Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 12 (1984)

Artikel: Ungewollte Schiefstellung von Stahlstützen

Autor: Lindner, Joachim

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-12183

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.12.2025

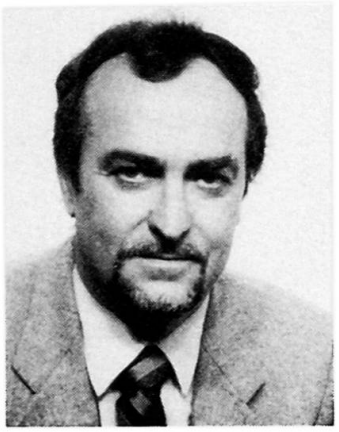
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Ungewollte Schiefstellungen von Stahlstützen

Unavoidable Out-of-plumb of Steel Columns

Position verticale imparfaite de colonnes

Joachim LINDNER
Prof. Dr.
Techn. Univ. Berlin
Berlin



Joachim Lindner, geboren 1938, promovierte während seiner Assistentenzeit 1970 an der TU Berlin. Er arbeitete als Statiker im Stahlbau und später als Abteilungsleiter in einer Gerüstbaufirma. Seit 1974 ist er ordentlicher Professor für Stahlbau an der TU Berlin. Seine Schwerpunkte in der Forschung liegen auf dem Gebiet der Stabilität.

ZUSAMMENFASSUNG
Die aus der ungewollten Schiefstellung von Stützen resultierenden Abtriebskräfte müssen beim Nachweis der Tragsicherheit von Bauwerken berücksichtigt werden. Hier wird über die Auswertung von 725 Messergebnissen an Stützen unterschiedlicher Höhe berichtet. Es wird gezeigt, dass der im Eurocode 3 und DIN 18800, Teil 2 vorgesehene Reduktionsfaktor für grosse Höhen die durch statistische Auswertung ermittelten charakteristischen Werte für die Stützenschiefstellungen gut annähert.

SUMMARY
The fact that columns are unavoidable out-of-plumb results in horizontal forces which must be taken into account in calculating building structures. Here the evaluation of 725 results of measurements is reported. The columns investigated are of different heights. It is shown that the reduction factor of Eurocode 3 and DIN 18800, part 2, gives a good approximation to the statistical characteristic values for the out-of-plumb.

RESUME
Les efforts horizontaux résultant de la position verticale imparfaite de colonnes doivent être pris en compte dans le calcul de structures. L'article interprète les résultats de 725 mesures effectuées sur des colonnes de différentes hauteurs. Il montre que le facteur de réduction de l'Eurocode 3 et DIN 18800, 2ème partie, donne une bonne approximation des valeurs caractéristiques statistiques pour des positions imparfaitement verticales.

1. EINLEITUNG

Beim Tragsicherheitsnachweis von Baukonstruktionen sind in vielen Fällen unplanmäßige, ungewollte Imperfektionen, die aus der Herstellung stammen, zu berücksichtigen. Diese Imperfektionen bestehen i.d.R. aus geometrischen und nichtgeometrischen (sog. strukturellen) Imperfektionen wie z.B. Eigenspannungen. Aus Gründen der Rechenvereinfachung ist es sinnvoll, alle Imperfektionen als geometrischen Ersatzimperfektionen zu berücksichtigen.

Als Grundlage für geometrische Ersatzimperfektionen müssen zunächst die geometrischen Imperfektionen selbst bekannt sein. Diese werden i.a. als Krümmungen w_0 bzw. v_0 von Einzelstäben mit starren Knotenpunkten und Vorverdrehungen ψ_0 von Stützen, Rahmen u.ä., also als Stützenschiefstellungen, auftreten, s. Fig. 1. Rechnerisch können zur Berücksichtigung der Imperfektionen auch Ersatzlasten verwendet werden.

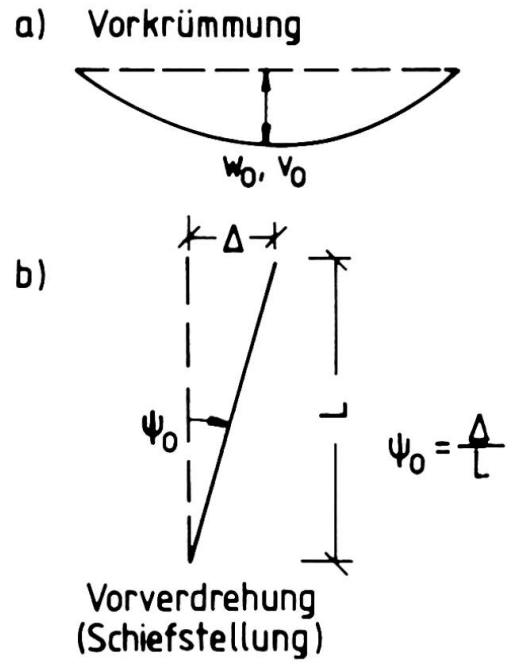


Fig.1 Geometrische Imperfektionen

Der Ansatz von Ersatzlasten oder Imperfektionen, besonders um eine ausreichende Bauwerkssteifigkeit zu erreichen, ist seit längerem bekannt. In Deutschland z.B. durch DIN 1055, Teil 3, Abschn. 7.2 oder DIN 1045, Absch. 15.8.2. Meßwerte liegen diesen Angaben jedoch nur in geringem Umfang zugrunde. In der z.Zt. noch gültigen Norm DIN 4114 (Stabilitätsfälle im Stahlbau) sind Angaben über Außermittigkeiten bei Einzel-Druckstäben, jedoch keine Angaben zu Schiefstellungen von Stützen oder ganzen Tragwerken enthalten.

Für die im Entwurf vorliegenden Normen DIN 18800, Teil 2 [1] und Eurocode 3 [2] sollten daher zusätzliche Unterlagen zur Festlegung rechnerisch anzusetzender Schiefstellungen von Stützen erarbeitet werden. Dazu wurden in Berlin Messungen durchgeführt [3] über die in [4] berichtet wurde. Hier werden weitere Ergebnisse von Messungen an Industriebauten mitgeteilt und zusammen mit den Ergebnissen von [3] ausgewertet. Dabei steht hier die Frage im Mittelpunkt, welchen Einfluß unterschiedliche Stützenlängen (-höhen) haben.

Nach [1] und [2] sind Schiefstellungen wie folgt zu berücksichtigen:

$$\psi = \psi_0 \cdot r_1 \cdot r_2 \qquad (1)$$

ψ_0 Grundwert der Schiefstellung
- = 1/200 wenn beim Nachweis der Tragfähigkeit der Querschnitte das Plastizierungsvermögen ausgenutzt wird
- = 1/300 wenn der Querschnitt höchstens bis zur Streckgrenze beansprucht wird

r_1 Reduktionsfaktor für die Bauteil- bzw. Bauwerkslänge für L>5 m

$$r_1 = \sqrt{5/L\ [m]} \qquad (2)$$

L [m] maßgebende Höhe

r_2 Reduktionsfaktor für mehrere Stützen n in einer Reihe

$$r_2 = 0{,}5(1 + 1/n) \qquad (3)$$

2. MESSUNGEN VON SCHIEFSTELLUNGEN

Nr.	Bauwerk Beschreibung	Anzahl der Messungen	L [m]
1	Hochregallager (Einzelstiele der Gitterstützen)	168	13
	Hochregallager (Einzelstiele der Gitterstützen)	56	39
2	Halle mit Fördereinrichtungen	24	~ 7,5
3	Hochbau (Bibliothek)	32	3,8
	Hochbau (Bibliothek)	15	~ 7,7
4	Zweigelenkrahmen	16	5,0
5	Industriebau (Halle)	18	6,3
6	Rahmen	5	8,8
7	Rohrbrücke (Einzelstiele)	9	~ 3,0
	Rohrbrücke (Einzelstiele)	3	8,5
8	Pendelstütze	3	53,6
9	Kesselhäuser (Einzelstiele)	169	10 bis 20
	Kesselhäuser (Einzelstiele)	64	20 bis 30
	Kesselhäuser (Einzelstiele)	14	70 bis 90
	Kesselhäuser (Einzelstiele)	26	95 bis 125
10	Halle als Kohlebunker	47	13 bis 17
	Halle als Kohlebunker	16	45
11	Maschinenhaus	40	30,7
		Σ 725	

Tabelle 1 Zusammenstellung der untersuchten Bauwerke

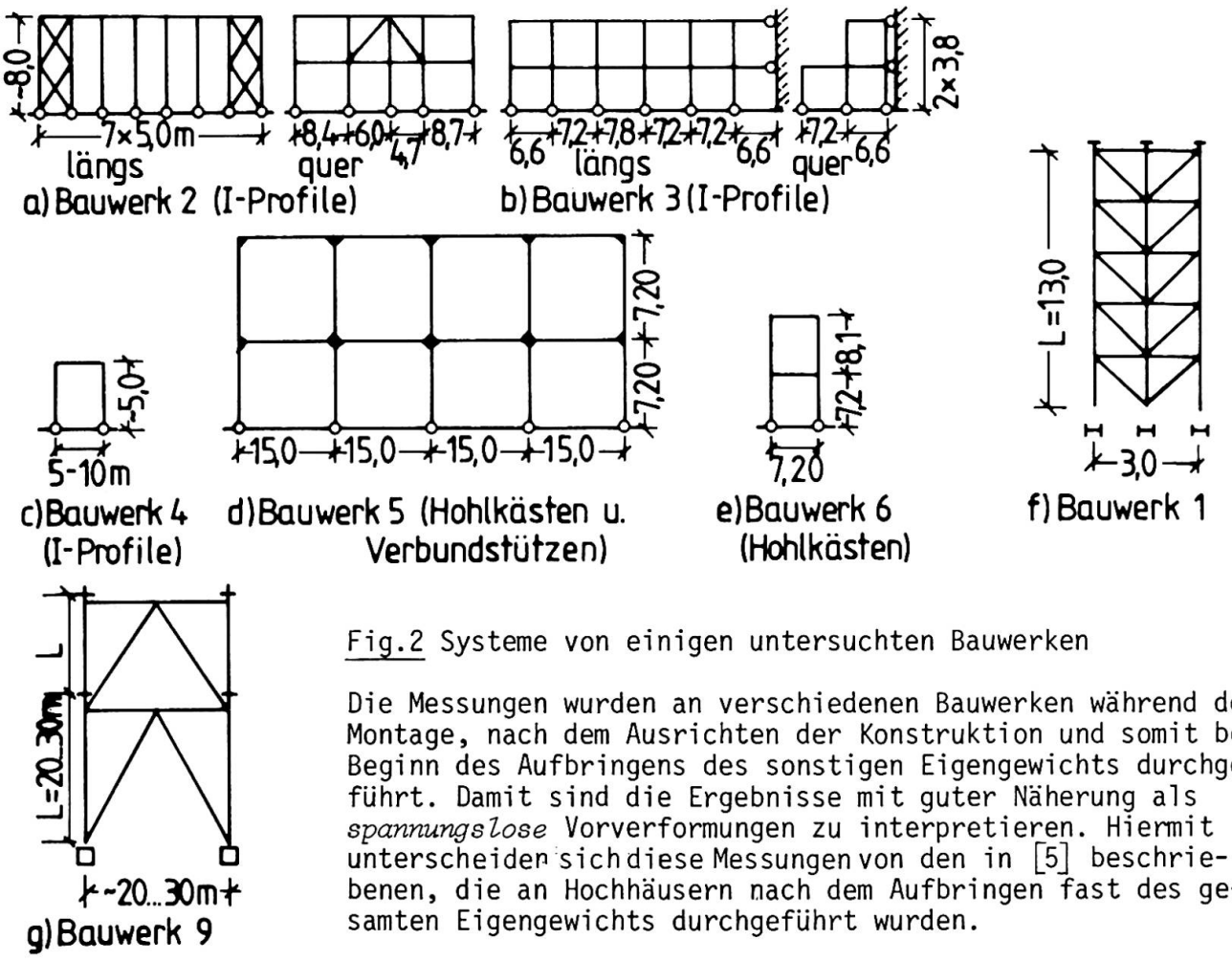


Fig.2 Systeme von einigen untersuchten Bauwerken

Die Messungen wurden an verschiedenen Bauwerken während der Montage, nach dem Ausrichten der Konstruktion und somit bei Beginn des Aufbringens des sonstigen Eigengewichts durchgeführt. Damit sind die Ergebnisse mit guter Näherung als *spannungslose* Vorverformungen zu interpretieren. Hiermit unterscheiden sich diese Messungen von den in [5] beschriebenen, die an Hochhäusern nach dem Aufbringen fast des gesamten Eigengewichts durchgeführt wurden.

Die untersuchten Bauwerke sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Dabei wurden unter Nr. 9 acht verschiedene Objekte zusammengefaßt, die alle sehr ähnlich sind. Der Wert L ist jeweils die zu den Meßwerten gehörige Bauteillänge, die in Gl.(2) einzusetzen ist. Die Systeme von einigen Bauwerken sind in Fig.2 angegeben.

Umfangreiche Messungen von Schiefstellungen wurden auch in Kanada durchgeführt, worüber in [5], [6], [7] berichtet wurde. Dabei wurden die Schiefstellungen einzelner Stützen in den einzelnen Geschossen von 2 Hochhäusern (n=2676 Stck.) und die Schiefstellungen der Stützen in einem Industriebau (n=561 Stck.) gemessen. Die Stützenlängen in den Hochhäusern betrugen dabei überwiegend 3,60 m, über die Abmessungen in dem Industriebau liegen keine Angaben vor.

3. AUSWERTUNGEN IM HINBLICK AUF DEN LÄNGENEINFLUSS

3.1 Allgemeines

Die kanadischen Messungen eignen sich nicht zur Untersuchung des Längeneinflusses, da die untersuchten Stützen zu kurz waren (L=3,6 m<5 m). Außerdem sind die Ergebnisse auch nicht auf Gesamtbauwerke zu extrapolieren, da mit der gewählten Meßmethode jeweils die Neigungen der Stützen innerhalb der Geschosse ermittelt wurden, nicht jedoch die Gesamt-Lotabweichungen, in die auch u.a. Stützenversätze und ungenügende Zentrierung der Einzelstützen übereinander eingehen.

Die Meßmethodik bei den in Tabelle 1 zusammengestellten Bauwerken war dagegen so, daß jeweils die Abweichungen Δ von der Lotrechten gemessen wurden, aus denen dann die Vorverdrehungen ψ in Bezug auf die Sehne berechnet wurden. Damit sind alle sonstigen Effekte im Mittel mit erfaßt.

Für die Untersuchung des Längeneinflusses sind auch die unterschiedlichen Bauwerkstypen, unbeschadet event. etwas unterschiedlicher Genauigkeitsanforderungen, gleich gut geeignet. Bei längeren Bauteilen oder Bauwerken erfolgt während bzw. nach der Montage der Einzelteile ein Ausrichten. Damit sind die Schiefstellungen zum großen Teil durch die bei der Montage erreichbaren Absolutwerte Δ bestimmt. Steht ein Stützenteil zu schief nach einer Seite, so wird beim nächsten Teil eine Ausrichtung in entgegengesetzter Richtung erfolgen, so daß auch bei großen Gesamtlängen die Gesamt-Lotabweichungen Δ beschränkt sind.

3.2 Meßergebnisse

Aus Platzgründen können die Einzelergebnisse aller Werte ψ hier nicht mitgeteilt werden, die 349 Werte der Bauwerke 1 bis 8 können [3] entnommen werden. Die Werte des Bauwerkes 10 sind in Tab.2 angegeben. Zur Auswertung wurden die Werte der Schiefstellungen ψ bereichsweise Gruppen zugeordnet. Die Ergebnisse können aus Fig.3 ersehen werden.

Dabei ist zu beachten, daß hier die Absolutwerte der Schiefstellungen ausgewertet wurden. In den Bauwerken ergeben sich die Schiefstellungen sowohl positiv als auch negativ, so daß bei einer genügend großen Zahl von Messungen innerhalb eines Bauwerkes sich der Mittelwert zu Null ergibt und die Verteilung einer Normalverteilung entspricht. Dies wurde auch durch die Messungen in [3] bestätigt, siehe Fig.4a. Wenn man Messungen verschiedener Bauwerke mit einer relativ geringen Anzahl von Messungen vergleicht,ist diese Vorgehensweise nicht möglich, da die Definition positiv/negativ willkürlich vom Meßstandort aus wählbar ist. Die Auftragung kann dann nur über die Absolutwerte erfolgen, was dann zu einer halben Normalverteilung führt, siehe Fig.4b. Diese halbe Normalverteilung ist auch sehr gut aus Fig.3 zu ersehen.

Eine statistische Auswertung der 725 Einzelwerte führt zu folgenden Ergebnissen für ψ:

$m_1 = 5{,}80 \cdot 10^{-4}$ Mittelwert (4a)

$s_1 = 7{,}43 \cdot 10^{-4}$ Standardabweichung (4b)

Nr.	L [m]	$\psi \cdot 10^4$	red $\psi \cdot 10^4$	Nr.	L [m]	$\psi \cdot 10^4$	red $\psi \cdot 10^4$
10/1	17	4,12	7,59	10/33	17	0,59	1,08
10/2	17	6,47	11,93	10/34	17	8,24	15,20
10/3	17	1,18	2,17	10/35	17	7,06	13,02
10/4	17	1,18	2,17	10/36	17	7,65	14,10
10/5	13	6,93	11,16	10/37	13	1,54	2,48
10/6	13	6,93	11,16	10/38	13	2,31	3,72
10/7	13	11,53	18,59	10/39	13	0,77	1,24
10/8	13	9,23	14,88	10/40	13	3,08	4,96
10/9	15	3,33	5,77	10/41	15	11,34	19,65
10/10	15	10,66	18,45	10/42	15	3,33	5,77
10/11	15	1,33	2,31	10/43	15	10,66	18,45
10/12	45	0,67	2,0	10/44	15	6,67	11,55
10/13	45	0,44	1,33	10/45	45	3,11	9,34
10/14	45	0,67	2,0	10/46	45	4,89	14,66
10/15	45	1,78	5,33	10/47	45	1,11	3,33
10/16	15	2,67	4,62	10/48	45	4,22	12,67
10/17	17	10,00	18,45	10/49	17	4,12	7,59
10/18	17	9,41	17,36	10/50	17	13,53	24,94
10/19	17	1,18	2,17	10/51	17	2,35	4,34
10/20	17	3,53	6,51	10/52	17	5,88	10,85
10/21	13	3,08	4,96	10/53	13	1,54	2,48
10/22	13	11,53	18,59	10/54	13	15,38	24,81
10/23	13	6,15	9,92	10/55	13	2,31	3,72
10/24	13	6,93	11,16	10/56	15	8,0	13,85
10/25	15	9,34	16,18	10/57	15	3,33	5,77
10/26	15	7,33	12,69	10/58	15	6,67	11,55
10/27	15	8,0	13,85	10/59	15	8,0	13,85
10/28	15	6,0	10,40	10/60	45	1,56	4,67
10/29	45	6,0	17,99	10/61	45	0,44	1,33
10/30	45	2,67	8,0	10/62	45	1,33	4,0
10/31	45	1,33	4,0	10/63	45	4,22	12,67
10/32	45	1,33	4,0				

Tabelle 2

Meßergebnisse von Bauwerk 10 (Absolutwerte)

Diese relativ kleinen Werte sind durch die großen Längen L nach Tab.1 bedingt.

Um festzustellen, ob Gl.(2) eine vernünftige Reduktion darstellt, erfolgt aus diesem Grunde eine zweite statistische Auswertung, indem die Absolutwerte der Meßwerte mit dem Kehrwert der Gl.(2) multipliziert werden (für die Werte mit L > 5 m):

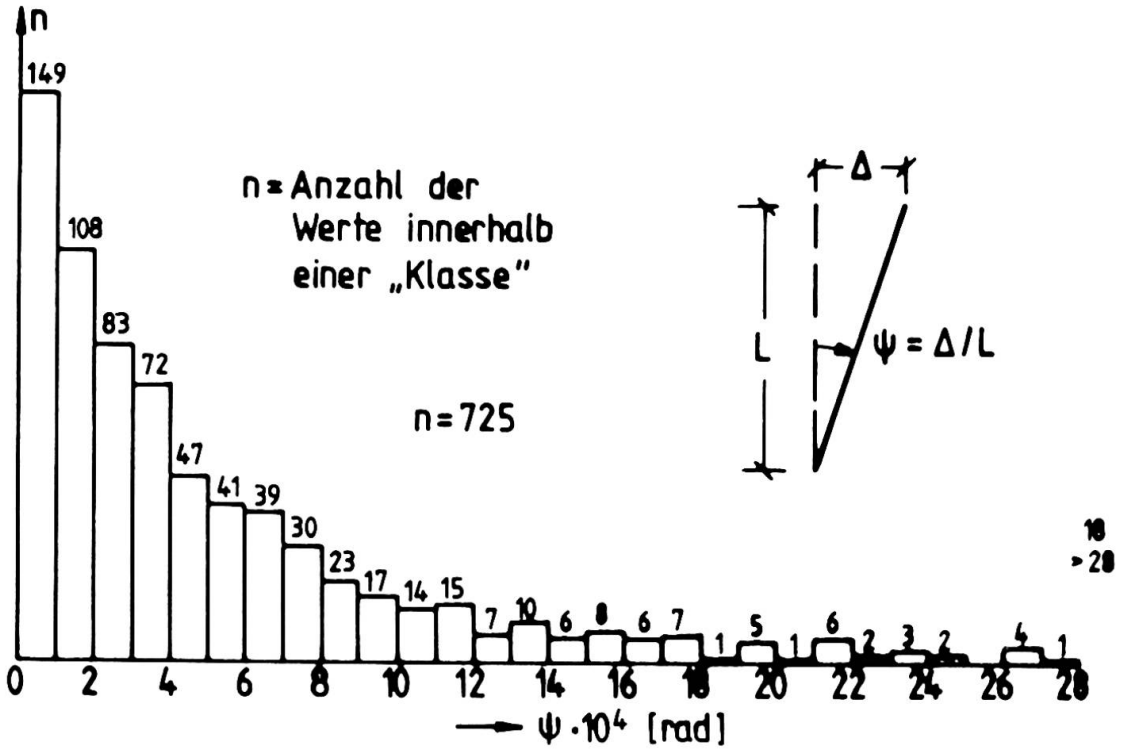


Fig.3 Absolutwerte der Schiefstellungen

$$\text{red } \psi = \psi \cdot \sqrt{L\ [m]\ /\ 5} \qquad (5)$$

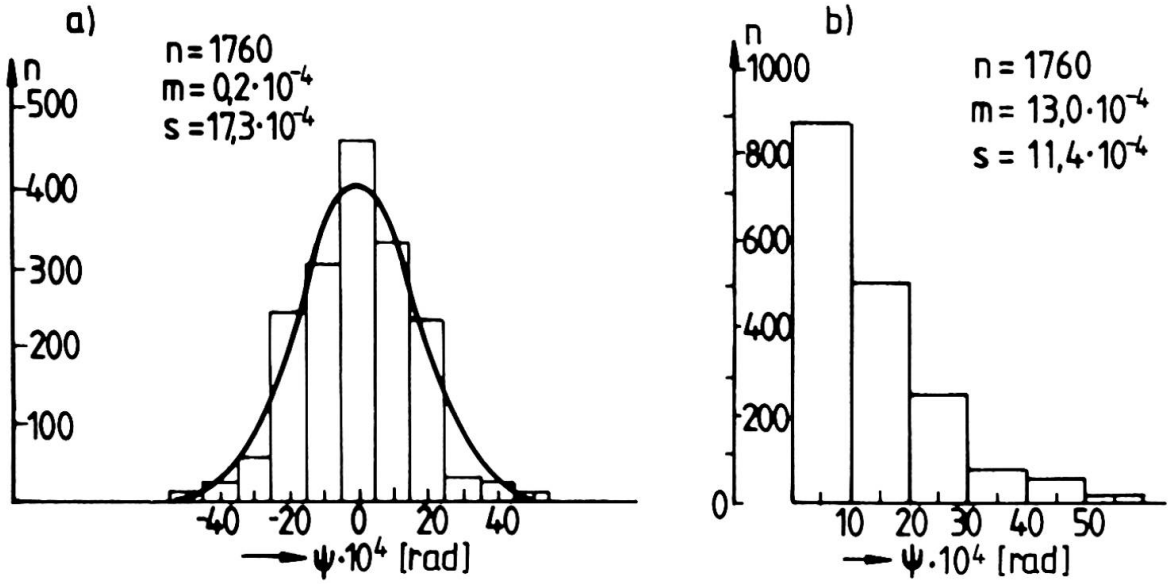


Fig.4 Auswertung der Messungen an einem Hochhaus
a) mit Vorzeichen b) Absolutwerte

Die Ergebnisse sind wiederum in "Klassen" eingeteilt worden und in Fig.5 aufgetragen. Auch hier ergibt sich noch eine angenäherte halbe Normalverteilung.

Eine statistische Auswertung der 725 Einzelwerte führt zu folgenden Ergebnissen für red ψ:

$m_2 = 9{,}04 \cdot 10^{-4}$ Mittelwert (6a)

$s_2 = 9{,}16 \cdot 10^{-4}$ Standardabweichung (6b)

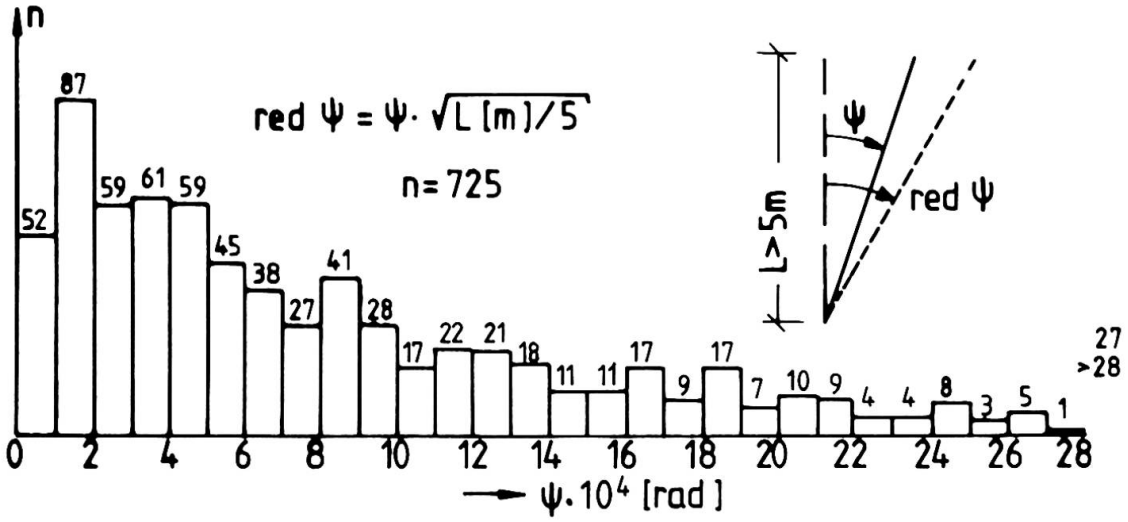


Fig.5 Absolutwerte der reduzierten Schiefstellungen

Wenn (wie z.B. bei den Werten nach DIN 1045 für Betonbauwerke) die 5%-Fraktile zur Ermittlung des charakteristischen Wertes zugrunde gelegt wird, so ergibt sich

$$\text{red } \psi = m_2 + \kappa \cdot s_2 \qquad (7a)$$
$$= (9{,}04 + 1{,}64 \cdot 9{,}16) \cdot 10^{-4}$$

$$\text{red } \psi = 24{,}10 \cdot 10^{-4} = 1/416 \qquad (7b)$$

Dieser Wert stimmt sehr gut mit dem Wert von 1/380 überein, der in [4] zur Bestimmung der in den Normen vorgeschlagenen Ersatzimperfektion ψ_0 benutzt worden ist. In [4] ist auch die Gültigkeit des Reduktionsfaktors r_2 anhand der Auswertung der geeigneten Messungen nachgewiesen worden.

3.3 Einfluß der Auswertung mit Absolutwerten

In [5] sind für die dort durchgeführten Messungen die Auswertungen sowohl unter Verwendung der Meßwerte mit Vorzeichen als auch bei Verwendung von Absolutwerten durchgeführt worden. Die jeweiligen charakteristischen Werte im Sinne der Gl. (7a) sind in Tab.3 angegeben. Aus Spalte 8 ist zu ersehen, daß man mit guter Näherung mit dem Faktor von ca. 0,90 von den Ergebnissen mit Absolutwerten auf die Ergebnisse bei Verwendung vorzeichengerechter Werte schließen kann.

Bauwerk	Werte mit Vorzeichen (Normalverteilung)			Absolutwerte (halbe Normalverteilung)			$\frac{m_1+1{,}64 \cdot s_1}{m_2+1{,}64 \cdot s_2}$
	m_1	s_1	$m_1+1{,}64 \cdot s_1$	m_2	s_2	$m_2+1{,}64 \cdot s_2$	
1	2	3	4	5	6	7	8 = 4/7
A	-0,4	16,2	26,17	11,7	11,2	30,07	0,87
B	0,2	17,3	28,57	13,0	11,4	31,70	0,90
A+B	-0,1	17,0	27,78	12,5	11,5	31,36	0,89
C	1,5	16,0	27,74	11,8	10,8	29,51	0,94

Tabelle 3 Auswertung der Meßergebnisse nach [5]

Wendet man dies an, so erhält man

$$\text{red } \bar{\psi} = 0{,}9 \cdot 24{,}1 \cdot 10^{-4} = 1/461 \qquad (8)$$

4. SCHLUSS

Es werden Messungen von Stützen-Schiefstellungen ausgewertet und es wird gezeigt, daß mit Hilfe des Reduktionsfaktor r_1 die charakteristischen Werte für die Schiefstellungen gut angenähert werden.

LITERATURVERZEICHNIS

1. EDIN 18800, Teil 2, Stabilitätsfälle im Stahlbau - Knicken von Stäben und Stabwerken - Entwurf (12.80) und Arbeitspapier (10.83).
2. Eurocode 3 Stahlbau - Entwurf (1.84).
3. LINDNER J., u. GIETZELT R., Imperfektionen mehrgeschossiger Stahlstützen (Stützenschiefstellungen). Schlußbericht VR 2038A des Instituts für Baukonstruktionen und Festigkeit der TU Berlin zum Forschungsvorhaben IV/1-81/299 des Instituts für Bautechnik Berlin, Berlin, 1983.
4. LINDNER J., u. GIETZELT R., Imperfektionsannahmen für Stützenschiefstellungen. Stahlbau 53(1984), H.4, S.97-101.
5. BEAULIEN D., The destabilizing forces caused by gravity loads acting on initially out-of-plumb members in structures. Ph.D.thesis, Dep.of Civ.Eng., University of Alberta, 1977.
6. BEAULIEN D., u. ADAMS P.F., The results of a survey on structural out-of-plumbs. Canadian Journal of Civ.Eng., Vol.5, no.4, pp.462-470, 1978.
7. BEAULIEN D., u. ADAMS P.F., A statistical approach to the problem of stability related to structural out-of-plumb. Preliminary report to the 2nd Int.Colloquium "Stability of Steel Structures", pp.23-29, Liege, 1977.