1} \cdot m \\
 E' &= - 2 (1 - \nu) \cdot \frac{\beta \cdot \cos \beta - \sin \beta}{\cos 2\beta - 1} \cdot m \\
 C_{id} &= + \pi/2 \left\{ (1 - \nu) \frac{\sin \beta/2}{\cos \beta + 1} + 2/\beta \cdot \frac{\cos \beta/2 - 1}{\cos \beta/2} \right\} \cdot m
 \end{aligned} \right\} \beta = \frac{\pi \cdot b}{a}$$

Die Gesamtauflagerdrücke  $A$  und  $B$  sind wegen der Annahme sinusförmiger Randmomente exakt sinusförmig verteilt und besitzen somit in den Randmitten die Scheitelwerte  $A/l \cdot \pi/2$  bzw.  $B/l \cdot \pi/2$ . Die Gesamtauflagerdrücke  $C$  (Kolonne 3) sind, wie Tafel II zeigt, unsymmetrisch verteilt. Näherungsweise kann die Verteilung dreiecksförmig mit dem Scheitelwert  $C/l \cdot 2$  an demjenigen Randende, das an den mit dem Randmoment belasteten Rande angrenzt, angenommen werden. Die unsymmetrische Verteilung der Gesamtauflagerdrücke  $C$  spielt im Hochhausbau keine grosse Rolle, da stets mit den Gesamtauflagerdrücken gerechnet wird und sich bei mehreren Stockwerken die Lasten verteilen. Ferner ist jeweils pro Wand der Gesamtauflagerdruck  $C$  der einzelnen Randmomente relativ gering im Vergleich zu den Auflagerdrücken der angrenzenden freiaufliegenden Platten, vermehrt um die Summe aller Auflagerdrücke  $A$  und  $B$  der Randmomente, die sich alle in erster Annäherung sinusförmig verteilen.

1.5 Wirkung von Tür- und Fensteröffnungen

Werden Wände durch Tür- oder Fensteröffnungen unterteilt, so sind auch die Gesamtauflagerdrücke der einzelnen Decken entsprechend aufzuteilen. Da die Gesamtauflagerdrücke in erster Annäherung sinusförmig auf die einzelnen Wände wirken, erfolgt die Aufteilung entsprechend einem angenommenen sinusförmigen Verlauf der Auflagerreaktionen.

Tafel III. Aufteilung des sinusförmig angenommenen Gesamtauflagerdruckes längs einer Seite



tionen. Mit Tafel III lässt sich die Aufteilung ohne Mühe direkt ablesen. Eine lineare Aufteilung der Gesamtauflagerdrücke entsprechend den im Erdgeschoss wirkenden ungefähr gleichmässig verteilten Wandlasten wäre falsch, da die Aufteilung der Gesamtauflagerdrücke der einzelnen Decken in jedem Stockwerk für die noch nicht verteilten Lasten erfolgt.

1.6 Berechnungsgang

Mit den Tafeln I bis III geht die Berechnung wie folgt vor sich:

1. Berechnung der Stützenmomente der durchlaufenden Platten, z. B. nach DIN 1045 (Methode schachbrettartiger Belastung), nach dem Momentenausgleichsverfahren durchlaufender Platten [4] oder andern gleichwertigen Methoden.
2. Berechnung der Gesamtauflagerdrücke für die freiaufliegend angenommenen Plattenfelder nach Tafel I.
3. Berechnung der Gesamtauflagerdrücke für die einzelnen Randmomente nach Tafel II.
4. Eventuell Aufteilung einzelner Gesamtauflagerdrücke nach Tafel III.

Tafel IV. Gesamtauflagerdrücke für die eingespannten Ränder

$l_x/l_y = 1,0 \text{ und } 2,0$ $l_x = \text{kürzere Spannweite}$						
Nach Czerny	0,438 = 100%	0,533 = 100%	1,066 = 100%	0,397 = 100%	0,527 = 100%	0,896 = 100%
Nach vorliegender Methode	0,427 = 97%	0,523 = 98%	1,020 = 96%	0,387 = 97%	0,517 = 98%	0,870 = 97%
Nach verbesserter Trapezmethode (8)	0,400 = 91%	0,435 = 82%	1,030 = 97%	0,358 = 90%	0,435 = 83%	0,855 = 95%
Nach üblicher Trapezmethode (8)	0,250 = 57%	0,250 = 47%	0,750 = 70%	0,250 = 63%	0,250 = 48%	0,750 = 84%

$$\times p \cdot \frac{l^2}{x}$$

5. Superposition aller Gesamtauflagerdrücke = Wandbelastung infolge Deckenlasten. Hiezu sind selbstverständlich noch die Eigengewichte der Wände sowie eventuell vorhandene Einzellasten zu addieren.

### 1.7 Gültigkeitsbereich

Die vorliegende Berechnungsmethode gilt streng genommen nur für Platten mit Drillbewehrung in den freien Ecken. Da wegen der vielen Kontinuitätsränder nur wenig freie Ecken auftreten und insbesondere beim Hochhausbau für die Wandlasten die Summen von Gesamtauflagerdruck und Eckkräften massgebend sind, kann das Verfahren ganz allgemein auch für die Platten ohne Drillbewehrung angewendet werden.

### 1.8 Genauigkeitsnachweis

Der Genauigkeitsnachweis wird für die einseitig und für die an zwei gegenüberliegenden Rändern volleingespannte Einfeldplatte durchgeführt, da sich für diese Platten die exakten Werte nach Czerny [1] leicht bestimmen lassen. Tafel IV zeigt den Vergleich für die Seitenverhältnisse  $l_y/l_x = 1,0$  und  $l_y/l_x = 2,0$ , wobei die Gesamtauflagerdrücke noch zusätzlich nach der verbesserten Trapezmethode von Eichstaedt [8] und nach der üblichen Trapezmethode (Aufteilung unter  $45^\circ$ ) berechnet wurden.

Tafel IV zeigt, dass die vorliegende Methode nur wenige Procente von den exakten Werten abweicht. Die verbesserte Trapezmethode weist im vorliegenden Fall Abweichungen bis zu max. 18 % auf, liefert jedoch im Durchschnitt relativ zuverlässige Werte, so dass sie ihrer Einfachheit wegen für untergeordnete Bauaufgaben genügen mag. Bei anspruchsvolleren Aufgaben, wie Bestimmung der Wandbelastungen für Hochhäuser, Berechnung der Belastung für weitgespannte Deckenträger usw., ist die vorgeschlagene Methode meines Erachtens sehr geeignet, um so mehr, als sie nicht von den Volleinspannmomenten der einzelnen Einfeldplatten, sondern von den wirklichen Randmomenten der durchlaufenden Platten ausgeht.

## 2. Vorschlag zur Knickberechnung einseitig ausgesteifter Wände

### 2.1 Wandarten

Für die Knickberechnung des Mauerwerkes wird im folgenden die Vielfalt der in der Praxis vorkommenden Wandarten auf drei Wandtypen reduziert. Unter der Annahme, dass durch Fenster- und Türöffnungen die Wände statisch gesehen vertikal abgeschnitten werden — eine Annahme, die bei sehr hoch beanspruchtem Mauerwerk in den meisten Fällen aus Sicherheitsgründen gerechtfertigt ist —, erhält man die folgenden drei Wandtypen: Nicht ausgesteifte Wände, einseitig ausgesteifte Wände und beidseitig ausgesteifte Wände (Bild 1).

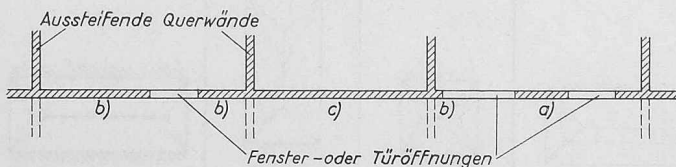


Bild 1

### 2.2 Nicht ausgesteifte Wände

Für die Knickberechnung nicht ausgesteifter Wände sind von der EMPA auf Grund von Versuchsdiagrammen festgestellt worden, aus denen sich die zulässigen Knickspannungen  $\sigma_k$  in Abhängigkeit des Schlankheitsverhältnisses  $h/d$  und der Exzentrizität  $m$  für verschiedene Mauerwerksarten direkt ablesen lassen (siehe Tafeln 1—4 in «Hochhausbau in Backstein» von P. Haller [6] oder die Vorschriften der Baupolizei der Stadt Zürich [7]).

### 2.3 Beidseitig ausgesteifte Wände

Für beidseitig ausgesteifte Wände hat P. Haller auf theoretischem Wege einen Abminderungsfaktor  $\eta_3$  (siehe

Tafel 5 von «Hochhausbau in Backstein» [6] oder Abbildung 21 aus «Physik des Backsteins» [5]) entwickelt. Mit diesem Faktor  $\eta_3$  lassen sich die beidseitig ausgesteiften Wände, ausgehend von den nicht ausgesteiften Wänden, als Grundsystem sehr einfach berechnen.

### 2.4 Vorschlag für einseitig ausgesteifte Wände

Für einseitig ausgesteifte Wände fehlt bis heute meines Wissens eine vernünftige statische Regelung. Nun werden aber im Hochhausbau nicht ausgesteifte Wände nur selten angeordnet, da sie nach Möglichkeit vermieden werden sollten. Die beidseitig ausgesteiften Wände sind jedoch ihrer grossen zulässigen Knickspannungen wegen gegenüber den einseitig ausgesteiften Wänden nur von untergeordneter Bedeutung. Somit besteht die paradoxe Situation, dass im Hochhausbau für die am häufigsten vorkommenden und am höchsten beanspruchten Wände keine zuverlässige statische Regelung besteht. In vielen Fällen wird die einseitig ausgesteifte Wand, z. B. zwischen zwei Türen oder Fenstern (siehe Bild 2) als Gesamtpfeiler betrachtet und auf Knicken um die  $y$ -Achse untersucht, wobei angenommen wird, dass die Querwand auf eine Tiefe von  $6 \cdot \delta$  mitwirkt. Nun kann aber der Bruch des Gesamtpfeilers nicht nur vom Ausknicken des ganzen Wandpfeilers herrühren, sondern auch daher, dass ein freier Wandrand zuerst seitlich ausknickt, wodurch der Wandpfeiler als Ganzes geschwächt wird und somit erst in einer weiteren Phase auszuknicken beginnt. Folglich sind die einseitig ausgesteiften Wände stets auch für sich als Einzelwand auf Ausknicken zu untersuchen. Die einseitig ausgesteiften Wände können natürlich auch als nicht ausgesteifte Wände berechnet werden, was jedoch zu unwirtschaftlichen Wanddimensionen führt.

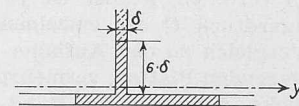


Bild 2

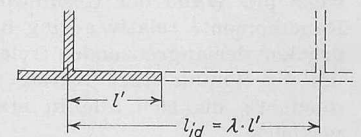


Bild 3

Die Ableitung einer einfachen Knickberechnung für die einseitig ausgesteiften Wände erhält man dadurch, dass man die einseitig ausgesteifte Wand mit der Länge  $l'$  (Bild 3) durch eine gedachte beidseitig ausgesteifte Wand mit der Länge  $l_{id}$  ersetzt und für letztere nach Haller in gewohnter Weise die Knickberechnung durchführt. Bedingung für die gedachte beidseitig ausgesteifte Wand ist, dass sie die gleiche Knickspannung besitzt wie die zu untersuchende einseitig ausgesteifte Wand. Da leider einerseits über das Wirken von beidseitig oder einseitig ausgesteiften Wänden meines Wissens keine ausreichenden Versuche vorliegen und andererseits die von P. Haller entwickelte Berechnung der beidseitig ausgesteiften Wände (Faktor  $\eta_3$ ) näherungsweise auf der Annahme eines homogenen Baustoffes beruht, ist es sicher auch berechtigt, die Länge  $l_{id}$  aus der Bedingung gleicher kritischer Beulspannungen für die vorhandene einseitig ausgesteifte und die gedachte beidseitig ausgesteifte Platte zu ermitteln. Bild 4 zeigt das Verhältnis  $\lambda = l_{id}/l'$  in Abhängigkeit vom Seitenverhältnis  $l'/h$ .

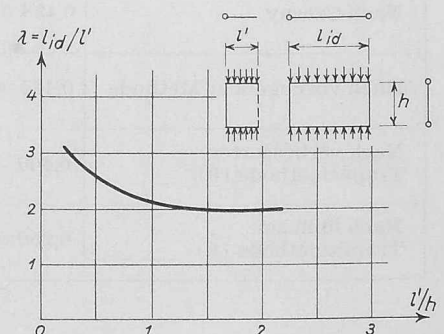


Bild 4

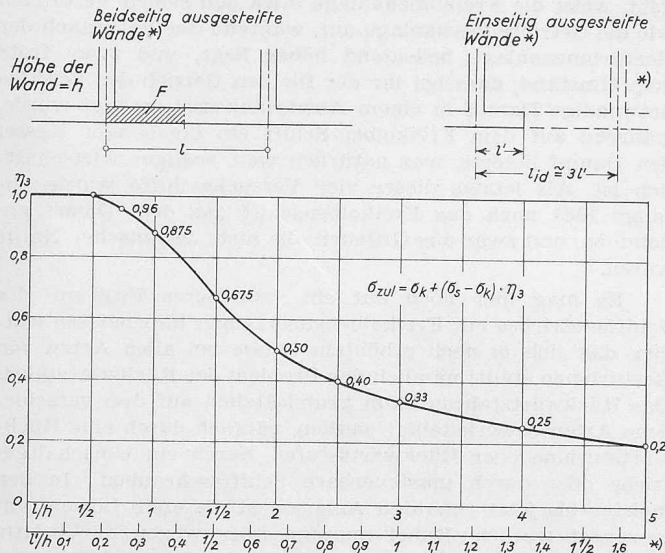


Bild 5. Tafel 5 aus «Hochhausbau in Backstein» mit vorgeschlagenen Ergänzungen \*) für einseitig ausgesteifte Wände. Die Wirkung der Aussteifung von öffnungslosen Wänden berechnet sich nach folgender Formel:

$$\sigma_{zul.} = \sigma_k + (\sigma_s - \sigma_k) \cdot \eta_3$$

$\sigma_{zul.}$  = Zulässige Spannung in kg/cm<sup>2</sup> unter Berücksichtigung der Aussteifung

$\sigma_k$  = Zulässige Spannung im Knickbereich ( $h/d > 5$ )

$\sigma_s$  = Zulässige Spannung ausserhalb des Knickbereichs ( $h/d < 5$ )

$\eta_3$  = siehe obige Tafel

$l$  = Abstand der Aussteifung

$l'$  = Abstand von Aussteifung zu freiem Mauerrand \*)

Da nun das Mauerwerk bei weitem kein homogener Baustoff ist und die Wände nicht wie in Bild 4 gelenkig, sondern irgendwie elastisch oder starr in den Decken und Querwänden eingespannt sind, stellt das errechnete Verhältnis  $\lambda$  nur eine Annäherung an die Wirklichkeit dar, so dass vernunftigerweise für  $\lambda$  für alle Seitenverhältnisse ein kon-

stanter Wert angenommen wird. Um nach Möglichkeit stets auf der sicheren Seite zu sein, empfiehlt es sich, für  $\lambda$  den Wert 3 einzusetzen. Dies bedeutet, dass alle einseitig ausgesteiften Wände mit der Länge  $l'$  als zweiseitig ausgesteifte Wände mit der Länge  $l_{id} = 3 \cdot l'$  nach P. Haller berechnet werden können. Man braucht also lediglich Tafel 5 von «Hochhausbau in Backstein» mit einer auf  $1/3$  reduzierten Skala  $l'/h$  (siehe Bild 5) zu ergänzen, um jederzeit alle einseitig ausgesteiften Wände rasch und genügend sicher berechnen zu können. Selbstverständlich hat die vorgeschlagene Berechnungsmethode nur solange einen Sinn, bis einmal genügend Grossversuche vorliegen, um die ein- und beidseitig ausgesteiften Wände entsprechend den Versuchsergebnissen wirklichkeitstreu berechnen zu können. Es wäre m. E. zu begrüssen, wenn die an der EMPA geplanten Grossversuche sich vor allem auch auf einseitig ausgesteifte Wände erstrecken würden, da, wie schon angeführt, diese Wände im Wohnbau von sehr grosser Bedeutung sind.

Adresse des Verfassers: W. Brunner, dipl. Ing. ETH, Gartenstrasse 9, Dietikon ZH.

#### Literaturnachweis:

- [1] F. Czerny, Tafeln für gleichmässig vorbelastete Rechteckplatten. «Bautechnik-Archiv» 1955, Heft 11, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.
- [2] S. Timoshenko, Theory of Plates and Shells, New York und London, McGraw-Hill Book Comp., 1940.
- [3] G. Fischer, Beitrag zur Berechnung kreuzweise gespannter Fahrbahnplatten im Stahlbrückenbau. Berlin, Wilhelm Ernst & Sohn, 1952.
- [4] W. Brunner, Momentenausgleichsverfahren zur Berechnung durchlaufender Platten für gleichmässig verteilte Belastungen. «Schweiz. Bauzeitung» 10. Dez. 1955.
- [5] P. Haller, Physik des Backsteins 1. Teil: Festigkeitseigenschaften. Verband Schweiz. Ziegel- und Steinfabrikanten.
- [6] P. Haller, Hochhausbau in Backstein, Verband Schweiz. Ziegel- und Steinfabrikanten.
- [7] 600/57. — BV-Ausführungsbestimmungen für Tragwerke in Backsteinmauerwerk bei Hochhäusern, Bausektion II des Stadtrates Zürich, 5. April 1957.
- [8] H. J. Eichstaedt, Die Stützkräfte gleichmässig belasteter Rechteckplatten in Anlehnung an DIN 1045 § 23,3, «Beton und Stahlbeton», September 1961.

## Über den gegenwärtigen Stand der Freikolbentechnik

Von Robert Huber, dipl. Ing. ETH, Paris

DK 621.512:621.438

Schluss von Seite 608

### 4. Die Kraftzentrale von Tours

Die Möglichkeit einer Leistungssteigerung der Turbine durch eine zusätzliche Verbrennung zwischen Gaserzeuger und Turbine ist schon oft erwähnt worden. Die Kraftzentrale der «Electricité de France» in Tours ist eine erste Verwirklichung dieses Gedankes. In ihr speisen sechs Gaserzeuger eine Brennkammer, in der die Temperatur der Gase von 450° auf 650° C erhöht wird, bevor sie in die Turbine strömen. Brennkammer und Turbine wurden von der C. E. M. in Le Bourget gebaut. Infolge der Temperaturerhöhung kann die Leistung von 4500 kW auf 5600 kW gesteigert werden. Da aber der Wirkungsgrad der Verbrennung in der Brennkammer bedeutend tiefer liegt als derjenige des Umsatzes im Motorzylinder, muss eine Verminderung des Wirkungsgrades in Kauf genommen werden. Bild 10 zeigt die Beziehungen zwischen Leistung, Wirkungsgrad und Temperaturzunahme durch Nachverbrennen. Anlagen mit Nachverbrennungskammern sind also ausgesprochene Spitzenkraftwerke mit beschränkter jährlicher Betriebsdauer.

### 5. Schiffsantriebe

Bis jetzt sind 14 Handelsschiffe mit Freikolbenanlagen versehen worden und fünf weitere Anlagen sind zur Zeit in der Montage. Die Leistungen dieser Anlagen, welche sich auf 8 Frachter, 2 Bananenschiffe, 1 Walfänger, 1 Fischereiboat, 1 Schlepper und 1 Passagierschiff verteilen, liegen zwischen 1600 und 6000 PS.

Das grösste bis jetzt gebaute Frachtschiff hat sechs Gaserzeuger und zwei gemeinsam über ein Getriebe die Welle antreibende Turbinen von je 3000 PS. Diese Anlage wurde im Rahmen eines Versuchsprogrammes für neuartige Schiffsantriebe im Auftrag der «Maritime Administration» in Washington gebaut. Das betreffende Programm sah den Umbau von vier «Liberty»-Schiffen vor, und zwar wurde je ein Schiff mit einer Freikolbenanlage, einer offenen Gasturbine, einer Dieseltriebeanlage und einer Dampfturbinenanlage ausgerüstet. Die von der Alsthom in Belfort gebauten Turbinen der Freikolbenanlage weisen sechs Vorwärtsstufen und zwei Rückwärtsstufen auf und laufen bei Vollast mit 5500 U/min.

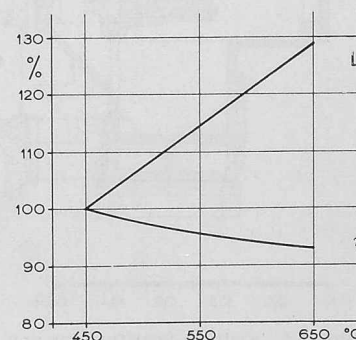


Bild 10. Prozentuale Leistungssteigerung und Wirkungsgradabnahme in Abhängigkeit der Temperatur vor der Turbine bei Nachverbrennung.

$\eta$  = Wirkungsgrad  
 $L$  = Leistung