

PORENBEETON BERICHT 23

Erläuterungen zu DIN 4223



ERLÄUTERUNGEN ZUR DIN 4223:2003-12

Dr.-Ing. Peter Schwarz, Darmstadt
Dr.-Ing. Thomas Stankowski, Darmstadt
Dr.-Ing. Harry Kirmse, Berlin
Dr.-Ing. Peter Langer, Emstal
Dr.-Ing. Dieter Bertram, Erkrath
Dipl.-Ing. Rainer Blaschke, Schrobenhausen
Dipl.-Ing. Andreas Langsdorf, Emstal
Dipl.-Ing. Georg Flassenberg, Hannover

Impressum

Herausgeber Bundesverband Porenbeton
Vertrieb BVP Porenbeton Informations-GmbH
Entenfangweg 15 · 30419 Hannover
Telefon 0511/3908977 · Telefax 0511/39089790
eMail info@bv-porenbeton.de · Internet www.bv-porenbeton.de
Gestaltung Seitenlayout und Satz: Dipl.-Designer · Peter Lenz · Wiesbaden · eMail peter_lenz@t-online.de
Druck Druckerei Chmielorz GmbH, Ostring 13, 65205 Wiesbaden-Nordenstadt
2. Auflage November 2006
© Bundesverband Porenbeton
Veröffentlichungen, auch auszugsweise, bedürfen der schriftlichen Genehmigung des Herausgebers

Für die zitierten Normen gilt:

„Wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
Maßgebend für das Anwenden der DIN-Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der
Beuth Verlag GmbH · Burggrafenstraße 6 · 10787 Berlin, erhältlich ist.“

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
Erläuterungen zu DIN 4223-1:2003-12 Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton Herstellung, Eigenschaften, Übereinstimmungsnachweis	7
Erläuterungen zu DIN 4223-2:2003-12 Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung – Entwurf und Bemessung	19
Erläuterungen zu DIN 4223-3:2003-12 Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton Wände aus Bauteilen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung – Entwurf und Bemessung	59
Erläuterungen zu DIN 4223-4:2003-12 Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung – Anwendung in Bauwerken	81
Erläuterungen zu DIN 4223-5:2003-12 Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton Sicherheitskonzept	105
Anhang: Nachweis der Befestigung	116
Anhang: Druckfehler in DIN 4223-2, 3 und -4	117
Anhang: Inhaltsverzeichnis CD-ROM	121

Vorwort

Die Norm DIN 4223:1958 war eine der ältesten eingeführten Technischen Baubestimmungen auf dem Gebiet des konstruktiven Ingenieurbaus. In dieser Norm waren allerdings nur Porenbeton-Dach- und -Deckenplatten (nach DIN 4223:1958 noch als Gasbeton-Dach- und -Deckenplatten bezeichnet) geregelt, die außerdem noch einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung bedurften und als nicht schubbewehrt galten. Fortschritte in der Bauart mit Porenbeton-Montagebauteilen, wie z. B. die Einführung weiterer Festigkeits- und Rohdichteklassen, weiterer Bauteilarten wie Porenbeton-Wandplatten, -Wandtafeln und -Stürze sowie Verbesserungen in den Berechnungs- und Bemessungsverfahren und Erweiterungen im Anwendungsbereich waren daher in der Vergangenheit über allgemeine bauaufsichtliche Zulassungsbescheide behandelt worden. Das gleiche gilt für die Ausbildung besonderer Tragwerke, wie Dach-, Decken- und Wandscheiben.

Aufgrund der zwischenzeitlich gewonnenen Erkenntnisse musste einerseits die Norm DIN 4223:1958 seit geraumer Zeit als technisch überholt angesehen werden. Andererseits bestand seitens der Porenbetonindustrie und der mit dieser Bauart befassten Anwender seit langem der dringliche Wunsch nach einem durchgängigen, den derzeit bewährten Erkenntnisstand umfassenden Regelwerk.

Anfang der siebziger Jahre begann man mit den Arbeiten zur Neufassung der DIN 4223. Diese Arbeiten wurden mit der Vorlage eines Gelbdruckes zur DIN 4223 im Jahre 1978 vorläufig unterbrochen. Im Zuge des Einspruchsverfahrens zeigte sich, dass die neuen Bestimmungen zur Dimensionierung der Verankerung der Bewehrung sich baupraktisch nicht umsetzen ließen. In Konsequenz dieser Erkenntnis wurde dieser Gelbdruck zur DIN 4223 nicht weiter verfolgt.

Seitens der Porenbetonindustrie hat man darauf hin zwei Forschungsvorhaben zur Frage der Schub- und Verankerungstragfähigkeit initiiert. In weiteren Untersuchungsreihen wurden Erkenntnisse zum Kriechen von Porenbeton im Allgemeinen, zum Kriechen im Bereich der Verankerung und zum Langzeitverhalten biegebeanspruchter Porenbeton-Montagebauteile unter kriecherzeugender Dauerlast gesammelt. Eine weitere Studie war der Relation zwischen Elastizitätsmodul und Rohdichte des Porenbetons gewidmet.

Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse sollten in die geplante europäische Norm für bewehrte Porenbeton-Montagebauteile, an der man Ende 1989 unter deutschem Vorsitz und deutschem Sekretariat zu arbeiten begonnen hatte, einbezogen werden. Im Hinblick auf den langwierigen Arbeitsfortschritt bei dieser europäischen Norm für bewehrte Porenbeton-Montagebauteile hat man sich jedoch – als ersten Schritt in Richtung Europa – zu einer Neufassung der DIN 4223 entschlossen.

Der europäischen Entwicklung folgend, wurde das Sicherheitskonzept den Eurocodes angepasst. Die bislang verwendeten globalen Sicherheitsbeiwerte wurden auf partielle Si-

cherheitsbeiwerte umgestellt und die Bemessungsverfahren an charakteristischen Materialeigenschaften orientiert.

Die Neufassung von DIN 4223 beinhaltet nunmehr das ganze Spektrum der derzeit hergestellten Porenbeton-Montagebauteile und deren Anwendung. Sachlich hat man sich auf die derzeit geltenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungsbescheide bezogen, so dass mit Vorlage der DIN 4223 in den Teilen 1 bis 5 die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungsbescheide für Porenbeton-Dach-, -Decken- und Wandplatten sowie -Wandelemente und -Stürze entbehrlich werden.

Die neue DIN 4223 ist, und dies war auch das erklärte Ziel der an diesem Normungsverfahren Beteiligten, strukturell und sachlich sehr stark an den Entwurf zur europäischen Norm für bewehrte Porenbeton-Montagebauteile prEN 12 602 angelehnt. Allerdings gibt es zwei grundsätzliche sachliche Unterschiede.

- Die Baustoffe sind nach wie vor entsprechend der nationalen deutschen Gepflogenheit klassifiziert und damit die anzuwendenden Rechenwerte festgelegt. Eine individuelle Deklaration der charakteristischen Baustoffeigenschaften durch den Hersteller ist ausgeschlossen.
- Bei Bauteilen mit statisch anrechenbarer Bewehrung erfolgt die Verankerung der Stahlzug- und -druckkräfte in den Porenbeton grundsätzlich nur über entsprechende Querbewehrungsstäbe und nicht über Verbund.

Einerseits wollte man eine Verunsicherung des Marktes durch eine Unzahl von Herstellerdeklarationen hinsichtlich der charakteristischen Baustoffeigenschaften vermeiden. Andererseits liegen in Deutschland und auch international hinsichtlich des Verbundes zwischen Betonstahl, Korrosionsschutz und Porenbeton sowie des Einflusses extremer thermischer Beanspruchungen auf diese Verbundeigenschaften kaum Erfahrungen vor.

Da man sich bei der Neufassung der DIN 4223 sowohl an den Regelungen aus den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungsbescheiden als an den Bestimmungen aus dem Entwurf zur europäischen Norm für bewehrte Porenbeton-Montagebauteile prEN 12 602 orientiert hat, wurde nur das bisher Bewährte genormt. Mit dieser Neufassung der DIN 4223 finden die in den letzten 40 Jahren gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Bemessung, der Herstellung, der Güteüberwachung und der Anwendung von Porenbeton-Montagebauteilen nunmehr erstmalig ihren Niederschlag in einer Norm.

Nicht mit aufgenommen in die Neufassung der DIN 4223 werden konnten Einbauteile sowie Verbindungs- und Verankerungsmittel, die, soweit sie nicht auf Grund anderer hierfür anwendbarer Normen behandelt werden können, auf der Basis von Funktionsprüfungen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung bedürfen.

Die neue DIN 4223 ist in fünf Teile gegliedert:

- DIN 4223-1:2003-12 regelt die Herstellung, die Baustoffeigenschaften und die Dauerhaftigkeit sowie den Übereinstimmungsnachweis für werkmäßig hergestellte, bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton;
- DIN 4223-2:2003-12 behandelt den Entwurf und die Bemessung von Bauteilen mit statisch anrechenbarer Bewehrung;
- DIN 4223-3:2003-12 befasst sich mit Wänden aus Bauteilen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung;
- DIN 4223-4:2003-12 legt die Anwendung von Bauteilen mit statisch anrechenbarer Bewehrung fest;
- DIN 4223-5:2003-12 beinhaltet das anzuwendende Sicherheitskonzept.

Ministerialrat Dr.-Ing. Dieter Bertram
Obmann des deutschen Spiegelausschusses zu CEN/TC 177
„Porenbeton und haufwerksporiger Leichtbeton“

ERLÄUTERUNGEN ZU DIN 4223-1:2003-12

Vorgefertigte bewehrte Bauteile
aus dampfgehärtetem Porenbeton

Teil 1

Herstellung, Eigenschaften, Übereinstimmungsnachweis

	Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton Teil 1: Herstellung, Eigenschaften, Übereinstimmungsnachweis	DIN 4223-1
--	---	-----------------------------

ICS 91.100.30

Mit
 DIN 4223-2:2003-12
 und
 DIN 4223-5:2003-12
 Ersatz für
 DIN 4223:1958x-07

Prefabricated reinforced components of autoclaved aerated concrete —
 Part 1: Manufacturing, properties, attestation of conformity

Éléments préfabriqués armés en béton cellulaire autoclavé —
 Partie 1: Fabrication, propriétés, attention de conformité

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe, Symbole, Einheiten und Abkürzungen	5
3.1 Begriffe	5
3.2 Symbole	5
3.3 Einheiten	6
3.4 Abkürzungen	6
4 Baustoffe	7
4.1 Porenbeton	7
4.1.1 Ausgangsstoffe	7
4.1.2 Quantilen (einseitige Toleranzgrenzen) der Grundgesamtheit	7
4.1.3 Druckfestigkeitsklassen	8
4.1.4 Rohdichteklassen	9
4.1.5 Schwindmaß	10
4.1.6 Rechenwerte für Baustoffkenngrößen	10
4.2 Bewehrung	12
4.2.1 Betonstahl	12
4.2.2 Mindestbetondeckung, Lage der Bewehrung im Bauteil	13

Fortsetzung Seite 2 bis 23

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Inhaltsverzeichnis

Zu Abschnitt 1:	Anwendungsbereich	10
Zu Abschnitt 2:	Normative Verweisungen	10
Zu Abschnitt 3.1.3:	Bewehrung	10
Zu Abschnitt 3.4:	Abkürzungen	10
Zu Abschnitt 4.1.2:	Quantilen (einseitige Toleranzgrenzen) der Grundgesamtheit bei Bauteilen mit statisch anrechenbarer Bewehrung	10
Zu Abschnitt 4.1.3:	Druckfestigkeitsklassen	12
Zu Abschnitt 4.1.3.1:	Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung	12
Zu Abschnitt 4.1.3.2:	Bauteile mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung	13
Zu Abschnitt 4.1.4:	Rohdichteklassen	14
Zu Abschnitt 4.1.4.2:	Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung	14
Zu Abschnitt 4.1.4.3:	Bauteile mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung	16
Zu Abschnitt 4.1.6:	Rechenwerte für Baustoffkenngrößen	16
Zu Abschnitt 4.2.1:	Betonstahl	16
Zu Abschnitt 5:	Bauteile, Maße, Grenzabmaße und Kurzzeichen für die Bauteilart	17
Zu Abschnitt 6.1:	Umweltbedingungen	17
Zu Abschnitt 6.2:	Korrosionsschutz der Bewehrung	17
	Literaturverzeichnis	17

Zu Abschnitt 1: Anwendungsbereich

In Teil 1 der vorliegenden Neufassung zur DIN 4223 werden die Herstellung, die Anforderungen an die Baustoffe, die Bauteile und die Dauerhaftigkeit sowie der Übereinstimmungsnachweis für alle derzeit werkmäßig hergestellten, bewehrten Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton geregelt.

Verbindungsmitel und im Zuge des Zusammenbaues der Bauteile benötigte Ergänzungsbaustoffe, wie z. B. Dünnbettmörtel und Beton, sind nicht Bestandteil dieses Normenteils.

Bei den Bauteilen wird unterschieden zwischen tragenden und nicht tragenden Bauteilen:

- Tragende Bauteile, wie z. B. Porenbeton-Dach-, -Decken- und -Wandplatten sowie Porenbeton-Stürze tragen neben ihren Eigenlasten auch Verkehrs-, Nutz-, Wind- und sonstige Bauwerkslasten ab.
- Nicht tragende Bauteile, wie z. B. geschosshohe Trennwandplatten, werden in der Regel nur durch ihre Eigenlasten sowie durch relativ kleine Zusatzlasten (wie z. B. Lasten infolge technischer Installationen bei Ausfachungswänden u. s. w.) beansprucht.

Dach-, Decken- und Wandscheiben werden grundsätzlich nur mit tragenden Bauteilen gebildet. Die Bauteile und die aus diesen Bauteilen erstellten Konstruktionen, wie z. B. Dach-, Decken- und Wandscheiben, dürfen nur bei vorwiegend ruhenden Nutzlasten nach DIN 1055-3:2002-10, Abschnitt 3.2.1 verwendet werden.

Zu Abschnitt 2: Normative Verweisungen

Mit aufgenommen in die normativen Verweisungen wurde hier DIN 1045, da Stahlbeton und bewehrter Porenbeton ein ähnliches Trag- und Verformungsverhalten aufweisen und die Bemessungsverfahren auf vergleichbaren Grundprinzipien beruhen. Verbindungen zwischen einzelnen Porenbeton-Montagebauteilen, insbesondere bei der Ausbildung von Dach-, Decken- und Wandscheiben, werden in der Regel mit bewehrtem oder unbewehrtem Beton nach DIN 1045 ausgeführt. Brandschutztechnische Anforderungen werden in der Normenreihe DIN 4102 behandelt.

Der Übereinstimmungsnachweis, der die Eigen- und Fremdüberwachung, also den Nachweis des Erreichens der erforderlichen Materialeigenschaften regelt, wurde auf europäische Prüfnormen umgestellt, soweit diese Prüfnormen bereits bauaufsichtlich eingeführt sind.

Zu Abschnitt 3.1.3: Bewehrung

Neben der Verwendung von Betonstahl nach DIN 488:1986-6 (Stahlsorte BSt 500 G) und Rundstahl nach DIN EN 10 025: 1990 (Stahlsorte S235 JRG 2) darf auch nicht rostender Stahl (Edelstahl) dann zum Einsatz kommen, wenn für die-

sen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vorliegt, in der insbesondere auch die für die Bemessung erforderlichen charakteristischen Festigkeits- und Verformungswerte geregelt sind. Allerdings liegen für nicht rostenden Stahl als Bewehrung in Porenbetonbauteilen bislang keine Langzeiterfahrungen vor.

Praxisbedingt können auch von DIN 488 abweichende Durchmesser der Betonstähle zur Anwendung kommen.

Bei den Bauteilen wird grundsätzlich unterschieden zwischen solchen mit statisch anrechenbarer und solchen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung:

- Die statisch anrechenbare Bewehrung ist die Bewehrung, die die einwandfreie Funktion, also die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit der Bauteile im planmäßigen Gebrauchszustand gewährleistet. Sie besteht in der Regel aus oberflächennah angeordneten orthogonalen Bewehrungsnetzen, die je nach Herstellverfahren zu Bewehrungskörben gebogen oder mittels gesondert geformter Haltestäbe zu Bewehrungskörben verbunden werden. Die Verankerung der Stahlkräfte erfolgt bei den Bauteilen mit statisch anrechenbarer Bewehrung grundsätzlich über aufgeschweißte Querbewehrungsstäbe. Vereinzelt wurden in der Vergangenheit auch Bewehrungen in Form von Gitterträgern eingebaut. Porenbeton-Dach-, -Decken- und -Wandplatten sowie Porenbeton-Stürze sind Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung.
- Unter statisch nicht anrechenbarer Bewehrung wird die Bewehrung verstanden, die lediglich eine ausreichende Transport- und Montagesicherheit sicherstellt und die für den Gebrauchszustand nicht erforderlich ist. Hier werden zum Teil auch einzelne, dann allerdings gerippte Bewehrungsstäbe verwendet. Nicht tragende geschosshohe Trennwandplatten und Porenbeton-Wandtafeln sind Bauteile mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung.

Zu Abschnitt 3.4: Abkürzungen

Hinsichtlich der Bezeichnung der Bauteile wurden die in der deutschen Porenbetonindustrie üblicherweise verwendeten Abkürzungen übernommen.

Zu Abschnitt 4.1.2: Quantilen (einseitige Toleranzgrenzen) der Grundgesamtheit bei Bauteilen mit statisch anrechenbarer Bewehrung

Für Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung werden bei den für die Standsicherheit maßgebenden charakteristischen Baustoffkenngrößen die einseitigen Toleranzgrenzen, also das 5 %- bzw. das 95 %-Quantil, präziser beschrieben.

So ist sowohl die charakteristische Druckfestigkeit des Porenbetons, deren Zahlenwert für die Bezeichnung der Festigkeitsklasse gewählt wurde, als auch die charakteristische Schweißpunktfestigkeit, die charakteristische Zugfestigkeit, die charakteristische Streckgrenze und die charakteristische Bruchdehnung des Betonstahles als 5 %-Quantil der Grund-

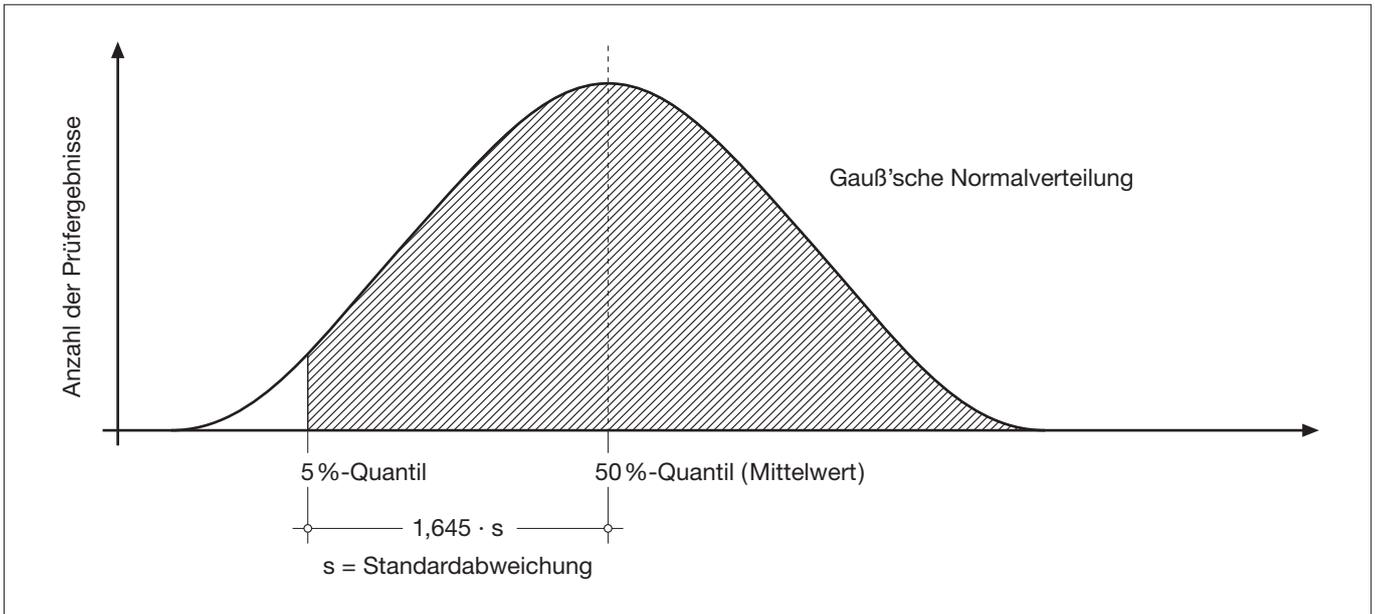


Abb. 1.1: Einseitige Toleranzgrenze bei der Porenbetondruckfestigkeit, der Schweißpunktfestigkeit, der Zugfestigkeit, der Streckgrenze und der Bruchdehnung des Betonstahles

gesamtheit – also als unterseitige Toleranzgrenze – unter Annahme einer Standardverteilung mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von 90 % ($\gamma = 0,90$) nach ISO 12 491:1997 definiert. Das 5%-Quantil der Grundgesamtheit besagt, dass höchstens 5 % aller Prüfergebnisse unter und mindestens 95 % aller Prüfergebnisse über dem entsprechenden Anforderungswert liegen müssen. Zur Bewertung der im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung anfallenden Prüfergebnisse hat sich die Gauß'sche Normalverteilungskurve als gut brauchbar erwiesen (Abb. 1.1).

Die charakteristische Rohdichte, deren Zahlenwert ebenfalls Gegenstand der Bezeichnung der Rohdichteklasse ist, ist als 95 %-Quantil der Grundgesamtheit – also als oberseitige Toleranzgrenze – ebenfalls unter Annahme einer Standardverteilung

mit einer Aussagewahrscheinlichkeit von 90 % ($\gamma = 0,90$) nach ISO 12 491:1997 definiert. Das 95 %-Quantil der Grundgesamtheit besagt, dass höchstens 5 % aller Prüfergebnisse über und mindestens 95 % aller Prüfergebnisse unter dem entsprechenden Anforderungswert liegen müssen. Auch zur Bewertung der im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung anfallenden Prüfergebnisse hat sich bei der Rohdichte die Gauß'sche Normalverteilungskurve bewährt (Abb. 1.2).

In diesem Zusammenhang wurde auch der Begriff der Grundgesamtheit klargestellt. Sie umfasst, bezogen auf den aktuellen Betrachtungszeitpunkt, alle im vorausgegangenen Produktionszeitraum von höchstens zwölf Monaten angefallenen Prüfergebnisse.

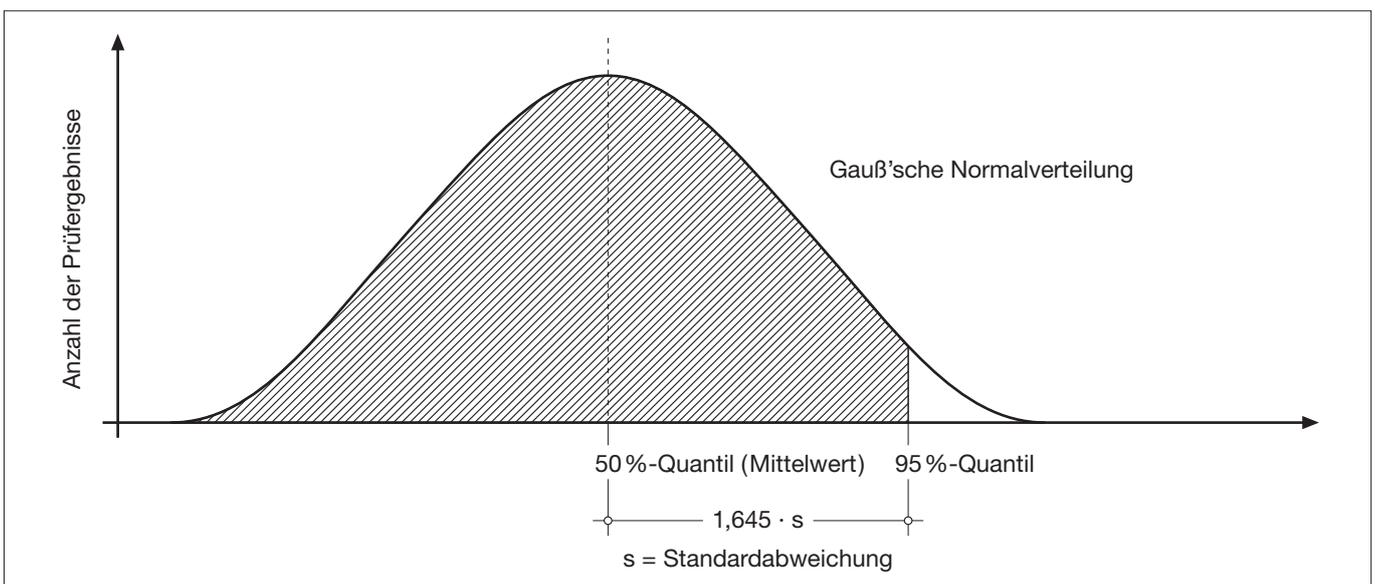


Abb. 1.2: Einseitige Toleranzgrenze bei der Porenbetonrohdeichte

**Zu Abschnitt 4.1.3:
Druckfestigkeitsklassen**

**Zu Abschnitt 4.1.3.1:
Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung**

Bei der Klassifizierung des Porenbetons für Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung wurden die bisher durch entsprechende allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen geregelten Festigkeitsklassen 2,2 und 3,3 sowie 4,4 beibehalten. Allerdings wurde im Gegensatz zur bisherigen Betrachtungsweise bei Bauteilen mit statisch anrechenbarer Bewehrung auf die Anforderung an einen Mittelwert (50%-Quantil der Grundgesamtheit) der Druckfestigkeit verzichtet. Die bisher in den Zulassungsbescheiden gestellte Anforderung an einen Mindestwert der Druckfestigkeit wurde jedoch beibehalten. Ohne einen solchen Mindestwert der Druckfestigkeit wäre es durchaus möglich, dass trotz Einhaltung des geforderten 5%-Quantils der Grundgesamtheit bei der Porenbetondruckfestigkeit Prüfwerte anfallen, die deutlich unter eben diesem Anforderungswert liegen und die damit ein Sicherheitsrisiko beinhalten würden. Nur durch die Festlegung eines solchen Mindestwertes für die Druckfestigkeit ist sichergestellt, dass dem jetzt abgeänderten, nunmehr auf den charakteristischen Kennwerten sowohl auf der Material- als auch auf der Lastseite aufbauenden Sicherheitskonzept voll Rechnung getragen wird.

Im Rahmen der Eigen- und der Fremdüberwachung geht man bei der Prüfung der Druckfestigkeit des Porenbetons von einer definierten Prüferserie aus. Nach DIN EN 679: Bestimmung der Druckfestigkeit von dampfgehärtetem Porenbeton besteht eine Prüferserie aus in der Regel mindestens drei Würfeln, wobei jeweils einer aus dem oberen, dem mittleren und dem unteren Bereich über die Treibhöhe aus einem Bauteil nach dem Schema entsprechend Abb. 1.3 zu entnehmen ist.

Das zu bewertende Prüfergebnis ist hierbei grundsätzlich der Mittelwert der Druckfestigkeiten dieser mindestens drei Einzelwürfel, also der Mittelwert je einer Prüferserie. Dieser Mittelwert wird bei der statistischen Bewertung der Prüfergebnisse der Grundgesamtheit als Einzelwert behandelt.

Im Zuge der Eigen- und Fremdüberwachung werden die zur Bestimmung der Druckfestigkeit des Porenbetons erforderlichen Prüfkörper aus den Bauteilen, die dadurch allerdings zerstört und damit unbrauchbar werden, hergestellt. Demzufolge werden zum Zwecke der Eigen- und Fremdüberwachung in der Regel zusätzliche Bauteile produziert. Vereinzelt werden im Rahmen der Eigenüberwachung die Prüfkörper auch aus den in den Gießformen häufig vorhandenen unbewehrten Restbereichen entnommen. Man spricht dann von so genannten Blindstücken.

Weiterhin wurden Regelungen zur Bewertung von Prüfergebnissen geschaffen, wenn deren Anzahl für eine sichere statistische Beurteilung nicht ausreichend ist. Mit diesen Regelungen sollen die in der Vergangenheit vereinzelt aufgetretenen Interpretationsschwierigkeiten vermieden werden.

Eine statistisch nicht bewertbare Anzahl von Prüfergebnissen ergibt sich z. B. dann, wenn ein Herstellwerk die Produktion von Porenbeton-Montagebauteilen in einer bislang dort nicht üblichen Festigkeitsklasse aufnimmt oder eine Nachprüfung der Druckfestigkeit außerhalb der regulären Eigenüberwachung notwendig wird. Gerade bei der Nachprüfung der Druckfestigkeit beschränkt man sich in der Regel auf einige wenige Prüfungen. Allerdings müssen für eine sichere Bewertung der Druckfestigkeit die Prüfergebnisse von mindestens drei aufeinander folgenden Prüferserien vorliegen, die den gleichen Bauteilserien zugeordnet und aus unterschiedlichen Bauteilen entnommen worden sind. Bei der Beurteilung dieser einzelnen Prüfergebnisse geht man auch hier von der Prüferserie aus, also vom Mittelwert der Druckfestigkeiten von

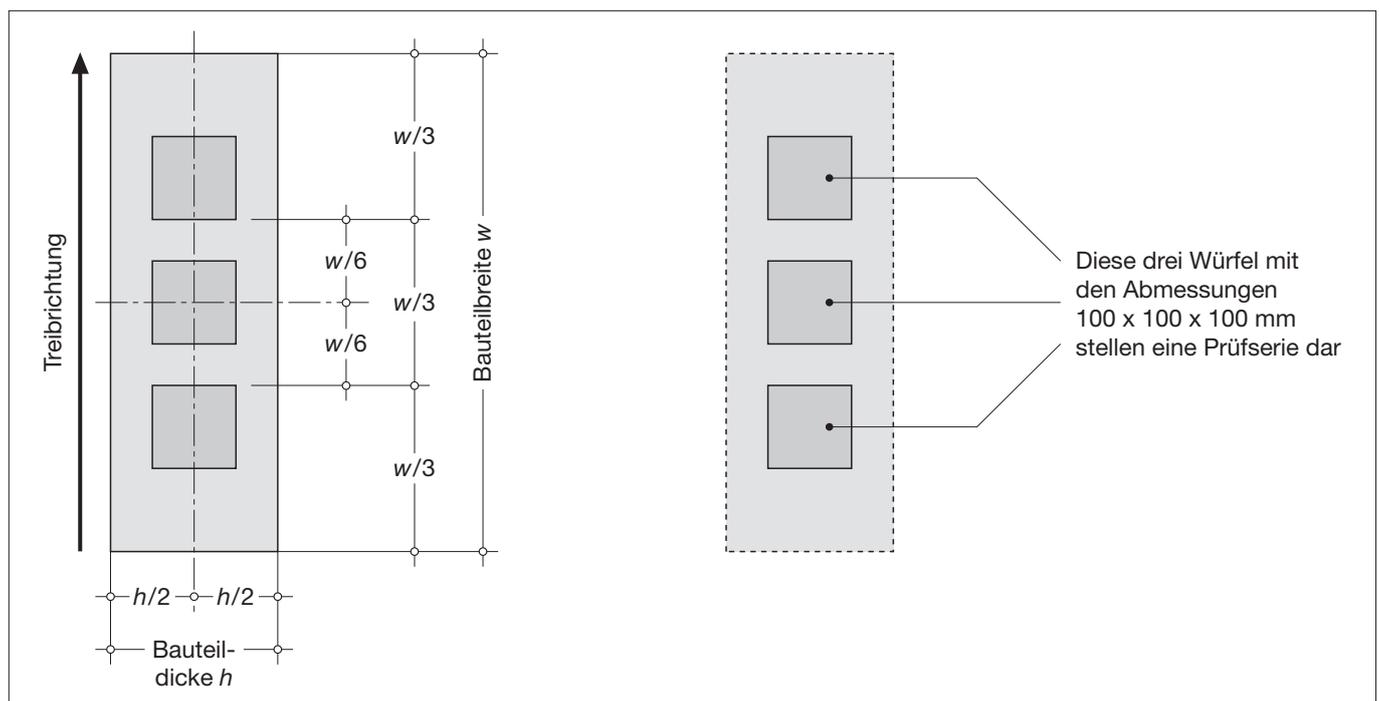


Abb. 1.3: Entnahmeschema für die Druckfestigkeitsproben

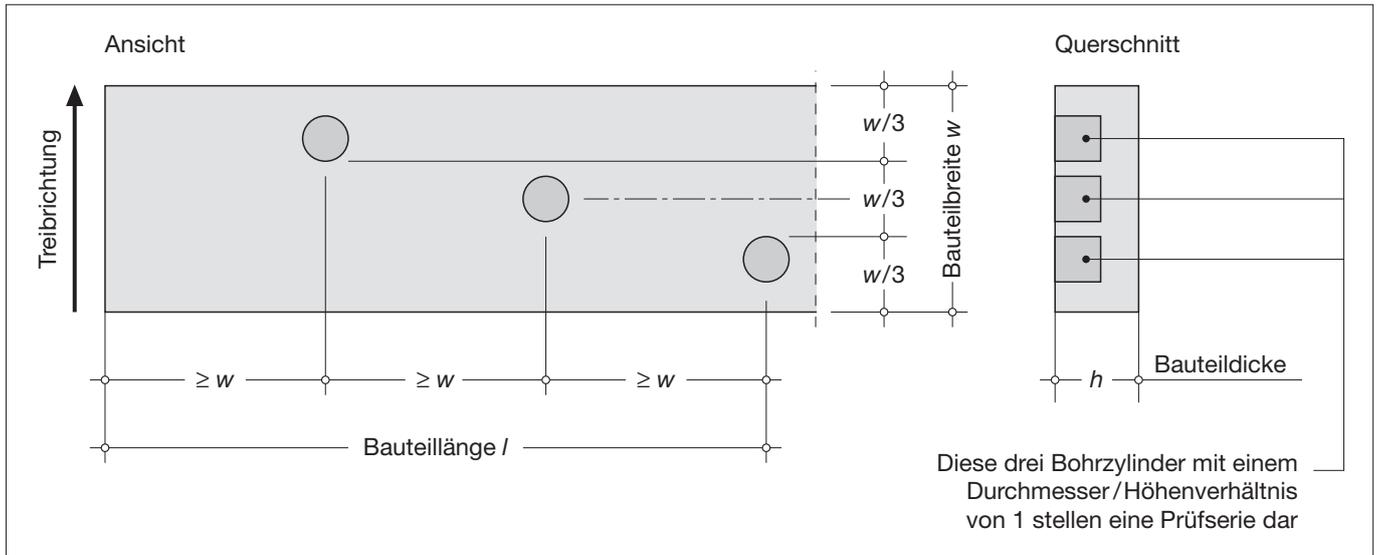


Abb. 1.4: Beispiel zur Positionierung der Kernbohrungen zur Entnahme von Bohrzylindern für die Druckfestigkeitsprüfung

mindestens drei Einzelwürfel. Für die Bewertung der Prüfergebnisse aus einer Prüfserie allein gilt, dass der Mittelwert der Würfeldruckfestigkeiten der betrachteten Prüfserie mindestens der charakteristischen Druckfestigkeit entsprechen muss. Bei mindestens drei Prüfserien muss neben der oben beschriebenen Anforderung zur Beurteilung der einzelnen Prüfserie zusätzlich der Mittelwert aus diesen drei oder mehr Prüfserien das 1,03-fache der charakteristischen Druckfestigkeit erreichen.

Bei der Prüfung der Druckfestigkeit von mehreren Bauteilen, die aus einer Produktionsform stammen, kann die Druckfestigkeit auch gleiche oder annähernd gleich große Zahlenwerte aufweisen. Mithin kann es durchaus vorkommen, dass der Mittelwert der Druckfestigkeit aus mindestens drei oder mehr Prüfserien die 1,03-fache charakteristische Druckfestigkeit nicht erreicht, den Anforderungen an den Mindestwert jedoch genügt. In diesem Falle können die Prüfergebnisse – und dies ist aus Sicht der hier zugrunde liegenden Sicherheitsphilosophie unbedenklich – auf der Basis der zugehörigen Grundgesamtheit bewertet werden. Die Anforderungen an die Druckfestigkeit gelten dann als erfüllt, wenn diese Prüfwerte, eingliedert in die Grundgesamtheit, den an die Grundgesamtheit gestellten Anforderungen genügen.

Will man die Druckfestigkeit des Porenbetons an bereits ausgelieferten, aber austauschbaren Bauteilen bestimmen, so können die erforderlichen Prüfkörper ähnlich wie bei der Eigen- und Fremdüberwachung aus den Bauteilen entnommen werden.

Ist die Druckfestigkeit des Porenbetons an bereits ausgelieferten, aber nicht austauschbaren oder gar bereits verbauten Bauteilen zu bestimmen, so scheidet die Entnahme von Probewürfeln aus technischen Gründen aus. In diesem Falle hat sich die Entnahme von Bohrzylindern aus dem Bereich der Biegedruckzone mit einem Durchmesser von 65 bis 100 mm und einem Höhen/Durchmesser Verhältnis von 1 in der Vergangenheit gut bewährt. Die zur Druckfestigkeitsprüfung bestimmten Bohrzylinder dürfen allerdings nicht mit Bewehrungsstäben durchsetzt sein. Die Prüfung

der Druckfestigkeit des Porenbetons erfolgt dann in Anlehnung an die DIN EN 679: Bestimmung der Druckfestigkeit von dampfgehärtetem Porenbeton. Auch hier besteht eine Prüfserie aus in der Regel mindestens drei Bohrzylindern, wobei jeweils einer aus dem oberen, dem mittleren und dem unteren Bereich über die Treibhöhe aus einem Bauteil nach dem in Abb. 1.4 angegebenen Schema zu entnehmen ist. Die durch die Entnahme entstandenen Bohrlöcher lassen sich mit einer hierfür geeigneten, in den technischen Eigenschaften an den Porenbeton angepassten Ausbesserungsmasse so wieder verschließen, dass das Bauteil seine volle Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit beibehält. Hinsichtlich der Bewertung der hierbei anfallenden Prüfergebnisse gilt das oben Gesagte.

Eine ausreichend genaue zerstörungsfreie Prüfmethode zur Bestimmung der Druckfestigkeit des Porenbetons steht bislang nicht zur Verfügung.

Zu Abschnitt 4.1.3.2: Bauteile mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung

Neu ist die Aufnahme von Druckfestigkeitsklassen für Bauteile mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung. Da diese Bauteile im Wesentlichen für tragende und nicht tragende Wände ähnlich dem Mauerwerksbau verwendet werden, hat man sich bei der Klassifizierung des Porenbetons hinsichtlich der Festigkeitsklassen an der DIN 4165:1996-11 orientiert und die Festigkeitsklassen 2 und 4 sowie 6 und 8 aufgenommen. Demzufolge sind hier Anforderungen an den Mittelwert und den kleinsten Einzelwert der Druckfestigkeit sowie einen Formfaktor δ festgeschrieben. Auf die Anforderung an eine charakteristische Druckfestigkeit wurde verzichtet.

Der Formfaktor δ wurde aus dem Produkt des Umrechnungsfaktors k_2 , der zu $k_2 = 0,95$ angenommen wurde, und dem Formfaktor f , der entsprechend DIN 4165:1996-11 für die Druckfestigkeitsklasse PP2 mit $f = 1,0$ und für die Druckfestigkeitsklassen $> PP2$ für die Steinhöhen $h \geq 240$ mm mit $f = 1,2$ anzusetzen war, zu $\delta = k_2 \cdot f$ abgeleitet.

Einer besonderen Regelung für den Fall einer für eine statistische Bewertung nicht ausreichenden Prüfkörperanzahl bedurfte es hier nicht. Grundsätzlich müssen hier sowohl die Anforderungen an den Mittelwert als auch an den kleinsten Einzelwert der Druckfestigkeit erfüllt werden.

**Zu Abschnitt 4.1.4:
Rohdichteklassen**

**Zu Abschnitt 4.1.4.2:
Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung**

Bei der Rohdichte wurde die bislang bewährte Betrachtungsweise beibehalten. Es sind Grenzwerte (unterer und oberer Grenzwert, wobei der obere Grenzwert der Rohdichteklasse entspricht) festgelegt, innerhalb der sich das 95%-Quantil der Rohdichte bewegen darf. Darüber hinaus gilt, dass die Einzelwerte, gemäß der nachfolgenden Erläuterung also die Mittelwerte aus je einer Prüfsérie, den oberen Grenzwert des 95%-Quantils um höchstens $0,01 \text{ kg/dm}^3$ über- und den unteren Grenzwert des 95%-Quantils um nicht mehr als $0,05 \text{ kg/dm}^3$ unterschreiten dürfen. Nach DIN EN 678 ist die Rohdichte auf 5 kg/m^3 genau anzugeben. Mithin lässt sich der Abstand zwischen oberem und unterem Grenzwert des 95%-Quantils einer Rohdichteklasse zu $0,045 \text{ kg/dm}^3$ quantifizieren. Der Abstand zwischen kleinstem und größtem Einzelwert der Rohdichten einer Rohdichteklasse errechnet sich aufgrund der obigen Angaben zu $0,05 + 0,045 + 0,01 = 0,105 \text{ kg/dm}^3$; bei einer gut ausgewogenen Produktion liegt er im Bereich von $0,05 \text{ kg/dm}^3$ bis $0,065 \text{ kg/dm}^3$.

Damit ergeben sich für die einzelnen Rohdichteklassen die in Tabelle 1.1 dargestellten Charakteristika der Gauß'schen-Normalverteilungskurven.

Auch hier kamen, was die zulässige Überschreitung des oberen Grenzwertes des 95%-Quantils der Rohdichte um höchstens $0,01 \text{ kg/dm}^3$ betrifft, sicherheitsrelevante Überlegungen zum Tragen, zumal die Porenbetonrohddichte Grundlage für die Festlegung der Rechenwerte der Eigenlast ist. Ohne einen solchen Maximalwert der Rohdichte wäre es durchaus möglich, dass trotz der Erfüllung der an den oberen Grenzwert des 95%-Quantils der Grundgesamtheit gestellten Anforderung bei der Porenbetonrohddichte Prüferte anfallen, die deutlich über eben diesem Anforderungswert liegen und die damit ein – wenn auch als geringfügig zu bewertendes – Sicherheitsrisiko beinhalten würden.

Abb. 1.5 zeigt einige Beispiele zu Einstufung von Prüferten in eine Rohdichteklasse. Die darin über die Gauß'schen Normalverteilungskurven dargestellten Grundgesamtheiten erfüllen alle die an ein und dieselbe Rohdichteklasse gestellten Anforderungen, da sowohl der Kleinst- als auch der Größtwert sowie das 95 %-Quantil der Rohdichte innerhalb der zulässigen Grenzen liegt.

Im Rahmen der Eigen- und der Fremdüberwachung geht man bei der Prüfung der Trockenrohddichte des Porenbetons ebenfalls von einer definierten Prüfsérie aus. Nach DIN EN 678: Bestimmung der Trockenrohddichte von dampfgehärtetem Porenbeton besteht eine Prüfsérie aus mindestens drei Würfeln, wobei jeweils einer aus dem oberen, dem mittleren und dem unteren Bereich über die Treibhöhe aus einem Bauteil nach dem in Abb. 1.3 angegebenen Schema zu entnehmen ist. Auch hier ist das zu bewertende Prüfergebnis grundsätzlich der Mittelwert der Trockenrohddichten dieser mindestens drei Einzelwürfel, also der Mittelwert je einer Prüfsérie. Dieser Mittelwert einer Prüfsérie wird also auch hier bei der statistischen Bewertung der Prüfergebnisse der Grundgesamtheit als Einzelwert behandelt.

Rohdichteklasse	kleinster Einzelwert kg/dm^3	Trockenrohddichte ¹⁾		größerer Einzelwert kg/dm^3	Zugeordnete Druckfestigkeitsklassen
		Grenzen des 95 %-Quantils			
		unterer Grenzwert kg/dm^3	oberer Grenzwert kg/dm^3		
0,40	0,305	0,355	0,40	0,410	2,2
0,45	0,355	0,405	0,45	0,460	2,2 oder 3,3
0,50	0,405	0,455	0,50	0,510	2,2 oder 3,3
0,55	0,455	0,505	0,55	0,560	3,3 oder 4,4
0,60	0,505	0,555	0,60	0,610	3,3 oder 4,4
0,65	0,555	0,605	0,65	0,660	4,4
0,70	0,605	0,655	0,70	0,710	4,4
0,75	0,655	0,705	0,75	0,760	4,4
0,80	0,705	0,755	0,80	0,810	4,4

¹⁾ Mittelwert der Trockenrohddichten einer Prüfsérie

Tabelle 1.1: Charakteristika zur Einstufung von Grundgesamtheiten in die einzelnen Rohdichteklassen

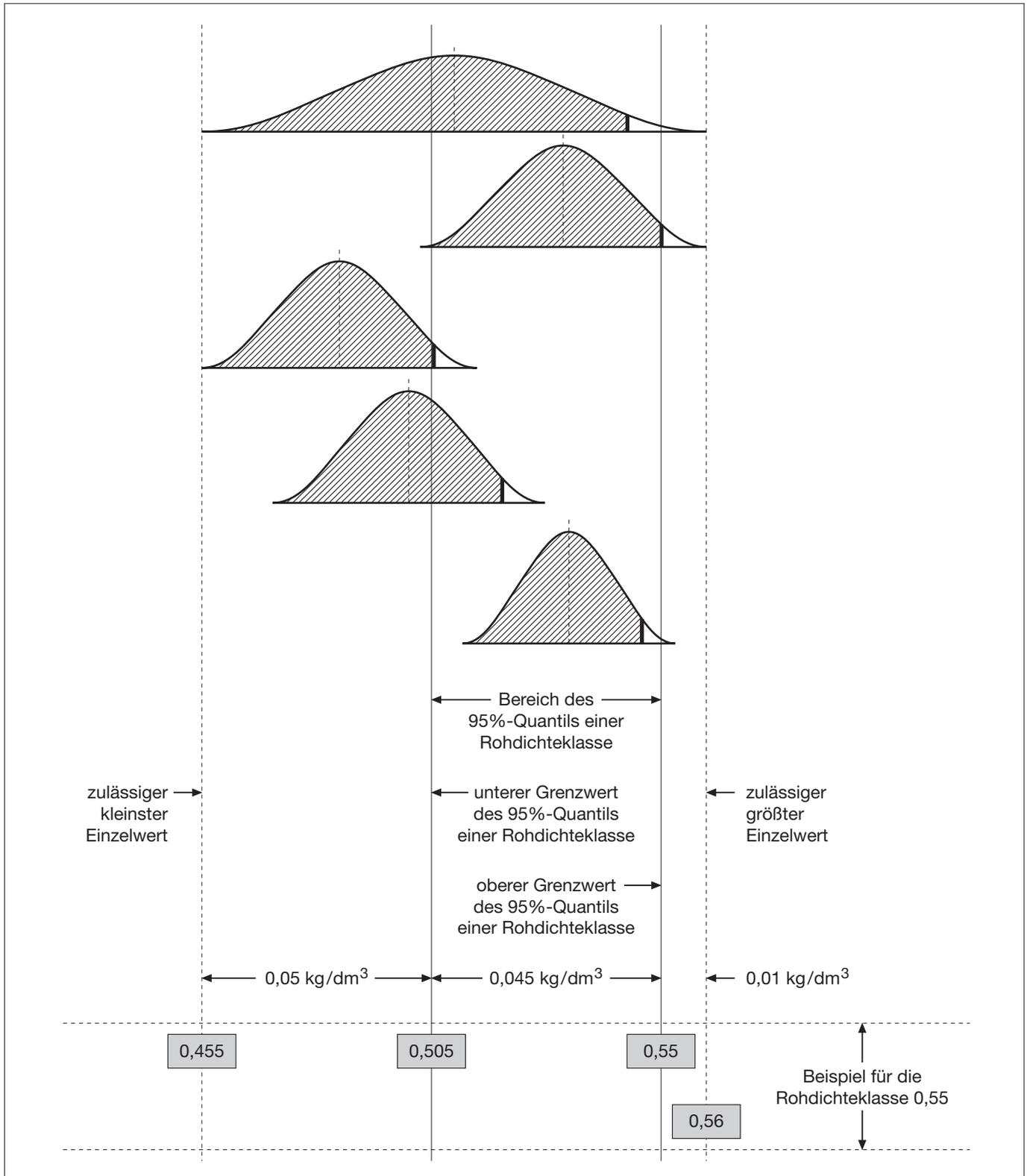


Abb. 1.5: Beispiele für die mögliche statistische Verteilung der Rohdichte und deren Grenzwerte

Abweichend von DIN EN 678: Bestimmung der Trockenrohddichte von dampfgehärtetem Porenbeton wird die Trockenrohddichte in der täglichen Praxis, also bei der kontinuierlichen Eigenüberwachung, an aus den Bauteilen entnommenen Prismen mit den Querschnittsabmessungen von 40 x 40 mm und einer der Bauteilbreite und damit der Treibhöhe entspre-

chenden Länge bestimmt. Die so ermittelte Trockenrohddichte entspricht dem Mittelwert von drei über die Treibhöhe entnommenen Prüfkörpern.

Alternativ kann die Trockenrohddichte auch an den bei der Druckfestigkeitsprüfung verwendeten Probekörpern bestimmt

werden, da diese Probekörper relativ schnell auf Massekonstanz herunter getrocknet werden können. Darüber hinaus kann, wie bei der Prüfung der Druckfestigkeit auch, die Rohdichte an so genannten Blindstücken ermittelt werden.

Auf eine Regelung zur Bewertung von Prüfergebnissen für den Fall, dass deren Anzahl für eine sichere statistische Beurteilung zu gering ist, wurde verzichtet. Für die Bewertung der Prüfergebnisse bei einer für eine sichere statistische Beurteilung zu geringen Anzahl von Prüfergebnissen gilt hier grundsätzlich, dass die Einzelwerte, also die Mittelwerte aus je einer Prüfserie, den oberen Grenzwert des 95 %-Quantils um höchstens 0,01 kg/dm³ über- und den unteren Grenzwert des 95 %-Quantils um höchstens 0,05 kg/dm³ unterschreiten dürfen. Entsprechend der obigen Abb. 1.5 müssen z.B. alle Einzelwerte der Rohdichte für die Rohdichteklasse 0,55 im Bereich von 0,455 kg/dm³ und 0,56 kg/dm³ liegen.

Bei der Nachprüfung der Rohdichte wird man sich in der Regel auf einige wenige Prüfungen beschränken können. Im Übrigen kann man auch auf die bei der Nachprüfung der Druckfestigkeit verwendeten Prüfkörper zurückgreifen. Bei der Beurteilung einzelner Prüfergebnisse geht man auch hier von der Prüfserie aus, also vom Mittelwert der Rohdichten von mindestens drei Einzelwürfeln.

Für die Prüfung der Rohdichte des Porenbetons an bereits ausgelieferten, aber nicht austauschbaren oder bereits verbauten Bauteilen können auch Bohrzylinder gemäß Abb. 1.4 verwendet werden.

Zu Abschnitt 4.1.4.3: Bauteile mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung

Da die Druckfestigkeitsklassen für Bauteile mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung an der DIN 4165:1996-11 orientiert sind, wurde analog bei der Klassifizierung des Porenbetons hinsichtlich der Rohdichte auf diese Norm zurückgegriffen. Einer besonderen Regelung für den Fall einer für eine statistische Bewertung nicht ausreichenden Prüfkörperanzahl bedurfte es auch hier nicht. Grundsätzlich müssen hier lediglich die Anforderungen an den kleinsten und größten Einzelwert der Rohdichte erfüllt werden. Für die Durchführung der Prüfung gilt das oben Gesagte.

Zu Abschnitt 4.1.6: Rechenwerte für Baustoffkenngrößen

Im Gegensatz zur DIN 4223:1958 enthält die Neufassung zu dieser Norm in Teil 1 nunmehr auch weitere Rechenwerte für Baustoffkenngrößen. Neben den Rechenwerten der Eigenlasten und einem Rechenwert für den Elastizitätsmodul wurden auch die für die Endkriechzahl, die Wärmedehnzahl, die Dampfdiffusionswiderstandszahl und die Querdehnzahl mit aufgenommen.

Nach den im Zuge der Erarbeitung der europäischen Norm für bewehrte Porenbetonbauteile sowohl in den Niederlanden als auch in Deutschland durchgeführten Untersuchungen lässt sich der nach unten hin gut abgesicherte Rechenwert für den Elastizitätsmodul des Porenbetons mit dem Rechenansatz

$$E_{cm} = 5 \cdot (\rho \cdot 10^3 - 150)$$

beschreiben. Hierbei ist

E_{cm} Rechenwert für den Elastizitätsmodul des Porenbetons in MPa

ρ Rohdichteklasse des Porenbetons in kg/dm³

Zu Abschnitt 4.2.1: Betonstahl

Wie bereits weiter oben erwähnt, dürfen neben Betonstahl (Stahlsorte BSt 500 G nach DIN 488:1986) und Rundstahl nach DIN EN 10025:1990 (Stahlsorte S235 JRG 2) auch allgemein bauaufsichtlich zugelassene nicht rostende Stähle (Edelstähle z. B. der Legierung 1.4003) zum Einsatz kommen.

Die Durchmesser der Betonstähle wurden wie bisher auf den Bereich von vier bis zwölf Millimeter beschränkt. Nicht explizit erwähnt wird in der DIN 4223, dass auch von DIN 488 abweichende Betonstabstahldurchmesser dann verwendet werden dürfen, wenn die Betonstähle durch werkseitiges Kaltvergüten hergestellt werden. Bei den hier verwendeten Verfahrensweisen werden z.B. Betonstähle, die eine geringere Streckgrenze, aber deutlich höherer Bruchdehnung aufweisen, durch nachträgliches Ziehen, also Kaltvergüten, zu Betonstahl der Stahlsorte BSt 500 G verarbeitet.

Die charakteristische Schweißpunktfestigkeit, die charakteristische Zugfestigkeit, die charakteristische Streckgrenze und die charakteristische Bruchdehnung des Betonstahles sind, wie bereits gesagt, wie bisher als 5 %-Quantil der Grundgesamtheit definiert. Wie bei der Druckfestigkeit ist auch hier ein Mindestwert der Schweißpunktfestigkeit (Bruchscherkraft), der mindestens 95% des 5 %-Quantils betragen muss, festgelegt.

Die Nachprüfung der Schweißpunktfestigkeit außerhalb der regulären Eigenüberwachung wird hier eher die Ausnahme sein. Trotzdem wurde ein Verfahren zur Bewertung einzelner Prüfergebnisse festgelegt für den Fall, dass die Anzahl der zu bewertenden Prüfergebnisse für eine sichere statistische Beurteilung nicht ausreichend ist. Danach muss der Einzelwert der Bruchscherkraft das 5 %-Quantil und der Mittelwert aus mindestens drei Prüfungen die 1,03-fache charakteristische Schweißpunktfestigkeit erreichen.

Bei der Nachprüfung der Zugfestigkeit, der Streckgrenze und der Bruchdehnung ist ebenso zu verfahren.

Nach DIN 488-5:1986 dürfen die Betonstahlproben vor der Prüfung eine halbe Stunde lang bei einer Temperatur von 250 °C angelassen werden. Hierdurch können sich die Betonstahleigenschaften geringfügig ändern. Einen ähnlichen Effekt hat der Autoklavierungsprozess. Aus diesem Grunde werden die zu prüfenden Bewehrungsmatten bzw. -körbe, sofern man keine Vorstellungen von der Größenordnung der Veränderung der technischen Eigenschaften hat, vor der Prüfung dem Autoklavierungsprozess unterworfen. Alternativ können die Betonstahlproben auch aus bereits autoklavierten Bauteilen entnommen werden.

Zu Abschnitt 5: Bauteile, Maße, Grenzabmaße und Kurzzeichen für die Bauteilart

In Abschnitt 5 wurden die bislang in den einzelnen Zulassungsbescheiden für Porenbeton-Dachplatten, -Deckenplatten und -Wandplatten, -Wandtafeln und -Stürze geregelten Maße und Grenzabmaße zusammengefasst. Zusätzlich aufgenommen wurden hier Regelungen für Porenbeton-Sonderbauteile. Zu diesen Sonderbauteilen zählen z.B. Treppenstufen, Podestplatten und Treppenläufe sowie Brüstungsplatten.

Mit zu regeln in DIN 4223-1 waren Anforderungen, die hinsichtlich der Ebenheit und der Rechtwinkligkeit an die Bauteile dann zu stellen sind, wenn diese mittels Dünnbettmörtel oder anderem hierfür zugelassenen Mörtel zu Scheibentragwerken zu verbinden sind. Diese Bauteile müssen aufgrund der gestellten Anforderungen an die Maße und die Grenzabmaße sowie die Rechtwinkligkeit in der Regel werkseitig nachbearbeitet werden. Ergänzend hierzu waren auch, da entsprechende genormte Regelungen bislang fehlen, die hierbei anzuwendenden Prüfverfahren sowie der Prüfumfang für die werkseitige Produktionskontrolle und die Fremdüberwachung festzulegen. Die Häufigkeit der Prüfungen ist dabei an den für die Abmessungen geltenden Regelungen orientiert.

Zu Abschnitt 6.1: Umweltbedingungen

Die Umgebungsbedingungen, in denen die werkmäßig hergestellten bewehrten Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton eingesetzt werden dürfen, sind an die DIN 1045-1:2001-07, Abschnitt 6.2 angelehnt.

Bei Umweltbedingungen nach Tabelle 3 dieser Norm dürfen die Bauteile bei den Expositionsclassen X0 und XC1 bis XC4 uneingeschränkt verwendet werden, da hier die Bewehrungskorrosion im Vordergrund steht und Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung ohnehin immer über einen entsprechenden, auf die Art des zu erwartenden Angriffs abgestimmten Korrosionsschutz verfügen. Bei Umweltbedingungen entsprechend den Expositionsclassen XD1 bis XD3, XS1 bis XS3, XF1 bis XF4, XA1 bis XA3 und XM1 bis XM3 dürfen die Bauteile nur dann verwendet werden, wenn sie durch geeignete und auf die Art des Angriffs abgestimmte Schutzmaßnahmen, die auch die Bauteilfugenbereiche abdecken müssen, geschützt sind. Insbesondere sollte sichergestellt werden, dass die Bauteile nicht durch Oberflächenverschleiß beeinträchtigt werden (z.B. Abrieb durch Befahren).

Nicht geregelt wurde in diesem Teil der DIN 4223 der Schutz von Bauteilen im Lager- und Bauzustand. Diesem Schutz, der damit in die Eigenverantwortung des Herstellers fällt, kommt allerdings eine besondere Bedeutung zu. Deshalb wird empfohlen, auf Lager liegende oder bereits verbaute Bauteile vor zu erwartenden Frostperioden durch hierfür geeignete Maßnahmen gegen das Eindringen von Oberflächenwasser zu schützen. Gefrorene oder durch Frost oder andere Einwirkungen beschädigte Bauteile dürfen, da sie in ihrer Tragfähigkeit beeinträchtigt sein können, nicht eingebaut werden. Der Einsatz von Salzen für das Abtauen gefrorener Bauteile ist nicht zulässig.

Zu Abschnitt 6.2: Korrosionsschutz der Bewehrung

Bei Bauteilen mit statisch anrechenbarer Bewehrung ist aus Gründen der Gewährleistung der Dauerhaftigkeit grundsätzlich dann, wenn die Bewehrung nicht aus allgemein bauaufsichtlich zugelassenem nicht rostendem Stahl (Edelstahl) besteht, ein Korrosionsschutz aufzubringen. Bei Verwendung von Edelstahl gelten die hierfür maßgebenden allgemeinen technischen Baubestimmungen.

Entsprechend DIN EN 990, Abschnitt 6.1.2, Absatz 2 gilt eine Prüfung als bestanden, wenn die Stahloberfläche frei von Korrosion ist oder wenn nur erste Anzeichen von Korrosion (kein Blätterrost oder keine Rostnarben) an vereinzelt Stellen sichtbar sind, die ungefähr gleichmäßig über die Stäbe verteilt sind und nicht mehr als 5 % der Oberfläche jedes einzelnen Stabes bedecken.

Bei statisch nicht anrechenbarer Bewehrung darf auf einen Korrosionsschutz dann verzichtet werden, wenn die Korrosion der Bewehrung zu keinen die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit der Bauteile negativ beeinflussenden Schäden führen kann. Hierzu wurden umfangreiche Untersuchungen an der FMPA Stuttgart durchgeführt. Fasst man das Ergebnis dieser Untersuchungen zusammen, so ergibt sich, dass die Bewehrungskorrosion den umgebenden Porenbeton dann nicht negativ beeinträchtigt, wenn die Überdeckung der Bewehrung zur Porenbetonoberfläche bei den Druckfestigkeitsclassen PP2 und PP4 mindestens 50 mm und bei den Druckfestigkeitsclassen PP6 und PP8 mindestens 70 mm beträgt. Bei Bauteilen mit Dicken ≥ 100 mm und mittig angeordneter Transportbewehrung, die für nicht tragende innere Trennwände bei Umweltbedingungen nach DIN 1045-1:2001-07, Expositionsclassenklasse X0, verwendet werden, darf auf einen Korrosionsschutz verzichtet werden.

Literaturverzeichnis

John, U.; Schober, G.: Beitrag zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Porenbeton. Bauingenieur 69 (1994), S. 43-46

Karl, S.: Grundlagenuntersuchungen zur Größe des Elastizitätsmoduls bei Porenbeton; Untersuchungsbericht vom 29.09.1998, Technische Universität Darmstadt, Institut für Massivbau

Daschner, F. und Zilch, K.: Kriechen von unbewehrtem Porenbeton. Dritter Beitrag in Heft 518 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton

Daschner, F. und Zilch, K.: Kriechen des Porenbetons im Bereich der zur Verankerung der Längsbewehrung dienenden Querstäbe und Tragfähigkeit der Verankerung. Vierter Beitrag in Heft 518 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton

ERLÄUTERUNGEN ZU DIN 4223-2:2003-12

Vorgefertigte bewehrte Bauteile
aus dampfgehärtetem Porenbeton

Teil 2

Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung –
Entwurf und Bemessung

DEUTSCHE NORM

Dezember 2003

	<p>Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton Teil 2: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung, Entwurf und Bemessung</p>	<p>DIN 4223-2</p>
<p>ICS 91.100.30</p> <p>Prefabricated reinforced components of autoclaved aerated concrete — Part 2: Design and calculation of structural components</p> <p>Éléments préfabriqués armés en béton cellulaire autoclavé — Partie 2: Construction et calcul des éléments de construction porteurs</p>		<p>Mit DIN 4223-1:2003-12 und DIN 4223-5:2003-12 Ersatz für DIN 4223:1958x-07</p>
<p>Inhalt</p>		
		Seite
Vorwort		4
1 Anwendungsbereich		5
2 Normative Verweisungen		5
3 Begriffe, Symbole, Einheiten und Abkürzungen		6
3.1 Begriffe		6
3.2 Symbole		7
3.2.1 Lateinische Buchstaben		7
3.2.2 Griechische Buchstaben		10
3.2.3 Indizes		11
3.3 Einheiten		11
3.4 Abkürzungen		11
4 Bautechnische Unterlagen		11
4.1 Umfang der bautechnischen Unterlagen		11
4.2 Statische Berechnungen		12
4.3 Zeichnungen		12
4.4 Baubeschreibung		12
5 Sicherheitskonzept		12
6 Anforderungen an die Dauerhaftigkeit		12

Fortsetzung Seite 2 bis 44

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Inhaltsverzeichnis

	Allgemeines	22
Zu Abschnitt 3:	Begriffe, Symbole, Einheiten und Abkürzungen	22
Zu Abschnitt 4:	Bautechnische Unterlagen	23
Zu Abschnitt 7:	Grundlagen der Schnittgrößenermittlung	24
Zu Abschnitt 8:	Verfahren zur Schnittgrößenermittlung	26
Zu Abschnitt 8.3:	Schlanke Bauteile mit Längsdruck	27
Zu Abschnitt 8.4:	Bemessung des kritischen Querschnitts für Druck und Biegung	29
Zu Abschnitt 8.5:	Vereinfachter Nachweis gegen seitliches Ausweichen	31
Zu Abschnitt 9:	Baustoffe	31
Zu Abschnitt 10:	Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit	31
Zu Abschnitt 10.3:	Querkraft	42
Zu Abschnitt 10.4:	Torsion von Balken	46
Zu Abschnitt 10.5:	Durchstanzen	48
Zu Abschnitt 10.6:	Teilflächenbelastung	49
Zu Abschnitt 11:	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	51
Zu Abschnitt 12:	Ausbildung der Bewehrung	53
	Quellenverzeichnis und Literatur	57

Allgemeines

DIN 4223-2:2003-12 ist der für den Entwurf, die Bemessung und die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit von Bauteilen aus dampfgehärtetem Porenbeton mit statisch anrechenbarer Bewehrung wesentliche Teil der Normenreihe DIN 4223. Dieser Teil der Norm ersetzt die DIN 4223:1958x [2], insbesondere das Verfahren für die Biegebemessung einschließlich der Längsstabverankerung.

Gegenüber DIN 4223:1958x [2] ist DIN 4223-2:2003-12 wesentlich weiter gefasst. Neben einem verbesserten Modell für die Biegebemessung, das auch eine Bemessung von auf Biegung mit Längskraft beanspruchten Bauteilen und in Grenzen die Anrechnung einer Druckbewehrung ermöglicht, sind in DIN 4223-2 weitere Bemessungsmodelle aufgenommen worden. Die wesentlichsten dieser Bemessungsmodelle sind

- das Modell zur Ermittlung der Schnittkräfte an schlanken Bauteilen mit Einwirkung von Längsdruckkräften (Stabilität knickgefährdeter Bauteile)
- das Modell zur Bemessung und zum Nachweis der Querkraftbewehrung
- das Modell zur Interaktion von Querkraft und Torsion
- das Modell zur Bemessung und zum Nachweis der Verankerung der Zugkräfte der Längsbewehrung
- die Modelle zum Nachweis der Tragfähigkeit der Bauteile unter konzentrierten Lasten

Gegenüber DIN 4223:1958x sind auch die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit verbessert und erweitert worden. Der Nachweis der elastischen Durchbiegung, der in DIN 4223:1958x auf einem Modell mit zu starken Vereinfachungen beruhte, wurde auf eine solide Basis gestellt und um den Nachweis der Durchbiegungen unter Langzeitbeanspruchung ergänzt. Zusätzlich wurde der Nachweis der Rissbreitenbeschränkung und die Begrenzung der Porenbetondruckspannungen und der Stahlspannungen für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit in die Norm aufgenommen.

Alle Berechnungs- und Nachweismodelle in DIN 4223-2:2003-12 beinhalten das Sicherheitskonzept der Anwendung von Teilsicherheitsbeiwerten nach DIN 4223-5 [7] bzw. nach DIN 1055-100:2001-03 [10]. Darüber hinaus stimmt DIN 4223-2 inhaltlich zu großen Teilen mit der aktuellen europäischen Normung überein (prEN 12 602 [11], Annex A).

**Zu Abschnitt 3:
Begriffe, Symbole, Einheiten und Abkürzungen**

Abschnitt 3 der DIN 4223-2 regelt die verwendeten Begriffe, Formelzeichen und Abkürzungen. Die in Absatz 3.1. erläuterten Begriffe orientieren sich an DIN 1045 [1] und sind im Wesentlichen selbsterklärend.

Eine wichtige Abweichung zu DIN 1045 findet sich in der Definition von Balken, Platten und zusammengesetzten Platten. Durch die hier gegebenen Definitionen wird der Bauart mit Porenbetonbauteilen Rechnung getragen, bei der flächige Bauteile durch Aneinanderfügen von nebeneinanderliegenden Einzelplatten eine „zusammengesetzte Platte“ bilden.

Balken

Im Sinne der Elastizitätstheorie sind Balken stabförmige Bauteile, bei denen außer in Bereichen konzentrierter Lastenleitung Normalspannungen senkrecht zur Bauteilachse vernachlässigbar sind. Die Dehnungen in Richtung der Bauteilachse können somit unter Annahme des ebenen Spannungszustandes ermittelt werden. Dies ist der Fall, wenn die Bauteilbreite kleiner als die zweifache Bauteilhöhe ist ($b < 2 \cdot h$). Ist die Bauteilbreite größer als die zweifache Bauteildicke, können die durch Querdehnung hervorgerufenen Spannungen einen nicht mehr vernachlässigbaren Einfluss haben. Im Stahlbetonbau werden diese Spannungen bei Balken durch geschlossene Bügel, bei Platten durch die Mindestquerbewehrung abgedeckt. Als Grenzverhältnis von Querschnittsbreite zu Querschnittshöhe zur Abgrenzung von Balken und Platten legt DIN 1045 daher $b / d = 4$ fest. Da Porenbetonbalken in der Regel keine geschlossenen Bügel besitzen, wird die Abgrenzung von Balken zu Platten hier bei einem kleineren Verhältnis von Bauteilbreite zu Bauteilhöhe vorgenommen. Für Porenbetonbauteile beträgt das Grenzverhältnis gemäß DIN 4223 $b / h = 2$.

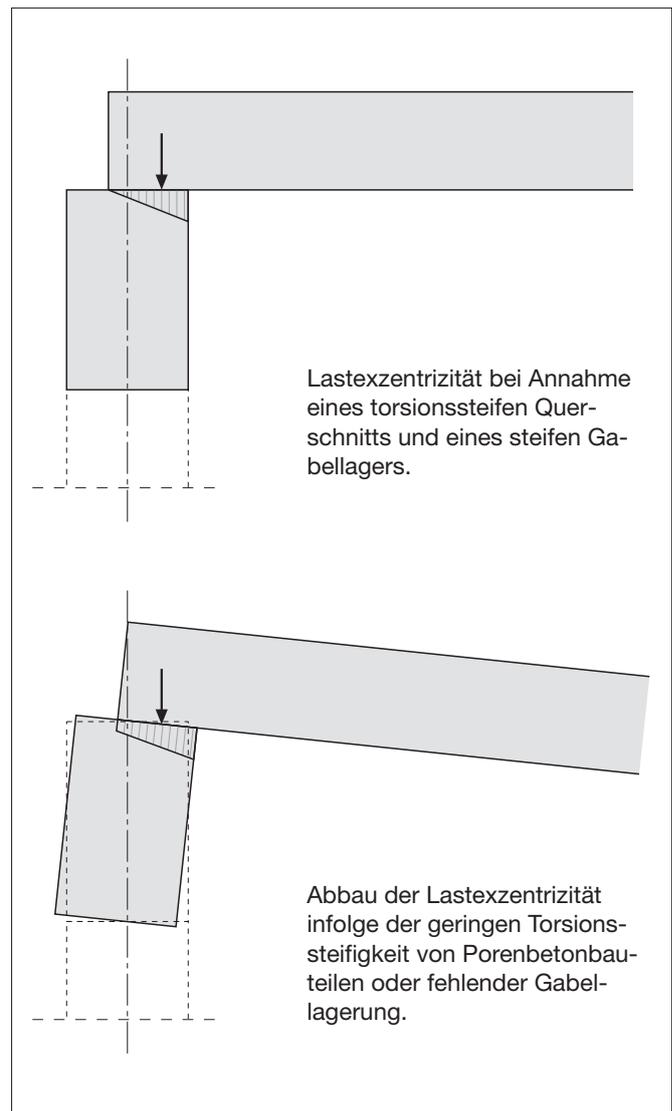


Abb. 2.1: Außerzentrierte Belastung von Porenbetonbalken

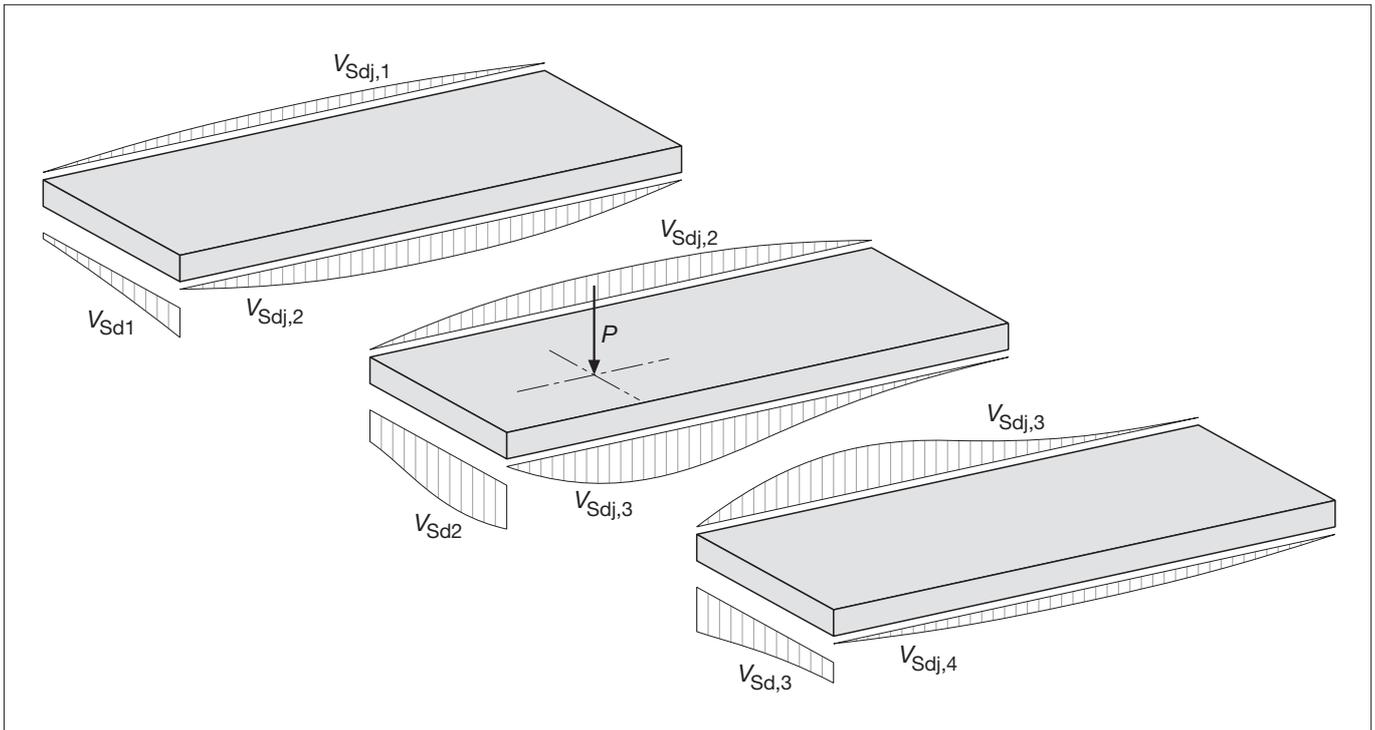


Abb. 2.2: Lastzentrierung durch Randlasten (Querkräfte in den Fugen und Auflagerkräfte)

Bei Balken ist immer auch die Möglichkeit einer planmäßigen oder außerplanmäßigen ausmittigen Belastung zu beachten. Das ist z. B. der Fall bei Balken (Abb. 2.1), die durch Endauflager von Dach- oder Deckenplatten belastet werden (Verträglichkeitstorsion). Daher kann bei Balken eine Bemessung für Torsionsbeanspruchung erforderlich werden, insbesondere wenn diese zur Herstellung des Gleichgewichts erforderlich ist (Gleichgewichtstorsion).

Zusammengesetzte Platte

Können bei mehreren nebeneinander angeordneten Porenbetonbalken oder -platten Schubkräfte über die Fugen zwischen den Bauteilen übertragen werden, werden hierdurch Lastexzentrizitäten einer einzelnen Platte durch in der Fuge wirkende Kräfte aufgenommen und „zentriert“ (siehe Abb. 2.2). Die Einzelbauteile wirken zusammen als ein gesamtes Flächen-tragwerk. Dies rechtfertigt die Annahme gleichmäßig verteilter Flächenlasten für die Berechnung.

Damit beteiligen sich benachbarte Platten an der Lastabtragung von durch Einzellasten oder durch Linienlasten belasteten Platten (Abb. 2.3). Von einer gesicherten Querkraftübertragung kann ausgegangen werden, wenn die Bauteilfugen z. B. nach DIN 4223-4 [6], Abschnitt 6.1 ausgebildet sind. In DIN 4223-4 werden auch Angaben zur Querkraftübertragung und Lastverteilung bei Einwirkung von Einzel- oder Linienlasten auf Platten angegeben.

Dieses System aus nebeneinanderliegenden Platten wird „zusammengesetzte Platte“ genannt. Damit sich das Tragsystem „zusammengesetzte Platte“ einstellen kann, ist die Ausbildung eines Druckbogens erforderlich. Das zugehörige Zugkraftsystem wird durch Querbiegung der einzelnen Platten und durch den umlaufenden Ringanker hergestellt.

Zu Abschnitt 4: Bautechnische Unterlagen

Die Bautechnischen Unterlagen müssen alle Informationen für die Bauausführung enthalten und eine Prüfbarkeit der Berechnungen und der Planung sicherstellen. In DIN 4223-2, Abschnitt 4 werden daher die Mindestanforderungen an die bautechnischen Unterlagen und an deren Inhalt geregelt. Zu den bautechnischen Unterlagen gehören insbesondere:

- der Standsicherheitsnachweis (statische Berechnung, Tragfähigkeitsnachweise, Gebrauchstauglichkeitsnachweise)
- Zeichnungen (Verlegepläne, Montagepläne, Bewehrungszeichnungen)
- die Baubeschreibung (Montageanweisungen, ggf. erforderliche Zwischenstützungen)

Bei den Anforderungen an die Zeichnungen wird berücksichtigt, dass Bauteile aus Porenbeton werkmäßig hergestellt und dann an der Baustelle zusammengefügt werden. Daher werden für diese insbesondere Positions- und Stücklisten sowie Verlegepläne mit Montageanweisungen gefordert. Wegen der häufig vorkommenden großen Vielzahl von Standardbauteilen, die zu einem Tragwerk zusammengefügt werden, kann auf eine detaillierte Darstellung der Bewehrung für jedes Element verzichtet werden. Für diesen Fall wird eine schematische Darstellung der Bewehrung (z. B. in Form einer systematisierten Zahlenreihung) gefordert. Aus dieser Darstellung muss jedoch der Querschnitt und die Anordnung der Bewehrung eindeutig erkennbar und dem Standsicherheitsnachweis zuzuordnen sein.

Nachfolgend ist als Beispiel einer schematischen Darstellung die Bewehrungsangabe für eine Deckenplattenposition aufgeführt:

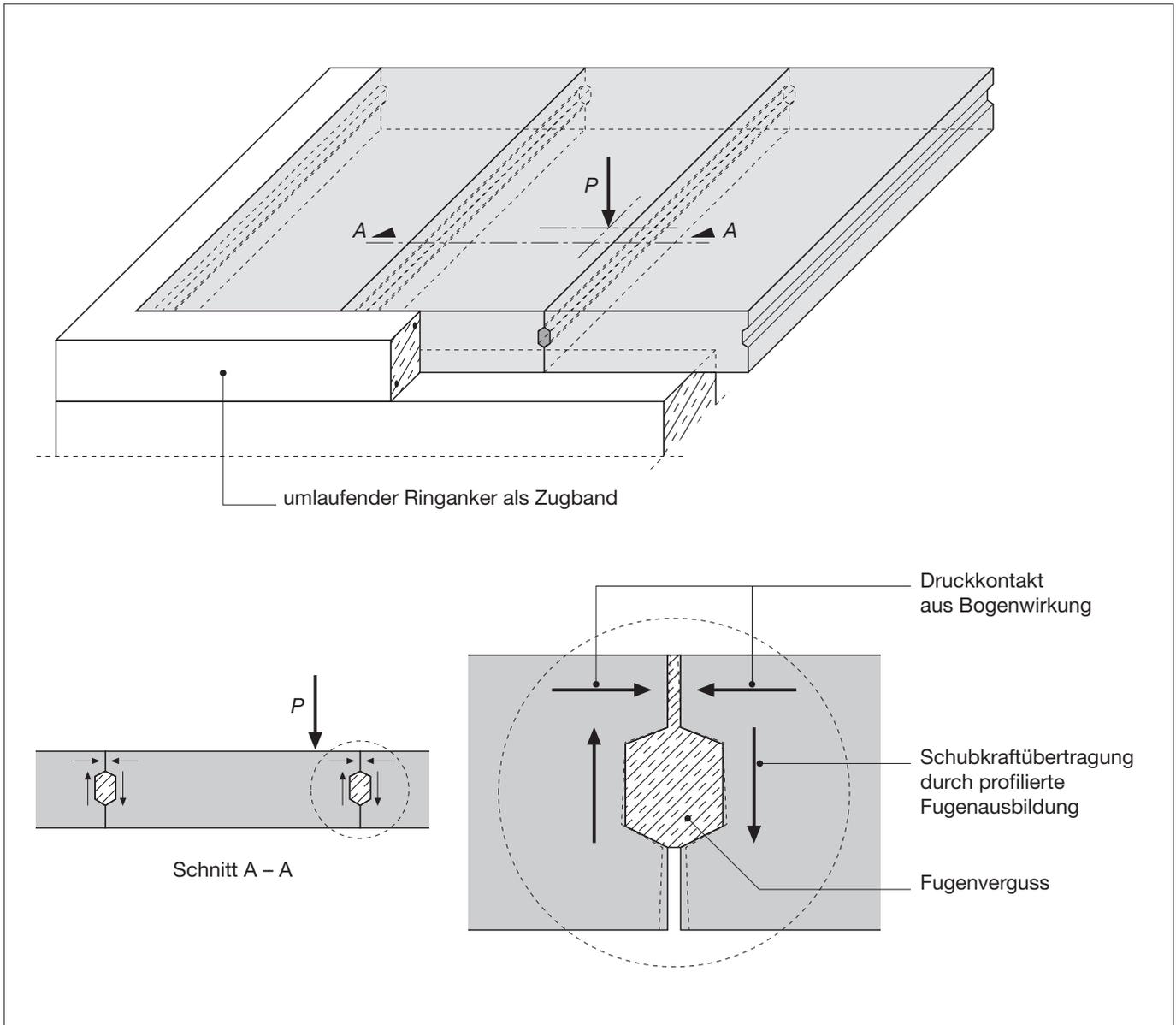


Abb. 2.3: Querverteilung von Lasten in einer zusammengesetzten Platte

R-Korb (unsymmetrisch)

3Ø 5.2/1000100001/(13+3) Ø5.2/15/115/215/715/815/915/1015/1215/1715/2215/2715/3115/3255/3755/3855/3955

10Ø 5.2/1111111111

11.558 kg

Diese Bewehrungsangabe folgt dabei dem Muster:

- a) Typ und Form der Bewehrung (z. B. Korb- oder Zwei-Matten-Bewehrung);
- b) Anzahl und Durchmesser der oberen Längsbewehrung sowie deren Anordnung in einem herstellereigenen Raster (Schweißbahnbelegung), gefolgt von
- c) Anzahl und Durchmesser der oberen Querbewehrungsstäbe sowie deren Abstände jeweils vom linken Ende der

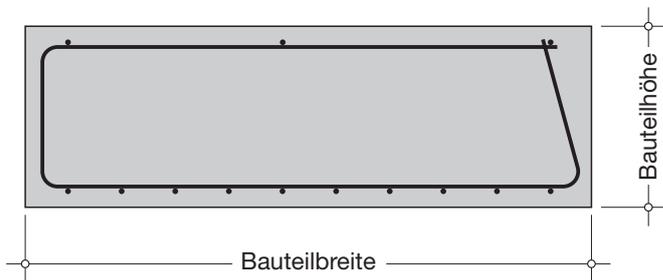
- Längsbewehrung an gemessen;
- d) Anzahl und Durchmesser der unteren Längsbewehrung sowie deren Anordnung im Raster; bei unterschiedlicher oberer und unterer Bewehrung folgt auch hier die Anzahl und der Durchmesser der unteren Querbewehrungsstäbe sowie deren jeweilige Abstände bezogen auf das linke Ende der Längsbewehrung;
- e) Gesamtgewicht der eingebauten Bewehrung

Zur Verdeutlichung ist das oben aufgeführte Beispiel in Abb. 2.4 grafisch dargestellt.

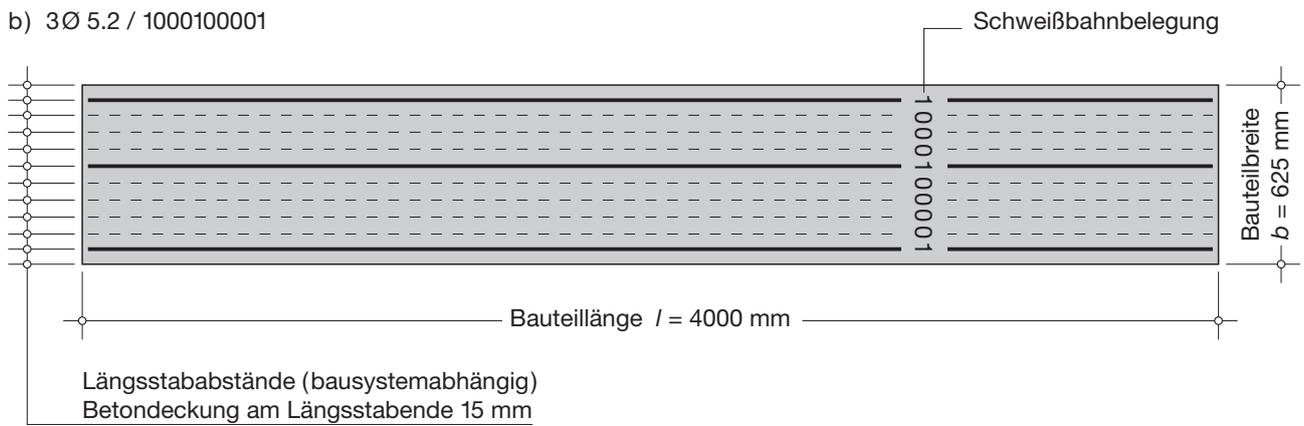
**Zu Abschnitt 7:
Grundlagen der Schnittgrößenermittlung**

Im Abschnitt „Grundlagen der Schnittgrößenermittlung“ werden die grundlegenden Prinzipien zusammengefasst, die bei der Schnittkraftermittlung zu beachten sind.

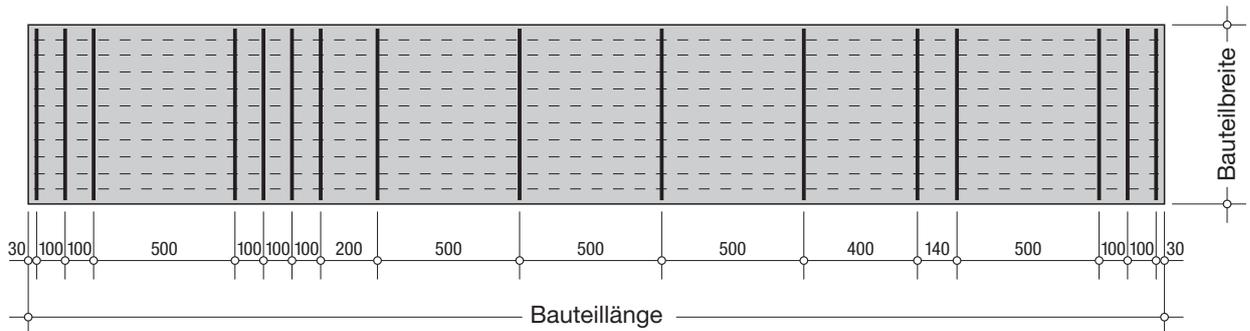
a) R-Korb (unsymmetrisch)



b) 3Ø 5.2 / 1000100001



c) (13 + 13)Ø 5.2/15/115/215/715/815/915/1015/1215/1715/2215/2715/3115/3255/3755/3855/3955



d) 10Ø 5.2 / 1111111111

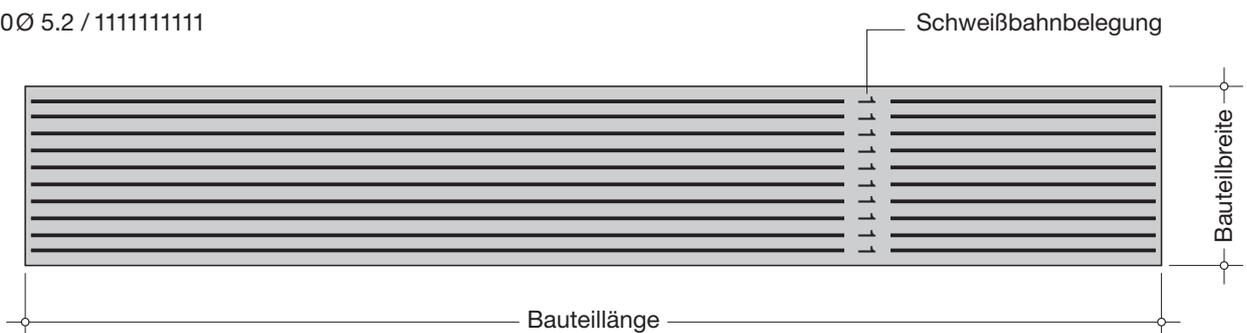


Abb. 2.4: Erläuterungen zum Beispiel einer schematischen Bewehrungsangabe

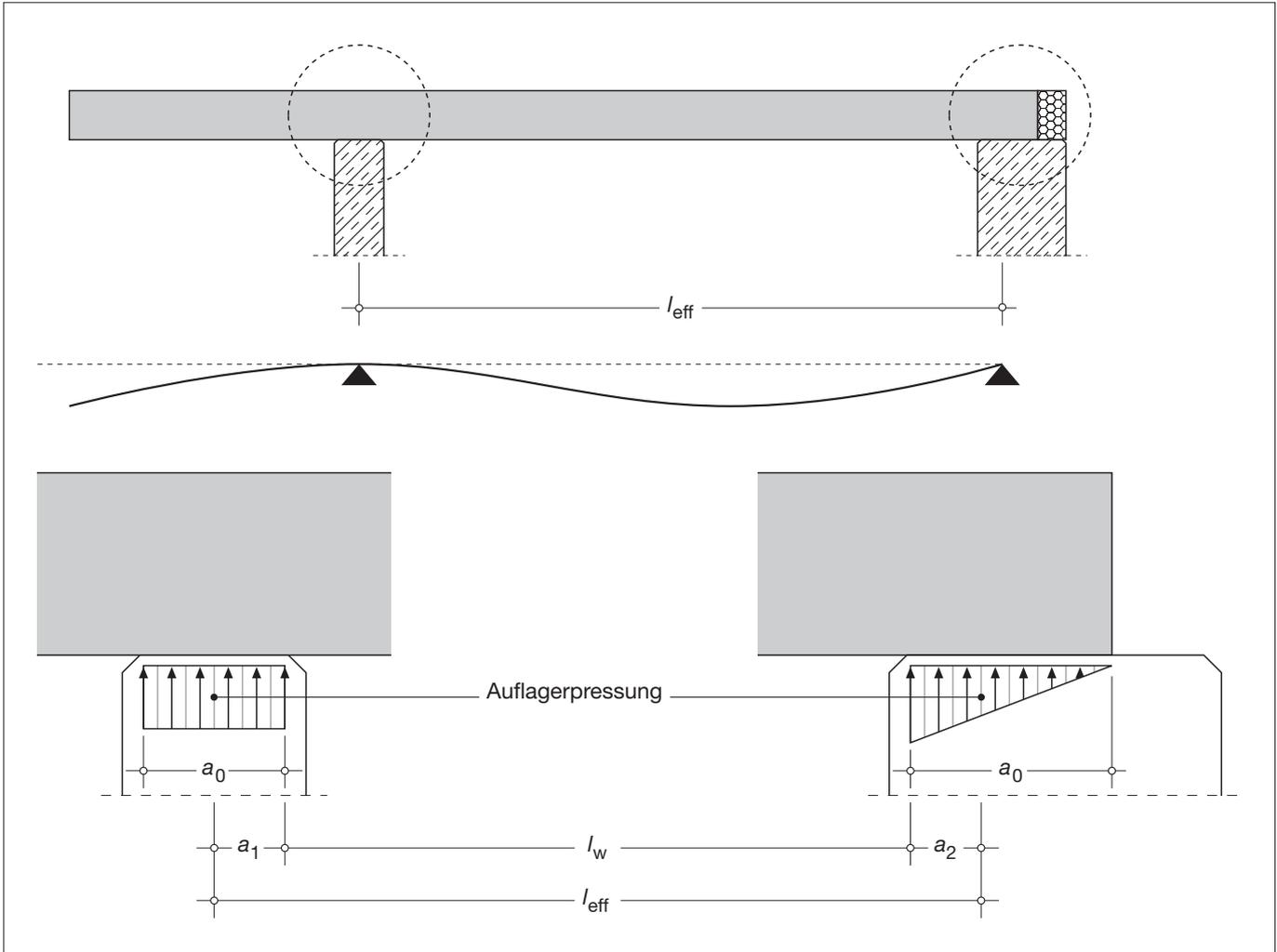


Abb. 2.5: Wirksame Stützweite und Auflagerlängen

Diese sind:

- Sicherstellung eines Gleichgewichtszustandes,
- Beachtung der Verträglichkeit der Verformungen,
- Sicherstellung der Verformungsfähigkeit, wenn diese zum Erreichen des Gleichgewichtszustandes erforderlich ist,
- Beachtung von möglichen Schnittkrafteerhöhungen durch Verformung (Theorie II. Ordnung),
- Beachtung von zeitabhängigen Verformungen durch Kriechen und Schwinden, sowohl für den Nachweis der Tragfähigkeit als auch für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit. Dies gilt insbesondere für Nachweise nach Theorie II. Ordnung und bei der Berücksichtigung von Zwangsschnittgrößen,
- Berücksichtigung von Imperfektionen. Diese schließen Ungenauigkeiten sowohl bei der Herstellung als auch bei der Montage ein.

Für die rechnerischen Querschnittsabmessungen der Bauteile sind die Nennmaße anzuwenden. Die sich aus den in DIN 4223-1 definierten Grenzabmaßen ergebenden möglichen Abweichungen sind durch das Sicherheitskonzept nach DIN 4223-5:2003-12 [7] abgedeckt. Angaben zur Berücksichtigung von Querschnittsschwächungen durch Schlitze, Aussparungen und Nuten sind im Abschnitt 12.5 der Norm enthalten.

Bei der Ermittlung der wirksamen Stützweite l_{eff} eines Bauteils nach DIN 4223-2, 7.4.2, Gleichung (1) sind die Mindestauflagertiefen nach Abschnitt 12.6 zu beachten. Für die Auflagerpressungen kann eine lineare Verteilung z.B. eine dreiecksförmige Verteilung der Auflagerpressungen an den Endauflagern und eine gleichmäßige Verteilung der Pressungen an Auflagern vor Auskragungen (Abb. 2.5) angenommen werden. Auflagernahe Lasten, Lasten unmittelbar über dem Auflager oder „weiche“ Auflager mit elastischer Zwischenlage können jedoch zu anderen Verteilungen der Auflagerpressungen führen.

Bei der Festlegung der Auflagerlängen an Endauflagern von Biegebauteilen ist zu beachten, dass große Auflagerlängen aufgrund der Endtangentialverdrehungen nicht zwangsläufig zu einer Verringerung der Auflagerpressungen führen. Die daraus folgenden Abplatzungen und Rissbildungen im Auflagerbereich von Biegebauteilen werden häufig unterschätzt.

Zu Abschnitt 8: Verfahren zur Schnittgrößenermittlung

Porenbetonbauteile werden als Montagebauteile planmäßig statisch bestimmt gelagert. Somit sind die Schnittgrößen ohne

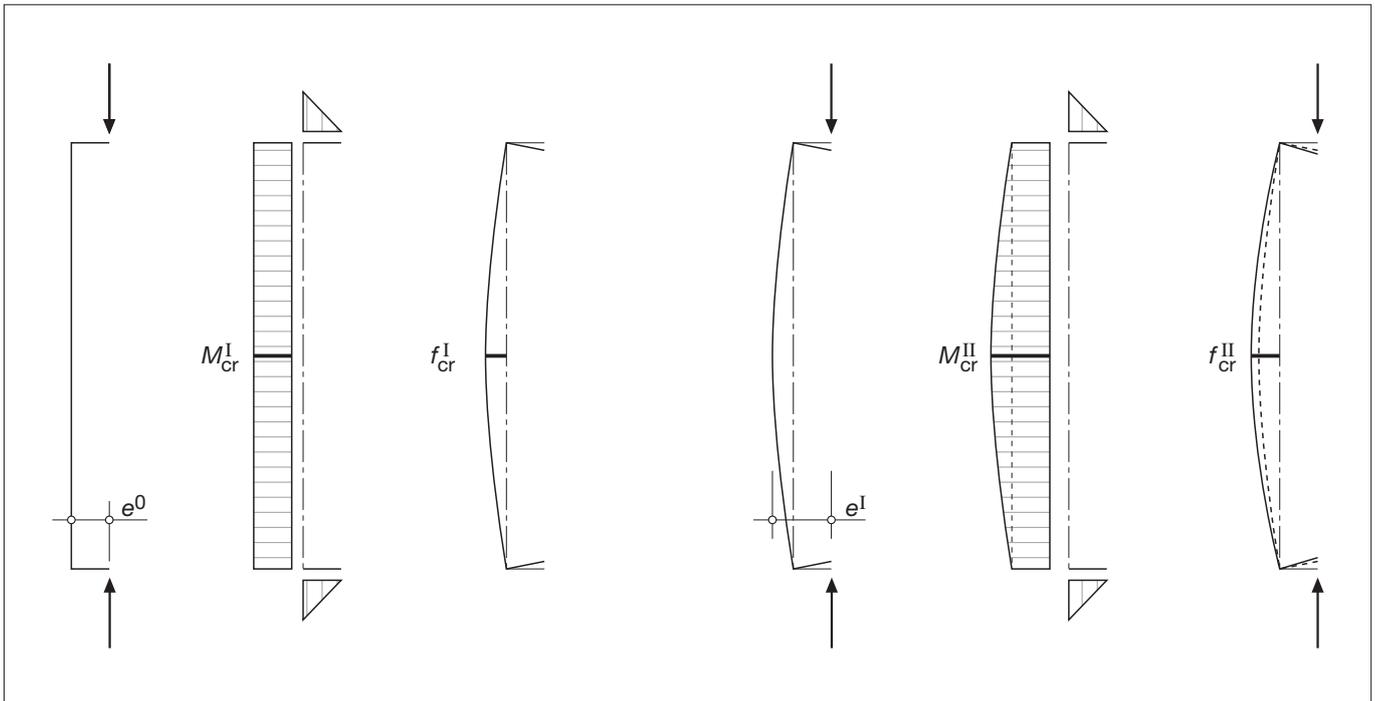


Abb. 2.6: Schnittkräfte am unverformten und am verformten System

Berücksichtigung der Materialeigenschaften (mit Ausnahme des Berechnungsgewichtes) ermittelbar. Erst bei der Berechnung des Tragwiderstandes fließen die Materialkennwerte ein.

Nur bei der Untersuchung der Tragfähigkeit von Bauteilen mit normalkraftbeanspruchten Querschnitten nach Theorie II. Ordnung, wenn die Verformungen die Größe der Schnittkräfte beeinflussen, sind die Materialeigenschaften (zur Berechnung der Verformungen) zu berücksichtigen. Hier führt die Annahme von linear-elastischem Materialverhalten ohne Berücksichtigung des Steifigkeitsverlustes im Zustand II durch Rissbildung zu einer Unterschätzung der Schnittgrößen. Durch die größeren Verformungen infolge des Steifigkeitsabfalls erhöhen sich die Bemessungsmomente aus der Gleichgewichtsbetrachtung an der verformten Struktur.

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind die Schnittkräfte immer unter Annahme von linear-elastischen Werkstoffeigenschaften zu ermitteln. Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit nach DIN 4223-2 Abschnitt 11 sind die Porenbetondruckspannungen auf $0,45 \cdot f_{ck}$ und die Stahlzugspannungen auf $0,8 \cdot f_{yk}$ begrenzt, um ein Anwachsen inelastischer Verformungen auf Gebrauchslastniveau auszuschließen.

Zu Abschnitt 8.3: Schlanke Bauteile mit Längsdruck

Die Regelungen zur Schnittkraftermittlung für schlanke Bauteile mit Längsdruck orientieren sich im wesentlichen an DIN 1045-1 bzw. am Eurocode 2. Abweichend von DIN 1045-1 wird lediglich die Schlankheit auf

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \leq 100 \quad (2.1)$$

begrenzt. Dabei ist

l_0 die wirksame Länge;
 i der Trägheitsradius.

Das entspricht für Rechteckquerschnitte einem Verhältnis von wirksamer Länge l_0 zur Gesamthöhe des Querschnitts h_t von

$$\frac{l_0}{h_t} = 28,9$$

Für schlanke Bauteile mit Längsdruck ist ein Stabilitätsnachweis zu führen. Dabei sind verformungsbedingte Tragfähigkeitsminderungen eines Bauteils zu berücksichtigen, sofern die Bauteiltragfähigkeit um mehr als 10% gegenüber der Querschnitttragfähigkeit verringert wird. Dies ist näherungsweise dann der Fall, wenn die sich infolge der Verformung nach Theorie I. Ordnung ergebenden Zusatzmomente Theorie II. Ordnung größer werden als 10% der Momente nach Theorie I. Ordnung. Abb. 2.6 stellt diesen Zusammenhang an einem einfachen Beispiel dar.

Am unverformten System ist das Biegemoment an der kritischen Stelle nach Theorie I. Ordnung M_{Cr}^I linear abhängig von der Ausmitte e^0 und bewirkt die Verformung f_{Cr}^I . Nach Theorie II. Ordnung wird bei der Ermittlung des Biegemomentes M_{Cr}^{II} die Ausmitte $e^I = e^0 + f_{Cr}^I$ des verformten Systems zugrundegelegt. Ist der Momentenzuwachs an der kritischen Stelle größer als 10% ($M_{Cr}^{II} / M_{Cr}^I > 1,1$), ist eine genauere Untersuchung des Tragwerks nach Theorie II. Ordnung erforderlich. Bei gedrückten Bauteilen mit Schlankheiten $\lambda \leq 20$ kann unabhängig von der Lastausmitte und unabhängig vom angewendeten Verfahren der Schnittkraftermittlung davon ausgegangen werden, dass die obenstehende Bedingung eingehalten ist und die Berücksichtigung von Effekten nach Theorie II. Ordnung bei der Ermittlung der Schnittkräfte nicht erforderlich wird.

DIN 4223-2 gibt zwei Verfahren zur Bemessung von schlanken Bauteilen mit Längsdruckkraft an:

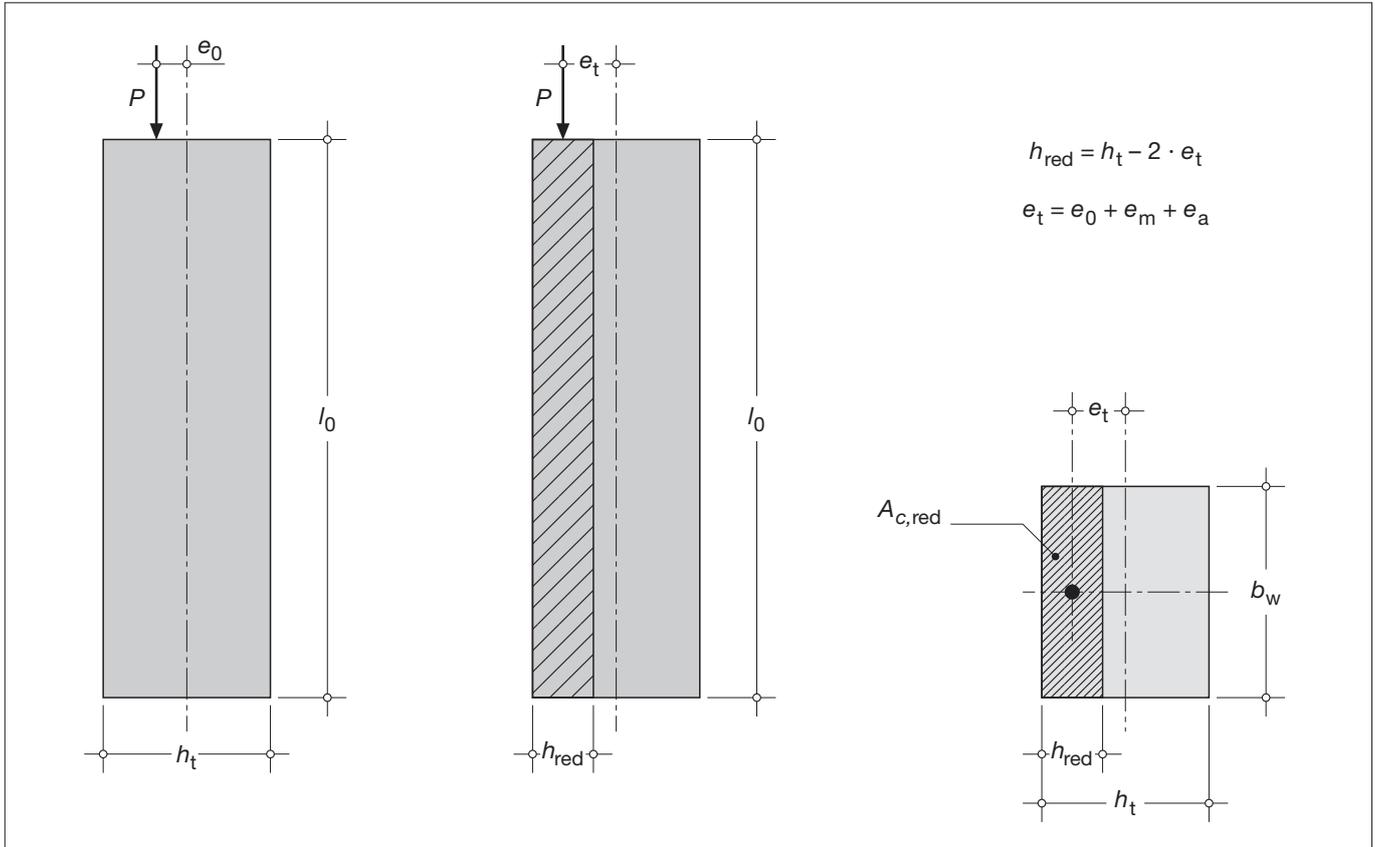


Abb. 2.7: Ersatzstütze für den vereinfachten Knicknachweis nach EULER

- ein vereinfachtes Verfahren, bei dem die Querschnittstragfähigkeit in Abhängigkeit von der Schlankheit abgemindert wird (Abschnitt 8.3.2)
- genauere Verfahren nach Theorie II. Ordnung, bei dem die zusätzlichen Verformungen und Momente, die sich aus der Betrachtung des Gleichgewichts am verformten System ergeben, ermittelt und bei der Querschnittsbemessung berücksichtigt werden. Diese werden mit der zusätzlichen Lastausmitte e_2 erfasst, die entweder genau anhand der Stabkrümmung unter Berücksichtigung des Bewehrungsgrades oder überschläglich über die zulässigen Grenzdehnungen ermittelt wird.

Vereinfachtes Verfahren nach EULER

Beim vereinfachten Verfahren nach DIN 4223-2, 8.3.2 auf Grundlage der Euler-Formel wird die Normalkrafttragfähigkeit des Querschnitts durch einen Knickbeiwert k_s abgemindert. In die Ermittlung von k_s geht die auf die ideale Knicklast bezogene Schlankheit $\bar{\lambda}$ eines Querschnitts ein, der lediglich die Abmessungen der reduzierten Druckzone des betrachteten Bauteils hat (Abb. 2.7). Bei der Ermittlung des reduzierten Querschnitts $A_{c,red}$ werden die tatsächliche Lastausmitte am Bauteilende e_0 , die Ausmitte infolge Querkraftbiegung e_m und eine Zusatzausmitte e_a infolge von Imperfektionen, die von der Schlankheit des Bauteils abhängt, berücksichtigt.

$$k_s = \frac{1}{1 + (\bar{\lambda})^2} \tag{2.2}$$

$$(\bar{\lambda})^2 = \frac{A_{c,red} \cdot f_{cd}}{P_{ki}} = \frac{f_{cd}}{E_{cm} \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{l_0}{i_c} \right)^2 \tag{2.3}$$

Bei angenommener einachsiger Lastausmitte e_t erhält man für einen Rechteckquerschnitt mit

$$A_{c,red} = b_w \cdot h_{red} = b_w \cdot (h_t - 2 \cdot e_t) \tag{2.4}$$

nach Einsetzen der Gleichungen (2.2) bis (2.4) in Gleichung (3) in DIN 4223-2 und entsprechender Umformung für den Bemessungswert der Traglast

$$N_{Rd} = \frac{\alpha \cdot f_{cd} \cdot A_{c,red}}{1 + \frac{12}{\pi^2} \cdot \frac{f_{cd}}{E_{cm}} \cdot \left(\frac{l_0}{h_{red}} \right)^2} \tag{2.5}$$

Genaueres Verfahren (Modellstützenverfahren)

Bei den genaueren Verfahren nach 8.3.3 (Modellstützenverfahren) wird eine an beiden Enden gelenkig gelagerte Modellstütze betrachtet, deren Knicklänge der Knicklänge des zu bemessenden Bauteils entspricht (Bild 1 und 2 in DIN 4223-2). Für die Modellstütze sind die Verformungen unter Berücksichtigung der in 8.3.3 angegebenen Ausmitten zu ermitteln. Die Ausmitte e_0 ist die rechnerische Lastausmitte an den Enden des Bauteils, e_a ist eine Zusatzausmitte zur Berücksichtigung von Imperfektionen abhängig von der Schlankheit des Bauteils und e_m eine Lastausmitte infolge Querkraftbiegung nach Theorie I. Ordnung. Die zusätzliche Lastausmitte e_2 berücksichtigt den Zuwachs der Momente aus Theorie II. Ordnung.

Für deren Berechnung ist die Ermittlung der Verformungen im Zustand II erforderlich. Da hierzu die Betonstauchungen und Stahldehnungen in Abhängigkeit von der gewählten Bewehrung in jedem Querschnitt bekannt sein müssen, wird prinzipiell eine iterative Berechnung erforderlich.

Vereinfachend darf nach DIN 4223-2, 8.3.3, Gleichung (11) bzw. Gleichung (12) die Zusatzausmitte e_2 unter der Annahme berechnet werden, dass die Krümmung in jedem Querschnitt proportional zum Momentenverlauf entlang des Bauteils ist. Auch in diesem Fall ist in der Regel ein iteratives Verfahren zur Bauteilbemessung unumgänglich, da der erforderliche Bewehrungsquerschnitt abhängig von dem noch zu ermittelnden Zusatzmoment und somit vorerst noch unbekannt ist.

Vereinfachtes Modellstützenverfahren

Die iterative Bemessung kann mit Hilfe einer weiteren Vereinfachung umgangen werden. Hierbei wird vorausgesetzt, dass Stabilitätsversagen immer vor dem Erreichen der Fließspannung in der Bewehrung und dem Betonversagen eintritt. Für die maximale Krümmung des Bauteils im höchstbeanspruchten Querschnitt gilt daher immer

$$\frac{1}{r} \leq \frac{(-\varepsilon_c + \varepsilon_s)}{d} \quad (2.6)$$

mit $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$ und $\varepsilon_s = \varepsilon_{yd}$.

Mit diesen Annahmen lässt sich ein oberer Grenzwert der Krümmung des verformten Bauteils und des Zusatzmomentes nach Theorie II. Ordnung nach Gleichung (13) in DIN 4223-2 bestimmen.

Vergleich der Verfahren zur Schnittkraftermittlung

Das vereinfachte Verfahren auf Grundlage der EULER-Formel liefert immer ein auf der sicheren Seite liegendes Bemessungsergebnis, da die Druckbewehrung nicht angerechnet und von sprödem Materialversagen mit $\gamma_c = 1,7$ ausgegangen wird. Die so berechnete Bauteiltragfähigkeit ist daher in der Regel mindestens um den Faktor

$$\frac{\Delta N_{Rd, \text{EULER-Verfahren}}}{N_{Rd, \text{Modellstützenverfahren}}} = \left(\frac{1,7}{1,3} - 1 \right) \cdot 100 = 0,31 = 31\%$$

niedriger als die nach dem genaueren Verfahren ermittelte Tragfähigkeit. Die Vorteile des Verfahrens auf Basis der EULER-Formel liegen in der Einfachheit der Anwendung ohne Bemessungstabellen sowie der Anwendbarkeit auch bei beliebiger Lastausmitte, die im Allgemeinen zu zweiachsiger Biegebeanspruchung führt.

Das vereinfachte Modellstützenverfahren führt für $\lambda = 0$ und $\lambda = \infty$ zu den gleichen Bemessungsergebnissen wie das genauere Verfahren. Ursache hierfür ist, dass bei beiden Verfahren der gleiche Krümmungsverlauf entlang der Stabachse unterstellt wird (siehe Gleichung (12) und (13) in DIN 4223-2). Bei beiden Verfahren führt die doppelte Integration der Krümmungen zu

$$e_2 = \frac{5}{48} \cdot \frac{1}{r} \cdot l_0^2 \approx \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{r} \cdot l_0^2 = \frac{1}{10} \cdot \frac{(-\varepsilon_c + \varepsilon_s)}{d} \cdot l_0^2 = \frac{1}{10} \cdot \frac{(-\varepsilon_c + \varepsilon_{yd})}{d} \cdot l_0^2 \quad (2.7)$$

da bei großen Schlankheiten die Bauteiltragfähigkeit durch Erreichen der Steckgrenze ε_{yd} der Zugbewehrung eintritt. Für schlanke Stützen beträgt daher die obere Grenze der Ausmitte mit einer Stahldehnung von $\varepsilon_{yd} \approx 2,17\%$ (für BSt 500) und einer Betonstauchung von

$$e_2 \leq \frac{1}{10} \cdot \frac{(3,0 + 2,2)}{1000 \cdot d} \cdot l_0^2 \approx \frac{l_0^2}{1930 \cdot d} \approx \frac{\lambda^2}{23\,200} \cdot d$$

bzw.

$$e_2 \leq \frac{l_0^2}{2490 \cdot d} \approx \frac{\lambda^2}{29\,900} \cdot d$$

bei Verwendung der Stahlgüte S235 JRG 2.

Die Bemessung schlanker gedrückter Bauteile erfolgt entsprechend DIN 4223-2, Gleichung (14). Dabei ist die aus der rechnerischen Gesamtausmitte e_{tot} resultierende Krümmung stets geringer als die Krümmung, die für die Ermittlung von e_2 angenommen wurde. Das Verfahren liegt daher immer auf der sicheren Seite und liefert einen unteren Grenzwert der Bauteiltragfähigkeit.

Dies gilt auch für das genauere Modellstützenverfahren, bei dem die Ausmitte nach Theorie II. Ordnung nach DIN 4223-2, Gleichung (11) ermittelt wird. Bei diesem Verfahren entspricht nach Abschluss der iterativen Berechnung die Dehnungsverteilung im Bemessungsquerschnitt, die der Bemessung zu Grunde gelegt wird der Dehnungsverteilung, die für die Berechnung der zusätzlichen Lastausmitte e_2 angenommen wurde. Eine genaue Ermittlung der sich einstellenden Dehnungsverteilung in jedem Schnitt längs der Bauteilachse und anschließende Berechnung der zusätzlichen Ausmitte liefert jedoch einen geringeren Wert für e_2 als er sich nach Gleichung (11) ergibt. Dieses genaue Vorgehen ist jedoch wegen des damit verbundenen Rechenaufwands praktisch nur mit EDV zu bewältigen.

In Abb. 2.8 sind die Traglasten für ein zentrisch belastetes Porenbetonbauteil mit Rechteckquerschnitt, die nach den oben genannten drei Verfahren ermittelt wurden, in Abhängigkeit von der Schlankheit des Bauteils dargestellt.

Die Querschnittsbemessung selbst erfolgt gemäß Abschnitt 8.4 in allen oben genannten Fällen für die Normalkraft N_{Sd} und das Biegemoment $M_{d,}$ in dem alle Lastausmitten erfasst sind.

Zu Abschnitt 8.4: Bemessung des kritischen Querschnitts für Druck und Biegung

Die Bemessung bzw. der Nachweis der Tragfähigkeit schlanker Bauteile mit Längsdruck erfolgt unter Ansatz der nach Abschnitt 8.3 ermittelten Bemessungswerte der Schnittkräfte (Normalkraft und Biegemoment) nach DIN 4223-2, Abschnitt 10. Dabei sind entsprechend Abschnitt 8.3.1 die möglichen Beanspruchungskombinationen

Größtwert für N_d in Kombination mit dem entsprechenden Kleinstwert für M_{1d}

Größtwert für M_d in Kombination mit dem entsprechenden Größtwert für M_{1d}

Größtwert für M_{1d} in Kombination mit dem entsprechenden Kleinstwert für N_d

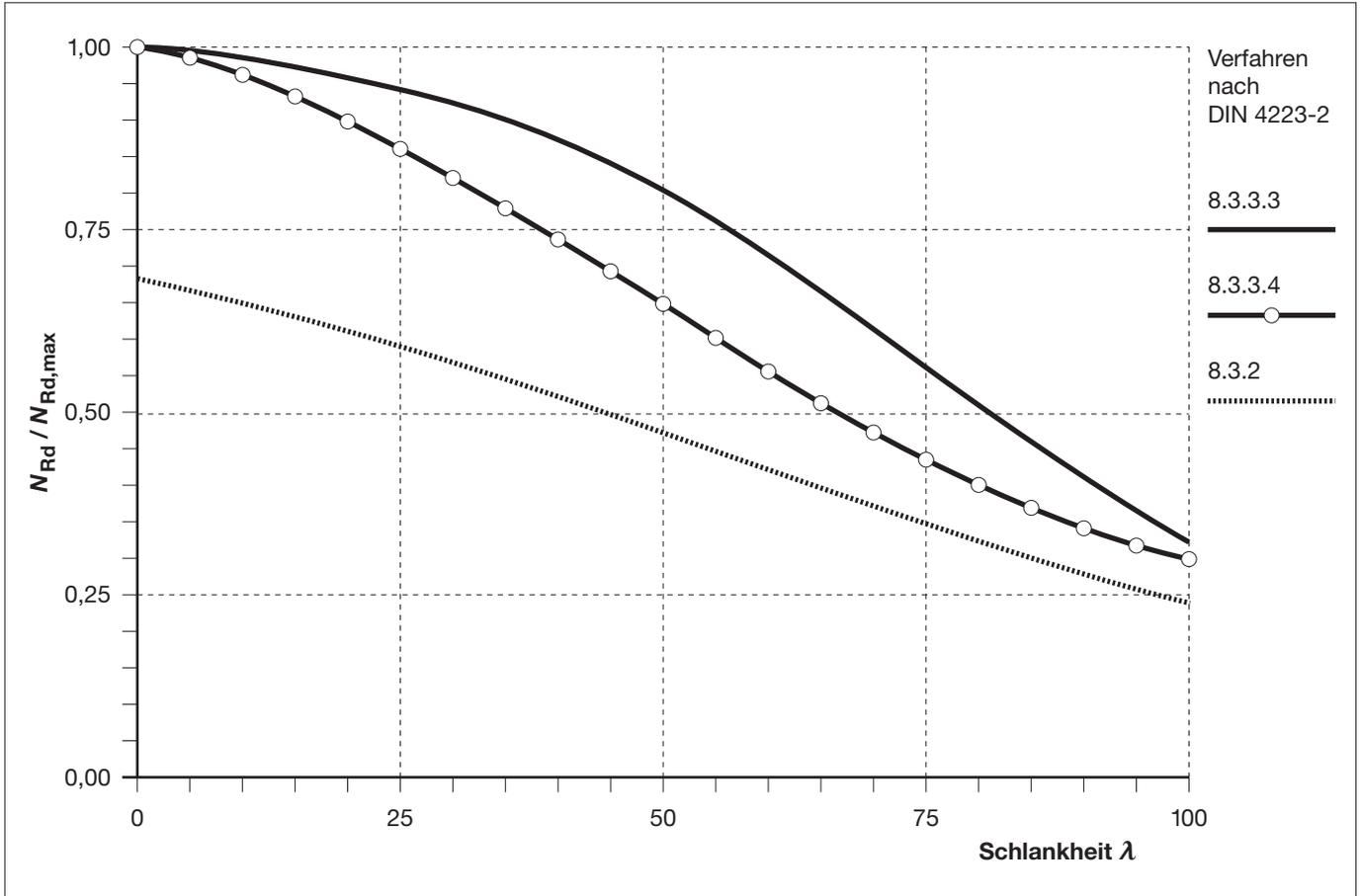


Abb. 2.8: Traglast eines zentrisch gedrückten Porenbetonbauteils mit Rechteckquerschnitt

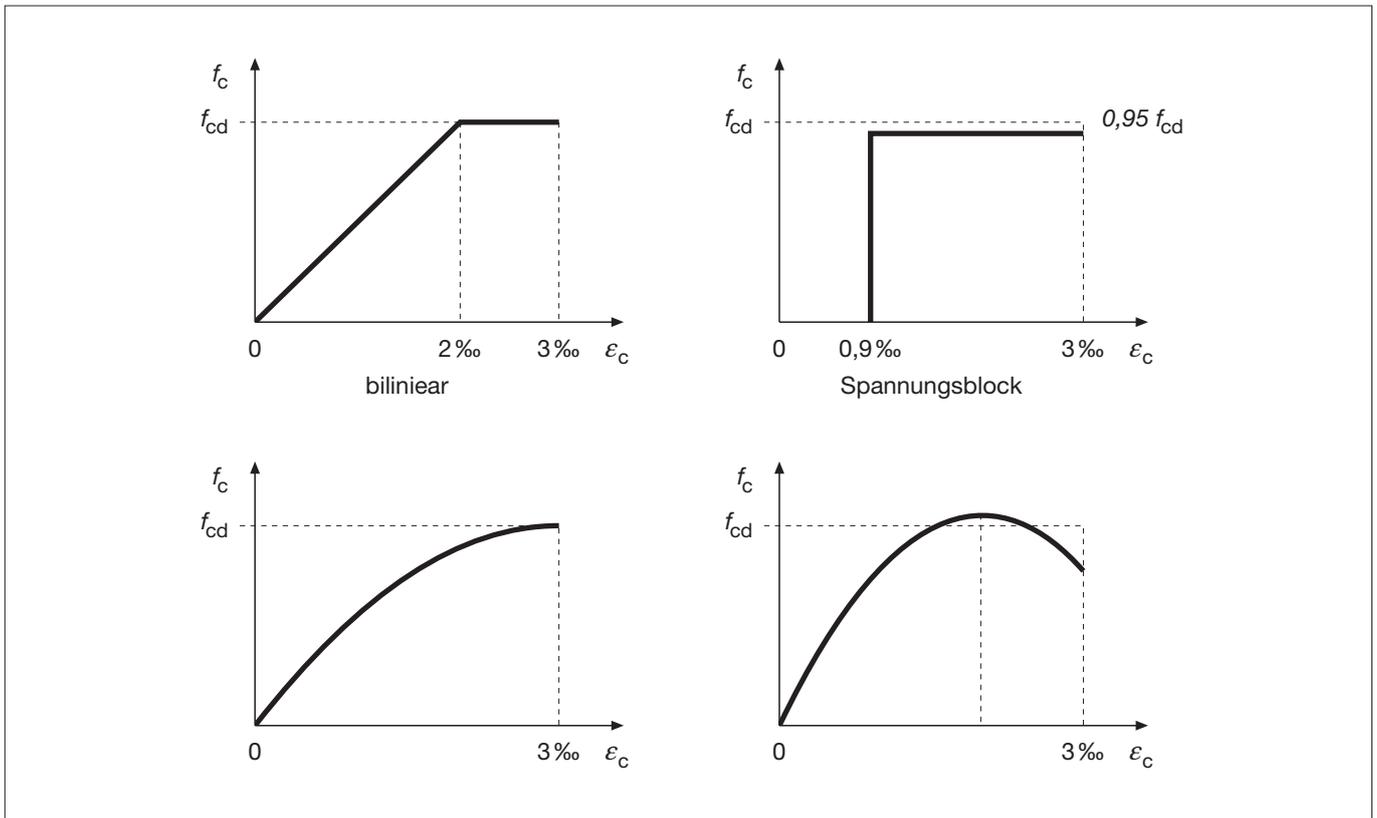


Abb. 2.9: Arbeitslinien für Porenbeton

Größtwert für M_{id} in Kombination mit dem entsprechenden Größtwert für N_d

zu untersuchen.

Als kritischer Querschnitt ist im Allgemeinen der Querschnitt innerhalb des Bauteils mit der größten Beanspruchungen (Biegemoment) zu betrachten. Infolge örtlicher Querschnittschwächungen durch z. B. Schlitzte oder Durchbrüche können auch Querschnitte kritisch sein, die nicht mit der größten Beanspruchung zusammenfallen. Gegebenenfalls sind für ein Bauteil mehrere kritische Querschnitte zu untersuchen.

Beim Nachweis der Tragfähigkeit schlanker Bauteile mit Längsdruck ist besonders zu beachten, dass eine in der Druckzone vorhandene Bewehrung (Druckbewehrung) nicht in Ansatz gebracht werden darf.

Zu Abschnitt 8.5: Vereinfachter Nachweis gegen seitliches Ausweichen

Die Sicherheit schlanker biegebeanspruchter Träger gegen seitliches Ausweichen der Druckzone (Kippen) ist nach DIN 4223-2:2003-12, Abschnitt 8.5 nachzuweisen. Mit Gleichung (15) wird eine Mindestbreite b ermittelt, für die eine ausreichende Sicherheit gegen seitliches Ausweichen ohne genaueren rechnerischen Nachweis angenommen werden darf.

Zu Abschnitt 9: Baustoffe

In DIN 4223-1 werden die Rechenwerte der Materialeigenschaften von Porenbeton und der Bewehrung (E-Modul, Festigkeit etc.) angegeben. Für die Bemessung können die idealisierten Spannungs-Dehnungs-Beziehungen von Porenbeton nach DIN 4223-2, Abb. 4 benutzt werden. Abweichend von dieser bilinearen Spannungs-Dehnungs-Beziehung können aber auch andere geeignete Spannungs-Dehnungs-Beziehungen zugrundegelegt werden, z. B. mit der Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Parabel-Rechteck-Diagramms. DIN 4223-2 stellt hier lediglich die Anforderung, dass die Volligkeit des Diagramms sowie die Lage der Resultierenden der Druckspannung der bilinearen Spannungs-Dehnungs-Beziehung bei einer Randstauchung des Porenbetons von $\varepsilon_c = 3\%$ gleichwertig sind (vgl. Abb. 2.9). Mit ausreichender Genauigkeit darf auch mit dem Spannungsbloc nach DIN 4223-2, Abb. 5, gearbeitet werden, der eine sehr einfache Bemessung (ohne Zuhilfenahme von Bemessungstabellen) erlaubt.

Wie andere Baustoffe auch unterliegt Porenbeton einer Festigkeitsminderung unter Langzeitbeanspruchung auf hohem Lastniveau. Der Faktor α berücksichtigt diese festigkeitsmindernde Einflüsse (Dauerstandsfestigkeit, Art der Lastaufbringung bei Spannungs-konzentration und Einzellasten) pauschal. In Anlehnung an DIN 1045-1 und in Auswertung von Versuchen an Porenbetonmauerwerkssteinen wird dieser zu $\alpha = 0,85$ angenommen.

Für die nach DIN 4223-1 zu verwendenden Bewehrungsstähe wird eine bilineare Spannungs-Dehnungs-Beziehung

nach DIN 4223-2, Abb. 6 verwendet. Ein möglicher geringfügiger Festigkeitsanstieg nach Erreichen der Fließspannung kann für die Bemessung von Porenbetonbauteilen vernachlässigt werden, da eine Erschöpfung der Stahlzugkraft in der Regel nicht maßgebend ist. Bei der Bemessung von Porenbetonbauteilen wird im Gegensatz zu Normalbetonbauteilen nicht zwischen normal-duktilen und hoch-duktilen Bewehrungsstähen unterschieden. Die Zunahme der Biegetragfähigkeit durch größere Querschnittsrotationsänderung (Krümmungen) mit $\varepsilon_s > 0,01$ ist vernachlässigbar, da bei der Bemessung üblicherweise Betondruckversagen maßgebend wird und selbst bei vergleichsweise schwach bewehrten Bauteilen Grenzstahldehnungen von $\varepsilon_s = 0,01$ oft nicht erreicht werden.

Zu Abschnitt 10: Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

Für die Bestimmung der Biegetragfähigkeit werden die üblichen Annahmen getroffen:

- Ebenbleiben der Querschnitte: Die Dehnungsverteilung über die Querschnittshöhe ist linear, Schubverzerrungen des Querschnitts können vernachlässigt werden. Die rechnerische Dehnung des Betonstahls ist gleich der rechnerischen Dehnung des umgebenden Porenbetons
- die Zugfestigkeit des Porenbetons bleibt bei der Biegebemessung unberücksichtigt
- die Druckspannungen im Porenbeton ergeben sich aus der Dehnungsverteilung und den rechnerischen Spannungs-Dehnungsbeziehungen für Porenbeton gemäß Abschnitt 9
- die Stahlspannungen werden nach DIN 4223-2, Abb. 6 für die Bemessungsdehnung ermittelt
- für Lastausmitten $e = \frac{M}{N} \geq \frac{d}{3}$ beträgt die maximale Betonstauchung $\varepsilon_c \geq -0,003$. Für Lastausmitten $e > d/3$ beträgt die maximale Betonstauchung $\varepsilon_c = -0,002$ im Abstand von $d/3$ vom am stärksten gedrückten Rand. Diese Bedingung beinhaltet den Grenzwert $\varepsilon_c = -0,002$ für ausschließlich durch zentrischen Druck beanspruchte Querschnitte.

Diese fünf Bemessungsannahmen führen zu der in DIN 4223-2, Abb. 7 dargestellten möglichen Dehnungsverteilung und sind identisch mit den Bemessungsannahmen in DIN 1045-1 (siehe auch Abb. 2.10).

Im Wesentlichen sind die Bemessungsaufgaben den in Abb. 2.10 gekennzeichneten vier Dehnungsbereichen zuzuordnen

Bereich 1

$\varepsilon_{s1} = 0,010, 0,010 \geq \varepsilon_{c2} \geq 0$: zentrischer und ausmittiger Zug

Der gesamte Querschnitt wird gedehnt, die resultierenden Zugkräfte werden von der oberen und unteren Bewehrung aufgenommen; der Porenbeton ist gerissen (Zustand II); die Dehnungsnulllinie liegt außerhalb (in Abbildung 2.10 oberhalb) des Querschnitts.

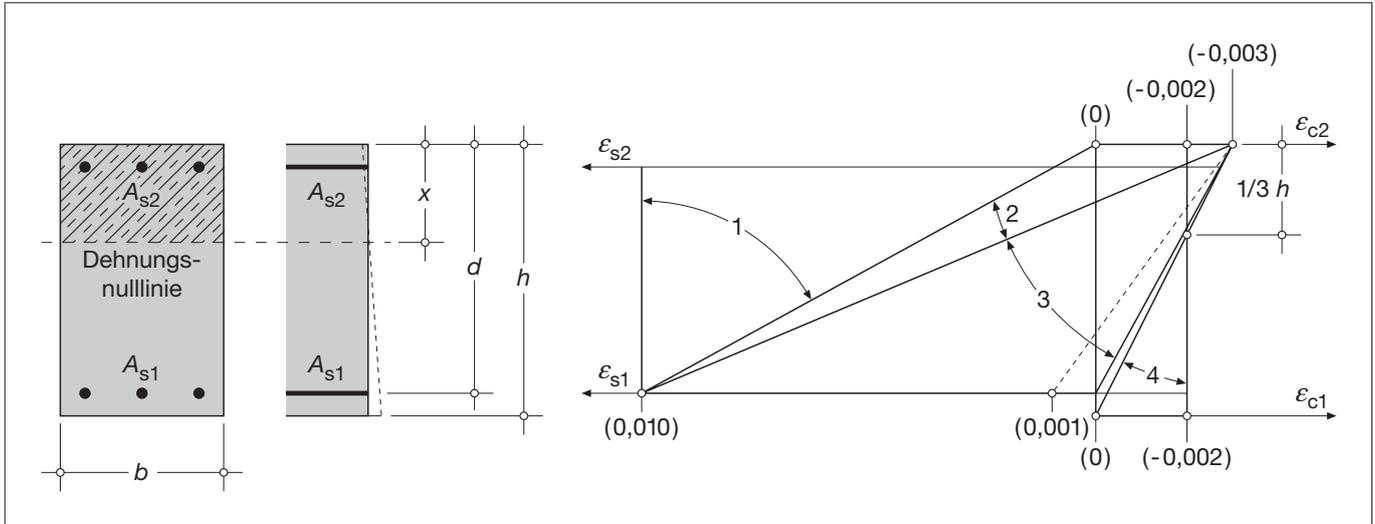


Abb. 2.10: Dehnungen und Stauchungen des Porenbetonquerschnitts

Bereich 2

$\epsilon_{s1} = 0,010, 0 \geq \epsilon_{c2} \geq -0,003$: Biegung und Biegung mit Längs(zug)kraft

Die Dehnungsnulllinie liegt im oberen Viertel des Querschnitts (kleine Porenbetondruckzone), die Zugbewehrung ist voll ausgenutzt; die Betondruckspannungen sind linear ($0 \geq \epsilon_{c2} \geq -0,002$) oder bilinear ($-0,002 \geq \epsilon_{s2} \geq -0,003$) über die Druckzonenhöhe x verteilt; eine Bemessung in diesem Bereich führt zu schwach bewehrten Querschnitten.

Bereich 3

$0,010 \geq \epsilon_{s1} \geq 0, \epsilon_{c2} = -0,003$: Biegung und Biegung mit Längs(druck)kraft

Die Dehnungsnulllinie rutscht nach unten bis an den unteren Querschnittsrand, die Porenbetondruckzone ist vollständig ausgenutzt, die Dehnung der Zugbewehrung nimmt ab; die Zugbewehrung ist nicht mehr voll ausgenutzt; eine Bemessung in diesem Bereich führt zu stark bewehrten Querschnitten.

Bereich 4

$-0,003 \leq \epsilon_{c2} \leq -0,002, 0 \geq \epsilon_{c1} \geq -0,002$: zentrischer und ausmittiger Druck

Der gesamte Querschnitt ist überdrückt, die Druckkräfte werden durch den Porenbeton aufgenommen; die Dehnungs-

nulllinie liegt außerhalb (unterhalb) des Querschnitts. Bei der Bemessung in diesem Bereich ist zu beachten, dass eine Druckbewehrung nicht in Rechnung gestellt werden darf.

Die folgenden Bedingungen betreffen Besonderheiten, die sich bei der Bemessung von Porenbetonbauteilen ergeben:

- Bei Biegung ohne Längsdruck soll die Mindeststahldehnung $\epsilon_s = 0,001$ betragen (gestrichelte Linie im Dehnungsbereich 3 in Abb. 2.10). Ohne diese Forderung wäre es möglich, ein Biegebauteil so hoch zu bewehren, dass die Spannungsnulllinie in die Nähe der Zugbewehrung fällt und Versagen des Querschnitts durch Sprödbbruch der Porenbetondruckzone bei entsprechend geringer Krümmung eintritt.
- Eine eventuell vorhandene Druckbewehrung darf nur mit der Hälfte ihres Querschnitts angesetzt werden und der Stabdurchmesser der Druckbewehrung muss mindestens 6 mm betragen. Durch diese Anforderungen wird der Gefahr des Ausknickens der Druckbewehrung sowie der möglichen reduzierten Stahlspannung in der Druckbewehrung durch Verankerungsschlupf Rechnung getragen. Der Durchmesser der zur Verankerung der Druckbewehrung benutzten Querstäbe darf nicht größer sein als der Durchmesser der Längsbewehrung. Durch diese Forderung wird die Biegebeanspruchung der Druckbewehrung infolge der auf den Querstab wirkende Verankerungskräfte beschränkt, deren Resultierende mit entsprechendem Abstand parallel zur Druckbewehrung liegt (Abb. 2.11).

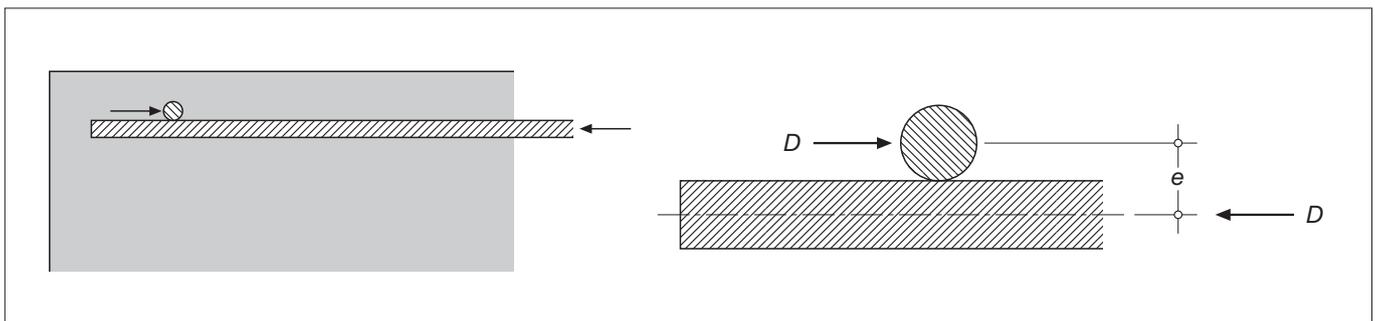


Abb. 2.11: Biegebeanspruchung der Druckbewehrung

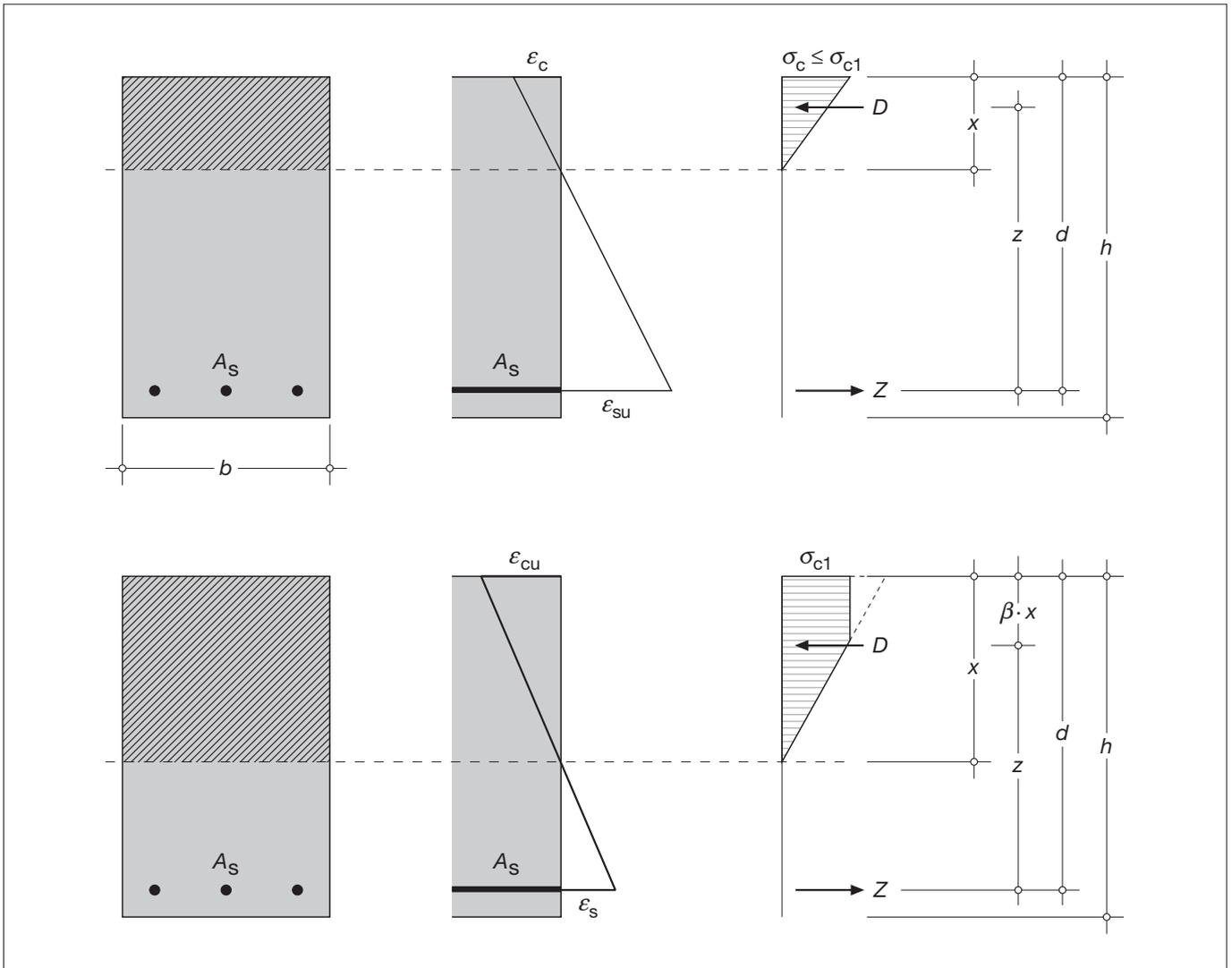


Abb. 2.12: Schnittkräfte am Porenbetonquerschnitt in Abhängigkeit von der Dehnungsverteilung

Auf Grundlage der in DIN 4223-2, Bild 5 und Bild 6, angegebenen Arbeitslinien für Porenbeton und Bewehrungsstahl lassen sich die üblichen Bemessungstabellen entweder mit dimensionsgebundenen (Tabelle 2.1) oder mit dimensionsfreien Beiwerten (Tabelle 2.2) entwickeln.

Grundsätzlich ist für die Bemessung das Gleichgewicht zwischen den Beanspruchungen (Biegemoment und gegebenenfalls Längskraft) und den inneren Schnittkräften nach Abb. 2.12 maßgebend.

Für (reine) Biegung gilt

$$M_d = Z \cdot z = |D \cdot z| = b \cdot x \cdot z \cdot \varphi \cdot \sigma_{c1} = b \cdot d^2 \cdot k_x \cdot k_z \cdot \varphi \cdot \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_{c1}} \quad (2.8)$$

Dabei ist

- M_d der Bemessungswert des Biegemomentes;
- Z die Zugkraft in der Längsbewehrung;
- D die resultierende Druckkraft der Porenbetondruckzone;

- z der Hebelarm der inneren Kräfte;
- b die Breite des Querschnittes (beim Rechteckquerschnitt);
- x die Höhe der Porenbetondruckzone;
- φ ein Formbeiwert zur Berücksichtigung der Druckspannungsverteilung (siehe unten);
- σ_{c1} die größtmögliche Porenbetondruckspannung des am stärksten gedrückten Randes;
- d die statische Nutzhöhe des Querschnittes;
- k_x ein Beiwert zur Berücksichtigung der Höhe der Druckzone;
- k_z ein Beiwert zur Berücksichtigung des Hebelarms der inneren Kräfte;
- α ein Faktor zur Berücksichtigung von Langzeiteffekten;
- f_{ck} die charakteristische Druckfestigkeit des Porenbetons;
- γ_{c1} der Sicherheitsbeiwert nach DIN 4223-5 für duktilen Versagen des Porenbetons.

Der Formbeiwert φ wird für Rechteckquerschnitte nach den Gleichungen (2.9) und (2.10) in Abhängigkeit von der Stauchung des gedrückten Querschnittsrandes ermittelt.

$$\varepsilon_c < \varepsilon_{cp} = 2\text{‰} : \quad \varphi = \frac{\varepsilon_c}{2 \cdot \varepsilon_{cp}} \quad (2.9)$$

$$2\text{‰} = \varepsilon_{cp} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} = 3\text{‰} : \quad \varphi = 1 - \frac{\varepsilon_{cp}}{2 \cdot \varepsilon_c} \quad (2.10)$$

Der Beiwert k_x zur Beschreibung der Höhe der Druckzone ergibt sich aus der Dehnungsverteilung über die Querschnittshöhe:

$$\frac{x}{d} = k_x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_s} \quad (2.11)$$

Der Beiwert k_z beschreibt den Hebelarm der inneren Kräfte

$$\frac{z}{d} = k_z = 1 - \beta \cdot k_x \quad (2.12)$$

wobei der Beiwert β den Abstand der resultierenden Druckkraft von der Randfaser des druckbeanspruchten Randes berücksichtigt. Für Rechteckquerschnitte ergibt sich der Beiwert β in Abhängigkeit von der Porenbetonstauchung am gedrückten Rand nach den Gleichungen (2.13) und (2.14):

$$\varepsilon_c < \varepsilon_{cp} = 2\text{‰} : \quad \beta = \frac{1}{3} \quad (2.13)$$

$$2\text{‰} = \varepsilon_{cp} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} = 3\text{‰} : \quad \beta = \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{cp} \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{cp}}{3 \cdot \varepsilon_c}\right)}{2 \cdot \varepsilon_c - \varepsilon_{cp}} \quad (2.14)$$

Durch Einsetzen der Gleichungen (2.11) und (2.12) in Gleichung (2.8) und geeignete Umformung erhält man die aus der Stahlbetonbemessung bekannte Gleichung zur Ermittlung des dimensionsgebundenen Bemessungsbeiwertes k_d :

$$k_d = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_d}{b}}} \quad d \text{ in cm, } M_d \text{ in kNm, } b \text{ in m} \quad (2.15)$$

Zur Ermittlung der erforderlichen Querschnittsfläche der Bewehrung wird davon ausgegangen, dass die Zugkraft in der Bewehrung unter Beachtung der Arbeitslinie des Bewehrungsstahles gleich der resultierenden Porenbetondruckkraft sein muss. Die Bemessungsgleichung dafür lautet

$$A_s = k_s \cdot \frac{M_d}{d} \quad d \text{ in cm, } M_d \text{ in kNm, } A_s \text{ in cm}^2 \quad (2.16)$$

Der dimensionsgebundene Beiwert k_s ist abhängig von der Stahldehnung, der charakteristischen Zugfestigkeit des Bewehrungsstahls und vom Bemessungsbeiwert k_d . In Tabelle 2.1 sind die sich aus den obigen Gleichungen ergebenden dimensionsgebundenen Bemessungsbeiwerte in Abhängigkeit von der Dehnungsverteilung nach Abb. 2.12 zusammengestellt.

Für die Bemessung mit dimensionsfreien Beiwerten wird Gleichung (2.8) zur Ermittlung des bezogenen Biegemomente m_d umgeformt

$$m_d = \frac{\gamma_{c1} \cdot M_d}{b \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot f_{ck}} \quad (2.17)$$

Die Querschnittsfläche der Längsbewehrung ergibt sich dann mit dem dimensionsfreien Beiwert ϖ zu

$$A_s = A_c \cdot \varpi \cdot \frac{\alpha \cdot f_{ck} \cdot \gamma_s}{\gamma_{c1} \cdot f_{yk}} = b \cdot d \cdot \varpi \cdot \frac{\alpha \cdot f_{ck} \cdot \gamma_s}{\gamma_{c1} \cdot f_{yk}} \quad (2.18)$$

In Tabelle 2.2 sind die Bemessungshilfswerte für die Bemessung mit dimensionsfreien Beiwerten in Abhängigkeit vom Dehnungsverhältnis dargestellt.

Zur Erläuterung der Anwendung der Bemessungstabellen dient das folgende Beispiel. Eine Porenbetondeckenplatte mit einer Breite von 0,625 m und einer Dicke von 0,225 m wird durch ein Biegemoment mit einem Bemessungswert $M_d = 8,2$ kNm beansprucht. Als statische Nutzhöhe wird $d = 0,200$ m gewählt. Nach Gleichung (2.15) ergibt sich der Bemessungsbeiwert

$$k_d = d \cdot \sqrt{\frac{b}{M_d}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{0,625}{8,2}} = 5,52$$

Bei Einsatz von Porenbeton der Festigkeitsklasse P 3,3 ergeben sich aus Tabelle 2.1 die Bemessungshilfswerte:

$$\varepsilon_c = 3\text{‰} \quad \varepsilon_s = 9\text{‰}$$

$$k_x = 0,250 \quad k_z = 0,910 \quad k_s = 2,528 \text{ für BSt 500}$$

Der erforderliche Stahlquerschnitt wird mit Gleichung (2.16) erhalten:

$$A_s = k_s \cdot \frac{M_d}{d} = 2,528 \cdot \frac{8,2}{20} = 1,04 \text{ cm}^2$$

Für die Bemessung mit dimensionsfreien Bemessungshilfswerten liefert Gleichung (2.17) das bezogene Bemessungsmoment

$$1000 \cdot m_d = \frac{1000 \cdot \gamma_{c1} \cdot M_d}{\alpha \cdot f_{ck} \cdot b \cdot d^2} = \frac{1,3 \cdot 8,2}{0,85 \cdot 3,3 \cdot 0,625 \cdot 0,20^2} = 152,0$$

Aus Tabelle 2.2 ergeben sich dafür die Bemessungshilfswerte

$$\varepsilon_c = 3\text{‰} \quad \varepsilon_s = 9\text{‰}$$

$$k_x = 0,250 \quad k_z = 0,910 \quad 1000 \cdot \varpi = 166,7$$

Der erforderliche Stahlquerschnitt ergibt sich nach Gleichung (2.18) zu

$$A_s = \varpi \cdot b \cdot d \cdot \frac{\alpha \cdot f_{ck} \cdot \gamma_s}{\gamma_{c1} \cdot f_{yk}} = \frac{166,7 \cdot 0,625 \cdot 0,20}{1000} \cdot \frac{0,85 \cdot 3,3 \cdot 1,15}{1,3 \cdot 500} = 1,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 1,04 \text{ cm}^2$$

Für den Nachweis der Tragfähigkeit eines gegebenen Querschnitts ist bei Anwendung des Bemessungsverfahrens mit dimensionsfreien Bemessungshilfswerten der umgekehrte Weg zu beschreiten. Da beim Verfahren mit dimensionsgebundenen Bemessungshilfswerten sowohl k_d als auch k_s unmittelbar vom noch zu ermittelnden Biegemoment abhängen, ist eine weitere Tabelle mit Hilfswerten erforderlich. In Tabelle 2.3 ist der Bemessungshilfswert k_s in Abhängigkeit vom vorhandenen Bewehrungsverhältnis $\rho_l = A_s / A_c$ tabelliert. Der Bemessungs-

$$k_d = d \cdot \sqrt{\frac{b}{M_d}}$$

$$A_s = k_s \cdot \frac{M_d}{d}$$

M_d Bemessungswert des Biegemomentes in kNm

b Querschnittsbreite in m

d statische Nutzhöhe in cm

A_s Bewehrungsquerschnitt in cm²

Anmerkung: P 6,6 ist nicht in DIN 4223:2003-12 enthalten

ϵ_c [‰]	ϵ_s [‰]	k_x	k_z	k_s		k_d			
				S 235 JRG	BSt 500	P 2,2	P 3,3	P 4,4	P 6,6
0,25	10,00	0,024	0,992	4,934	2,319	67,81	55,36	47,95	39,15
0,50	10,00	0,048	0,984	4,973	2,337	34,45	28,13	24,36	19,89
0,75	10,00	0,070	0,977	5,010	2,355	23,33	19,05	16,49	13,47
1,00	10,00	0,091	0,970	5,047	2,372	17,76	14,50	12,56	10,25
1,25	10,00	0,111	0,963	5,082	2,388	14,42	11,77	10,20	8,325
1,50	10,00	0,130	0,957	5,116	2,405	12,19	9,953	8,619	7,038
1,75	10,00	0,149	0,950	5,149	2,420	10,60	8,651	7,492	6,117
2,00	10,00	0,167	0,944	5,181	2,435	9,398	7,674	6,646	5,426
2,25	10,00	0,184	0,938	5,217	2,452	8,522	6,958	6,026	4,920
2,50	10,00	0,200	0,931	5,256	2,470	7,888	6,440	5,578	4,554
2,75	10,00	0,216	0,924	5,297	2,489	7,404	6,045	5,236	4,275
3,00	10,00	0,231	0,917	5,338	2,509	7,021	5,733	4,965	4,054
3,00	9,75	0,235	0,915	5,348	2,514	6,959	5,682	4,921	4,018
3,00	9,50	0,240	0,913	5,358	2,518	6,897	5,632	4,877	3,982
3,00	9,25	0,245	0,912	5,368	2,523	6,835	5,580	4,833	3,946
3,00	9,00	0,250	0,910	5,379	2,528	6,771	5,529	4,788	3,909
3,00	8,75	0,255	0,908	5,391	2,534	6,707	5,477	4,743	3,873
3,00	8,50	0,261	0,906	5,403	2,539	6,643	5,424	4,697	3,835
3,00	8,25	0,267	0,904	5,415	2,545	6,578	5,371	4,651	3,798
3,00	8,00	0,273	0,902	5,428	2,551	6,512	5,317	4,605	3,760
3,00	7,75	0,279	0,899	5,442	2,558	6,446	5,263	4,558	3,722
3,00	7,50	0,286	0,897	5,457	2,565	6,379	5,209	4,511	3,683
3,00	7,25	0,293	0,894	5,472	2,572	6,312	5,154	4,463	3,644
3,00	7,00	0,300	0,892	5,488	2,579	6,244	5,098	4,415	3,605
3,00	6,75	0,308	0,889	5,505	2,588	6,175	5,042	4,366	3,565
3,00	6,50	0,316	0,886	5,523	2,596	6,105	4,985	4,317	3,525
3,00	6,25	0,324	0,883	5,543	2,605	6,035	4,927	4,267	3,484
3,00	6,00	0,333	0,880	5,563	2,615	5,964	4,869	4,217	3,443
3,00	5,75	0,343	0,876	5,585	2,625	5,892	4,811	4,166	3,402
3,00	5,50	0,353	0,873	5,608	2,636	5,819	4,751	4,115	3,360
3,00	5,25	0,364	0,869	5,633	2,648	5,746	4,691	4,063	3,317
3,00	5,00	0,375	0,865	5,660	2,660	5,671	4,631	4,010	3,274
3,00	4,75	0,387	0,860	5,689	2,674	5,596	4,569	3,957	3,231
3,00	4,50	0,400	0,856	5,720	2,688	5,520	4,507	3,903	3,187
3,00	4,25	0,414	0,851	5,753	2,704	5,443	4,444	3,849	3,143
3,00	4,00	0,429	0,845	5,790	2,721	5,365	4,381	3,794	3,098
3,00	3,75	0,444	0,840	5,829	2,740	5,287	4,316	3,738	3,052
3,00	3,50	0,462	0,833	5,872	2,760	5,207	4,251	3,682	3,006
3,00	3,25	0,480	0,827	5,920	2,782	5,126	4,186	3,625	2,960
3,00	3,00	0,500	0,819	5,972	2,807	5,045	4,119	3,567	2,913
3,00	2,75	0,522	0,812	6,030	2,834	4,962	4,052	3,509	2,865
3,00	2,50	0,545	0,803	6,094	2,864	4,879	3,984	3,450	2,817
3,00	2,25	0,571	0,794	6,166	2,898	4,795	3,915	3,391	2,768
3,00	2,00	0,600	0,783	6,247	3,191	4,710	3,846	3,331	2,719
3,00	1,75	0,632	0,772	6,339	3,701	4,625	3,776	3,270	2,670
3,00	1,50	0,667	0,759	6,445	4,390	4,539	3,706	3,209	2,621
3,00	1,25	0,706	0,745	6,568	5,368	4,453	3,636	3,149	2,571
3,00	1,00	0,750	0,729	6,857	6,857	4,367	3,565	3,088	2,521

Tabelle 2.1: Bemessungstabelle für Biegung (mit Längskraft); dimensionsgebundene Beiwerte

$$m_d = \frac{M_d \cdot \gamma_{c1}}{\alpha \cdot f_{ck} \cdot A_c \cdot d}$$

$$A_s = A_c \cdot \varpi \cdot \frac{\alpha \cdot f_{ck} \cdot \gamma_s}{\gamma_{c1} \cdot f_{yk}}$$

- M_d Bemessungswert des Biegemomentes
- d statische Nutzhöhe
- A_c Porenbetonquerschnitt $A_c = b \cdot d$
- A_s Bewehrungsquerschnitt
- f_{ck} charakteristische Porenbetondruckfestigkeit
- f_{yk} charakteristische Stahlfestigkeit
- γ_{c1}, γ_s Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 4223-5

ϵ_c [‰]	ϵ_s [‰]	k_x	k_z	1000 · m_d	1000 · ϖ	
					S 235 JRG	BSt 500
0,25	10,00	0,024	0,992	1,512		1,524
0,50	10,00	0,048	0,984	5,858		5,952
0,75	10,00	0,070	0,977	12,78		13,08
1,00	10,00	0,091	0,970	22,04		22,73
1,25	10,00	0,111	0,963	33,44		34,72
1,50	10,00	0,130	0,957	46,79		48,91
1,75	10,00	0,149	0,950	61,92		65,16
2,00	10,00	0,167	0,944	78,70		83,33
2,25	10,00	0,184	0,938	95,72		102,0
2,50	10,00	0,200	0,931	111,7		120,0
2,75	10,00	0,216	0,924	126,8		137,3
3,00	10,00	0,231	0,917	141,0		153,8
3,00	9,75	0,235	0,915	143,5		156,9
3,00	9,50	0,240	0,913	146,1		160,0
3,00	9,25	0,245	0,912	148,8		163,3
3,00	9,00	0,250	0,910	151,6		166,7
3,00	8,75	0,255	0,908	154,5		170,2
3,00	8,50	0,261	0,906	157,5		173,9
3,00	8,25	0,267	0,904	160,7		177,8
3,00	8,00	0,273	0,902	163,9		181,8
3,00	7,75	0,279	0,899	167,3		186,0
3,00	7,50	0,286	0,897	170,8		190,5
3,00	7,25	0,293	0,894	174,5		195,1
3,00	7,00	0,300	0,892	178,3		200,0
3,00	6,75	0,308	0,889	182,3		205,1
3,00	6,50	0,316	0,886	186,5		210,5
3,00	6,25	0,324	0,883	190,9		216,2
3,00	6,00	0,333	0,880	195,5		222,2
3,00	5,75	0,343	0,876	200,3		228,6
3,00	5,50	0,353	0,873	205,3		235,3
3,00	5,25	0,364	0,869	210,6		242,4
3,00	5,00	0,375	0,865	216,1		250,0
3,00	4,75	0,387	0,860	222,0		258,1
3,00	4,50	0,400	0,856	228,1		266,7
3,00	4,25	0,414	0,851	234,6		275,9
3,00	4,00	0,429	0,845	241,5		285,7
3,00	3,75	0,444	0,840	248,7		296,3
3,00	3,50	0,462	0,833	256,4		307,7
3,00	3,25	0,480	0,827	264,5		320,0
3,00	3,00	0,500	0,819	273,1		333,3
3,00	2,75	0,522	0,812	282,3		347,8
3,00	2,50	0,545	0,803	292,0		363,6
3,00	2,25	0,571	0,794	302,3		381,0
3,00	2,00	0,600	0,783	313,3	400,0	434,8
3,00	1,75	0,632	0,772	325,0	421,1	523,0
3,00	1,50	0,667	0,759	337,4	444,4	644,1
3,00	1,25	0,706	0,745	350,6	470,6	818,4
3,00	1,00	0,750	0,729	364,6	510,9	1.087,0

Tabelle 2.2: Bemessungstabelle für Biegung (mit Längskraft); dimensionsfreie Beiwerte

$$\rho_1 = \frac{A_s}{A_c} = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$M_{Rd} = \frac{A_s \cdot d}{k_s}$$

A_s Stahlquerschnitt in cm²
 A_c Porenbetonquerschnitt in cm²; $A_c = b \cdot d$
 d statische Nutzhöhe in cm
 b Querschnittsbreite in cm
 M_{Rd} Bemessungswert des aufnehmbaren Biegemomentes in kNm

ϵ_c	ϵ_s	235 JRG					BSt 500				
		ρ_1 [‰]				k_s	ρ_1 [‰]				k_s
		P 2,2	P 3,3	P 4,4	P 6,6		P 2,2	P 3,3	P 4,4	P 6,6	
0,25	10,0	0,011	0,016	0,021	0,032	4,934	0,005	0,008	0,010	0,015	2,319
0,50	10,0	0,042	0,063	0,084	0,126	4,973	0,020	0,030	0,039	0,059	2,337
0,75	10,0	0,092	0,138	0,184	0,276	5,010	0,043	0,065	0,087	0,130	2,355
1,00	10,0	0,160	0,240	0,320	0,480	5,047	0,075	0,113	0,150	0,226	2,372
1,25	10,0	0,244	0,367	0,489	0,733	5,082	0,115	0,172	0,230	0,345	2,388
1,50	10,0	0,344	0,517	0,689	1,033	5,116	0,162	0,243	0,324	0,485	2,405
1,75	10,0	0,459	0,688	0,917	1,376	5,149	0,216	0,323	0,431	0,647	2,420
2,00	10,0	0,586	0,880	1,173	1,760	5,181	0,276	0,414	0,551	0,827	2,435
2,25	10,0	0,718	1,078	1,437	2,155	5,217	0,337	0,506	0,675	1,013	2,452
2,50	10,0	0,844	1,267	1,689	2,534	5,256	0,397	0,596	0,794	1,191	2,470
2,75	10,0	0,966	1,449	1,932	2,898	5,297	0,454	0,681	0,908	1,362	2,489
3,00	10,0	1,083	1,625	2,166	3,249	5,338	0,509	0,764	1,018	1,527	2,509
3,00	9,75	1,104	1,657	2,208	3,312	5,348	0,519	0,779	1,038	1,557	2,514
3,00	9,50	1,126	1,690	2,253	3,379	5,358	0,529	0,794	1,059	1,588	2,518
3,00	9,25	1,149	1,724	2,299	3,448	5,368	0,540	0,810	1,080	1,620	2,523
3,00	9,00	1,173	1,760	2,346	3,519	5,379	0,551	0,827	1,103	1,654	2,528
3,00	8,75	1,198	1,798	2,396	3,594	5,391	0,563	0,845	1,126	1,689	2,534
3,00	8,50	1,224	1,837	2,449	3,672	5,403	0,575	0,863	1,151	1,726	2,539
3,00	8,25	1,251	1,877	2,503	3,754	5,415	0,588	0,882	1,176	1,764	2,545
3,00	8,00	1,279	1,920	2,560	3,839	5,428	0,601	0,902	1,203	1,804	2,551
3,00	7,75	1,309	1,965	2,619	3,929	5,442	0,615	0,923	1,231	1,846	2,558
3,00	7,50	1,340	2,012	2,682	4,022	5,457	0,630	0,945	1,260	1,890	2,565
3,00	7,25	1,373	2,061	2,747	4,120	5,472	0,645	0,968	1,291	1,936	2,572
3,00	7,00	1,407	2,112	2,816	4,223	5,488	0,661	0,993	1,323	1,985	2,579
3,00	6,75	1,443	2,166	2,888	4,331	5,505	0,678	1,018	1,357	2,036	2,588
3,00	6,50	1,481	2,223	2,964	4,445	5,523	0,696	1,045	1,393	2,089	2,596
3,00	6,25	1,522	2,283	3,044	4,566	5,543	0,715	1,073	1,431	2,146	2,605
3,00	6,00	1,564	2,347	3,129	4,692	5,563	0,735	1,103	1,470	2,205	2,615
3,00	5,75	1,608	2,414	3,218	4,827	5,585	0,756	1,134	1,512	2,268	2,625
3,00	5,50	1,656	2,485	3,313	4,968	5,608	0,778	1,168	1,557	2,335	2,636
3,00	5,25	1,706	2,560	3,413	5,119	5,633	0,802	1,203	1,604	2,406	2,648
3,00	5,00	1,759	2,640	3,520	5,279	5,660	0,827	1,241	1,654	2,481	2,660
3,00	4,75	1,816	2,725	3,633	5,449	5,689	0,854	1,281	1,708	2,561	2,674
3,00	4,50	1,877	2,816	3,754	5,631	5,720	0,882	1,324	1,765	2,647	2,688
3,00	4,25	1,941	2,913	3,884	5,825	5,753	0,912	1,369	1,825	2,738	2,704
3,00	4,00	2,011	3,017	4,023	6,033	5,790	0,945	1,418	1,891	2,836	2,721
3,00	3,75	2,085	3,129	4,172	6,257	5,829	0,980	1,471	1,961	2,941	2,740
3,00	3,50	2,165	3,249	4,332	6,497	5,872	1,018	1,527	2,036	3,054	2,760
3,00	3,25	2,252	3,379	4,505	6,757	5,920	1,058	1,588	2,117	3,176	2,782
3,00	3,00	2,346	3,520	4,693	7,039	5,972	1,102	1,654	2,206	3,308	2,807
3,00	2,75	2,448	3,673	4,897	7,345	6,030	1,150	1,726	2,302	3,452	2,834
3,00	2,50	2,559	3,840	5,120	7,679	6,094	1,203	1,805	2,406	3,609	2,864
3,00	2,25	2,681	4,023	5,363	8,044	6,166	1,260	1,891	2,521	3,781	2,898
3,00	2,00	2,815	4,224	5,632	8,446	6,247	1,438	2,158	2,877	4,315	3,191
3,00	1,75	2,963	4,446	5,928	8,891	6,339	1,730	2,596	3,461	5,191	3,701
3,00	1,50	3,128	4,694	6,257	9,385	6,445	2,130	3,197	4,262	6,393	4,390
3,00	1,25	3,312	4,970	6,625	9,937	6,568	2,707	4,062	5,416	8,122	5,368
3,00	1,00	3,595	5,395	7,193	10,79	6,857	3,595	5,395	7,193	10,79	6,857

Tabelle 2.3: Bemessungstabelle zur Ermittlung der Tragfähigkeit; dimensionsgebundene Beiwerte

ungswert des aufnehmbaren Biegemomentes M_{Rd} kann bei bekanntem Hilfwert k_s und bekannter Bewehrungsfläche A_s mit Hilfe von Gleichung (2.16) berechnet werden.

Das folgende Beispiel zeigt die Ermittlung des Bemessungswertes des aufnehmbaren Biegemomentes M_{Rd} eines bewehrten Porenbetonbauteils mit vorgegebenem Stahlquerschnitt. Für das vorstehende Beispiel mit einem erforderlichen Bewehrungsquerschnitt von $1,04 \text{ cm}^2$ werden $7 \text{ } \varnothing 4,5$ mit einem Gesamtquerschnitt von $1,11 \text{ cm}^2$ gewählt. Mit Hilfe von Gleichung (2.18) erhält man den bezogenen Bewehrungsgrad ϖ

$$1000 \cdot \varpi = 1000 \cdot \frac{A_s}{A_c} \cdot \frac{\gamma_{c1} \cdot f_{yk}}{\alpha \cdot f_{ck} \cdot \gamma_s} = \frac{1000 \cdot 1,11}{62,5 \cdot 20} \cdot \frac{1,3 \cdot 500}{0,85 \cdot 3,3 \cdot 1,15} = 178,9$$

Durch Interpolation findet man in Tabelle 2.2 die zugehörigen Beiwerte

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= 3\text{‰} & \varepsilon_s &= 8,2\text{‰} \\ k_x &= 0,269 & k_z &= 0,9030 & 1000 \cdot m_d &= 161,6 \end{aligned}$$

Gleichung (2.17) ergibt damit den Bemessungswert des aufnehmbaren Biegemomentes:

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= m_d \cdot b \cdot d^2 \cdot \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_{c1}} = 0,1616 \cdot 0,625 \cdot 0,20^2 \cdot \frac{0,85 \cdot 3,3 \cdot 1000}{1,3} \\ &= 8,7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Bei Anwendung des Verfahrens mit dimensionsgebundenen Beiwerten wird zuerst das vorhandene Bewehrungsverhältnis berechnet:

$$\frac{A_s}{A_c} = \frac{1,11}{62,5 \cdot 20} = 0,000888 = 0,888 \text{ ‰}$$

Durch Interpolation findet man in Tabelle 2.3 für Porenbeton der Festigkeitsklasse P 3,3 und BSt 500 den Bemessungshilfwert

$$k_s = 2,547$$

Der Bemessungswert des aufnehmbaren Biegemomentes M_{Rd} ergibt sich mit Hilfe von Gleichung (2.16) zu

$$M_{Rd} = \frac{A_s \cdot d}{k_s} = \frac{1,11 \cdot 20}{2,547} = 8,7 \text{ kNm}$$

Biegung mit Längskraft

Die Bemessungstabellen 2.1 bis 2.3 gelten nach den Festlegungen des Abschnitts 10.2 der Norm DIN 4223-2:2003-12 unter Zugrundelegung der bilinearen Spannungs-Dehnungs-Beziehung nach Abschnitt 9.1.2 für reine Biegung. Ist z.B. bei der Bemessung von Dach- oder Deckenplatten, die gleichzeitig als aussteifende Scheibe wirken, eine Längskraft bei der Bemessung zu berücksichtigen, wird das Bemessungsverfahren modifiziert.

Die Normalkraft aus der Beanspruchung, die bei der Schnittkraftermittlung üblicherweise auf die Schwerachse des Bauteils bezogen wird, wird entsprechend Abb. 2.13 auf die Schwerachse der Längsbewehrung projiziert. Dadurch entsteht ein Versatzmoment, das mit dem Biegemoment aus der Beanspruchung überlagert wird.

Mit den in Abb. 2.13 angegebenen Bezeichnungen ergibt sich der Bemessungswert des Biegemomentes zu

$$M_d = M_{d,0} - \Delta M_{d,N} = M_{d,0} - N_{d,0} \cdot e_z = M_{d,0} - N_{d,0} \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot h\right) \quad (2.19)$$

Dabei ist

- M_d der Bemessungswert des Biegemomentes;
- $M_{d,0}$ der Bemessungswert des Biegemomentes aus äußeren Einwirkungen;
- $\Delta M_{d,N}$ das Versatzmoment der Längskraft;
- $N_{d,0}$ der Bemessungswert der Längskraft aus äußeren Einwirkungen (Druckkräfte sind negativ);
- e_z der Abstand zwischen den Schwerachsen der Bewehrung und des Porenbetonquerschnitts;
- d die statische Nutzhöhe des Querschnitts;
- h die Querschnittshöhe.

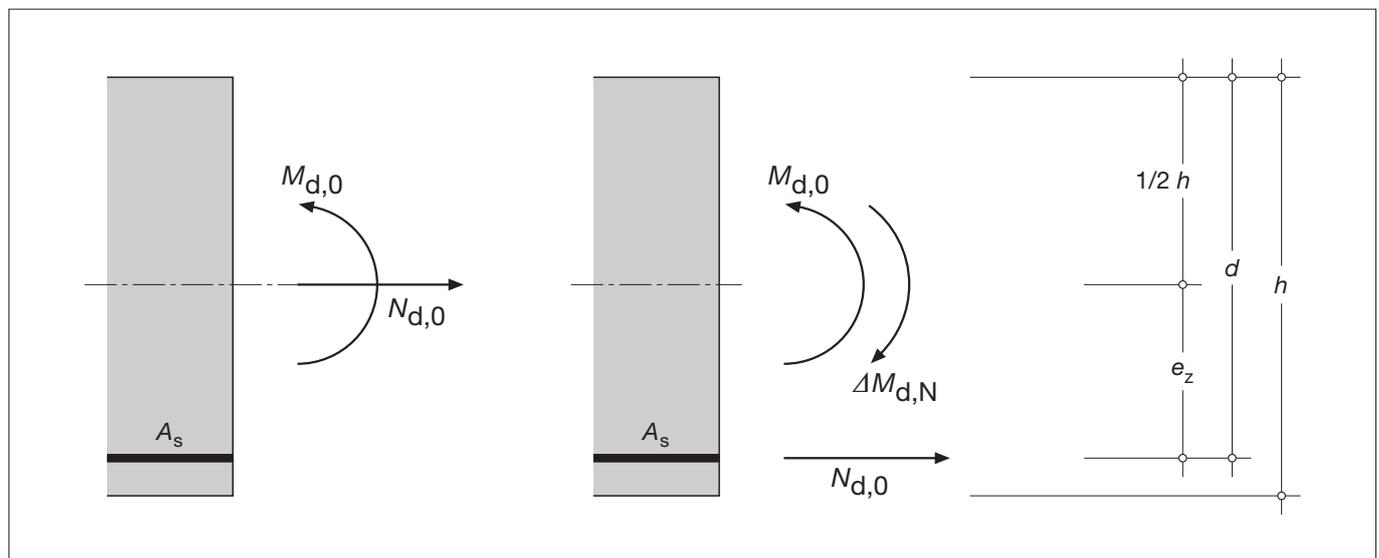


Abb. 2.13: Schnittkräfte am Porenbetonquerschnitt bei Biegung mit Längskraft

Die Ermittlung des erforderlichen Bewehrungsquerschnittes $A_{s,M}$ erfolgt für M_d wie weiter oben für reine Biegebeanspruchung beschrieben. Darüber hinaus ist ein Bewehrungsquerschnitt zur Aufnahme der auf die Schwerachse der Bewehrung projizierten Längskraft erforderlich. Dieser zusätzliche Stahlquerschnitt $A_{s,N}$ ergibt sich aus der Längskraft $N_{d,0}$ und der Stahlspannung in der Längsbewehrung

$$A_{s,N} = \frac{N_{d,0}}{\sigma_s} = \frac{N_{d,0}}{\varepsilon_s \cdot E_s} \geq \frac{\gamma_s \cdot N_{d,0}}{f_{yk}} \quad (2.20)$$

Die Vorgehensweise bei der Bemessung für Biegung mit Längskraft wird mit dem folgenden Beispiel gezeigt. Auf den im Beispiel weiter oben beschriebenen Porenbetonquerschnitt wirkt zusätzlich eine Längsdruckkraft mit einem Bemessungswert $N_{d,0} = -5$ kN. Das Bemessungsmoment ergibt sich nach Gleichung (2.19) zu

$$M_d = M_{d,0} - N_{d,0} \cdot \left(d - \frac{h}{2} \right) = 8,2 + 5,0 \cdot \left(0,20 - \frac{0,225}{2} \right) = 8,64 \text{ kNm}$$

Die dimensionsgebundenen Bemessungshilfswerte ergeben sich nach Gleichung (2.15) und Tabelle 2.1:

$$k_d = d \cdot \sqrt{\frac{b}{M_d}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{0,625}{8,64}} = 5,379$$

$$\varepsilon_c = 3\% \quad \varepsilon_s = 8,29\%$$

$$k_x = 0,266 \quad k_z = 0,904 \quad k_s = 2,544 \text{ für BSt 500}$$

Der erforderliche Bewehrungsquerschnitt ergibt sich unter Berücksichtigung der ermittelten Stahldehnung aus den Gleichungen (2.16) und (2.20):

$$\begin{aligned} A_s &= A_{s,M} + A_{s,N} = k_s \cdot \frac{M_d}{d} + \frac{\gamma_s \cdot N_{d,0}}{f_{yk}} \\ &= 2,544 \cdot \frac{8,64}{20} - \frac{1,15 \cdot 5,0}{500} \cdot 10 = 0,984 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Aus dem Vergleich der Beispiele für reine Biegung und für Biegung mit Längsdruckkraft ist zu sehen, dass die Längsdruckkraft eine Verringerung des erforderlichen Bewehrungsquerschnitts bewirkt. Daher ist bei Bauteilen, bei denen die Längsdruckkraft aus einer veränderlichen Einwirkung resultiert, die Querschnittsbemessung stets sowohl für die Biegung mit Längskraft als auch für die Biegung allein durchzuführen. Der maßgebende Bewehrungsquerschnitt ist einzulegen und zu verankern. Weiterhin ist zu beachten, dass bei Stahldehnungen $\varepsilon_s < 1,0\%$ infolge des Bemessungsmomentes M_d der Gültigkeitsbereich des Bemessungsmodells für Biegung mit Längskraft verlassen wird. In diesem Fall ist bei der Bemessung des Bauteils die Knickgefahr zu berücksichtigen (vgl. auch Erläuterungen zum Abschnitt 8.3).

Anrechnung einer Druckbewehrung

Nach DIN 4223-2:2003-12 darf in Grenzen bei der Bemessung bzw. beim Nachweis der Tragfähigkeit unter Beachtung konstruktiver Anforderungen eine Druckbewehrung in Rechnung gestellt werden. Dazu sind nach DIN 4223-2 die folgenden Bedingungen zu beachten:

- Bei der Bemessung und beim Nachweis der Tragfähigkeit darf nur die Hälfte des Stahlquerschnittes der eingelegten Druckbewehrung in Rechnung gestellt werden. Die Verankerung ist jedoch unter Beachtung der Verträglichkeitsbedingungen für den gesamten Stahlquerschnitt der Druckbewehrung nachzuweisen.
- Der Mindeststabdurchmesser der Druckbewehrung beträgt 6 mm.
- Der Durchmesser der zur Verankerung der Druckbewehrung benutzten Querstäbe darf nicht größer sein als der Durchmesser der Längsstäbe.
- Der Achsabstand der Stäbe der Druckbewehrung darf nicht kleiner als 50 mm und nicht größer als 500 mm betragen.
- Die Längsstäbe der Druckbewehrung sind durch konstruktive Maßnahmen (z.B. durch an den Eckstäben angeschweißte Abstandhalter) gegen Ausknicken zu sichern.

Besonders zu beachten ist, dass eine Druckbewehrung bei der Bemessung und beim Nachweis der Tragfähigkeit schlanker Bauteile mit Längsdruck nicht in Rechnung gestellt werden darf (vgl. hierzu auch die Erläuterungen zum Abschnitt 8.4).

Die Ermittlung der aus einer bestimmten Dehnungsverteilung resultierenden inneren Kräfte bereitet bei bekannten Bewehrungsquerschnitten und deren Lage keine Schwierigkeiten. Bei der Bemessung müssen die Bewehrungsquerschnitte und deren Lage sowie die Dehnungsverteilung so bestimmt werden, dass sich die Schnittkräfte aus den äußeren Einwirkungen und die inneren Kräfte im Gleichgewicht befinden.

Um diese Bemessungsaufgabe zu vereinfachen, wird festgelegt, dass die Betonrandstauchung am gedrückten Querschnittsrand die zulässige Stauchung $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = -0,003$ erreicht hat. Die Porenbetondruckzone ist daher voll ausgenutzt und eine Bewehrung, deren Schwerpunkt innerhalb der Druckzone liegt, erhöht die Tragfähigkeit des Querschnitts. Zur weiteren Vereinfachung wird die Stahldehnung der Zugbewehrung auf einen Wert ε_c^* festgelegt. Damit ist die Dehnungsverteilung über dem Querschnitt bekannt (siehe Abb. 2.14).

Der Bemessungswert des Biegemomentes wird nach Abb. 2.14 und Gleichung (2.21) in zwei Anteile zerlegt:

$$M_d = M_d^* + \Delta M_d \quad (2.21)$$

Der Anteil M_d^* entspricht dem Bemessungswert des aufnehmbaren Biegemomentes für den Querschnitt ohne Anrechnung der Druckbewehrung. Das „Restmoment“ ΔM_d wird durch die Druckbewehrung aufgenommen. Die resultierende Druckkraft ΔD ergibt sich aus Integration der Spannungen in der Druckbewehrung unter Berücksichtigung der Stauchung ε_{s0} (vgl. Abb. 2.14), wobei die Spannung auf den Bemessungswert der Stahlfestigkeit f_{yd} begrenzt wird.

Um das Gleichgewicht der Längskräfte aufrecht zu erhalten, muss der Querschnitt der Zugbewehrung entsprechend vergrößert werden. Hierbei ist die festgelegte Dehnungsverteilung und die Spannungsbegrenzung zu beachten.

Für jede fest vorgegebene Dehnungsverteilung lassen sich Hilfswerte ermitteln und in Tabellen darstellen. Tabelle 2.4 enthält die dimensionsgebundenen Beiwerte k_s zur Ermittlung der erforderlichen Fläche der Druck- und Zugbewehrung in Ab-

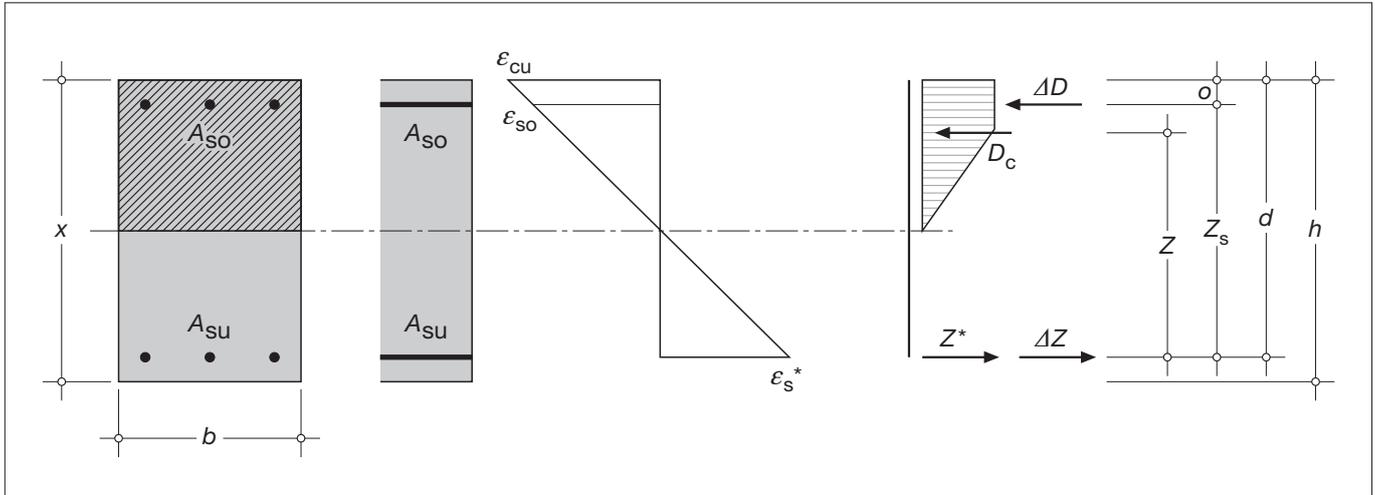


Abb. 2.14: Querschnitt mit Druckbewehrung. Bezeichnungen, Dehnungszustand und innere Kräfte

hängigkeit vom Abstand der Schwerachse der Druckbewehrung vom gedrückten Querschnittsrand für eine vorgegebene Stahldehnung der Zugbewehrung $\epsilon_s^* = 0,0025$.

Die für eine Bemessung mit dimensionsgebundenen Beiwerten unter Anrechnung einer Druckbewehrung erforderlichen Gleichungen sind im Folgenden zusammengefasst.

$$k_o = \frac{o}{d} \quad (2.22)$$

$$M^* = 0,01909 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot d^2 \quad (2.23)$$

$$A_{so} = \frac{M_d - M^*}{d} \cdot k_{so} \quad (2.24)$$

$$A_{su} = \frac{M^*}{d} \cdot (k_s^* - k_{su}) + \frac{M_d}{d} \cdot k_{su} = \frac{M^* \cdot (k_s^* - k_{su}) + M_d \cdot k_{su}}{d} \quad (2.25)$$

Dabei ist

- k_o ein dimensionsfreier Hilfswert zur Beschreibung der Lage der Druckbewehrung;
- o der Abstand der Schwerachse der Druckbewehrung vom gedrückten Querschnittsrand in cm;
- d die statische Nutzhöhe in cm
- M_d der Bemessungswert des Biegemomentes aus äußeren Einwirkungen in kNm;
- M^* der Bemessungswert des Grenzmomentes für den vorgegebenen Dehnungszustand in kNm;
- f_{ck} die charakteristische Druckfestigkeit des Porenbetons in MPa;
- b die Breite des Rechteckquerschnitts in m;
- A_{so} die Fläche der (oberen) Druckbewehrung in cm^2 ;
- A_{su} die Fläche der (unteren) Zugbewehrung in cm^2 ;
- k_s^*, k_{so}, k_{su} dimensionsgebundene Bemessungshilfswerte nach Tabelle 2.4

Das folgende Beispiel zeigt die Vorgehensweise bei der Bemessung. Eine Porenbetonplatte mit den Querschnittsabmessungen $b = 0,625$ m und $h = 0,25$ m wird durch ein Biegemoment mit dem Bemessungswert $M_d = 35$ kNm beansprucht.

Es wird Porenbeton der Festigkeitsklasse P 4,4 und Bewehrungsstahl der Sorte BSt 500 verwendet. Die Schwerachse der oberen und unteren Bewehrung von der Plattenober- bzw. -unterseite beträgt jeweils $o = u = 1,9$ cm.

Die statische Nutzhöhe ergibt sich zu

$$d = h - u = 25 - 1,9 = 23,1 \text{ cm}$$

Das durch den Querschnitt aufnehmbare Grenzmoment ohne Druckbewehrung ergibt sich nach Gleichung (2.23) mit den oben angegebenen Abmessungen und Materialkennwerten:

$$M^* = 0,01909 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot d^2 = 0,01909 \cdot 4,4 \cdot 0,625 \cdot 23,1^2 = 28,01 \text{ kNm}$$

Mit dem Beiwert für die Lage der Druckbewehrung

$$k_o = \frac{o}{d} = \frac{1,9}{23,1} = 0,0823$$

ergeben sich aus Tabelle 2.4 durch lineare Interpolation die Bemessungshilfswerte

$$k_s^* = 2,864 \quad k_{so} = k_{su} = 2,506 \quad \epsilon_{so} = 2,548 \text{ für BSt 500}$$

Nach Gleichung (2.24) wird der erforderliche Querschnitt der Druckbewehrung ermittelt

$$A_{so} = \frac{M_d - M^*}{d} \cdot k_{so} = \frac{35 - 28,01}{23,1} \cdot 2,506 = 0,76 \text{ cm}^2$$

Die erforderliche Gesamtfläche der Zugbewehrung wird nach Gleichung (2.25) berechnet

$$A_{su} = \frac{M^*}{d} \cdot (k_s^* - k_{su}) + \frac{M_d}{d} \cdot k_{su} = \frac{28,01 \cdot (2,864 - 2,506) + 35 \cdot 2,506}{23,1} = 4,23 \text{ cm}^2$$

Bei der Bemessung unter Anrechnung einer Druckbewehrung nach DIN 4223-2 ist zu beachten, dass die vorhandene Druckbewehrung nur zur Hälfte angerechnet werden darf. Für das obenstehende Beispiel bedeutet das, dass mindestens $1,52 \text{ cm}^2$ eingelegt werden müssen (z. B. 6 \emptyset 6). Der Nach-

$$k_o = \frac{o}{d}$$

$$M^* = 0,01909 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot d^2$$

$$A_{so} = \frac{M_d - M^*}{d} \cdot k_{so}$$

$$A_{su} = \frac{M^* \cdot (k_s^* - k_{su}) + M_d \cdot k_{su}}{d}$$

- o Achsabstand der Druckbewehrung vom gedrückten Querschnittsrand in cm
- d statische Nutzhöhe in cm
- b Querschnittsbreite in m
- f_{ck} charakteristische Porenbetondruckfestigkeit in MPa
- M_d Bemessungswert des Biegemomentes in kNm
- M^* Bemessungswert des Grenzmomentes in kNm
- A_{so} Stahlquerschnitt der Druckbewehrung in cm^2
- A_{su} Stahlquerschnitt der Zugbewehrung in cm^2

Die Tabelle gilt nur für die Dehnungsverteilung $\epsilon_c = \epsilon_{cu} = -0,003$ und $\epsilon_s = \epsilon_s^* = 0,0025$.

k_o	ϵ_{so} [%]	235 JRG		BSt 500	
		k_{so}	= k_{su}	k_{so}	k_{su}
0,000	3,000		4,894		2,300
0,005	2,973		4,918		2,312
0,010	2,945		4,943		2,323
0,015	2,918		4,968		2,335
0,020	2,890		4,993		2,347
0,025	2,863		5,019		2,359
0,025	2,863		5,019		2,359
0,030	2,835		5,045		2,371
0,035	2,808		5,071		2,383
0,040	2,780		5,098		2,396
0,045	2,753		5,124		2,408
0,050	2,725		5,151		2,421
0,055	2,698		5,178		2,434
0,060	2,670		5,206		2,447
0,065	2,643		5,234		2,460
0,070	2,615		5,262		2,473
0,075	2,588		5,290		2,486
0,080	2,560		5,319		2,500
0,085	2,533		5,348		2,514
0,090	2,505		5,378		2,527
0,095	2,478		5,407		2,541
0,100	2,450		5,437		2,556
0,110	2,395		5,498		2,584
0,120	2,340		5,561		2,614
0,125	2,313		5,593		2,629
0,130	2,285		5,625		2,644
0,140	2,230		5,690		2,674
0,150	2,175		5,757		2,706
0,160	2,120		5,826	2,808	2,738
0,170	2,065		5,896	2,917	2,771
0,175	2,038		5,932	2,975	2,788
0,180	2,010		5,968	3,034	2,805
0,190	1,955		6,042	3,157	2,840
0,200	1,900		6,117	3,289	2,875
0,225	1,763		6,314	3,660	2,968
0,250	1,625		6,525	4,103	3,067
	k_s^*		6,094	2,864	

Tabelle 2.4: Bemessungstabelle zur Ermittlung der Tragfähigkeit für Querschnitte mit Druckbewehrung; dimensionsgebundene Beiwerte k_s^* , k_{su} und k_{so} ($\epsilon_c = \epsilon_{cu} = -0,003$, $\epsilon_s = \epsilon_s^* = 0,0025$)

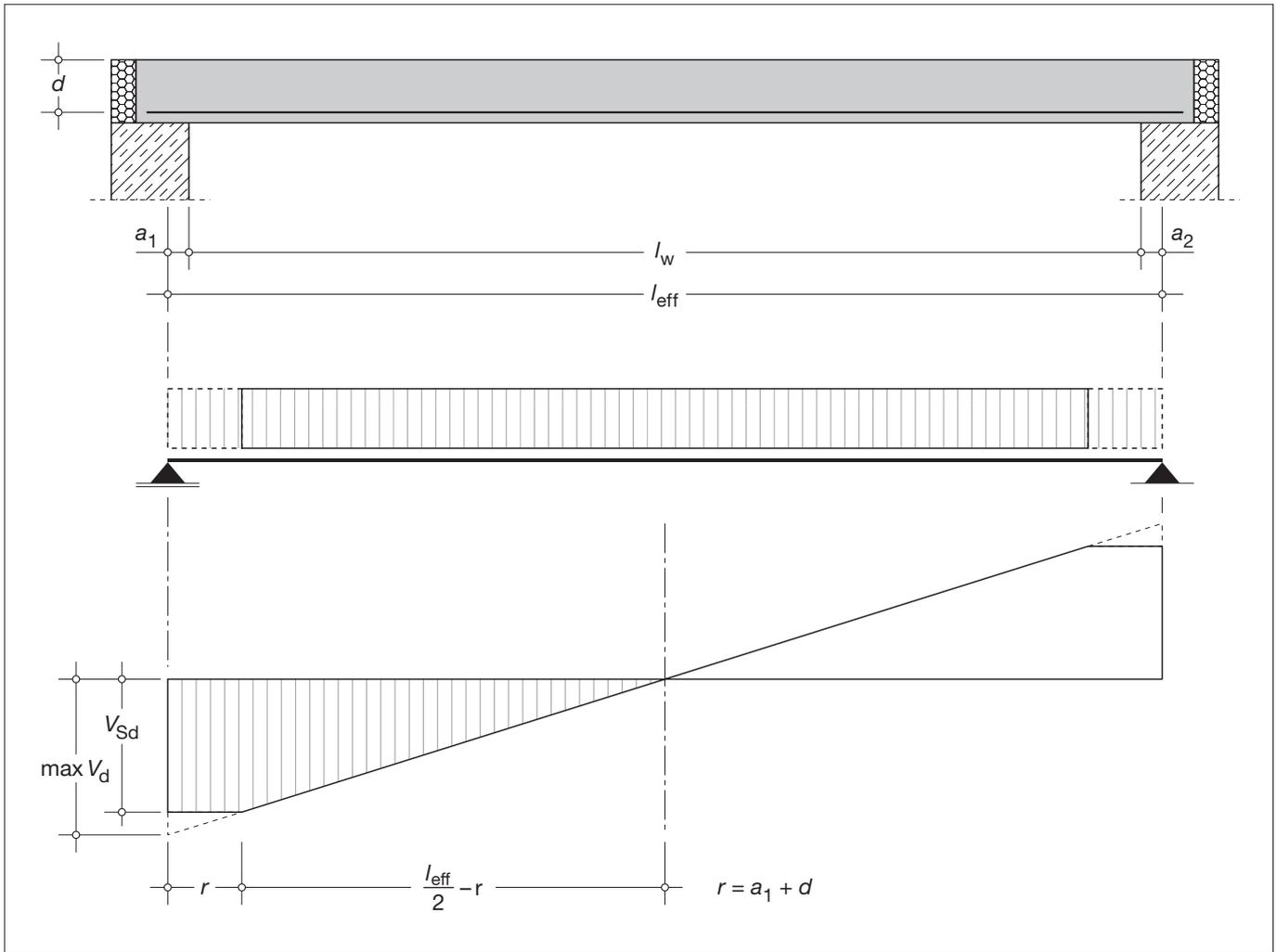


Abb. 2.15: Abminderung der Bemessungswertes der Querkraft bei Gleichlasten

weis der Verankerung der Druckbewehrung durch Querstäbe nach DIN 4223-2, Abschnitt 12.4 ist für die Verankerungskraft zu führen, die sich unter Beachtung der Stahldehnungen aus dem tatsächlich eingelegten Stahlquerschnitt der Druckbewehrung (hier $1,70 \text{ cm}^2$) ergibt.

Weiterhin ist zu beachten, dass der Mindestdurchmesser der Bewehrungsstäbe, die für die Druckbewehrung genutzt werden, 6 mm beträgt und dass mindestens die außenliegenden Längsstäbe der Druckbewehrung durch mit der Zugbewehrung verschweißte Abstandshalter gegen Ausknicken gesichert werden.

**Zu Abschnitt 10.3:
Querkraft**

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit ist für den Bemessungswert der Querkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu führen. Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird keine Anforderung gestellt, da Durchbiegungen infolge Querkraft vernachlässigbar klein sind und Querkraftrisse auf Gebrauchslastniveau nicht zu erwarten sind.

Die Querkrafttragfähigkeit eines Querschnitts wird durch drei Anteile, verbunden mit dem jeweiligen Tragmodell, bestimmt.

- V_{Rd1} ist der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit für Querschnitte ohne Querkraftbewehrung. Der Querkrafttragfähigkeit eines Bauteils ohne Querkraftbewehrung liegt ein Bogen-Zugband-Modell zugrunde. Die Steifigkeit des Zugbandes und dessen Verankerung hat erheblichen Einfluss auf die Tragfähigkeit des Druckbogens. Mit zunehmender Steifigkeit des Zugbandes infolge eines größeren Bewehrungsverhältnisses nimmt die Schubtragfähigkeit eines Bauteils ohne Querkraftbewehrung zu. Die in DIN 4223-2, Gleichung (19) angegebene Tragfähigkeit enthält daher als Parameter das Bewehrungsverhältnis ρ_1 . Diese empirische, dimensionsbehaftete Gleichung basiert auf der Auswertung von einer Vielzahl an Versuchen, deren Ergebnisse aus verschiedenen europäischen Ländern zusammengetragen wurden ([11]). Besonders zu beachten ist, dass der Gültigkeitsbereich dieser Gleichung auf Bauteildicken $d \leq 0,4 \text{ m}$ beschränkt ist. Der ebenso in Gleichung (19) enthaltene Mindestwert der Querkrafttragfähigkeit entspricht der Querkrafttragfähigkeit nach DIN 4223 07.1958x [2] und leitet sich aus der aufnehmbaren Hauptzugspannung ab.
- V_{Rd2} ist der Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit von querkraftbewehrten Bauteilen. Er ergibt sich aus der Tragfähigkeit der Porenbetondruckstrebe des zugrunde liegenden Fachwerkmodells. Dieser Bemessungswert wird in der Re-

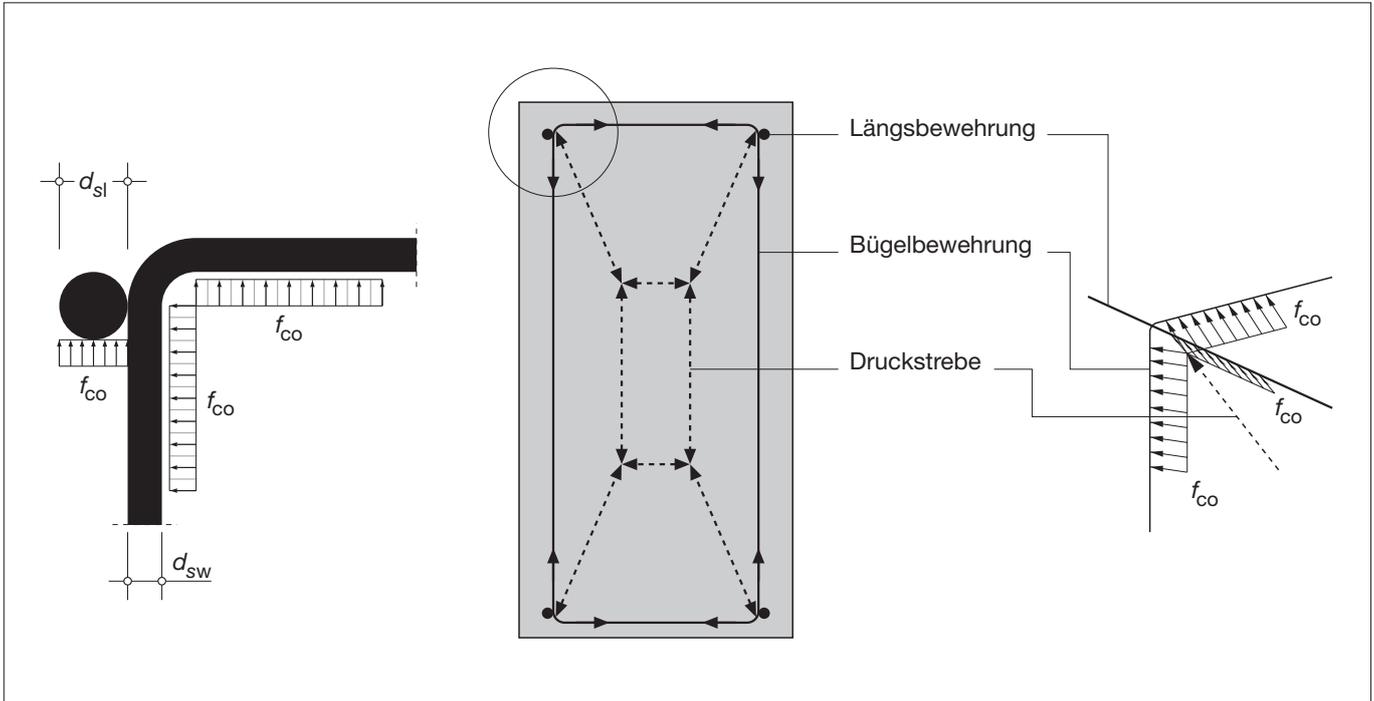


Abb. 2.17: Einleitung der Druckstrebenkraft bei geschlossenen Bügeln

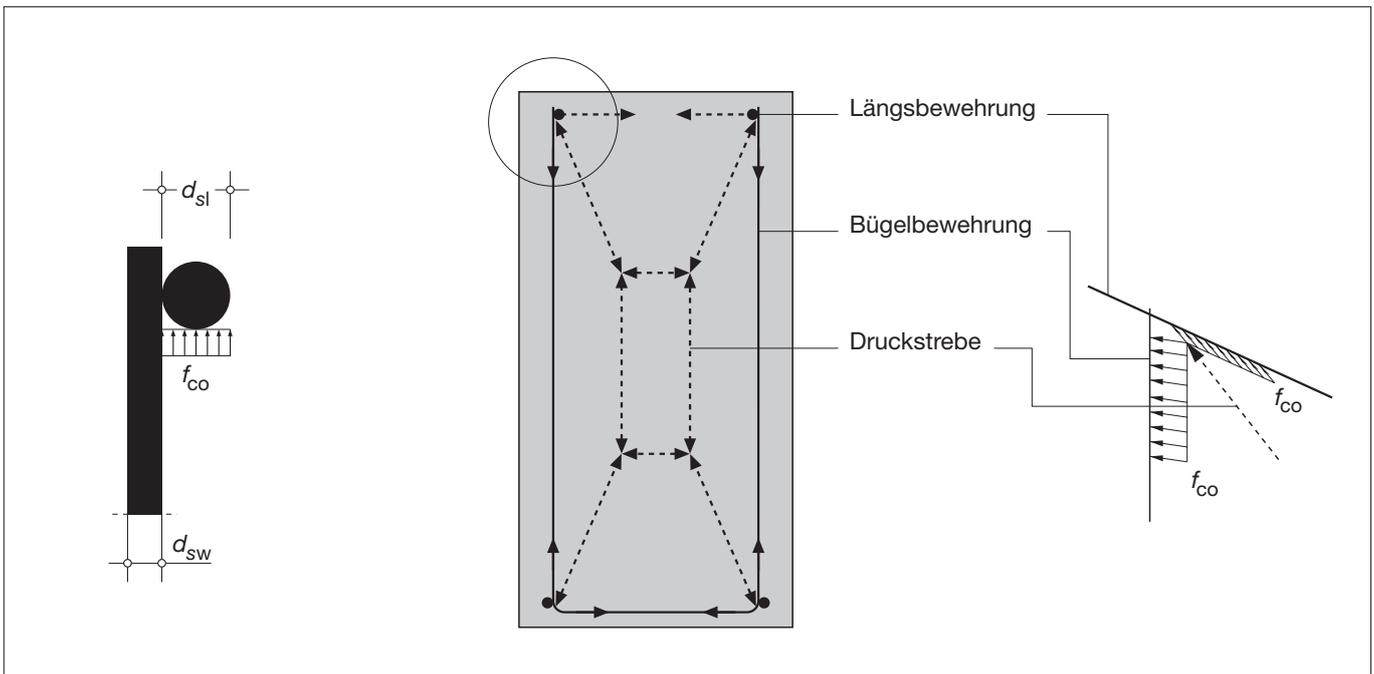


Abb. 2.18: Einleitung der Druckstrebenkraft bei offenen Bügeln

Bei einem offenen Bügel oder bei Schubleitern (Abb. 2.18) beträgt die Kontaktfläche

$$A_{co} = l_q \cdot d_{sl} \quad (2.27)$$

Die im vertikalen Schenkel eines Bügels oder einer Schubleiter wirkende Kraft beträgt

$$F_{sw} = \pi \cdot \frac{d_{sw}^2}{4} \cdot \sigma_{sw} \quad (2.28)$$

Aus den vorstehenden Beziehungen leitet sich Gleichung (22) in DIN 4223-2 ab.

Die bei offenen Bügeln zur Herstellung des Gleichgewichts der inneren Kräfte im Porenbeton auftretenden Zugkräfte (vgl. Abb. 2.18) sind so gering, dass sie vom Porenbeton aufgenommen werden können.

Die Faktoren K_1 , K_2 , und K_3 in Gleichung (22) tragen den folgenden Einflüssen Rechnung:

- K_1 Der Faktor K_1 berücksichtigt die Überdeckung des Längsstabs mit Porenbeton.
Bei zu geringer Überdeckung besteht die Gefahr des Versagens der Verankerung des Bügelschenkels mit einem Längsstab durch Abplatzung der seitlichen Überdeckung.
- K_2 Der Faktor K_2 begrenzt die wirksame Länge l_q des zur Verankerung beitragenden Querstabs wie bei der Verankerung der Zugbewehrung auf $l_q = 14 \cdot d_{sl}$ bzw. $l_q = 14 \cdot d_{sw}$ (siehe hierzu auch die Anmerkungen zu Abschnitt 12).
- K_3 Der Faktor K_3 berücksichtigt die sich zusätzlich zur Kontaktfläche des Längsstabs ergebende Kontaktfläche auf den Bügelschenkeln, falls geschlossene Bügel verwendet werden.

Die sich nach DIN 4223-2 Gleichung (22) ergebende aufnehmbare Stahlspannung in der vertikalen Querkraftbewehrung ist auf $\sigma_{swd} \leq 200$ MPa begrenzt.

Aus Gleichung (22) werden die folgenden Besonderheiten der Wirkung von Querkraftbewehrung in Porenbetonbauteilen ersichtlich:

- Die Tragfähigkeit der Bügel wird wegen der vergleichsweise „schwachen“ Verankerung in nur geringem Maße ausgenutzt.
- Bei Verringerung der Bügelabstände $s \leq 14 \cdot d_{sl}$ ergibt sich keine Zunahme der Querkrafttragfähigkeit, da sich die wirksamen Längen l_q der verankernden Längsstäbe überschneiden.
- Die günstigste Ausnutzung der Bügel ergibt sich bei der Verwendung von großen Längsstabdurchmessern in Kombination mit kleinen Bügeldurchmessern. Dabei ist jedoch zu beachten, dass für die Verankerung der Längsstäbe die Bügel als Querstäbe wirken und somit die Effekte kontraproduktiv sind (günstigste Ausnutzung der Bügel für die Verankerung der Zugkraft bei Verwendung kleiner Längsstabdurchmesser in Verbindung mit großen Bügeldurchmessern).

Das in DIN 4223-2 angewendete Bemessungsmodell für die Querkraftbemessung zeigt für die dokumentierten Schubversuche ([13]) eine gute Übereinstimmung.

Von einem Bemessungsmodell für die Querkraftbewehrung mit variabler Druckstrebenneigung wurde in DIN 4223-2 Abstand genommen, da im Grenzzustand der Tragfähigkeit Druckstreben, die flacher als $\theta = 45^\circ$ geneigt sind, mit größeren Druckkräften verbunden sind, die zwar die Querkraftbewehrung entlasten, aber zu größeren örtlichen Spannungen in den Fachwerkknoten führen. Ebenso vergrößern sich die Verankerungskräfte der Zugbewehrung.

Das folgende Beispiel zeigt die Nachweise der Querkrafttragfähigkeit und die Bemessung einer erforderlichen Querkraftbewehrung. Der Querschnitt eines Balkens aus Porenbeton der Festigkeitsklasse P 4,4 und die Bewehrung (BSt 500) ist in Abb. 2.19 dargestellt.

Die Längsbewehrung besteht aus 4 $\varnothing 8$ mm (unten) und 2 $\varnothing 8$ mm (oben), die statische Nutzhöhe beträgt $d = 0,207$ m. Als Querkraftbewehrung werden offene Bügel $\varnothing 6,5$ mm gewählt. Damit sind die zulässigen Verhältnisse von Längs- und Bügelbewehrung nach DIN 4223-1, Tabelle 7 eingehalten.

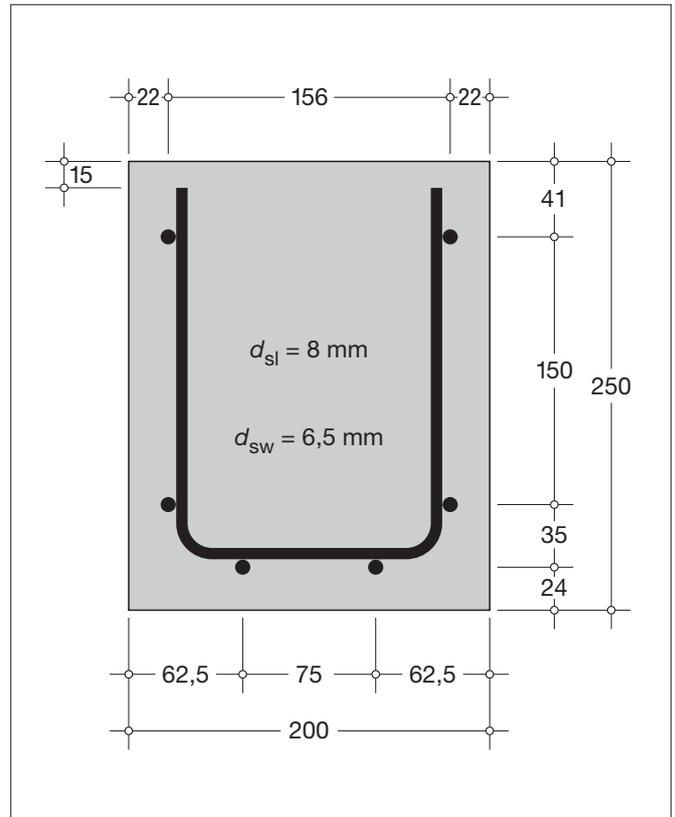


Abb. 2.19: Balkenquerschnitt mit Querkraftbewehrung; Abmessungen

ten. Der Bemessungswert der Querkraft beträgt im Abstand $d = v = 0,207$ m vom Auflager $V_{sd} = 11,7$ kN.

DIN 4223-2, Gleichung (19) ergibt den Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit V_{Rd1} ohne Berücksichtigung der Querkraftbewehrung:

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot (1 - 0,83 \cdot d) \cdot (1 + 240 \cdot \rho_l) \cdot b_w \cdot d$$

Der Grundwert der aufnehmbaren Schubspannung beträgt für P 4,4

$$\tau_{Rd} = \frac{0,063}{\gamma_{c2}} \cdot \sqrt{f_{ck}} = \frac{0,063}{1,7} \cdot \sqrt{4,4} = 0,0777 \text{ MPa}$$

Das Bewehrungsverhältnis der (unteren) Längsbewehrung ρ_l ergibt sich für den Querschnitt nach Abb. 2.19 zu

$$\rho_l = \frac{A_s}{A_c} = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{4 \cdot 0,8^2 \cdot \pi}{4 \cdot 20 \cdot 20,7} = 0,00486 = 4,86 \text{ ‰}$$

Mit diesen Werten wird der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft V_{Rd1} :

$$V_{Rd1} = 0,0777 \cdot (1 - 0,83 \cdot 0,207) \cdot (1 + 0,24 \cdot 4,86) \cdot 0,200 \cdot 0,207 \cdot 10^3 = 5,77 \text{ kN}$$

Nach DIN 4223-2, Gleichung (19) gilt jedoch auch

$$V_{Rd1} \geq 0,06 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{c2}} \cdot b_w \cdot d = 0,06 \cdot \frac{4,4}{1,7} \cdot 0,200 \cdot 0,207 \cdot 10^3 = 6,43 \text{ kN}$$

Der größere Wert $V_{Rd1} = 6,43$ kN ist maßgebend.

Da der Bemessungswert der Querkraft $V_{Sd} = 11,7 \text{ kN}$ größer als V_{Rd1} ist, muß eine Querkraftbewehrung eingelegt werden. Es wird ein Bügelabstand $s_{sw} = 100 \text{ mm}$ gewählt. Für die Bemessung der Querkraftbewehrung wird zunächst die aufnehmbare Zugspannung in der Bügelbewehrung nach DIN 4223-2, Gleichung (22) ermittelt:

$$\sigma_{swd} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_{c2}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{d_{sl}^2 + K_3^2 \cdot d_{sw}^2}{d_{sw}^2}$$

Der Beiwert $K_3 = 0$, da offene Bügel verwendet werden. Der Beiwert K_2 , der die Länge der Druckkontaktfläche berücksichtigt (vgl. Abb. 2.18), ergibt sich zu

$$K_2 = \frac{s_{sw}}{d_{sl}} = \frac{100}{8} = 12,5 < 14$$

Der Beiwert K_1 , der die seitliche Betondeckung berücksichtigt, ergibt sich mit den Werten aus Abb. 2.19:

$$K_1 = 0,33 \cdot \frac{e}{d_{sl}} = 0,33 \cdot \frac{22}{8} = 0,908 < 1,0$$

Die aufnehmbare Stahlspannung ergibt sich jetzt nach Gleichung (22) zu

$$\sigma_{swd} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{0,85 \cdot 4,4}{1,7} \cdot 0,908 \cdot 12,5 \cdot \frac{8,0^2 + 0}{6,5^2} = 48,2 \text{ MPa} < 200 \text{ MPa}$$

Der Anteil der Querkraftbewehrung an der Querkrafttragfähigkeit ergibt sich unter Annahme des Hebelarms der inneren Kräfte von

$$z = k_z \cdot d = 0,85 \cdot 207 = 176 \text{ mm}$$

nach DIN 4223-2, Gleichung (21) bei zwei Bügelschenkeln zu:

$$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s_{sw}} \cdot z \cdot \sigma_{swd} = \frac{2 \cdot 6,5^2 \cdot \pi}{4 \cdot 100} \cdot 176 \cdot 48,2 \cdot 10^{-3} = 5,63 \text{ kN}$$

Die Querkrafttragfähigkeit des Querschnitts mit Querkraftbewehrung ergibt sich nach DIN 4223-2, Gleichung (20):

$$V_{Rd3} = V_{Rd1} + V_{wd} = 6,43 + 5,63 \approx 12,1 \text{ kN} > 11,7 \text{ kN} = V_{Sd}$$

Es ist noch zu prüfen, ob der maximale Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit V_{Rd2} , der sich aus der Tragfähigkeit der schrägen Porenbeton-Druckstreben ableitet, eingehalten wird. Mit dem empirischen Beiwert

$$\nu = 0,7 - \frac{f_{ck}}{30} = 0,7 - \frac{4,4}{30} = 0,553 > 0,5$$

beträgt der maximale Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit für den gegebenen Querschnitt nach DIN 4223-2, Gleichung (18)

$$V_{Rd2} = 0,36 \cdot \nu \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{c2}} = 0,36 \cdot 0,553 \cdot 0,200 \cdot 0,207 \cdot \frac{4,4}{1,7} \cdot 10^3 = 21,3 \text{ kN} > 12,1 \text{ kN} = V_{Rd3}$$

Mit der gewählten Bügelbewehrung wird somit der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit für den gegebenen Balkenquerschnitt unter der gegebenen Beanspruchung erfüllt.

Zu Abschnitt 10.4: Torsion von Balken

Für die Abgrenzung zwischen Balken und Platten wird nochmals auf die Definitionen in Abschnitt 3 der Norm hingewiesen. Dies ist insbesondere bei Sturzwandplatten und Brüstungsplatten zu beachten, die aufgrund der Auflagergeometrie durch Drillmomente belastet und auch demzufolge für diese bemessen werden.

Grundsätzlich ist zwischen Gleichgewichts- und Verträglichkeitstorsion zu unterscheiden. Lediglich für Gleichgewichtstorsion, bei der eine Torsionstragfähigkeit zur Herstellung des Gleichgewichts erforderlich ist, ist ein rechnerischer Nachweis zu führen.

Ein Bemessungstorsionsmoment kann ohne Bewehrung aufgenommen werden, wenn die Torsions-Querkraft-Interaktionsbedingung der Gleichungen (23) bis (25) in DIN 4223-2 eingehalten ist (siehe auch Abb. 2.20). Aus Abb. 2.20 und anhand der Interaktionsgleichungen (23) bis (25) in DIN 4223-2 ist zu erkennen, dass bei rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung ($V_{Sd} / V_{Rd1} > 1$) stets auch eine Torsionsbewehrung erforderlich ist.

Das in den Interaktionsgleichungen (23) bis (25) enthaltene aufnehmbare Torsionsmoment T_{Rd1} ist das Torsionsmoment, das ein Querschnitt unter Einhaltung der aufnehmbaren Schubkräfte im Porenbeton nach Gleichung (19) zusätzlich aufnehmen kann. Werden die Gleichungen (23) bis (25) nicht eingehalten, so ist eine Torsionsbewehrung aus geschlossenen Bügeln erforderlich.

Das Bemessungskonzept für die Torsionsbewehrung orientiert sich an einem Fachwerkmodell mit Zug- und Druckstreben (siehe Abb. 2.21).

Das durch die Bewehrung aufnehmbare Torsionsmoment beträgt

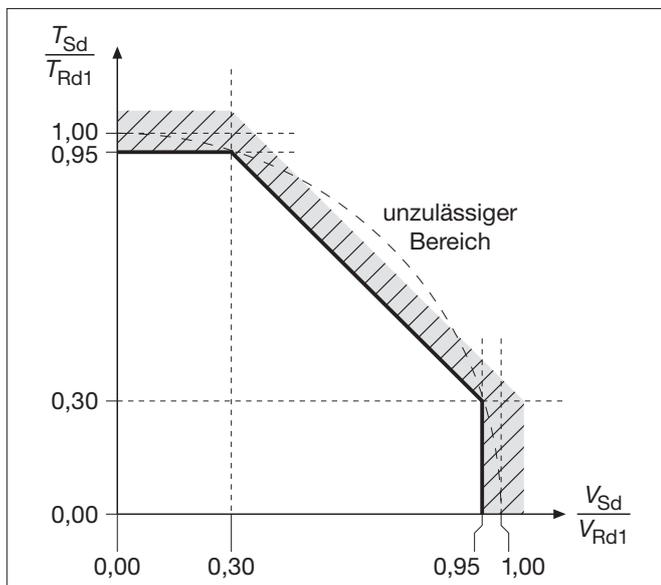
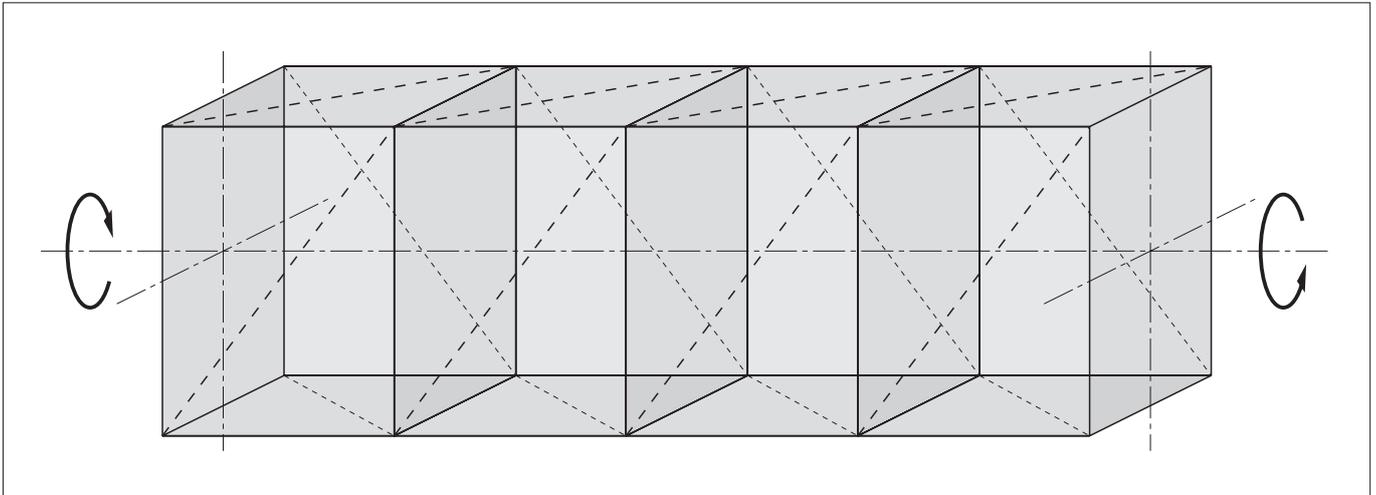


Abb. 2.20: Torsion-Querkraft-Interaktion nach DIN 4223-2, Gleichungen (23) bis (25)


Abb. 2.21: Fachwerkmodell für Torsionsbeanspruchung

$$T_{Rd3} = 2 \cdot \sigma_{swd} \cdot A_k \cdot \frac{A_{sw}}{s} = 2 \cdot \sigma_{sl} \cdot A_k \cdot \frac{A_{sl}}{2 \cdot (b' + d')} \quad (2.29)$$

Dabei ist

- σ_{swd} die Stahlspannung im Bügel, die infolge der Kontaktspannungsbegrenzung höchstens auftreten kann;
- σ_{sl} die Stahlspannung in der Längsbewehrung, die infolge der Kontaktspannungsbegrenzung höchstens auftreten kann;
- A_{sw} die Querschnittsfläche des Bügelschenkels;
- A_{sl} die Querschnittsfläche der Längsbewehrung, die zur Aufnahme der Torsion zur Verfügung steht;
- A_k der durch die Schwerpunkte der Eckbewehrung begrenzte Kernquerschnitt; $A_k = b' \cdot d'$
- b', d' Abstände der Längseckbewehrung (siehe Abb. 2.22).

Unter Annahme einer 45°-Neigung der Druckstreben ergibt sich aus Gleichgewichtsgründen

$$N_c = \sqrt{2} \cdot N_s \quad (2.30)$$

Dabei ist

- N_c die Druckkraft der Druckstrebe
- N_s die Zugkraft im Bügel

Für die Übertragung der Druckkraft der Diagonalen auf die Bewehrung im Fachwerkknoten werden folgende Annahmen getroffen:

- die Länge der Kontaktdruckfläche beträgt $1/8 (d' + b')$, wobei d' und b' die Abstände der Längsbewehrungsstäbe nach Abb. 9 in DIN 4223-2 sind (vgl. Abb. 2.22)
- die Breite der Kontaktfläche entspricht dem Stabdurchmesser; als maßgebender Stabdurchmesser wird vereinfachend der Durchmesser des Bügels d_{sw} angesetzt, da dieser in der Regel den kleineren Stabdurchmesser hat
- die Kontaktspannung beträgt $f_{co} = f_{ck}$

Mit diesen Annahmen beträgt die in der Kontaktfläche übertragbare Druckkraft

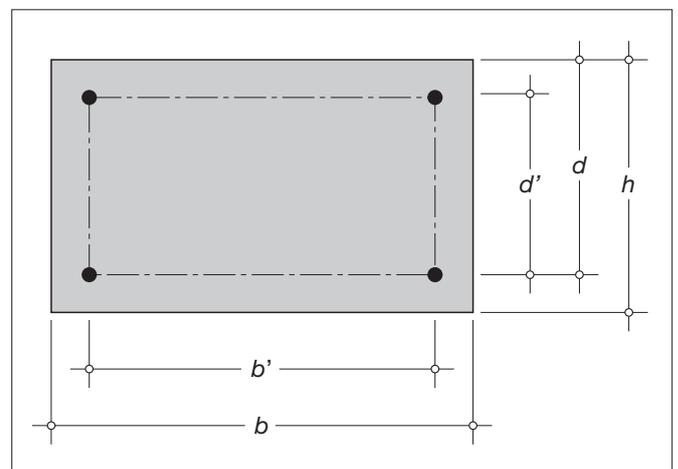
$$N_c = 2 \cdot f_{ck} \cdot d_{sw} \cdot \frac{d' + b'}{8} \quad (2.31)$$

und die Zugspannung im Bügel beträgt somit

$$N_s = \sigma_{swd} \cdot \frac{\pi \cdot d_{sw}^2}{4} \quad (2.32)$$

$$\max \sigma_{swd} = \frac{f_{ck}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{d' + b'}{\pi \cdot d_{sw}} \quad (2.33)$$

Die durch ein Torsionsmoment hervorgerufenen Beanspruchungen der Bewehrung sind den Beanspruchungen der Bügel aus Querkraft zu überlagern. Diese Überlagerung ist auch für die Beanspruchung der Längsbewehrung infolge Torsion und den Beanspruchungen aus Biegezug vorzunehmen. Bei kombinierter Beanspruchung durch Querkraft und Torsion muss die Summe der durch diese Beanspruchungen hervorgerufenen Spannungen in den Bügeln den Begrenzungen der Stahlspannung σ_{swd} nach Gleichung (22) unter Beachtung der Gleichungen (21) und (26) in DIN 4223-2 genügen. Außerdem ist die Verankerung der Längsstäbe für die Summe der Zugkräfte aus Biegung und Torsion nachzuweisen.


Abb. 2.22: Bezeichnungen am Querschnitt mit Torsionsbewehrung

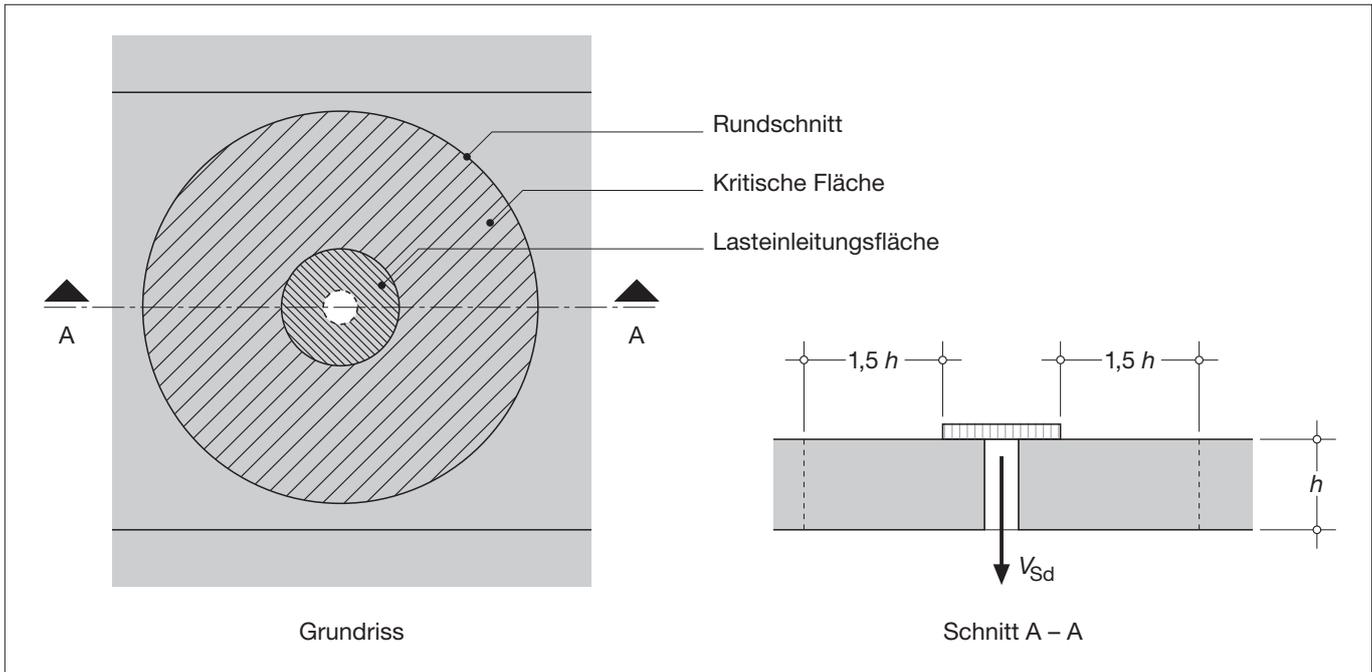


Abb. 2.23: Flächenabzug für A_{crit} bei Aussparungen

Auch wenn Abschnitt 10.4 in DIN 4223-2 Bemessungsregeln für die Torsion von Balken angibt, wird hier darauf hingewiesen, dass die Torsionstragfähigkeit von Balken aus Porenbeton vergleichsweise gering ist. Insbesondere bei kombinierter Beanspruchung durch Querkraft und Torsion führt ein Torsionsmoment mit $T_{Sd} / T_{Rd1} > 0,3$ infolge der Interaktionsvorschrift nach Gleichung (25) in DIN 4223-2 zu einer erheblichen Abminderung der Querkrafttragfähigkeit (Abb. 2.20).

**Zu Abschnitt 10.5:
Durchstanzen**

Bei Einleitung konzentrierter Lasten in flächige Bauteile ist für den Grenzzustand der Tragfähigkeit die Sicherheit gegen Durchstanzen nachzuweisen.

Da bei Porenbetonbauteilen aus verschiedenen Gründen keine Durchstanzbewehrung vorgesehen werden kann, ist nach DIN 4223-2 nur der Nachweis der Tragfähigkeit gegenüber Durchstanzen für Bauteile ohne Durchstanzbewehrung zu führen. Die aufnehmbare Durchstanzlast ist dabei unabhängig vom Biegebewehrungsgrad, da Porenbetonplatten üblicherweise nur einachsig tragend bewehrt werden und die Querbewehrung vergleichsweise große Abstände haben kann.

Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit gegenüber Durchstanzen unterscheidet sich signifikant vom entsprechenden Nachweis für Normalbeton. Nach Gleichung (27) in DIN 4223-2 wird die aufnehmbare Bemessungslast eines Bauteils auf die Grundrissfläche innerhalb eines kritischen Rundschnitts bezogen, während sich die aufnehmbare Bemessungslast im Stahlbetonbau auf die Mantelfläche des Rundschnitts bezieht.

Gleichung (27) basiert auf Auswertung einer Reihe von Versuchen ([14]), wobei der Ansatz der Bezugsgröße A_{crit} eine

bessere Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen ergab als bei Verwendung der im Stahlbetonbau üblichen Rundschnittflächen.

Die Geometrie des kritischen Rundschnitts hängt von der Größe und der Form der Lasteinleitungsfläche und von der Bauteildicke ab (vgl. DIN 4223-2, 10.5.2). Die Ermittlung des kritischen Rundschnitts wird durch die Abbildungen 10 bis 13 in DIN 4223-2, erläutert.

Sind innerhalb des kritischen Rundschnitts Aussparungen vorhanden, sind diese von der kritischen Fläche abzuziehen (siehe Abb. 2.23).

Bei entsprechend kleinen Lasteinleitungsflächen kann es erforderlich werden, zusätzlich einen Nachweis der Teilflächenpressung zu führen.

Das folgende Beispiel zeigt die Vorgehensweise beim Nachweis auf Durchstanzen. Bei einer Deckenplatte aus Porenbeton der Festigkeitsklasse P 4,4 mit der Bauteildicke $h = 0,150$ m werden Lasten $V_{Sd} = 6,5$ kN aus einem Dachpfosten eingeleitet. Die Lasteinleitungsfläche entspricht dem Pfostenquerschnitt $a = b = 0,100$ m. In unmittelbarer Nähe der Lasteinleitung befindet sich eine Öffnung in der Deckenplatte (siehe Abb. 2.24).

Der kritische Rundschnitt im Abstand von

$$r = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 0,150 = 0,225 \text{ m}$$

von der Lasteinleitungsfläche ergibt sich entsprechend Abb. 2.24.

Das Verhältnis von Länge zu Breite der Lasteinleitungsfläche ist 1,0. Für den Umfang der Lasteinleitungsfläche gilt

$$U = 4 \cdot a = 4 \cdot 0,100 = 0,400 \text{ m} < 11 \cdot h = 11 \cdot 0,150 = 1,65 \text{ m}$$

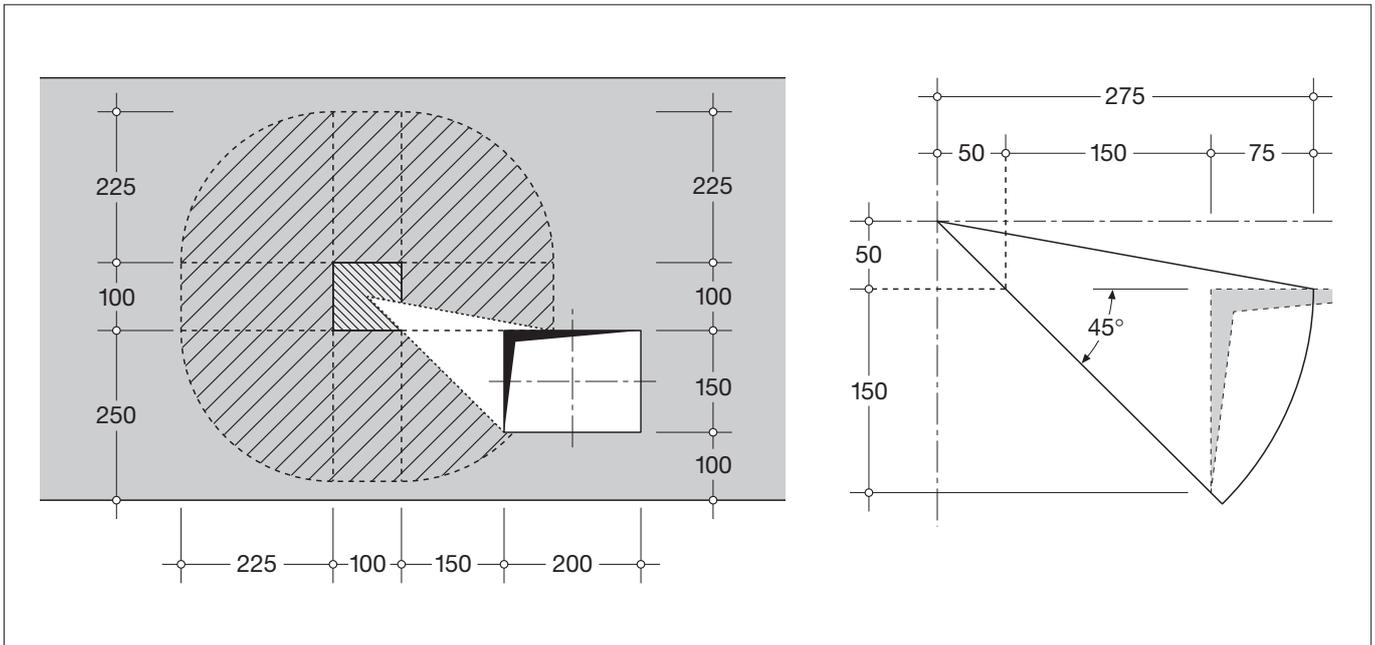


Abb. 2.24: Beispiel für einen Durchstanznachweis; Lasteinleitungsfläche und kritischer Rundschnitt

Damit sind die Bedingungen nach DIN 4223-2, 10.5.2 erfüllt und der Durchstanznachweis kann nach DIN 4223-2, Gleichungen (27) und (28) geführt werden.

Ohne Berücksichtigung der Öffnung ergibt sich zunächst eine Fläche innerhalb des kritischen Rundschnitts A_0 von

$$A_0 = a^2 + 4 \cdot a \cdot r + \pi \cdot r^2 = 0,100^2 + 4 \cdot 0,100 \cdot 0,225 + \pi \cdot 0,225^2 = 0,2590 \text{ m}^2$$

Durch die Öffnung innerhalb des kritischen Rundschnitts wird die kritische Fläche um die Fläche A_1 (rechts im Abb. 2.24) reduziert. Aus den Angaben im Abb. 2.24 erhält man

$$A_1 = \frac{\pi \cdot r^2}{8} + \frac{a}{4} \cdot \left(r + \frac{a}{2} \right) - \frac{a^2}{8} = \pi \cdot \frac{0,225^2}{8} + \frac{0,050 \cdot 0,275}{2} - \frac{0,100^2}{8} = 0,0255 \text{ m}^2$$

Die kritische Fläche A_{crit} beträgt somit

$$A_{\text{crit}} = A_0 - A_1 = 0,2590 - 0,0255 = 0,2335 \text{ m}^2$$

Der Grundwert der aufnehmbaren Schubspannung beträgt nach DIN 4223-2

$$\tau_{\text{Rd}} = 0,063 \cdot \frac{\sqrt{f_{\text{ck}}}}{\gamma_{\text{c2}}} = 0,063 \cdot \frac{\sqrt{4,4}}{1,7} = 0,0777 \text{ MPa}$$

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Durchstanzlast wird nach DIN 4223-2, Gleichung (27) ermittelt:

$$V_{\text{Rd1}} = 0,42 \cdot 10^3 \cdot A_{\text{crit}} \cdot \tau_{\text{Rd}} = 420 \cdot 0,2335 \cdot 0,0777 = 7,62 \text{ kN}$$

Bei der Anwendung von Gleichung (27) ist zu beachten, dass diese Gleichung dimensionsgebunden ist. Die kritische Fläche ist in Quadratmeter und der Grundwert der aufnehmbaren Schubspannung in Megapascal einzusetzen. Der Bemessungswert der aufnehmbaren konzentrierten Last wird in Kilonewton erhalten.

Der Durchstanznachweis nach Gleichung (28) lautet schließlich

$$V_{\text{Sd}} = 6,5 \text{ kN} < 7,62 \text{ kN} = V_{\text{Rd1}}$$

Zu Abschnitt 10.6: Teilflächenbelastung

Bei einer Teilflächenbelastung kann wegen des örtlichen dreidimensionalen Spannungszustands eine größere Pressung als die einachsiale Druckfestigkeit aufgenommen werden. Voraussetzung hierfür ist, dass sich die auf die Teilfläche wirkende Last konzentrisch in das belastete Bauteil ausbreiten kann. Der Winkel der Ausbreitung senkrecht zur Lastichtung wird mit 1:3 angenommen (siehe Abb. 2.25).

Unter diesen Voraussetzungen kann von einer örtlichen Traglastenerhöhung von $2,0 \leq \kappa \leq 3,3$ ausgegangen werden. Für $\kappa > 2,0$ ist jedoch mit örtlichen Eindrückungen zu rechnen.

Wenn die Breite der Lasteinleitungsfläche gleich der Bauteilbreite (Wanddicke bei wandartigen Trägern) ist, ergibt sich nach Abb. 14 in DIN 4223-2 (rechtes Teilbild, vgl. auch Abb. 2.25) keine rechnerische Festigkeitserhöhung.

Aufgrund der gegenüber der Druckfestigkeit des Porenbetons vergleichsweise hohen Zugfestigkeit kann bei der in DIN 4223-2 angenommenen Lastausbreitung im Verhältnis von maximal 1:3 davon ausgegangen werden, dass die infolge der Lastausbreitung auftretenden Querspannungen durch den Porenbeton aufgenommen werden.

Zur Veranschaulichung wird das Beispiel zum Durchstanznachweis (siehe Erläuterungen zum Abschnitt 10.5) fortge-

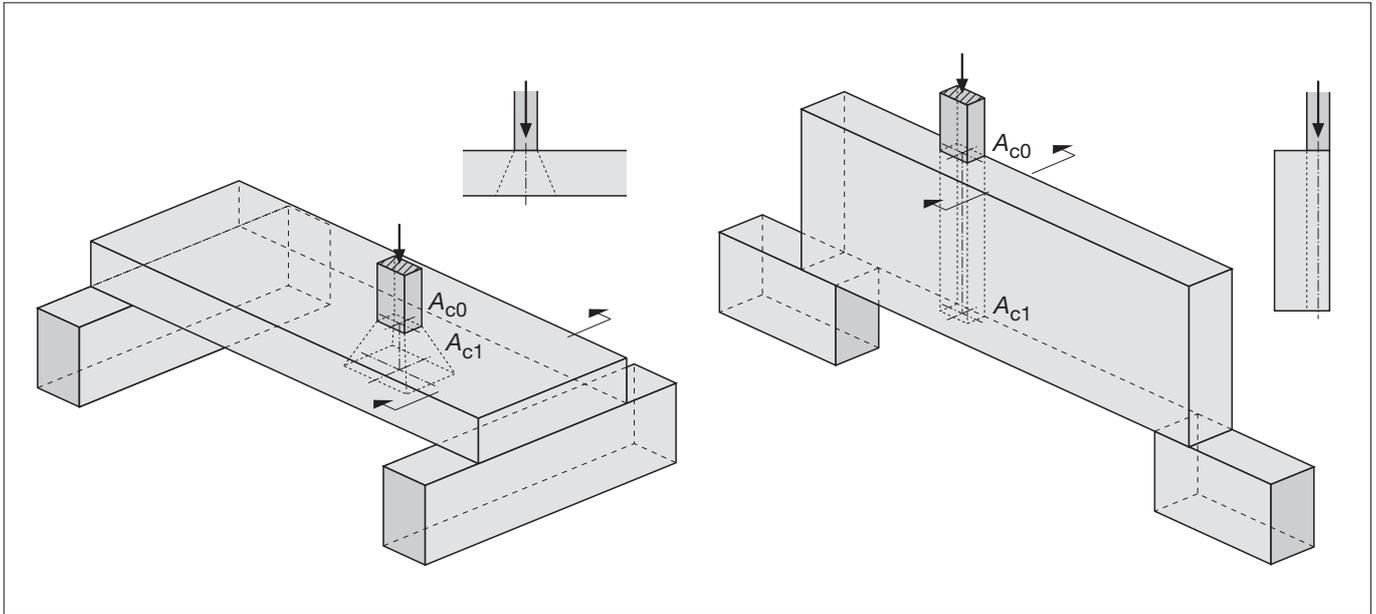


Abb. 2.25: Lastausbreitung bei Teilflächenbelastungen

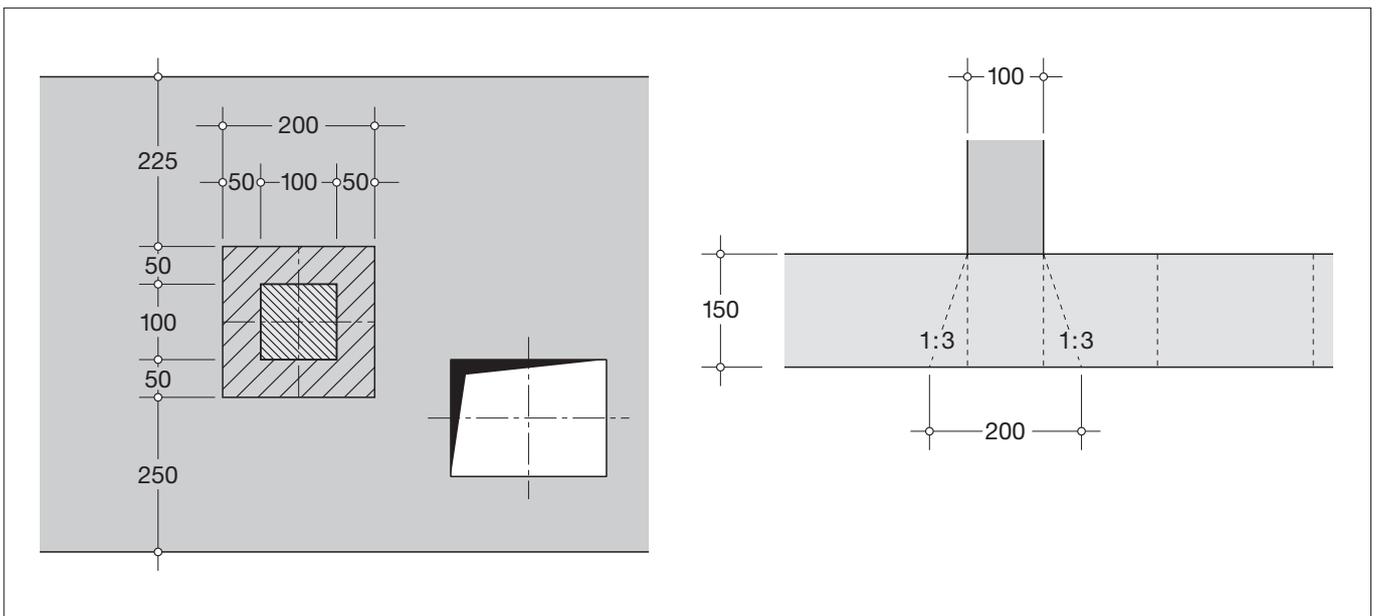


Abb. 2.26: Beispiel für den Nachweis der Teilflächenpressung; maßgebende Abmessungen

setzt. Die erforderlichen Maße für den Nachweis der Teilflächenpressung gehen aus Abb. 2.26 hervor.

Die Lasteinleitungsfläche ist ein Quadrat mit 0,100 m Seitenlänge:

$$A_{c0} = a \cdot b = a^2 = 0,100 \cdot 0,100 = 0,01 \text{ m}^2$$

Die Höhe der Lastausbreitung h_c ist durch die Plattendicke $h = 0,150 \text{ m}$ vorgegeben. Die Seitenlänge der Verteilungsfläche ergibt sich bei einem Lastverteilungsverhältnis von 1:3 zu

$$a' = b' = a + 2 \cdot \frac{h}{3} = 0,100 + 2 \cdot \frac{0,150}{3} = 0,200 \text{ m}$$

Die Lastverteilungsfläche beträgt damit im Beispiel

$$A_{c1} = a' \cdot a' = 0,200^2 = 0,04 \text{ m}^2$$

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Teilflächenlast ergibt sich nach DIN 4223-2, Gleichung (29):

$$\begin{aligned} F_{Rdu} &= 0,8 \cdot A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt[3]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = 0,8 \cdot A_{c0} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{c2}} \cdot \sqrt[3]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \\ &= 0,8 \cdot 0,01 \cdot \frac{4400}{1,7} \cdot \sqrt[3]{\frac{0,04}{0,01}} = 32,87 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dieser Wert muss kleiner oder Gleich dem in Gleichung (29) angegebenen Grenzwert sein:

$$F_{Rdu} \leq k \cdot f_{cd} \cdot A_{c0} = 2,0 \cdot \frac{4400}{1,7} \cdot 0,01 = 51,76 \text{ kN}$$

Nachweiskriterium	Bemessungssituation	C_d
Porenbetondruckspannung	quasi-ständig	$0,45 \cdot f_{ck}$
Betonstahlzugspannung	selten	$0,8 \cdot f_{yk}$
Rissbreite w_k	häufig	$0,3 \dots 0,4 \text{ mm}^1)$
Kurzzeitdurchbiegung w_{el}	häufig	$1/250$ der Stützweite ²⁾
Langzeitdurchbiegung w_{∞} (Berücksichtigung des Kriechens)	quasi-ständig	

1) in Abhängigkeit von der Expositionsklasse, siehe DIN 4223-2, 11.2.3, Tabelle 1
2) bei Kragarmen ist für die Stützweite die 2,5fache Kragarmlänge anzunehmen

Tabelle 2.5: Nachweise nach DIN 4223-2 in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

Der Beiwert $\kappa = 2,00$ bedeutet, dass örtliche Eindrückungen vermieden werden sollen. Können örtliche Eindrückungen zugelassen werden, darf mit einem Beiwert $\kappa = 3,3$ gerechnet werden. In diesem Fall gilt

$$F_{Rdu} \leq 3,3 \cdot \frac{4400}{1,7} \cdot 0,01 = 85,4 \text{ kN}$$

Der Nachweis der Teilflächenpressung ist für das gewählte Beispiel erbracht.

Im ungünstigsten Fall, wenn sich die Lasteinleitungsfläche am Bauteilrand befindet und keine Lastausbreitung stattfinden kann, wird $A_{c1} = A_{c0}$ und der Bemessungswert der aufnehmbaren Teilflächenlast ergibt sich zu

$$F_{Rdu} = 0,8 \cdot A_{c0} \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,01 \cdot \frac{4400}{1,7} = 20,7 \text{ kN}$$

Zu Abschnitt 11: Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

Neben dem Nachweis der Tragfähigkeit ist durch die Bemessung von Porenbetonbauteilen eine ausreichende Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen. Die Regeln hierzu sind in Abschnitt 11 angegeben. Sie umfassen den Nachweis der Begrenzung der Rissweite sowohl im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit als auch im Hinblick auf das optische Erscheinungsbild und den Nachweis der Begrenzung der Durchbiegung. Die Nachweise erfolgen durch:

- Begrenzung der Betondruckspannungen
- Begrenzung der Stahlzugspannung
- Rissweitenbegrenzung
- Verformungsbegrenzung

Diese Nachweise sind für die Einwirkungskombinationen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit gemäß DIN 1055-100 zu führen. Für die Nachweise sind die Schnittkräfte und Spannungen mit linear-elastischem Materialverhalten zu ermitteln (vgl. Erläuterungen zum Abschnitt 8).

Die maßgebenden Bemessungssituationen für die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit sind

in DIN 4223-2, Abschnitt 11 angegeben. Zusammenfassend sind die Nachweiskriterien, die zugehörigen Bemessungssituationen und der jeweilige Bemessungswert des Gebrauchstauglichkeitskriteriums C_d in der nachfolgenden Tabelle 2.5 aufgeführt (vgl. auch Erläuterungen zu DIN 4223-5:2003-12).

Auf einen Nachweis der Porenbetondruckspannungen und der Betonstahlzugspannung darf nach DIN 4223-2 [4], Abschnitt 11.1.1 verzichtet werden, wenn die Bemessung des nachzuweisenden Bauteils nach DIN 4223-2, Abschnitt 10 erfolgt ist, die bauliche Durchbildung Abschnitt 12 entspricht und die Festlegungen für die Mindestbewehrung nach den Abschnitten 11.2.2 bzw. 11.2.4 eingehalten sind.

Durch die Spannungsbegrenzung für den Porenbeton werden Kriechverformungen unter Dauerlast, Mikrorissbildung in der Druckzone durch Querspannungen sowie Materialermüdung durch häufig wechselnde Beanspruchung auf hohem Spannungsniveau beschränkt.

Die Begrenzung der Betonstahlspannung auf $0,8 \cdot f_{yk}$ soll die mit Stahldehnungen oberhalb der Fließgrenze verbundene Bildung größerer Risse, die auch nach Entlastung des Bauteils geöffnet bleiben können, unterbinden.

Da die Bewehrung von Porenbetonbauteilen nach DIN 4223-1, Abschnitt 6 immer korrosionsgeschützt ist, dient die Begrenzung der Rissweite im Wesentlichen der Sicherstellung der Anforderungen an das optische Erscheinungsbild. Erhöhte Anforderungen mit $w_{cal} \leq 0,3 \text{ mm}$ im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit des Porenbetons werden an Bauteile gestellt, die Frost-Tauwechsel-Angriffen ausgesetzt sind. Die in Tabelle 1 genannten Rissweitenbegrenzungen gelten für Bauteile, die im üblichen Hochbau verwendet werden. Für Bauteile, die besonderen Angriffen ausgesetzt sind (z.B. Luft mit hohem CO_2 -Anteil) und Bauteile, an die besondere Anforderungen gestellt werden, können weitergehende Forderungen an die Begrenzung der Rissweite notwendig sein.

Mit den Anforderungen an die Mindestbiege- und Querkraftbewehrung wird sichergestellt, dass das Bauteil nicht ohne Vorankündigung nach örtlicher Überschreitung der Porenbetonzugfestigkeit versagt.

Die in Gleichung (30) der Norm DIN 4223-2 angegebene Mindestzugbewehrung ergibt sich aus der Zugkeildeckung. Sie ist so ausgelegt, dass die maximale Zugkraft, die sich aus der Integration der aufnehmbaren Zugspannungen der Zugzone eines Bauteils ergibt, durch die Bewehrung aufgenommen werden kann. Bei reiner Biegung mit einem Hebelarm der inneren Zug- und Druckkraftresultierenden $z = 2/3 \cdot h$ ergäbe sich unter Annahme einer linearen Spannungs-Dehnungs-Beziehung ein Faktor $k = 0,5$. Mit dem in der Norm festgelegten Faktor $k = 0,4$ für reine Biegung wird die günstigere Wirkung des inneren Hebelarms im Zustand II zur Aufnahme des Biegemomentes berücksichtigt.

Alternativ zu dem Gleichung (30) zugrundeliegenden Verfahren zur Ermittlung der Mindestzugbewehrung kann die Mindestbewehrung für das Rissmoment auch unter Annahme innerer Kräfte im Zustand II berechnet werden (Biegebemessung). Als Bemessungswert des Biegemomentes ist in diesem Fall das Rissmoment im Zustand I, bei dem die Randzugspannung im Bauteil der aufnehmbaren Biegezugspannung f_{ctlk} entspricht, anzusetzen. Dieser Nachweis führt bei Bauteilen mit voll ausgenutzter Porenbetondruckzone ($\epsilon_c = \epsilon_{cu} = -0,003$) zu geringeren erforderlichen Bewehrungsquerschnitten.

Für das Deckenbauteil aus dem Beispiel im Abschnitt 10 mit den Querschnittsabmessungen $b = 0,625$ m, $h = 0,225$ m und $d = 0,200$ m wird im Folgenden die Ermittlung der Mindestbewehrung gezeigt. Nach den Erläuterungen zu Gleichung (30) in DIN 4223-2, 11.2.2 errechnet sich die charakteristische Biegezugfestigkeit f_{ctlk} für den verwendeten Porenbeton der Festigkeitsklasse P 3,3 zu

$$f_{ctlk} = 0,22 \cdot f_{ck} = 0,22 \cdot 3,3 = 0,726 \text{ MPa}$$

Da sich das Bauteil vor dem Auftreten des ersten Risses im Zustand I befindet und eine lineare Spannungsverteilung über die Querschnittshöhe vorausgesetzt werden kann, ist die Höhe der Porenbetonzugzone gleich der halben Querschnittshöhe. Die Mindestbewehrung (BSt 500) ergibt sich mit diesen Annahmen nach Gleichung (30) in DIN 4223-2:

$$A_{s,min} = k \cdot A_{ct} \cdot \frac{f_{ctlk}}{f_{yk}} = 0,4 \cdot \frac{62,5 \cdot 20}{2} \cdot \frac{0,726}{500} = 0,363 \text{ cm}^2$$

Das ist weniger als der für die Aufnahme des Bemessungsmomentes erforderliche Stahlquerschnitt ($1,04 \text{ cm}^2$) und weniger als der tatsächlich gewählte Stahlquerschnitt ($1,11 \text{ cm}^2$). Der Nachweis der Mindestbewehrung ist erfüllt.

Das Rissmoment ergibt unter Beachtung der oben beschriebenen Annahmen zu

$$M_{Riss} = Z \cdot z = \frac{A_{ct} \cdot f_{ctlk}}{2} \cdot \frac{2 \cdot h}{3} = f_{ctlk} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$= 0,726 \cdot 1000 \cdot \frac{0,625 \cdot 0,225^2}{6} = 3,83 \text{ kNm}$$

Nach dem Bemessungsverfahren mit dimensionsfreien Hilfs-werten (siehe Gleichung (2.17)) ergibt sich damit für das be-zogene Bemessungsmoment

$$1000 \cdot m_d = \frac{1000 \cdot M_{Riss}}{\alpha \cdot f_{ck} \cdot b \cdot d^2} = \frac{3,83}{0,85 \cdot 3,3 \cdot 0,625 \cdot 0,2^2} = 54,6$$

Der Teilsicherheitsbeiwert für duktilen Versagen des Poren-betons γ_{c1} nach DIN 4223-5 bleibt dabei unberücksichtigt, da eine ausreichende Sicherheit im Faktor 0,22 für die Ermittlung der charakteristischen Biegezugfestigkeit f_{ctlk} enthalten ist.

Aus Tabelle 2.2 erhält man durch Interpolation den bezogenen Bewehrungsgehalt $1000 \cdot \varpi = 57,3$.

Mit Gleichung (2.18) wird der Querschnitt der Mindestbewehrung ermittelt.

$$A_s = A_c \cdot \varpi \cdot \frac{\alpha \cdot f_{ck} \cdot \gamma_s}{\gamma_{c1} \cdot f_{yk}} = 62,5 \cdot 20 \cdot \frac{57,3}{1000} \cdot \frac{0,85 \cdot 3,3 \cdot 1,15}{1,3 \cdot 500}$$

$$= 0,355 \text{ cm}^2$$

Das entspricht der erforderlichen Mindestbewehrung, die mit dem vereinfachten Verfahren nach DIN 4223-2, Gleichung (30) ermittelt wurde.

In Balken ist im Allgemeinen eine Mindestquerkraftbewehrung anzuordnen. Nur in Bauteilen von untergeordneter Bedeutung, wie z. B. kurzen Stützen, darf auf diese verzichtet werden (vgl. DIN 4223-2, 10.3.1).

Abweichend vom Stahlbetonbau darf die Querkraftbewehrung für Balken aus offenen Bügeln bestehen, da die aus der Um-lenkung der Druckstreben sich ergebenden Zugspannungen geringer sind als die vom Porenbeton aufnehmbaren Zug-spannungen (vgl. Abb. 2.18).

Für die Bereiche von Balken, die nach DIN 4223-2, 10.3.3. rechnerisch keine Querkraftbewehrung erfordern, ist eine Min-destquerkraftbewehrung vorzusehen, die die Anforderungen nach Gleichung (32) erfüllt. Darüber hinaus ist in Bereichen mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung der Nachweis zu führen, dass die Fläche der gewählten Querkraftbewehrung mindestens gleich der Fläche der Mindestquerkraftbewehrung nach Gleichung (32) ist. Andernfalls ist die nach den Anfor-derungen von DIN 4223-2, 10.3.4 gewählte Querkraftbewehrung entsprechend zu ändern (z.B. Verringerung des Bügelabstandes oder Vergrößerung des Stabdurchmessers). Damit ist im Allge-meinen dann zu rechnen, wenn der Bemessungswert der Quer-kraft den Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit V_{Rd1} nach DIN 4223-2, Gleichung (19) nur geringfügig überschreitet.

Verformungen dürfen den ordnungsgemäßen Gebrauch oder das Erscheinungsbild von Bauteilen nicht beeinträchtigen und sind daher im Hinblick auf die beabsichtigte Nutzung festzu-legen. Die in DIN 4223-2 genannten Durchbiegungsbegren-zungen für Dach- und Deckenplatten sind daher nicht zwin-gend für übliche Hochbauten vorgegeben, sondern stellen allgemein anerkannte Richtwerte dar.

Generell ist der Nachweis der Begrenzung der Verformung un-ter Beachtung der Rissbildung und des Kriechens zu führen. DIN 4223-2 gibt jedoch Regeln für eine vereinfachte Berechnung der Verformungen an. Sie basieren sowohl auf Lang-zeitversuchen und rechnerischen Untersuchungen, als auch auf der Erfahrung, dass Porenbetonbauteile auf Gebrauchs-lastniveau nur geringfügige Rissbildung aufweisen. Ursache hierfür ist, dass die Biegezugfestigkeit von Porenbeton (vgl. Gleichung (30)) erheblich größer als die zentrische Zugfestig-keit ist und Porenbetonbauteile produktionsbedingt einen Ei-

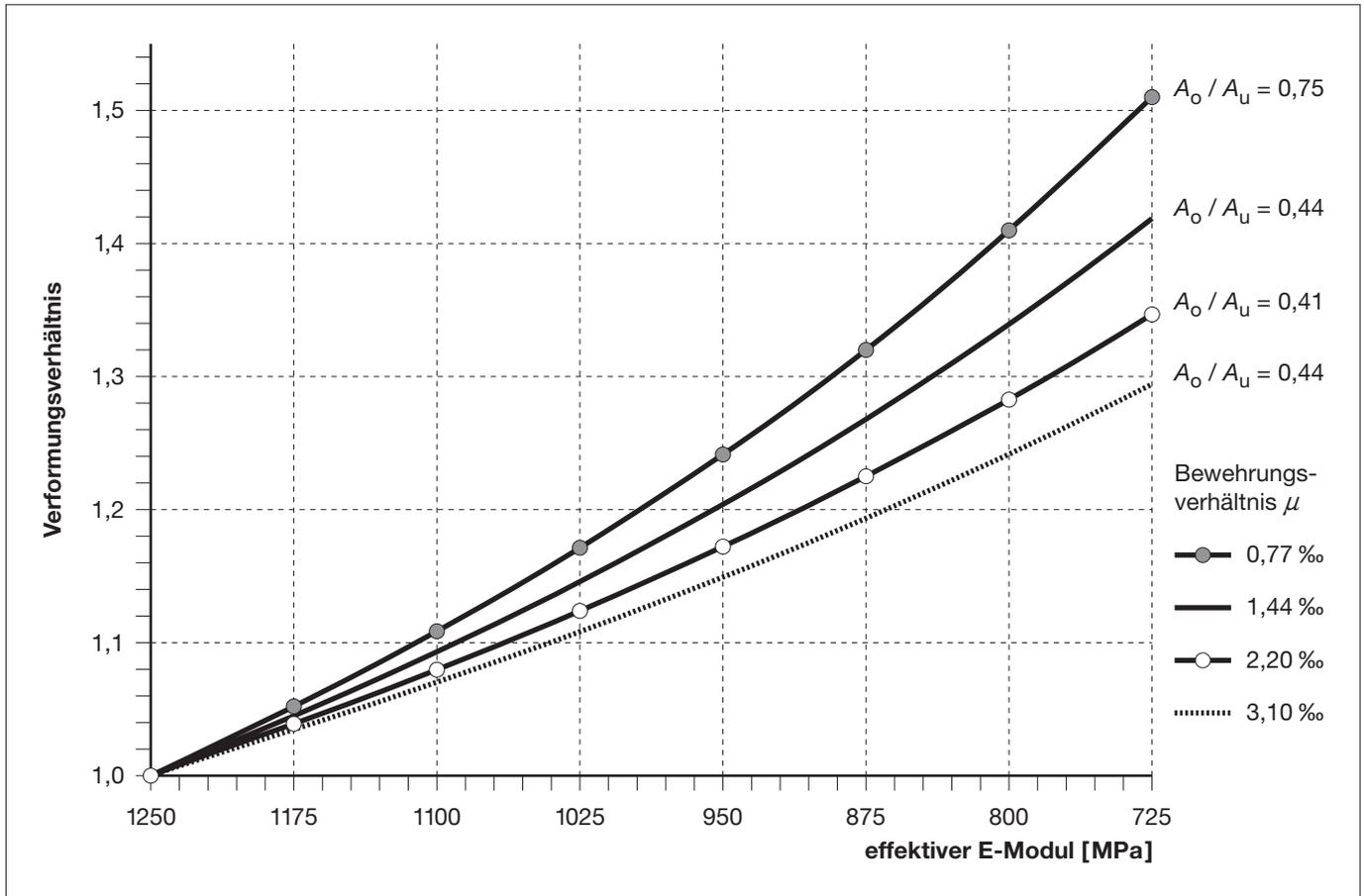


Abb. 2.27: Verhältnis der Durchbiegung zur Zeit $t = \infty$ unter Berücksichtigung von Kriechen und Rissbildung

genspannungszustand aufweisen, durch den der Querschnitt oder Teile des Querschnitts vorgedrückt sind. Desweiteren finden während des Kriechens Spannungumlagerungen in der Druckzone vom Porenbeton auf die in der Regel vorhandene Bewehrung statt. Durch die im Vergleich zum Porenbeton große Steifigkeit und Festigkeit der Druckbewehrung ist die Zunahme der Stauchung des Porenbetons deutlich geringer als die Kriechzahl bzw. der Rechenwert der Kriechzahl erwarten lässt ([15]).

In Abb. 2.27 ([15]) sind die Verhältnisse von Enddurchbiegung zur Zeit $t = \infty$ zur elastischen Durchbiegung in Abhängigkeit vom E-Modul des Porenbetons und vom Bewehrungsgrad μ dargestellt. Die Ermittlung der Durchbiegungsverhältnisse erfolgte unter Berücksichtigung des Kriechens mit einem Endkriechwert von $\varphi_\infty = 1,0$ über die jeweiligen Krümmungsverhältnisse.

Zu Abschnitt 12: Ausbildung der Bewehrung

In diesem Abschnitt werden Anforderungen an die Ausbildung der Bewehrung aufgeführt. Sie betreffen sowohl die kleinsten als auch die größten zulässigen Durchmesser und Abstände der Bewehrung.

Die Einhaltung von Mindestabständen $s_{11} > 50$ mm für die Längsbewehrung und $s_q > 75$ mm für die Querbewehrung ist

bei Porenbetonbauteilen erforderlich, damit der Porenbeton während des Aufschäumens die Bewehrungsstäbe allseitig umschließen kann. Dies ist besonders wichtig für die zur Verankerung genutzten Querstäbe. Zur Sicherstellung einer kontinuierlichen Verankerung der Bewehrung in Bauteilbereichen, in denen sich die Zugkraft der Bewehrung nur geringfügig ändert, werden größte zulässige Abstände $s_q < 500$ mm für die Querstäbe vorgegeben. Hiermit werden auch rechnerisch nicht erfasste Änderungen im Zugkraftverlauf (M/Z-Linie) durch Einzellasten und ungleichmäßig verteilte Flächenlasten abgedeckt.

In Porenbetonbauteilen ist die Verankerung der Längsbewehrung durch Querstäbe rechnerisch nachzuweisen, da nach DIN 4223-2 anders als bei Stahlbeton nicht von einem Verbund zwischen Porenbeton und Bewehrung ausgegangen wird. Das Trag- und Gebrauchsverhalten des Verbundbaustoffs „bewehrter Porenbeton“ hängt daher wesentlich von einer ausreichenden Verankerung der Zugkräfte der Längsbewehrung durch Querstäbe ab. Der Nachweis der Verankerung ist folglich auch aufwendiger als bei Normalbeton, da eine ausreichende Verankerung der Zugkräfte über die gesamte Bauteillänge nachzuweisen ist (z.B. mittels Zugkraftdeckungslinie).

Die zu verankernde Zugkraft errechnet sich gemäß der Fachwerkanalogie aus der um ein Versatzmaß v versetzten M/z-Linie, wobei z der Hebelarm der inneren Kräfte ist. Unter der Annahme, dass sich im Grenzzustand der Tragfähigkeit im

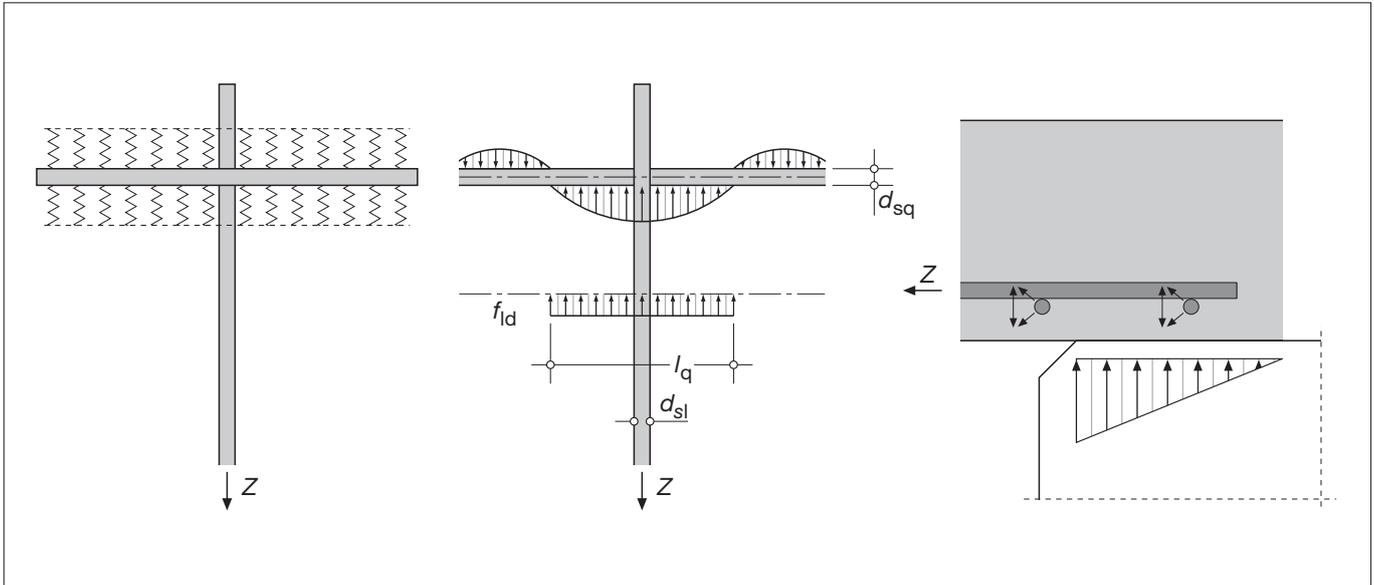


Abb. 2.28: Spannungen im Porenbeton am Querstab

Modell-Fachwerk eine Druckstrebenneigung von 45° einstellt, beträgt das Versatzmaß $v = d$. Von dieser Druckstrebenneigung kann ausgegangen werden, wenn das Bauteil durch gleichmäßige Lasten oder durch Einzellasten im Abstand $x \geq 2,5 \cdot d$ beansprucht wird (vgl. DIN 4223-2, Gleichung (17) und Erläuterungen zum Abschnitt 10.3). Bei auflagnahen Einzellasten $d \leq x \leq 2,5 \cdot d$ stellt sich eine flachere Neigung der Druckstrebe $\alpha < 45^\circ$ zur Richtung der Zugbewehrung ein. Die flachere Neigung der Druckstrebe führt bei einem Abstand der Einzellasten $d \leq x \leq 2,5 \cdot d$ zu einer zusätzlichen Zugkraftkomponente ΔF_{ld} nach DIN 4223-2, Gleichung (39), die im Auflagerbereich zu verankern ist.

Der Nachweis der Verankerung wird in der Regel kritisch für die verbleibende Zugkraft hinter dem ersten bzw. vor dem letzten Bügel oder Querstab, so dass eine genauere Berechnung der wirksamen Länge l_q des zur Verankerung benutzten Querstabes sowie der Zugkraft Z unter Berücksichtigung der Auflagerpressung erforderlich wird.

Bei dem Nachweis der Verankerung wird davon ausgegangen, dass sich der Querstab im umgebenden Porenbeton wie ein elastisch gebetteter Balken verhält. Die dabei entstehenden Bettungsspannungen werden über die Länge l_q gemittelt, so dass gilt

$$Z = l_q \cdot f_{ld} \quad (2.34)$$

Die Größe der auftretenden Querkzugspannungen hängt zum einen von der Überdeckung des Querstabes ab, zum anderen von dem eventuell vorhandenen Querdruck über dem Auflager, der die Querkzugspannungen reduziert. Diesen Einflüssen wird in Gleichung (36) in DIN 4223-2 Rechnung getragen (Abb. 2.28).

Die Ermittlung der wirksamen Länge l_q der zur Verankerung benutzten Querstäbe wird anhand der folgenden Beispiele veranschaulicht. Die Anordnung der Längsstäbe und die maßgebenden wirksamen Längen der zur Verankerung benutzten Querstäbe gehen aus Abb. 2.29 hervor.

Für alle Beispiele werden einheitlich Längsstäbe $\varnothing 8$ mm und Querstäbe $\varnothing 5$ mm angenommen. Die maximal in Rechnung zu stellende wirksame Querstelllänge ergibt sich damit nach DIN 4223-2, Gleichung (37) zu $\max l_q = 14 \cdot d_q = 14 \cdot 5 = 70$ mm. Der größte in Rechnung zu stellende Teilabschnitt der wirksamen Querstelllänge beträgt $8 \cdot d_q = 8 \cdot 5 = 40$ mm. Das Grundraster des Längsstababstandes beträgt in allen Beispielen 63 mm.

Die Ermittlung der wirksamen Querstelllänge ist in Tabelle 2.6 dargestellt. Die Abstände der Längsstäbe sind dabei mit s_{11} und s_{12} bezeichnet, wobei s_{12} der größere Abstand ist. Der Überstand des Querstabes am äußeren Längsstab ist mit $l_{\bar{u}}$ bezeichnet. In den Spalten 5 und 6 der Tabelle sind Abschnittslängen unterstrichen, wenn die Beschränkung auf $8 \cdot d_q$ maßgebend ist. In Spalte 8 ist die wirksame Querstelllänge unterstrichen, wenn eine Beschränkung nach DIN 4223-2, Gleichung (37) erforderlich ist.

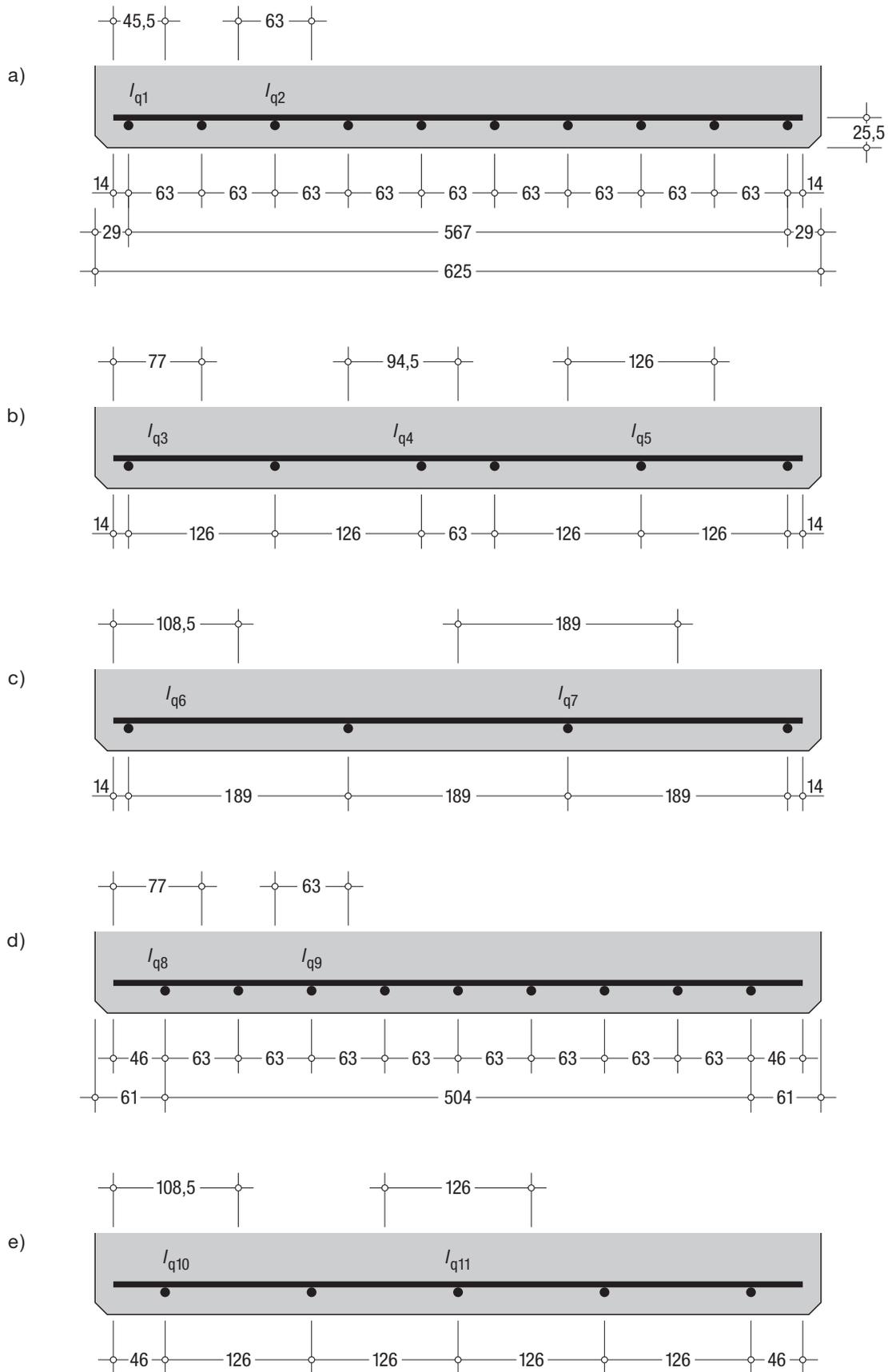


Abb. 2.29: Beispiele zur Ermittlung der wirksamen Querstablängen zur Verankerung; Abmessungen

Beispiel		2	3	4	5	6	7	8
		$s_{11}/2$	$s_{12}/2$	$l_{\ddot{u}}$	l_1	l_2	$l_1 + l_2$	l_q
a)	l_{q1}		31,5	14,0	31,5	14,0	45,5	45,5
	l_{q2}	31,5	31,5		31,5	31,5	63,0	63,0
b)	l_{q3}		63,0	14,0	<u>40,0</u>	14,0	54,0	54,0
	l_{q4}	31,5	63,0		31,5	<u>40,0</u>	71,5	<u>70,0</u>
	l_{q5}	63,0	63,0		63,0	63,0	126,0	<u>70,0</u>
c)	l_{q6}		94,5	14,0	<u>40,0</u>	14,0	54,0	54,0
	l_{q7}	94,5	94,5		94,5	94,5	189,0	<u>70,0</u>
d)	l_{q8}	31,5		46,0	31,5	<u>40,0</u>	71,5	<u>70,0</u>
	l_{q9}	31,5	31,5		31,5	31,5	63,0	63,0
e)	l_{q10}		63,0	46,0	<u>40,0</u>	46,0	86,0	<u>70,0</u>
	l_{q11}	63,0	63,0		63,0	63,0	126,0	<u>70,0</u>

Tabelle 2.6: Ermittlung der wirksamen Querstablänge zur Verankerung, Maße in mm

Quellenverzeichnis und Literatur

- [1] DIN 1045-1:2001-07: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2001)
- [2] DIN 4223 07.1958x: Bewehrte Dach- und Deckenplatten aus dampfgehärtetem Gas- und Schaumbeton. Richtlinien für Bemessung, Herstellung, Verwendung und Prüfung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2002)
- [3] DIN 4223-1:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 1: Herstellung, Eigenschaften, Übereinstimmungsnachweis. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [4] DIN 4223-2:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 2: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung, Entwurf und Bemessung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [5] DIN 4223-3:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 3: Wände aus Bauteilen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung - Entwurf und Bemessung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [6] DIN 4223-4:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 4: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung – Anwendung in Bauwerken. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [7] DIN 4223-5:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 5: Sicherheitskonzept. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [8] DIN 1055-3:2003-10: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [9] DIN 1055-4:1986-08: Lastannahmen für Bauten. Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1986)
- [10] DIN 1055-100:2001-03: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung. Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2001)
- [11] prEN 12 602:2004-09. Prefabricated reinforced components of autoclaved aerated concrete. CEN/TC 177, DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2004)
- [12] Prof. Dr. Ir. D. van Nieuvenburg, Ir. B. De Blaere: Comparative Study of Empirical Design Formulas für Shear Capacity Calculation of Reinforced Autoclaved Aerated Concrete Components. Universiteit Gent, Laboratorium Magnel
- [13] K. Janovic, E. Grasser, H. Kupfer: Bericht über Versuche zur Biege- und Schubtragfähigkeit von bewehrten Gasbetonbauteilen. Bericht Nr. 2282/Ja/K. Technische Universität München, Institut für Massivbau, 19.06.1975
- [14] Prof. E. Raue, G. Wehr: Schubtragfähigkeit von schubbewehrten Bauteilen aus Porenbeton. Abschlußbericht zum AIF-Forschungsvorhaben Nr. 11 474 B/1. Bauhaus Universität Weimar, Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Massivbau I, Weimar 2001
- [15] CSZ Ingenieurconsult Cornelius – Schwarz – Zeitler: Rechnerische Untersuchung der Zusammenhänge von „scheinbarem“ und „tatsächlichem“ Kriechen von Porenbetonplatten verschiedener Materialgüten und Abmessungen. Darmstadt 1998

ERLÄUTERUNGEN ZU DIN 4223-3:2003-12

Vorgefertigte bewehrte Bauteile
aus dampfgehärtetem Porenbeton

Teil 3

Wände aus Bauteilen mit statisch nicht
anrechenbarer Bewehrung – Entwurf und Bemessung

Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton

Teil 3: Wände aus Bauteilen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung
Entwurf und Bemessung

DIN

4223-3

ICS 91.100.30

Prefabricated reinforced components of autoclaved aerated concrete —
Part 3: Design and calculation of non structural components

Éléments préfabriqués armés en béton cellulaire autoclavé —
Partie 3: Construction et calcul des éléments de construction non-porteurs

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweisungen.....	3
3 Begriffe, Symbole, Abkürzungen	3
3.1 Begriffe	3
3.2 Symbole	4
3.3 Einheiten.....	5
3.4 Abkürzungen	5
4 Baustoffe	6
4.1 Dampfgehärteter Porenbeton	6
4.2 Fugenmörtel	6
4.3 Mechanische Eigenschaften von Wänden	6
4.3.1 Allgemeines.....	6
4.3.2 Charakteristische Druckfestigkeit.....	6
4.3.3 Charakteristische Haftscherfestigkeit der Fugen und Höchstwerte der Schubfestigkeit.....	6
4.3.4 Charakteristische Biegezugfestigkeit der Wand	6
5 Entwurf und Bemessung	7
5.1 Allgemeines.....	7
5.3 Nachweisverfahren für durch konzentrierte Lasten beanspruchte Wände.....	12
5.4 Nachweisverfahren für Wandscheiben	14
5.5 Durch Wind beanspruchte Wände	15
5.6 Durch Erddruck beanspruchte Wände	15
6 Ausführung.....	17
6.1 Allgemeines.....	17
6.2 Versetzen auf der Baustelle.....	17
6.3 Verbindung der Bauteile untereinander	17
6.4 Verbindungen von Wänden	18
Bilder	
Bild 1 — Anordnung der Wandbauteile zur Herstellung einer Wand	8
Bild 2 — Spannungs-Dehnungs-Beziehungen am Scheibenquerschnitt	11
Bild 3 — Wände unter Teilflächenlasten	13
Bild 4 — Bemessungslasten für Kellerwände	16

Fortsetzung Seite 2 bis 18

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Inhaltsverzeichnis

	Allgemeines	62
Zu Abschnitt 4.3.2:	Charakteristische Druckfestigkeit	63
Zu Abschnitt 4.3.3:	Charakteristische Haftscherfestigkeit und Schubfestigkeit	63
Zu Abschnitt 4.3.4:	Charakteristische Biegezugfestigkeit	63
Zu Abschnitt 5:	Entwurf und Bemessung	63
Zu Abschnitt 5.2:	Tragfähigkeitsnachweis vertikal beanspruchter Wände	64
Zu Abschnitt 5.2.3.1:	Abminderungsfaktor für biegebeanspruchte Querschnitte	65
Zu Abschnitt 5.2.3.2:	Abminderungsfaktor bei knickgefährdeten Wänden	66
Zu Abschnitt 5.2.3.2:	Abminderungsfaktor bei Endauflagern von Decken	68
Zu Abschnitt 5.3:	Teilflächenpressung	70
Zu Abschnitt 5.4:	Schubkraftübertragung bei Wandscheiben	71
Zu Abschnitt 5.5:	Ausfachende Wände	73
Zu Abschnitt 5.6:	Erddruckbeanspruchte Wände	75
	Literatur- und Quellenverzeichnis	78
	Weitergehende Literatur	79

Allgemeines

Der Anwendungsbereich des Teils 3 der Norm erstreckt sich auf Wände aus geschosshohen stehend angeordneten Porenbetonbauteilen und aus liegend angeordneten Wandbauteilen (siehe DIN 4223-3 [4], Bild 1). Die Längsseiten der Bauteile sind dabei untereinander stets vollflächig mit Dünnbettmörtel zu verbinden. Im Fall liegend angeordneter Wandbauteile wird noch unterschieden zwischen Wänden ohne Stoßfugen und Wänden mit vermörtelten Stoß- bzw. Vertikalfugen oder unvermörtelten Stoßfugen. Die Stoßfugen direkt aufeinander folgender Lagen von Porenbetonbauteilen sind dabei versetzt angeordnet (vgl. hierzu Bild 1c in [4]).

In der bisher geltenden DIN 4223 [1] und in der Norm DIN 1045-1 [10], die bei der Entwicklung von DIN 4223-2 [3] mit herangezogen wurde, sind keine Regelungen zu „unbewehrten“ Bauteilen enthalten. Aufgrund der „Nähe“ der Bauart zum Mauerwerksbau wurde für die Entwicklung von DIN 4223-3 das aktuelle geltende und das sich teilweise noch in der Erarbeitung befindliche Normenwerk für den Mauerwerksbau berücksichtigt. Entgegen dem gegenwärtigen Trend in der nationalen und internationalen Normung wurden bewusst nur das vereinfachte Nachweisverfahren in die Norm aufgenommen. Die Bemessung und der Nachweis der Tragfähigkeit von Wänden nach DIN 4223-3 ist mit einfachen Hilfsmitteln zu führen. Die Anwendungsgrenzen der Nachweisverfahren sind dabei so gewählt, dass damit ein Großteil der für Porenbeton-Wandbauteile üblichen Anwendungsfälle abgedeckt wird.

Besondere Anforderungen ergeben sich aus der Verwendung des ausschließlich zu verwendenden Dünnbettmörtels für die Verbindung der Bauteillängsseiten untereinander. Die Wirksamkeit der Verbindung und die Ausschöpfung der erzielbaren Festigkeitseigenschaften ist an Fugendicken von höchstens 3 mm gebunden. Die Länge der Wandbauteile für Wände nach DIN 4223-3 kann jene nach DIN V 4165 [9] weit überschreiten. Daher sind die hohen Anforderungen an die Maßhaltigkeit der Bauteile nach DIN V 4165 auch an die Wandbauteile nach DIN 4223-3 zu stellen.

Die in DIN 4223-3 enthaltenen Nachweise orientieren sich am Entwurf der Norm DIN 1053-100 [8] vom Mai 2003, in dem in Anlehnung an die Europäischen Mauerwerksnormen ([14], [15], [17]) die Regeln der geltenden Mauerwerksnorm DIN 1053-1 [7] an das in DIN 1055-100 [13] angegebene Sicherheitskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten angepasst werden. Die grundsätzlichen Regelungen und die vereinfachten Nachweisverfahren nach DIN 1053-100 wurden direkt übernommen, soweit dieses möglich war. Aufgrund der besonderen Materialeigenschaften des Porenbetons wurden die übernommenen Regeln in einigen Fällen angepasst, weiter vereinfacht oder der Anwendungsbereich abweichend geregelt.

**Zu Abschnitt 4.3.2:
Charakteristische Druckfestigkeit**

Die charakteristische Druckfestigkeit der Wand in Abhängigkeit von der Porenbetonfestigkeitsklasse nach DIN 4223-3 [4], Tabelle 1 wurde im Hinblick auf die Grundwerte der zulässigen Druckspannungen für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel (DIN 1053-1 [7], Tabelle 4b) und unter Berücksichtigung eines globalen Sicherheitsfaktors im Mauerwerksbau von $\gamma = 3,0$ festgelegt.

**Zu Abschnitt 4.3.3:
Charakteristische Haftscherfestigkeit und Schubfestigkeit**

Da bei Wänden, die als Wandscheiben zur horizontalen Gebäudeaussteifung herangezogen werden, Schubkräfte auftreten, die auch über die Fugen hinweg zu übertragen sind, ist die charakteristische Haftscherfestigkeit f_{vk0} zwischen Stein und Mörtelfuge von wesentlicher Bedeutung für die Bemessung und den Standsicherheitsnachweis aussteifender Wände. Die Haftscherfestigkeit f_{vk0} für Fugenverbindungen mit Dünnbettmörtel beträgt nach DIN 4223-3

$$f_{vk0} = 0,22 \text{ MPa} \quad (3.1)$$

Das entspricht sowohl dem in DIN 1053-100 [8], Tabelle 8 angegebenen Wert der abgeminderten Haftscherfestigkeit f_{vk0} als auch dem in DIN 1053-1 [7], Abschnitt 7.9.5 und Tabelle 5, angegebenen vergleichbaren Wert für die abgeminderte Haftscherfestigkeit β_{RHS} :

$$\beta_{RHS} = 2 \cdot \sigma_{0HS} = 2 \cdot 0,11 \text{ MPa} = 0,22 \text{ MPa} = f_{vk0} \quad (3.2)$$

Dabei ist

- f_{vk0} die charakteristische Haftscherfestigkeit für Dünnbettmörtel (abgeminderte Haftscherfestigkeit)
- β_{RHS} Rechenwert der abgeminderten Haftscherfestigkeit für Dünnbettmörtel nach DIN 1053-1 [7]
- σ_{0HS} zulässige abgeminderte Haftscherfestigkeit nach DIN 1053-1 [7]

Neben der Haftscherfestigkeit des Fugenmörtels ist die Schubfestigkeit des Porenbetons von Bedeutung. Bei Porenbeton ist aufgrund der besonderen Materialeigenschaften die Haftscherfestigkeit des Fugenmörtels größer ist als die Schubfestigkeit des Porenbetons. Daher wird letztere für den Nachweis der Schubkraftübertragung maßgebend (siehe hierzu auch Erläuterungen zum Abschnitt 5.4).

Die Höchstwerte der Schubfestigkeit des Porenbetons $\max f_{vk}$, die auch als charakteristische Werte der Schubfestigkeit bezeichnet werden können, sind in DIN 4223-3 [4], Tabelle 2 geregelt und entsprechen den in DIN 1053-100 [8], Tabelle 10 für Vollsteine ohne Grifflöcher und ohne Grifföffnungen angegebenen Werten:

$$\max f_{vk} = 0,020 \cdot f_{bk} = 0,020 \cdot f_{ck} \quad (3.3)$$

Dabei ist

$\max f_{vk}$ der Höchstwert der Schubfestigkeit (charakteristische Schubfestigkeit) für Porenbeton

- f_{bk} der charakteristische Wert der Steindruckfestigkeit (Steinfestigkeitsklasse)
- f_{ck} die charakteristische Druckfestigkeit des Porenbetons

**Zu Abschnitt 4.3.4:
Charakteristische Biegezugfestigkeit**

Im Abschnitt 4.3.4 der Norm DIN 4223-3 [4] wird die charakteristische Biegezugfestigkeit f_{xk} einer Wand aus Porenbetonbauteilen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung in Abhängigkeit von der Anordnung der Wandbauteile und von der Art der Fugenausbildung angegeben. Diese Werte sind für den Nachweis der auf Biegung beanspruchten ausfachenden Wand nach Abschnitt 5.5 (siehe dort) erforderlich. Dabei ist zu beachten, dass es sich hierbei nicht um die Biegezugfestigkeit f_{cfk} des Porenbetonbauteils (vgl. dazu DIN 4223-2 [3], 11.2.2) handelt.

Bei der charakteristischen Biegezugfestigkeit der Wand f_{xk} wird berücksichtigt, dass bei liegend angeordneten Wandbauteilen gegebenenfalls vermörtelte oder unvermörtelte Stoßfugen (Vertikalfugen) vorhanden sein können (DIN 4223-3 [4], Bild 1c). Wie in DIN 1053-1 [7] und in DIN 1053-100 [8] dürfen Biegezugspannungen senkrecht zur Bauteillängsfuge nicht in Rechnung gestellt werden. Die Biegezugfestigkeit ist für diese Beanspruchungsrichtung zu $f_{xk} = 0$ festgelegt.

Aufgrund der wenigen bisher vorliegenden Versuchsergebnisse (vgl. hierzu z.B. Mauerwerk-Kalender 2001 [16]) wurden die Werte der charakteristischen Biegezugfestigkeit von Wänden aus Porenbetonbauteilen nach DIN 4223-3 (auf der sicheren Seite liegend) sehr restriktiv gewählt. Tabelle 3.1 enthält die Werte der charakteristischen Biegezugfestigkeit f_{xk} für die Biegebeanspruchung der Wand parallel zu den Längsfugen in Abhängigkeit von der Art der Stoßfugenausbildung und der Festigkeitsklasse des Porenbetons:

Stoßfugenausbildung	Festigkeitsklasse			
	PP 2	PP 4	PP 6	PP 8
ohne Stoßfugen	0,14	0,20	0,24	
vermörtelte Stoßfugen	0,08	0,12	0,15	
unvermörtelte Stoßfugen				

Tabelle 3.1: Charakteristische Biegezugfestigkeit f_{xk} für Wände aus Porenbetonbauteilen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung [in MPa]

**Zu Abschnitt 5:
Entwurf und Bemessung**

Der Abschnitt 5 von DIN 4223-3 [4] beinhaltet die Verfahren für den Nachweis der Tragfähigkeit von Wänden aus Porenbetonbauteilen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung auf der Basis von Teilsicherheitsfaktoren und beschreibt die Randbedingungen, unter denen die angegebenen Nachweisverfahren anwendbar sind. Im Einzelnen handelt es sich um die folgenden Nachweise:

- Nachweis der Tragfähigkeit vertikal beanspruchter Wände
- Nachweis für durch konzentrierte Lasten beanspruchte Wände (Teilflächenlasten)
- Nachweis der Schubbeanspruchung für Wandscheiben
- Nachweis der Tragfähigkeit unmittelbar durch Wind belasteter ausfachender Wände
- Nachweis der Tragfähigkeit erddruckbeanspruchter Wände

Mit Ausnahme des Nachweises der Tragfähigkeit der ausfachenden Wände liegt allen Nachweisen das gleiche Prinzip zugrunde, das im gesamten Mauerwerksbau gilt: normal (senkrecht) zu einem Wandquerschnitt wirkt eine Druckkraft und ein aus der Ausmitte der Normalkraft resultierendes Biegemoment. Diese Schnittkräfte stehen mit den Spannungen, die unter der Voraussetzung eben bleibender Querschnitte proportional zu den Dehnungen angenommen werden, im Gleichgewicht. Zugspannungen im Bereich der gezogenen Querschnittsfasern dürfen jedoch rechnerisch nicht in Ansatz gebracht werden (klaffende Fuge). Der Querschnitt darf dabei nur soweit klaffen, dass die Sicherheit des Querschnitts gegen Kippen um die äußere Kante mindestens 1,5 beträgt. Für einachsige biegebeanspruchte Rechteckquerschnitte ist diese Bedingung erfüllt, wenn der Querschnitt nicht weiter als bis zur Mitte klafft.

Die Ausmitte der Normalkraft ergibt sich aus den jeweiligen Lastausmitteln am Eintragungsort (üblicherweise am Wandkopf und am Wandfuß), einer Ausmitte aus der Biegung infolge horizontal auf die Wand wirkender Lasten nach Theorie I. Ordnung und einer ungewollten Ausmitte infolge von Imperfektionen (vgl. hierzu auch DIN 4223-2 [3], 8.3.2).

Bei allen Nachweisen handelt es sich um vereinfachte Nachweisverfahren, deren im Abschnitt 5.1 der Norm angegebene Anwendungsbedingungen einen Großteil der üblichen Anwendungsfälle abdecken. Die Abminderungsfaktoren, mit deren Hilfe der Bauteilwiderstand in den einzelnen Fällen ermittelt wird, sind so gewählt, dass unter bestimmten Anwendungsgrenzen trotz des einfachen zugrundeliegenden Modells ein ausreichender Sicherheitsabstand zu den heute gängigen genaueren Nachweisverfahren vorhanden ist.

Die Anwendungsrandbedingungen für die Nachweise entsprechen denen für das vereinfachte Berechnungsverfahren in DIN 1053-1 [7] und gelten mit einer Ausnahme für alle in DIN 4223-3 [4] angegebenen Nachweisverfahren gleichermaßen. Es müssen folgende Voraussetzungen erfüllt werden:

- a) Die Gebäudehöhe beträgt nicht mehr als 20 m über Gelände, wobei bei geneigten Dächern das Mittel aus Trauf- und Firsthöhe angenommen werden darf.
- b) Die Stützweite aufliegender Decken ist nicht größer als 6,0 m, sofern keine konstruktiven Maßnahmen zur Begrenzung der Biegemomente infolge der Deckendrehwinkel vorgesehen werden. Bei zweiachsig gespannten Massivdecken ist die kürzere Stützweite maßgebend.
- c) Die Wanddicke der Außenwände ist über die Gebäudehöhe konstant.
- d) Die Schlankheit der Wand (Verhältnis von Knicklänge zu Wanddicke) ist nicht größer als 25.
- e) Die Wände sind in jedem Geschoss durch Decken- oder Dachscheiben oder biegesteife Ringbalken horizontal gehalten.

- f) Ein etwaiger Überstand der Wand am Wandfuß darf höchstens $\frac{1}{4}$ der Wanddicke betragen. Anstelle der Wanddicke ist in diesem Fall die verbleibende Aufstandsbreite anzusetzen, die zusätzlich nicht kleiner als die in DIN 4223-3, Tabelle 4, angegebenen Mindestwanddicke sein darf.

Bei der oben genannten Ausnahme handelt es sich um unmittelbar durch Wind belastete ausfachende Wände, deren Tragfähigkeit nach Abschnitt 5.5 nachzuweisen ist. Für diese Wände ist die Voraussetzung a) nicht von Bedeutung. Voraussetzung b) wird durch die Bedingung, dass diese Wände vertikal nur durch ihr Eigengewicht belastet werden dürfen, ersetzt.

Die Mindestwanddicken und zulässigen Wandhöhen (lichte Geschosshöhen) sind in DIN 4223-3 [4], Tabelle 4, angegeben. Diese Tabelle basiert auf den entsprechenden Tabellen in DIN 1053-1 [7] und DIN 1053-100 [8]. Durch den Verzicht auf eine Regelung der Tragschale zweischaliger Außenwände konnte Tabelle 4 wesentlich vereinfacht werden (vgl. Tabelle 3.2). Der charakteristische Wert der Nutzlast nach DIN 1055-3 der aufliegenden Decken darf in allen Fällen nicht mehr als 5 kN/m^2 betragen.

Bauteil	Wanddicke t	Lichte Geschosshöhe h
Innenwände	$115 \text{ mm} \leq t < 240 \text{ mm}$	$h \leq 2,75 \text{ m}$
	$t \geq 240 \text{ mm}$	–
Außenwände	$175 \text{ mm} \leq t < 240 \text{ mm}$	$h \leq 2,75 \text{ m}$
	$t \geq 240 \text{ mm}$	$h \leq 12 \cdot t$

Tabelle 3.2: Mindestwanddicken und lichte Geschosshöhen

Bei Außenwänden eingeschossiger Garagen und vergleichbarer Gebäude, die nicht zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen vorgesehen sind, ist auch eine Mindestwanddicke von 115 mm zulässig.

**Zu Abschnitt 5.2:
Tragfähigkeitsnachweis vertikal beanspruchter Wände**

Der (vereinfachte) Nachweis der Tragfähigkeit vertikal beanspruchter Wände ist an DIN 1053-100 [8] angelehnt und geht auf den in Teil 3 des Eurocode 6 [14] zurück. Grundsätzlich ist dabei nachzuweisen, dass der Bemessungswert der Längsdruckkraft in der Wand N_{Sd} höchstens gleich dem Bemessungswert der aufnehmbaren Längsdruckkraft N_{Rd} (Bauteilwiderstand) ist (vgl. Gleichung (3.4)).

$$N_{Sd} \leq N_{Rd} = \phi \cdot \frac{f_k \cdot A}{\gamma_{c2}} \tag{3.4}$$

Dabei ist

- N_{Sd} der Bemessungswert der Längsdruckkraft
- N_{Rd} der Bemessungswert der aufnehmbaren Längsdruckkraft
- F_k die charakteristische Druckfestigkeit der Wand nach DIN 4223-3 [4], Tabelle 1
- A die Fläche des Wandquerschnittes

- Φ ein Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit der Wand, der Lastausmitte und der Einspannbedingungen der Wand am Wandkopf und am Wandfuß
- γ_{c2} der Teilsicherheitsbeiwert für sprödes Versagen des Porenbetons nach DIN 4223-5 [6]

Abweichend von DIN 4223-2 [3] werden dabei im Teil 3 der Norm Druckkräfte (und entsprechend auch Druckspannungen) mit positivem Vorzeichen angegeben. Die Zugfestigkeit des Porenbetons und der Fugenverbindung darf nach DIN 4223-3 nicht in Rechnung gestellt werden. Das entspricht den Grundsätzen im Mauerwerksbau (vgl. auch DIN 1053-1 [7] und der DIN 1053-100 [8]) und vereinfacht die Nachweisführung.

Wie in DIN 1053-100 [8] müssen auch in DIN 4223-3 [4] drei verschiedene Abminderungsfaktoren berücksichtigt werden:

- der Abminderungsfaktor Φ_1 berücksichtigt die mit zunehmender Lastausmitte ansteigende Randdruckspannung bei biegedruckbeanspruchten Querschnitten die höchstens bis zur Querschnittsmitte klaffen dürfen. Damit ist der Nachweis der Tragfähigkeit insbesondere bei Wandscheiben zu führen, die zur Aussteifung herangezogen werden. Mit Hilfe von Φ_1 kann jedoch auch die Tragfähigkeit von Wandquerschnitten nachgewiesen werden, bei denen planmäßig eine zentrische Beanspruchung nicht angenommen werden kann (vgl. Φ_2).
- der Abminderungsfaktor Φ_2 berücksichtigt Einflüsse aus der Ausmitte der Normalkraft im am stärksten beanspruchten Querschnitt infolge ausmittiger Lasteinleitung, Biegung infolge unmittelbarer Windlast und Imperfektionen bei schlanken, knickgefährdeten Wänden und der Zusatzausmitte aus Theorie II. Ordnung.
- der Abminderungsfaktor Φ_3 berücksichtigt die Auswirkungen des Deckendrehwinkels am Endauflager von Massivdecken auf die Tragfähigkeit der Wand.

**Zu Abschnitt 5.2.3.1:
Abminderungsfaktor für biegebeanspruchte Querschnitte**

Mit dem Abminderungsfaktor Φ_1 wird die mit zunehmender Lastausmitte überproportional ansteigende Randdruckspannung für Querschnitte bei rechnerisch klaffender Fuge berücksichtigt.

$$\Phi_1 = 1 - 2 \cdot \frac{e}{l_w} \quad \text{bzw.} \quad \Phi_1 = 1 - 2 \cdot \frac{e}{t} \quad (3.5)$$

Dabei ist

- Φ_1 der Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Lastausmitte
- e die Lastausmitte
- t die Wanddicke (bei Plattenbiegung)
- l_w die Wandlänge (bei Scheibenbeanspruchung)

Bei Wandscheiben mit rechnerisch klaffenden Fugen ist zusätzlich nachzuweisen, dass die Randdehnungen auf der klaffenden Seite des Querschnitts einen vorgegebenen Wert nicht überschreitet. Die Dehnung ist dabei unter der Annahme eines linearen Werkstoffgesetzes und einer linearen Druckspannungsverteilung zu ermitteln. Abweichend von DIN 4223-1 [2]

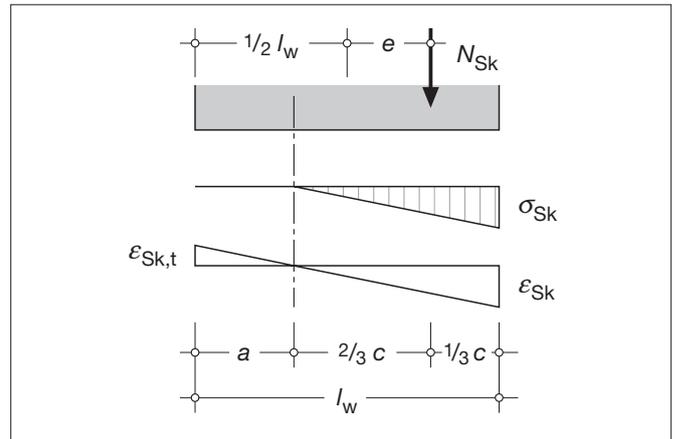


Abb. 3.1: Spannungs-Dehnungs-Beziehungen am Wandscheibenquerschnitt

darf für diesen Nachweis der Elastizitätsmodul zu $E = 1000 \cdot f_k$ angenommen werden. Unter der ausmittigen Längsdruckkraft n_{sd} stellen sich unter Berücksichtigung der weiter oben erläuterten mechanischen Grundlagen die Spannungs- und Dehnungszustände nach Abbildung 3.1 ein.

Die Randdruckspannung ergibt sich bei dreieckförmiger Spannungsverteilung zu

$$\sigma_{Sk,c} = \frac{2 \cdot N_{Sk}}{c} \quad (3.6)$$

mit der von der Lastausmitte e abhängige Breite des überdrückten Querschnittes c

$$c = 3 \cdot \left(\frac{l_w}{2} - e \right) = \frac{3}{2} \cdot t \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e}{l_w} \right) = \frac{3}{2} \cdot t \cdot \Phi_1 \quad (3.7)$$

Unter Ansatz eines linearen Werkstoffgesetzes ergibt sich die Randstauchung zu

$$\epsilon_{Sk,c} = \frac{\sigma_{Sk,c}}{E} = \frac{2 \cdot N_{Sk}}{c \cdot t \cdot 1000 \cdot f_k} \quad (3.8)$$

Die Randdehnung auf der klaffenden Seite des Querschnitts wird damit

$$\epsilon_{Sk,t} = \epsilon_{Sk,c} \cdot \frac{a}{c} = \frac{\sigma_{Sk,c}}{1000 \cdot f_k} \cdot \frac{l_w - c}{c} \leq \frac{1}{10000} \quad (3.9)$$

Wird c in Gleichung (3.9) durch Gleichung (3.7) substituiert, erhält man

$$\epsilon_{Sk,t} = \frac{N_{Sk}}{1000 \cdot f_k \cdot t \cdot l_w} \cdot \frac{4}{3 \cdot \Phi_1} \cdot \left(\frac{2}{3 \cdot \Phi_1} - 1 \right) \leq \frac{1}{10000} \quad (3.10)$$

Durch weitere Umformung geht Gleichung (3.10) über in eine geeignete Nachweisformel

$$N_{Sk} \leq \frac{\psi \cdot f_k \cdot A}{\gamma_{c2}} \quad \text{mit} \quad \psi = \frac{9 \cdot \Phi_1^2 \cdot \gamma_{c2}}{40 \cdot (2 - 3 \cdot \Phi_1)} \quad (3.11)$$

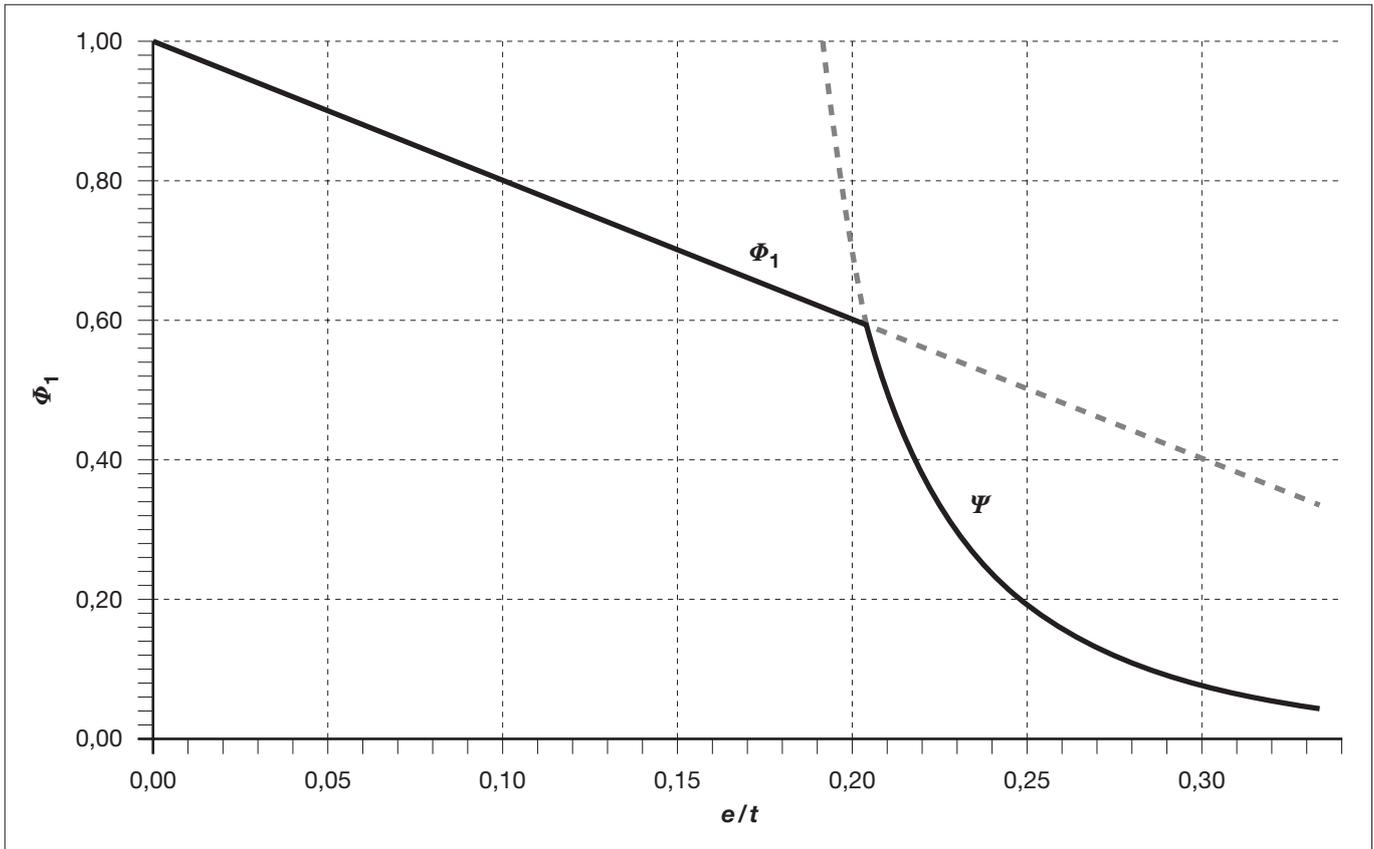


Abb. 3.2: Abminderungsfaktoren Φ_1 und Ψ in Abhängigkeit von der bezogenen Ausmitte e/t

In Abbildung 3.2 sind die Abminderungsfaktoren Φ_1 und Ψ in Abhängigkeit von der bezogenen Ausmitte e/t dargestellt.

Der Schnittpunkt der Funktionen Φ_1 und Ψ ergibt sich durch Gleichsetzung und entsprechende Umformung zu

$$\frac{e}{t} = \frac{40 + 9 \cdot \gamma_{c2}}{2 \cdot (120 + 9 \cdot \gamma_{c2})} = \frac{55,3}{270,6} = 0,2044 \approx \frac{1}{5} \quad (3.12)$$

Das bedeutet, dass der in DIN 4223-3 ab einer Ausmitte von $t/6$ geforderte Nachweis der Randdehnung bei biegebeanspruchten Wandscheiben tatsächlich erst ab einer Ausmitte von etwa $t/5$ für die Tragfähigkeit des Querschnitts maßgebend wird.

**Zu Abschnitt 5.2.3.2:
Abminderungsfaktor bei knickgefährdeten Wänden**

Der Abminderungsfaktor Φ_2 berücksichtigt in geeigneter Weise die Schlankheit der Wand (Stabilitätsversagen infolge Ausknicken) und die Einspannbedingungen am Wandkopf und am Wandfuß und damit die Biegemomente in der Wand infolge Knotenverdrehungen:

$$\Phi_2 = 0,85 - 0,0011 \cdot \left(\frac{h_{ef}}{t} \right)^2 \quad (3.13)$$

Dabei ist

- Φ_2 der Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit der Wand und der Einspannbedingungen der Wand am Wandkopf und am Wandfuß
- h_{ef} die Knicklänge der Wand
- t die Wanddicke

Gleichung (3.13) ist aus DIN 1053-100 [8] übernommen und geht auf Eurocode 6 Teil 3 [14] zurück. Diese Gleichung ist eine Näherung des im Anhang A von DIN ENV 1996-1-1 [20] beschriebenen Abminderungsfaktors Φ_m für den Nachweis der Tragfähigkeit vertikal belasteter Wände. Der Abminderungsfaktor Φ_m , der einen Endkriechfaktor von $\varphi = 2,0$, eine ungewollte Ausmitte $e_a = h_{ef}/450$ und einen Elastizitätsmodul $E = 1000 \cdot f_k$ berücksichtigt, wird nach Gleichung (3.14) ermittelt:

$$\Phi_m = \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t} \right) \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} \quad \text{mit} \quad u = \frac{h_{ef} - 2}{23 - 37 \cdot \frac{e_{mk}}{t}} \quad (3.14)$$

Dabei ist

- Φ_m der Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Knickgefahr
- e_{mk} die planmäßige Ausmitte infolge Wind und Knotenverdrehung im mittleren Fünftel der Wand
- h_{ef} die Knicklänge der Wand
- t die Wanddicke

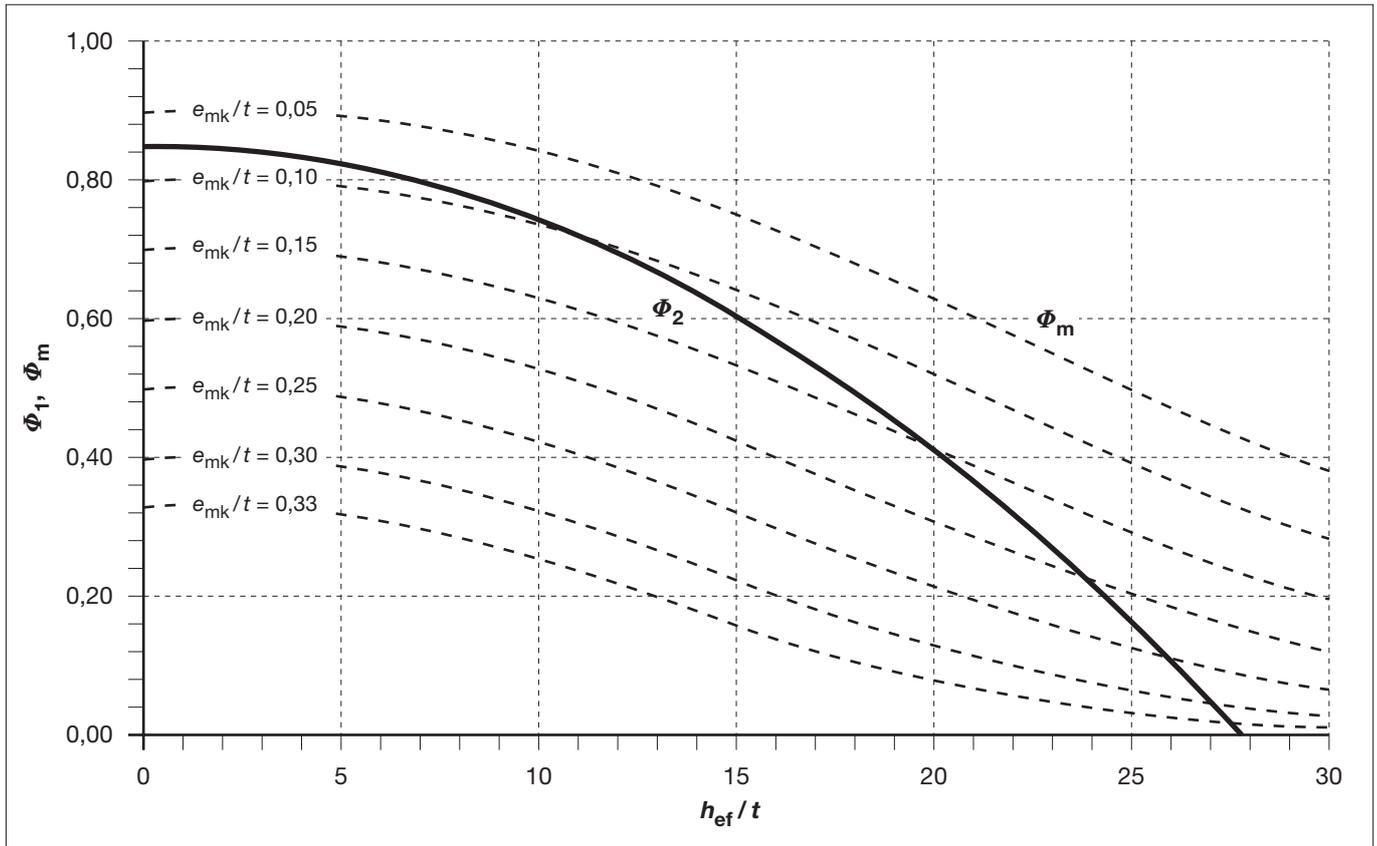


Abb. 3.3: Abminderungsfaktoren Φ_m und Φ_2

In Abbildung 3.3 ist der Abminderungsfaktor Φ_m für verschiedene Werte e_{mk}/t und der Abminderungsfaktor Φ_2 nach DIN 4223-3 [4] jeweils in Abhängigkeit von der Schlankheit h_{ef}/t dargestellt.

Der Abminderungsfaktor Φ_2 entspricht in seiner Bedeutung etwa dem Abminderungsfaktor k_2 in DIN 1053-1 [7]. Der Nachweis nach Gleichung (3.4) entspricht somit dem vereinfachten Verfahren nach DIN 1053-1, Abschnitt 6.

Die Knicklänge der Wand h_{ef} ist abhängig vom Einspanngrad der Wand am Wandkopf und am Wandfuß bei zweiseitig gehaltenen Wänden und von gegebenenfalls weiteren vorhandenen Halterungen (dreiseitig und vierseitig gehaltene Wände). Ein entsprechender Abminderungsfaktor ρ_n ist in DIN 4223-3 [4], Tabelle 5, angegeben. Dabei steht der Index n für die Anzahl der Halterungen der Wand. Die Bedingungen für die Wahl von ρ_n sind anschaulich in Tabelle 3.3 für $n = 2$ dargestellt. Als Besonderheit ist zu beachten, dass für die Annahme $\rho_2 = 0,75$ die Ausmitte der Längsdruckkraft am Wandkopf nicht größer als $t/6$ werden darf (kein klaffender Querschnitt).

Die Fußnote in Tabelle 5 der DIN 4223-3 ist ein Hinweis auf die in Gleichung (3.13) berücksichtigte ungewollte Ausmitte. Eine ausführliche Darstellung dazu ist in [17], Seite 708, zu finden. Dieser Hinweis ist somit auch eine „versteckte“ Anforderung an die praktische Ausführung von Wänden aus Porenbetonbauteilen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung: das vereinfachte Nachweisverfahren berücksichtigt eine ungewollte Ausmitte der Wand von $h_{ef}/450$. Bei einer Wandhöhe

von z.B. 2,75 m (das ist die zulässige Wandhöhe für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens bei Wänden mit einer Dicke $t < 0,24$ m) bedeutet das eine ungewollte Ausmitte der Wand von höchstens 6 mm!

Durch Umformen der Gleichung (3.13) erhält man für die Ermittlung des Abminderungsfaktors Φ_2

$$\Phi_2 = 0,0011 \cdot \left[\frac{0,85}{0,0011} - \left(\frac{h_{ef}}{t} \right)^2 \right] \approx \frac{1}{30,2^2} \cdot \left[27,8^2 - \left(\frac{h_{ef}}{t} \right)^2 \right] \quad (3.15)$$

Durch diese Umformung wird offensichtlich, dass für eine Schlankheit $h_{ef}/t = 27,8$ der Abminderungsfaktor Φ_2 zu Null wird und für größere Schlankheiten keine sinnvollen Werte erhalten werden (vgl. hierzu auch Abbildung 3.3). Mit einem gewissen Sicherheitsabstand zu dieser „Grenzschlankheit“ und in Übereinstimmung mit DIN 1053-1 [7] und DIN 1053-100 [8] wurde in DIN 4223-3 [4], 5.1, Voraussetzung d), die Schlankheit auf $h_{ef}/t = 25$ begrenzt.

Als Bemessungshilfe enthält Tabelle 3.3 die in Auswertung der Gleichungen (3.4) und (3.13) ermittelten Bemessungswerte der aufnehmbaren Längsdruckkraft je Meter Wandlänge für Wände aus Bauteilen in der Festigkeitsklasse PP 6 in Abhängigkeit von der Wanddicke t und der Geschosshöhe h . Um die Tragfähigkeit von Wänden aus Bauteilen in anderen Festigkeitsklassen zu erhalten, sind die Werte der Tabelle 3.4 mit den dort angegebenen Umrechnungsfaktoren zu multiplizieren.

Einspannung durch Dach oder Decke	Abminderungsfaktor ρ
	$\rho_2 = 0,75$ <p>Bedingung: $a \geq \frac{2}{3} t$ $a \geq 85 \text{ mm}$</p> <p>(gilt nicht für z. B. Holzbalkendecken oder ähnliche Decken- oder Dachkonstruktionen)</p>
	$\rho_2 = 1,00$

Tabelle 3.3: Abminderungsfaktor ρ für die Ermittlung der Knicklänge h_{ef} für zweiseitig gehaltene Wände

Zur Abschätzung der Tragfähigkeit knickgefährdeter Wände ist auch Abbildung 3.4 geeignet. Als Beispiel ist in Abbildung 3.4 die Tragfähigkeit einer Wand mit einer Dicke $t = 24 \text{ cm}$ und einer Höhe $h = 2,65 \text{ m}$ zu bestimmen. Bei Wandbauteilen aus PP 4 ist eine Tragfähigkeit von 313 kN/m ablesbar. Nach Tabelle 3.4 ergibt sich die Tragfähigkeit der Wand zu 445 kN/m . Mit dem Umrechnungsfaktor $0,705$ für PP 4 ergibt sich die Tragfähigkeit zu $313,7 \text{ kN/m}$. Der genauere Wert nach den Gleichungen (3.4) und (3.13) beträgt $313,3 \text{ kN/m}$.

**Zu Abschnitt 5.2.3.2:
Abminderungsfaktor bei Endauflagern von Decken**

Der Abminderungsfaktor Φ_3 in DIN 4223-3 entspricht dem Abminderungsfaktor k_3 in DIN 1053-1 [7], Abschnitt 6.9 und berücksichtigt den Einfluss des Deckendrehwinkels hauptsächlich am Endauflager von Massivdecken:

$$\Phi_3 = 1,3 - \frac{l}{8,0} \leq 0,75 \tag{3.16}$$

Dabei ist

- Φ_3 der Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung des Deckendrehwinkels
- l die Stützweite der aufliegenden Decke in Meter

Aufgrund der fehlenden oder nur geringen Auflast am Wandkopf bei Decken über dem obersten Geschoss, insbesondere bei Dachdecken, wird der Abminderungsfaktor in diesem Fall grundsätzlich auf $\Phi_3 = 0,375$ festgelegt.

In Abbildung 3.5 ist der Abminderungsfaktor Φ_3 in Abhängigkeit von der Stützweite der aufliegenden Decke dargestellt.

Aus Abbildung 3.5 ist ersichtlich, dass ab einer Deckenstützweite $l = 4,40 \text{ m}$ der Abminderungsfaktor Φ_3 mit größer werdender Deckenstützweite abnimmt. Nach DIN 1053-1 [7] ist das bei einer Deckenstützweite von $4,20 \text{ m}$ der Fall.

Da nach DIN 4223-3 [4], 5.2.3.2 der kleinere der Abminderungsfaktoren Φ_2 und Φ_3 für die Bemessung maßgebend ist, muss geprüft werden, ob die Schlankheit der Wand oder die Deckenspannweite der aufliegenden Decke maßgebend wird.

h_{ef} [m]	15	17,5	20	22,5	24	25	30	35	36,5	37,5	40
1,75	272	335	396	456	492	515	631	745	779	802	858
1,80	269	332	394	454	490	512	629	744	778	800	857
1,85	265	329	391	452	487	511	628	742	776	799	856
1,90	261	326	389	449	485	509	626	741	775	798	854
1,95	258	323	386	447	483	507	624	739	773	796	853
2,00	254	320	383	444	481	504	622	737	772	795	852
2,05	250	317	380	442	478	502	620	736	770	793	850
2,10	246	313	377	439	476	500	618	734	769	792	849
2,15	242	310	374	437	473	497	616	732	767	790	847
2,20	238	306	371	434	471	495	614	731	765	788	846
2,25	234	303	368	431	468	492	612	729	764	787	844
2,30	230	299	365	428	465	490	610	727	762	785	842
2,35	225	295	361	425	462	487	608	725	760	783	841
2,40	221	291	358	422	460	484	605	723	758	781	839
2,45	216	287	355	419	457	482	603	721	756	779	837
2,50	211	283	351	416	454	479	601	719	754	778	836
2,55	207	279	347	413	451	476	598	717	752	776	834
2,60	202	275	344	409	448	473	596	715	750	774	832
2,65	197	271	340	406	445	470	593	713	748	772	830
2,70	192	266	336	403	442	467	591	711	746	770	828
2,75	186	262	332	399	438	464	588	708	744	768	826
2,80	181	257	328	396	435	461	586	706	742	765	824
2,85	176	253	324	392	432	457	583	704	740	763	822
2,90	170	248	320	389	428	454	580	702	737	761	820
2,95	165	243	316	385	425	451	577	699	735	759	818
3,00	159	239	312	381	421	448	575	697	733	757	816

Umrechnungsfaktoren				
PP	2	4	6	8
Faktor	0,409	0,705	1,000	1,273

Tabelle 3.4:
Tragfähigkeit vertikal beanspruchter schlanker Wände in kN/m

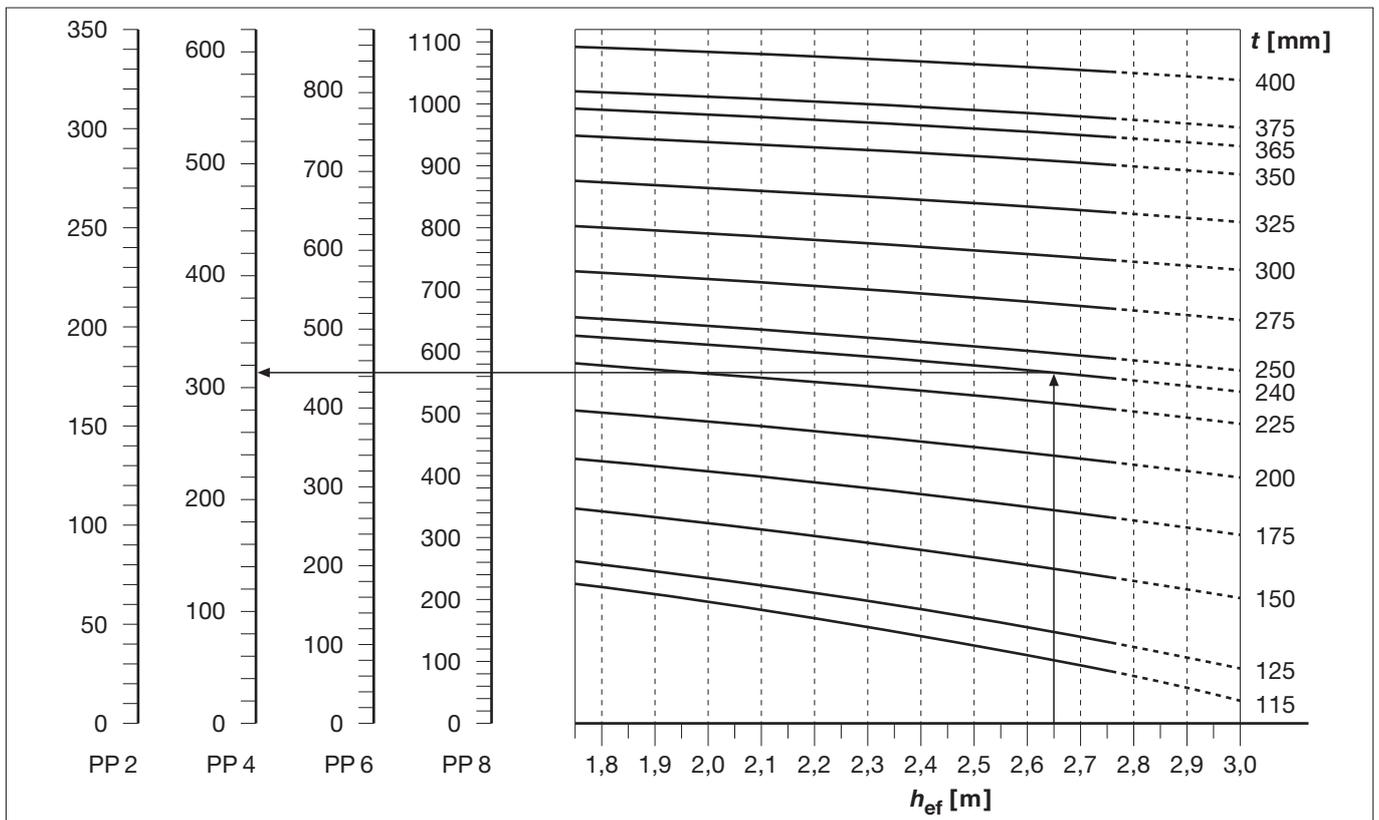


Abb. 3.4: Tragfähigkeit vertikal beanspruchter schlanker Wände in kN/m

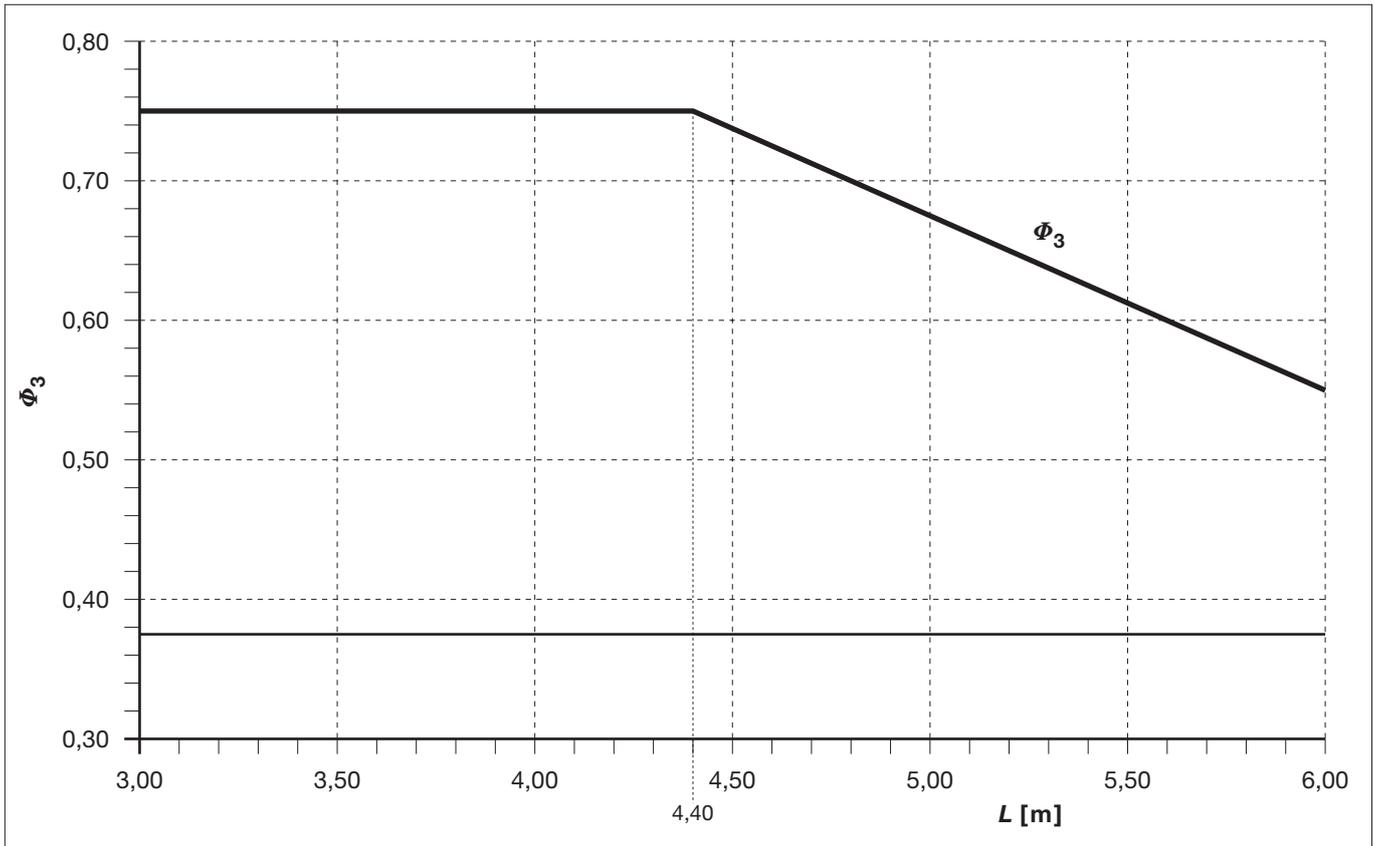


Abb. 3.5: Abminderungsfaktor Φ_3

Nach Gleichung (3.13) ergibt sich bis zu einer Schlankheit $h_{ef}/t = 9,53$ ein Abminderungsfaktor $\Phi_2 > 0,75$ und Φ_3 wird für die Bemessung maßgebend. Der kleinste Wert $\Phi_3 = 0,55$ ergibt sich unter der nach Voraussetzung b) im Abschnitt 5.1 der Norm größtmöglichen Deckenstützweite von $l = 6,0$ m. Bei einer Schlankheit $h_{ef}/t > 16,51$ wird dagegen Φ_2 oberster Geschossdecke (Dachdecke) mit $\Phi_3 = 0,375$ wird Φ_2 erst ab einer Schlankheit von $h_{ef}/t > 20,78$ kleiner und für die Bemessung maßgebend.

Als praktische Entscheidungshilfe sind in Abbildung 3.6 die für die Bemessung maßgebenden Bereiche von Φ_2 und Φ_3 (für Wände im Normalgeschoss) in Abhängigkeit von der Schlankheit und der Deckenstützweite angegeben. Je nachdem, ob der Schnittpunkt von Deckenstützweite und Schlankheit der Wand oberhalb oder unterhalb der Trennlinie liegt, ist Φ_3 oder Φ_2 maßgebend.

Zu Abschnitt 5.3: Teilflächenpressung

Bei Gebäuden tritt häufig der Fall auf, dass konzentrierte Lasten (z.B. aus den Stielen üblicher hölzerner Dachkonstruktionen oder Lasten aus Unterzügen und Sturzträgern) in einer Wand aufzunehmen und weiterzuleiten sind.

In DIN 1053-1 [7] ist für die Teilflächenpressung eine pauschale Erhöhung des Grundwertes der zulässigen Druckspannung σ_0 um den Faktor 1,3 vorgesehen. Für DIN 4223-3 [4] wurde

das „genauere“ Nachweisverfahren für Wände unter Teilflächenlasten nach DIN 1053-100, 9.9.3.2 [13] übernommen:

$$N_{cd} \leq \alpha \cdot \frac{f_k}{\gamma_{c2}} \cdot A_b \quad (3.17)$$

Dabei ist

- N_{cd} der Bemessungswert der Teilflächenlast
- f_k die charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerks bzw. der Wand aus Porenbetonbauteilen (vgl. Erläuterungen zu Abschnitt 4.3.2)
- A_b die belastete Teilfläche der Wand (Lasteinleitungsfläche)
- α ein Erhöhungsfaktor in Abhängigkeit des Abstandes vom Wandende zum am nächsten gelegenen Rand der Lasteinleitungsfläche
- γ_{c2} der Teilsicherheitsbeiwert für sprödes Versagen des Porenbetons nach DIN 4223-5 [6]

Der Erhöhungsfaktor ist im allgemeinen $\alpha = 1,0$. Unter der Voraussetzung, dass die belastete Teilfläche nicht größer ist als das zweifache Quadrat der Wanddicke ($A_b \leq 2 \cdot t^2$), darf der Erhöhungswert nach Gleichung (3.18) ermittelt werden:

$$\alpha = \left(1 + 0,1 \cdot \frac{a_1}{l_1} \right) \leq 1,5 \quad (3.18)$$

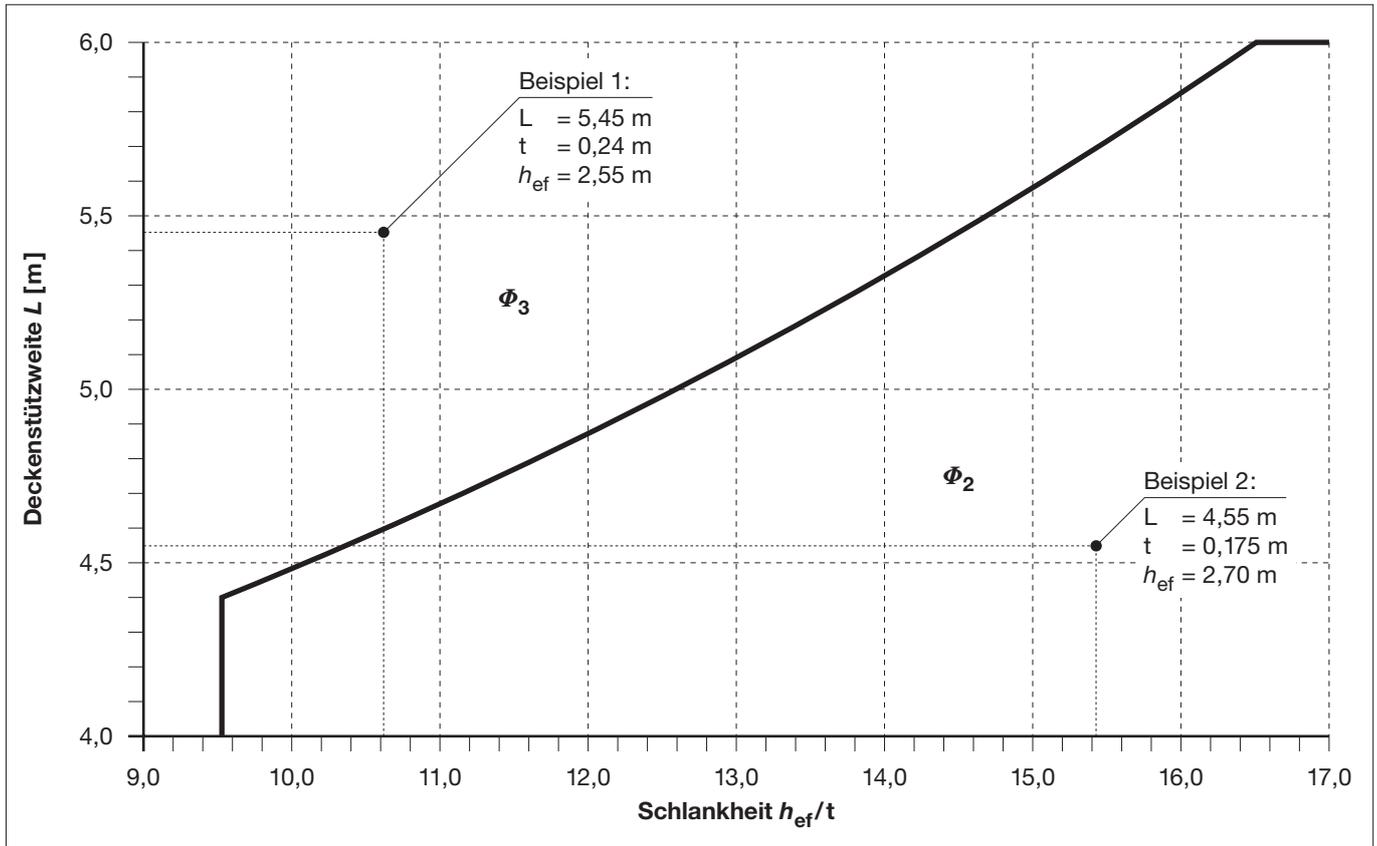


Abb. 3.6: Für die Bemessung maßgebende Bereiche für Φ_3 und Φ_2

Dabei ist

- α der Erhöhungsfaktor
- a_1 der Abstand vom Wandende zum am nächsten gelegenen Rand der Lasteinleitungsfläche
- l_1 die Länge der belasteten Teilfläche in Wandlängsrichtung

Damit ergibt sich der größtmögliche Bemessungswert der Teilflächenlast zu

$$N_{cd} \leq 1,5 \cdot \frac{f_k}{\gamma_{c2}} \cdot A_b \quad (3.19)$$

Der Faktor α ist in Abbildung 3.7 in Abhängigkeit vom Verhältnis a_1 / l_1 grafisch dargestellt.

In Abbildung 3.7 ist ebenfalls der Erhöhungsfaktor α nach dem vereinfachten Verfahren in DIN 1053-100, 8.9.3.2 [8] dargestellt. Danach wird der Höchstwert des Erhöhungsfaktors auf 1,3 gesetzt. Da die Anwendungsbedingungen für das vereinfachte Verfahren und den genaueren Nachweis in DIN 1053-100 jedoch ansonsten gleich sind, wurde in DIN 4223-3 das genauere Verfahren übernommen.

Als zusätzliche Bedingung für die Anwendbarkeit des Nachweisverfahrens wird gefordert, dass der Schwerpunkt der belasteten Teilfläche innerhalb der 1. Kernweite liegen muss, das heißt

$$e \leq \frac{t}{6} \quad (3.20)$$

Der Nachweis der Teilflächenpressung nach DIN 4223-3, 5.3 [4] berücksichtigt lediglich die erhöhten Druckspannungen auf den Porenbeton unmittelbar unter der Lasteinleitungsfläche. Zusätzlich zu diesem Nachweis ist daher auch der Nachweis der Tragfähigkeit der vertikal beanspruchten Wand nach 5.2 zu führen, wobei die Länge der Wand auf eine mitwirkende Länge L_{ef} zu begrenzen ist, die sich aus der angenommenen Lastausbreitung von 60° in der Mitte zwischen Wandfuß und Lasteinleitungsfläche ergibt (siehe Abbildung 3.8). Das entspricht auch den Regeln in DIN 1053-100 [8], DIN 1053-1 [7] und DIN V ENV 1996-1-1 [14].

Die Annahme der Lastausbreitung unter einem Winkel von 60° gilt bei liegend angeordneten Bauteilen unabhängig davon, ob eventuell vorhandene Stoßfugen vermörtelt sind oder nicht. Bei stehend angeordneten Bauteilen ist die wirksame Wandlänge L_{ef} jedoch auf die Bauteilbreite zu begrenzen, da eine Lastausbreitung unter einem Winkel von 60° über die Vertikalfuge hinweg nicht angenommen werden darf (vgl. Bild 3 in DIN 4223-3).

Zu Abschnitt 5.4: Schubkraftübertragung bei Wandscheiben

Wände aus Porenbetonbauteilen haben in Tragwerken oft eine aussteifende Funktion zu übernehmen. Das betrifft insbesondere Wände, die andere, unmittelbar durch Wind belastete Wände aussteifen oder Wände, die Horizontallasten aus Deckenscheiben in die darunter liegende Konstruktion oder direkt in das Fundament ableiten. Diese Wände müssen

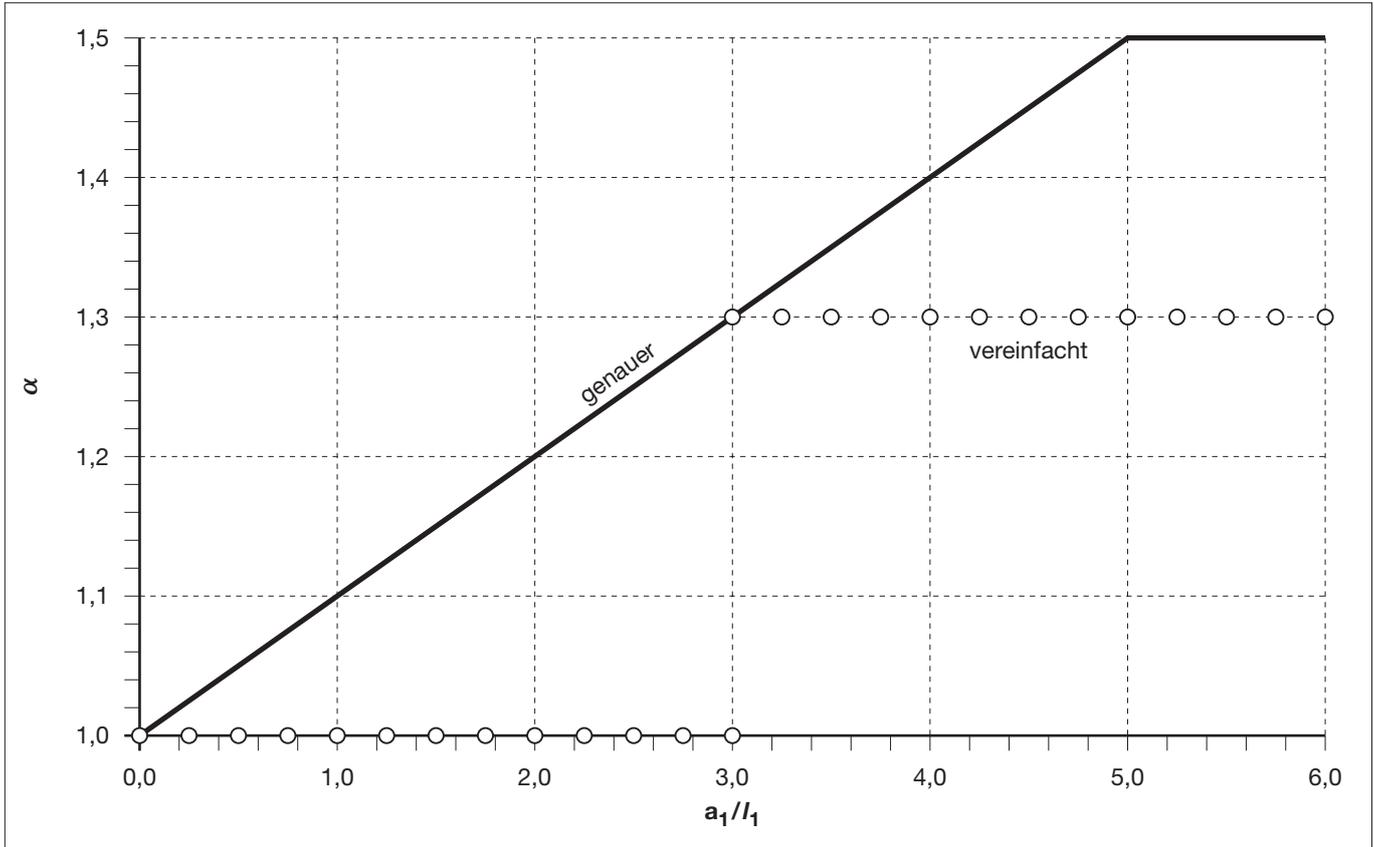


Abb. 3.7: Erhöhungsfaktor α bei Teilflächenbelastung

als Scheiben ausgebildet und für den auftretenden Scheibenschub bemessen werden.

Für den vereinfachten Nachweis dürfen Wände aus Porenbetonbauteilen als homogene isotrope Scheiben betrachtet werden, wenn die Bauteile mit Dünnbettmörtel zusammengefügt werden. Für diese Scheiben ist nachzuweisen, dass der Bemessungswert der durch die Fugen (und durch den Porenbeton) aufnehmbaren Schubkraft V_{Rd} größer oder gleich dem Bemessungswert der Schubkraft V_{Sd} ist (siehe DIN 4223-3 [4], 5.4):

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} \quad (3.21)$$

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft V_{Rd} ergibt sich entsprechend DIN 1053-100 [8] grundsätzlich aus der charakteristischen Schubfestigkeit f_{vk} und der wirksamen Querschnittsfläche A_c (vgl. Abbildung 3.9):

$$V_{Rd} = \frac{f_{vk} \cdot A_c}{c \cdot \gamma_{c2}} \quad (3.22)$$

Dabei ist

- V_{Rd} der Bemessungswert der durch die Fuge aufnehmbaren Schubkraft
- A_c der überdrückte Wandquerschnitt; es gilt $A_c = t \cdot l_c = 1,5 \cdot \Phi_1 \cdot t \cdot l_w \leq t \cdot l_w$; Φ_1 nach DIN 4223-3 [4], 5.2.3.1
- c ein Faktor zur Berücksichtigung der Schubspan-

nungsverteilung über den Querschnitt; für hohe Wände mit $h / l_w \geq 2,0$ gilt $c = 1,5$; für Wände mit $h / l_w \leq 1,0$ gilt $c = 1,0$; dazwischen darf linear interpoliert werden

- h die Höhe der Wandscheibe
- t die Dicke der Wandscheibe
- l_c die Länge des gedrückten Wandquerschnitts
- l_w die Länge der Wandscheibe
- f_{vk} die charakteristische Schubfestigkeit (siehe unten)
- g_{c2} der Teilsicherheitsbeiwert nach DIN 4223-5 [6] für sprödes Versagen des Porenbetons

Die charakteristische Schubfestigkeit f_{vk} ist abhängig von der Anordnung der Wandbauteile und vom Vorhandensein von Stoßfugen. Grundsätzlich ergibt sich die charakteristische Schubfestigkeit aus einem Anteil der charakteristischen Haftscherfestigkeit der Dünnbettmörtelfuge nach DIN 4223-3, 4.3.3 und einem Anteil aus „innerer“ Reibung. Für Wände aus liegend angeordneten Bauteilen ohne Stoßfugen beträgt die charakteristische Schubfestigkeit

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_{SdJ} \quad (3.23)$$

Dabei ist

- f_{vk} die charakteristische Schubfestigkeit
- f_{vk0} die charakteristische Haftscherfestigkeit der Fugenverbindung nach DIN 4223-3 [4], 4.3.3
- σ_{SdJ} der Bemessungswert der zugehörigen Druckspannung an der Stelle der maximalen Schubspannung; im Regelfall ist σ_{SdJ} aus der minimalen Einwirkung

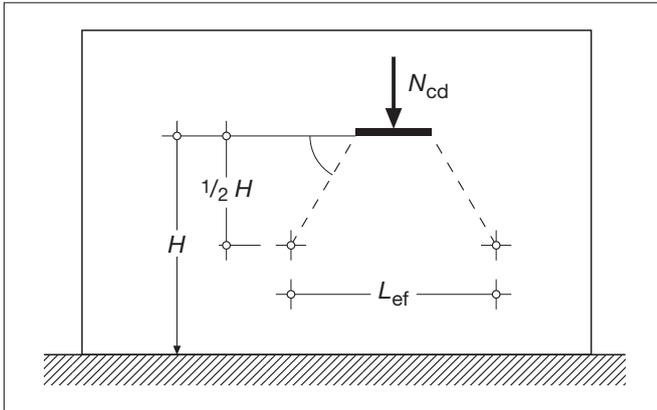


Abb. 3.8: Lastausbreitung in der Wand unter konzentrierten Lasten

(senkrecht zur Fugenfläche) und der überdrückten Fläche des untersuchten Wandquerschnittes zu ermitteln; bei stehend angeordneten Wandbauteilen ist $\sigma_{SdJ} = 0$ anzunehmen.

Für Wände aus liegend angeordneten Bauteilen mit Stoßfugen oder aus stehend angeordneten Bauteilen dürfen nur 50% der charakteristischen Haftscherfestigkeit angesetzt werden:

$$f_{vk} = 0,5 \cdot f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_{SdJ} \quad (3.24)$$

Die charakteristische Schubfestigkeit nach den Gleichungen (3.23) und (3.24) gilt nur für die Fugenverbindung. Als zweites Kriterium ist das Schubversagen des Porenbetons selbst zu berücksichtigen. Daher darf die charakteristische Schubfestigkeit auch nicht größer angenommen werden als die Höchstwerte der Schubfestigkeit nach DIN 4223-3 [4], Tabelle 2 (vgl. auch Gleichung (3.3)):

$$f_{vk} \leq \max f_{vk} \quad (3.25)$$

Da für die in DIN 4223-3 berücksichtigten Porenbetonfestigkeitsklassen PP 2 bis PP 8 im Fall liegend angeordneter Wandbauteile ohne Stoßfugen die Gleichung (3.25) stets kleinere Werte der charakteristischen Schubfestigkeit als Gleichung (3.23) liefert, wurde auf letztere für die Ermittlung der charakteristischen Schubfestigkeit bei liegend angeordneten Bauteilen ohne Stoßfugen verzichtet.

Das dem Nachweis der Schubtragfähigkeit zugrundeliegende Versagensmodell entspricht trotz teilweise einfacher Gleichungen prinzipiell dem in DIN 1053-1 [7] und DIN 1053-100 [8].

Ein Verfahren zum Nachweis der Schubtragfähigkeit von Wänden unter Plattenbeanspruchung ist in DIN 4223-3 nicht enthalten. Für die Anwendungsfälle, bei denen Plattenbeanspruchung vorliegt (vgl. hierzu auch die Erläuterungen zum Abschnitt 5.6), ist aufgrund der für die Anwendung zu erfüllenden Voraussetzungen ein Nachweis der Schubtragfähigkeit (Querkrafttragfähigkeit) nicht erforderlich.

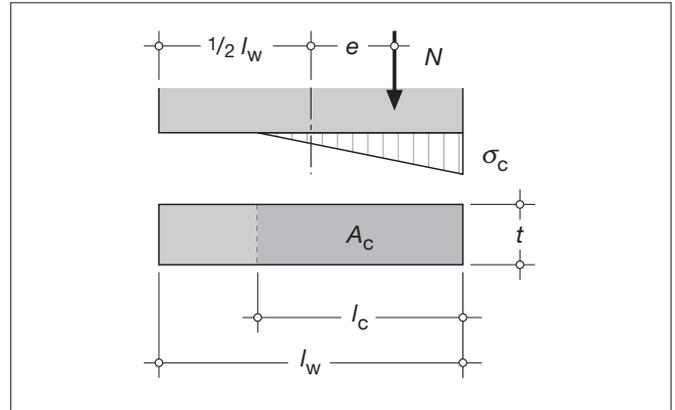


Abb. 3.9: Erläuterungen zu Gleichung (3.22)

Zu Abschnitt 5.5: Ausfachende Wände

Der Abschnitt 5.5 von DIN 4223-3 [4] soll hinsichtlich der Bemessung von Wänden aus Porenbetonbauteilen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung den häufigen vorkommenden Fall der ausfachenden Wände abdecken. Dabei wird vorausgesetzt, dass diese Wände nur durch ihre Eigenlast und Windlast beansprucht werden. Die im Abschnitt 5.2 angegebenen Nachweise der Tragfähigkeit unter Vertikallasten sind daher nicht relevant.

Unter Vernachlässigung der für diesen Anwendungsfall relativ geringen Auswirkungen der Eigenlast der Wand wird angenommen, dass der Wandquerschnitt auf reine Biegung infolge Windlast beansprucht wird. Der Nachweis der Tragfähigkeit ist durch Vergleich des Bemessungswertes des Biegemomentes infolge Windlast mit dem Bemessungswert des aufnehmbaren Biegemomentes, jeweils je Längeneinheit, zu führen:

$$m_{Sd} \leq m_{Rd} = \frac{f_{xk} \cdot W}{\gamma_{c2}} = \frac{f_{xk} \cdot t^2}{6 \cdot \gamma_{c2}} \quad (3.26)$$

Dabei ist

m_{Sd}	der Bemessungswert des Biegemomentes infolge unmittelbarer Windbelastung je lfd. M.
m_{Rd}	der Bemessungswert des aufnehmbaren Biegemomentes je lfd. M.
F_{xk}	die charakteristische Biegezugfestigkeit der Wand (vgl. Erläuterungen zu Abschnitt 4.3.4)
W	das Flächenmoment 1. Grades (Widerstandsmoment) der Wand je lfd. M.
t	die Dicke der Wand
γ_{c2}	der Teilsicherheitsfaktor für sprödes Versagen des Porenbetons nach DIN 4223-5 [6]

Bei ausfachenden Wänden ist insbesondere zu beachten, dass nur Biegezugfestigkeiten in Längsrichtung der Bauteile aufgesetzt werden dürfen und somit eine Biegezugfestigkeit senkrecht zu den Bauteillängsrändern nicht in Ansatz gebracht werden darf. Daraus ergibt sich zwangsläufig auch die Annahme eines einachsigen gespannten Einfeldträgers für die Ermittlung der Schnittkräfte. Stehen für die Aufnahme der horizontalen Auflagerkräfte aus Wind nur die als Scheiben wirkenden

w [kN/m ²]	0,40 kN/m ²						0,64 kN/m ²					
	PP 2		PP 4		PP 6 (PP 8)		PP 2		PP 4		PP 6 (PP 8)	
f_{ck} [MPa]	2,00		4,00		6,00		2,00		4,00		6,00	
f_{xk} [MPa]	0,14	0,08	0,20	0,12	0,24	0,15	0,14	0,08	0,20	0,12	0,24	0,15
l_s [m]	erf t [cm]						erf t [cm]					
2,00	15,0	20,0	12,5	16,0	11,5	14,5	19,0	25,0	16,0	20,5	14,5	18,5
2,10	16,0	21,0	13,0	17,0	12,0	15,0	20,0	26,0	16,5	21,5	15,0	19,0
2,20	16,5	22,0	14,0	18,0	12,5	16,0	21,0	27,5	17,5	22,5	16,0	20,0
2,30	17,5	22,5	14,5	18,5	13,0	16,5	22,0	28,5	18,0	23,5	16,5	21,0
2,40	18,0	23,5	15,0	19,5	14,0	17,5	22,5	30,0	19,0	24,5	17,5	22,0
2,50	18,5	24,5	15,5	20,0	14,5	18,0	23,5	31,0	20,0	25,5	18,0	23,0
2,55	19,0	25,0	16,0	20,5	14,5	18,5	24,0	32,0	20,0	26,0	18,5	23,5
2,60	19,5	25,5	16,5	21,0	15,0	19,0	24,5	32,5	20,5	26,5	19,0	23,5
2,65	20,0	26,0	16,5	21,5	15,0	19,0	25,0	33,0	21,0	27,0	19,0	24,0
2,70	20,0	26,5	17,0	22,0	15,5	19,5	25,5	33,5	21,5	27,5	19,5	24,5
2,75	20,5	27,0	17,5	22,0	16,0	20,0	26,0	34,5	22,0	28,0	20,0	25,0
2,80	21,0	27,5	17,5	22,5	16,0	20,0	26,5	35,0	22,0	28,5	20,0	25,5
3,00	22,5	29,5	19,0	24,0	17,0	21,5	28,5	37,5	23,5	30,5	21,5	27,5
3,25	24,5	32,0	20,5	26,0	18,5	23,5	30,5	40,5	25,5	33,0	23,5	29,5
3,50	26,0	34,5	22,0	28,0	20,0	25,0	33,0	43,5	27,5	35,5	25,0	32,0
3,75	28,0	37,0	23,5	30,0	21,5	27,0	35,5	46,5	29,5	38,0	27,0	34,0
4,00	30,0	39,5	25,0	32,0	23,0	29,0	37,5	49,5	31,5	40,5	29,0	36,5
4,25	31,5	42,0	26,5	34,0	24,0	30,5	40,0	53,0	33,5	43,0	30,5	38,5
4,50	33,5	44,5	28,0	36,0	25,5	32,5	42,5	56,0	35,5	45,5	32,5	41,0
4,75	35,5	46,5	29,5	38,0	27,0	34,0	44,5	59,0	37,5	48,0	34,0	43,0
5,00	37,0	49,0	31,0	40,0	28,5	36,0	47,0	62,0	39,5	50,5	36,0	45,5
5,25	39,0	51,5	32,5	42,0	30,0	37,5	49,5	65,0	41,5	53,5	37,5	47,5
5,50	41,0	54,0	34,5	44,0	31,5	39,5	51,5	68,5	43,5	56,0	39,5	50,0
5,75	43,0	56,5	36,0	46,0	32,5	41,5	54,0	71,5	45,0	58,5	41,5	52,0
6,00	44,5	59,0	37,5	48,0	34,0	43,0	56,5	74,5	47,0	61,0	43,0	54,5

Tabelle 3.5: Mindestdicke erf t in cm von Wänden zur Ausfachung in Abhängigkeit von der Windlast w , der Porenbetonfestigkeitsklasse und der Stützweite der Wand l_s

Decken zur Verfügung, sind die ausfachenden Wände folglich aus stehend angeordneten Wandbauteilen herzustellen. Bei Wänden aus liegend angeordneten Bauteilen sind Querwände oder entsprechende Konstruktionen als Auflager erforderlich. Voraussetzung ist jedoch stets, dass die Wandhalterungen die Auflagerkräfte auch aufnehmen und weiterleiten können. Der Nachweis der Aufnahme der Auflager- bzw. Halterungskräfte ist nach DIN 4223-3 [4], 5.5 folglich auch in jedem Einzelfall zu führen.

Nach den in den Abschnitten 5.1 und 5.5 der Norm genannten Voraussetzungen und Annahmen für ausfachende Wände ergibt sich der Bemessungswert des Biegemomentes bei einer Wandstützweite l_s zu

$$m_{Sd} = \frac{\gamma_Q \cdot w \cdot l_s^2}{8} = \frac{1,5 \cdot w \cdot l_s^2}{8} \quad (3.27)$$

Dabei ist

- m_{Sd} der Bemessungswert des Biegemomentes infolge Windlast
- w der Bemessungswert der Windlast (charakteristischer Wert) nach DIN 1055-4 [8]
- l_s die Stützweite der ausfachenden Wand

γ_Q der Teilsicherheitsfaktor für veränderliche Lasten nach DIN 1055-100 [12]

Wird Gleichung (3.27) in die Nachweisgleichung (3.26) eingesetzt und entsprechend umgeformt, erhält man eine Beziehung zur einfachen Bemessung ausfachender Wände:

$$\frac{l_s}{t} \leq \sqrt{\frac{f_{xk}}{w \cdot \gamma_{c2}}} \cdot \frac{8}{9} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot f_{xk}}{w \cdot \gamma_{c2}}} \approx 0,723 \cdot \sqrt{\frac{f_{xk}}{w}} \quad (3.28)$$

Dabei ist

- f_{xk} die charakteristische Biegezugfestigkeit nach DIN 4223-3 [4]
- l_s die Stützweite der ausfachenden Wand
- t die Wanddicke
- w die Windlast nach DIN 1055-4 [8]

In Auswertung der Gleichung (3.28) für Wände aus Bauteilen in den Festigkeitsklassen PP 2 bis PP 6 (PP 8) ist in Tabelle 3.5 die jeweils erforderliche Mindestdicke t der ausfachenden Wand für die charakteristischen Windlasten $w = 0,8 \cdot 0,5 = 0,40$ kN/m² und $w = 0,8 \cdot 0,8 = 0,64$ kN/m² in Abhängigkeit von der Stützweite l_s der ausfachenden Wand als Bemessungshilfe dargestellt. Dabei wurde die charakteristischen

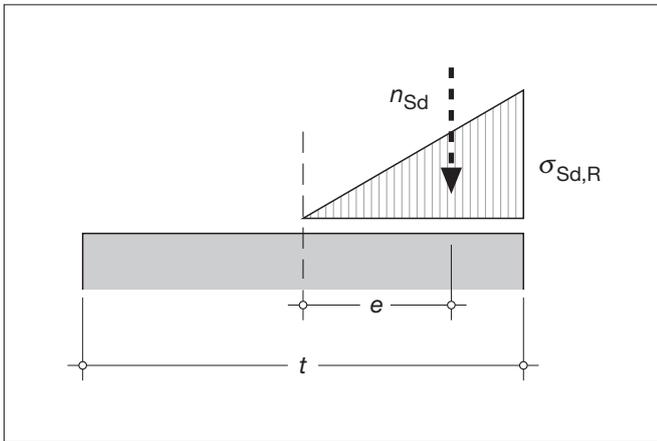


Abb. 3.10: Spannungen im Bruchzustand

Biegezugfestigkeit der Wand nach DIN 4223-3, Tabelle 3 berücksichtigt. Die Zahlenwerte sind auf 0,5 cm aufgerundet, erforderliche Wanddicken über 40 cm sind nicht fett gedruckt.

Gegenüber den Bedingungen nach DIN 4223-3, Abschnitt 5.1 ist bei ausfachenden Wänden zu beachten, dass die Gebäudehöhe und damit die Lage der ausfachenden Wand über Gelände nicht auf 20 m beschränkt sein muss und somit auch eine größere Windlast w als die für bis zu 20 m Gebäudehöhe übliche auftreten kann!

Bei biegebeanspruchten Bauteilen ist neben dem Nachweis der Biegetragfähigkeit (Bemessungswert des aufnehmbaren Biegemomentes) üblicherweise der Nachweis der Aufnahme des Plattenschubs (Querkraft) zu erbringen. Wie bereits weiter oben erläutert, beinhaltet DIN 4223-3 keine Regelung für einen solchen Nachweis. Die zu erwartenden Beanspruchungen liegen jedoch weit unter denen erddruckbeanspruchter Wände. Damit gilt auch für ausfachende Wände, dass ein Nachweis der Querkraftaufnahme nach DIN 4223-3 zwar nicht geführt werden kann, aufgrund des beschränkten Anwendungsbereiches und der für die Nachweisführung zu erfüllenden Voraussetzungen ein entsprechender Nachweis auch nicht erforderlich ist (siehe Erläuterungen zum Abschnitt 5.6).

**Zu Abschnitt 5.6:
Erddruckbeanspruchte Wände**

Der in DIN 4223-3 [4], 5.6, aufgenommene vereinfachte Nachweis der Tragfähigkeit erddruckbeanspruchter Wände erfolgt entsprechend dem in DIN 1053-100 [8] angegebenen Verfahren (siehe hierzu auch DIN 1053-1 [7] und DIN V ENV 1996-3 [14]). Gegenüber DIN 1053-100 wurden die Nachweisgleichungen jedoch in „Bemessungsgleichungen“ umgeformt, mit Hilfe derer eine erforderliche Wanddicke t ermittelt wird, was eher der praktischen Vorgehensweise entspricht.

Mit Gleichung (14) in DIN 4223-3 wird nachgewiesen, dass unter der Annahme einer bis zur Mitte klaffenden Fuge die maximale Randdruckspannung den Bemessungswert der Druckfestigkeit der Wand nicht überschreitet (vgl. Abbildung 3.10).

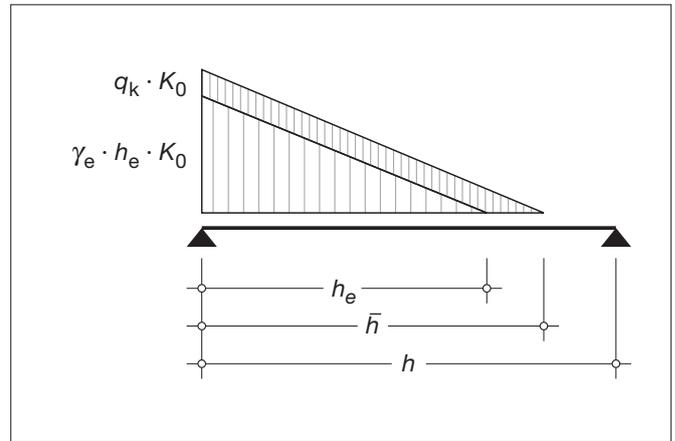


Abb. 3.11: Erddruckbeanspruchte Wand. Belastung

Aus dem Gleichgewicht der Kräfte ergibt sich

$$n_{Sd} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{Sd,R} \cdot \frac{t}{2} = \frac{1}{4} \cdot t \cdot \sigma_{Sd,R} \quad (3.29)$$

Aus der oben erhobenen Forderung ergibt sich schließlich

$$\sigma_{Sd,R} = \frac{4 \cdot n_{Sd}}{t} \leq \frac{f_k}{\gamma_{c2}} \Rightarrow t \geq \frac{4 \cdot \gamma_{c2} \cdot n_{Sd}}{f_k} \quad (3.30)$$

Da mit diesem Nachweis bereits die größtmögliche vertikale Beanspruchung für Wände unter Erddruckbeanspruchung abgedeckt wird, ist ein zusätzlicher Nachweis nach Abschnitt 5.2 nicht erforderlich.

Gleichung (15) in DIN 4223-3 geht zurück auf eine Untersuchung von Bruchkriterien der biegebeanspruchten Wand in [18]. Zur Ermittlung der Biegebeanspruchung infolge Erddruck wird dabei zunächst ein gelenkig gelagerter Einfeldträger mit einer Belastung nach Abbildung 3.11 angenommen.

Die maximale Ordinate des horizontalen Erddrucks infolge der Eigenlast der Hinterfüllung bis zu einer Höhe h_e über dem Wandfuß und infolge einer Verkehrslast auf der Geländeoberfläche ergibt sich zu

$$e_h = (\gamma_e \cdot h_e + q_k) \cdot K_0 = \gamma_e \cdot \left(h_e + \frac{q_k}{\gamma_e} \right) \cdot K_0 = \gamma_e \cdot \bar{h} \cdot K_0 \quad (3.31)$$

Dabei ist

- e_h die Ordinate des horizontalen Erddrucks am Wandfuß
- K_0 der Beiwert für den horizontalen Erddruck
- q_k der charakteristische Wert der Verkehrslast auf der Geländeoberfläche
- h_e die Höhe der Hinterfüllung
- \bar{h} die rechnerische Höhe der Hinterfüllung
- γ_e das Berechnungsgewicht des Hinterfüllmaterials (charakteristischer Wert)

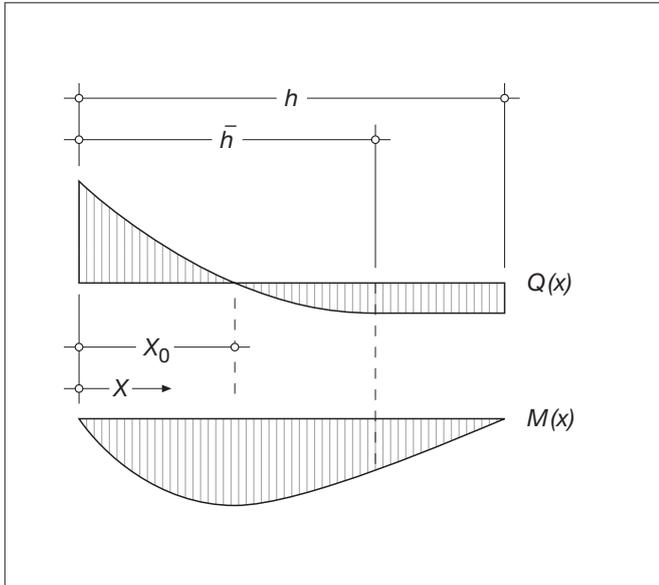


Abb. 3.12: Schnittkraftverlauf über die Wandhöhe

Vereinfachend und auf der sicheren Seite wird im Folgenden angenommen, dass der Erddruck bis zur rechnerischen Höhe der Hinterfüllung \bar{h} wirkt. Die Belastungsfunktion $q(x)$ wird damit

$$q(x) = \gamma_e \cdot \bar{h} \cdot K_0 - \gamma_e \cdot K_0 \cdot x = \gamma_e \cdot K_0 \cdot (\bar{h} - x) \quad 0 \leq x \leq \bar{h} \quad (3.32)$$

$$q(x) = 0 \quad \bar{h} \leq x \leq h$$

Die horizontalen Auflagerkräfte der Wand H_o am Wandkopf und H_u am Wandfuß ergeben sich zu

$$H_o = \frac{e_h}{h} \cdot \frac{\bar{h}}{2} \cdot \frac{\bar{h}}{3} = \gamma_e \cdot K_0 \cdot \frac{\bar{h}^2}{6} \cdot \frac{\bar{h}}{h} \quad (3.33)$$

$$H_u = \frac{e_h}{h} \cdot \frac{\bar{h}}{2} \cdot \left(h - \frac{\bar{h}}{3}\right) = \gamma_e \cdot K_0 \cdot \frac{\bar{h}^2}{6} \cdot \left(3 - \frac{\bar{h}}{h}\right)$$

Die Funktion des Querkraftverlaufes über die Wandhöhe (vgl. Abbildung 3.12) wird durch einfache Integration von Gleichung (3.32) unter Berücksichtigung der Auflagerkräfte H_u und H_o erhalten:

$$Q(x) = \gamma_e \cdot \bar{h} \cdot K_0 \cdot \left[\frac{\bar{h}}{2} \cdot \left(1 - \frac{\bar{h}}{3 \cdot h}\right) - x + \frac{x^2}{2 \cdot \bar{h}} \right] \quad 0 \leq x \leq \bar{h} \quad (3.34)$$

$$Q(x) = -H_o = -\gamma_e \cdot K_0 \cdot \frac{\bar{h}^2}{6} \cdot \frac{\bar{h}}{h} \quad \bar{h} \leq x \leq h$$

Eine weitere Integration liefert die Funktion des Momentenverlaufes (siehe Abbildung 3.12)

$$M(x) = \gamma_e \cdot \frac{\bar{h}}{2} \cdot K_0 \cdot x \cdot \left[\bar{h} \cdot \left(1 - \frac{\bar{h}}{3 \cdot h}\right) - x + \frac{x^2}{3 \cdot \bar{h}} \right] \quad 0 \leq x \leq \bar{h} \quad (3.35)$$

$$M(x) = \gamma_e \cdot \frac{\bar{h}^2}{6} \cdot K_0 \cdot \left(\bar{h} - x \cdot \frac{\bar{h}}{h} \right) \quad \bar{h} \leq x \leq h$$

Aus der Bedingung $Q(x_0) = 0$ in Gleichung (3.34) ergibt sich die Lage des maximalen Biegemomentes:

$$Q(x_0) = 0 = \frac{\bar{h}}{2} \cdot \left(1 - \frac{\bar{h}}{3 \cdot h}\right) - x_0 + \frac{x_0^2}{2 \cdot \bar{h}} \quad (3.36)$$

Die praktisch sinnvolle Lösung der quadratischen Gleichung (3.36) ergibt sich zu

$$x_0 = \bar{h} - \sqrt{\frac{-2 \cdot \bar{h}^2}{h^2} \cdot \left(1 - \frac{\bar{h}}{3 \cdot h}\right)} = \bar{h} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{h}}{3 \cdot h}}\right) = \bar{h} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{\xi}{3}}\right) \quad (3.37)$$

Das Einsetzen dieser Lösung in Gleichung (3.35) ergibt das maximale Biegemoment

$$M_0 = \frac{\gamma_e \cdot K_0 \cdot \bar{h}^3}{6 \cdot h} \cdot \left(h - \bar{h} + \frac{2}{3} \cdot \bar{h} \cdot \sqrt{\frac{\bar{h}}{3 \cdot h}}\right) = \frac{\gamma_e \cdot K_0 \cdot \bar{h}^3}{6} \cdot \left(1 - \xi + \frac{2}{3} \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{\xi}{3}}\right) \quad (3.38)$$

Zur Vereinfachung wird nach [18] folgende Approximation eingeführt:

$$\xi^3 \cdot \left(1 - \xi + \frac{2}{3} \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{\xi}{3}}\right) \approx \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{h_e}{h}\right)^2 \quad (3.39)$$

Für die (typischen) Werte einer durch Erddruck beanspruchten Wand

$$h = 2,60$$

$$q_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

$$g_e = 20,0 \text{ kN/m}^3$$

ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der ursprünglichen Funktion und der Näherungsfunktion. In Abbildung 3.13 ist die Auswertung von Gleichung (3.39) für diese Werte dargestellt.

Mit dem Ansatz (3.39) geht Gleichung (3.38) über in

$$M_0 \approx \frac{\gamma_e \cdot K_0}{6} \cdot h^3 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{h_e}{h}\right)^2 = \frac{\gamma_e \cdot K_0 \cdot h \cdot h_e^2}{12} \quad (3.40)$$

Die Durchbiegung der Wand infolge des horizontalen Erddruckes bewirkt einen exzentrischen Angriff der Normalkraft (Längsdruckkraft) und damit eine teilweise Einspannung der Wand. Wird eine Klaffung des Wandquerschnittes an den Stellen der größten Biegebeanspruchung jeweils bis zur Querschnittsmitte zugelassen (vgl. Abbildung 3.10), bildet sich ein Druckbogen mit einem Stich von $\frac{2}{3}$ der Wanddicke t aus.

Das der Biegebeanspruchung aus Erddruck entgegengerichtete Moment aus der Ausmitte der Längsdruckkraft ergibt sich damit zu

$$M_R = \frac{2}{3} \cdot t \cdot n_{Sd,min} \quad (3.41)$$

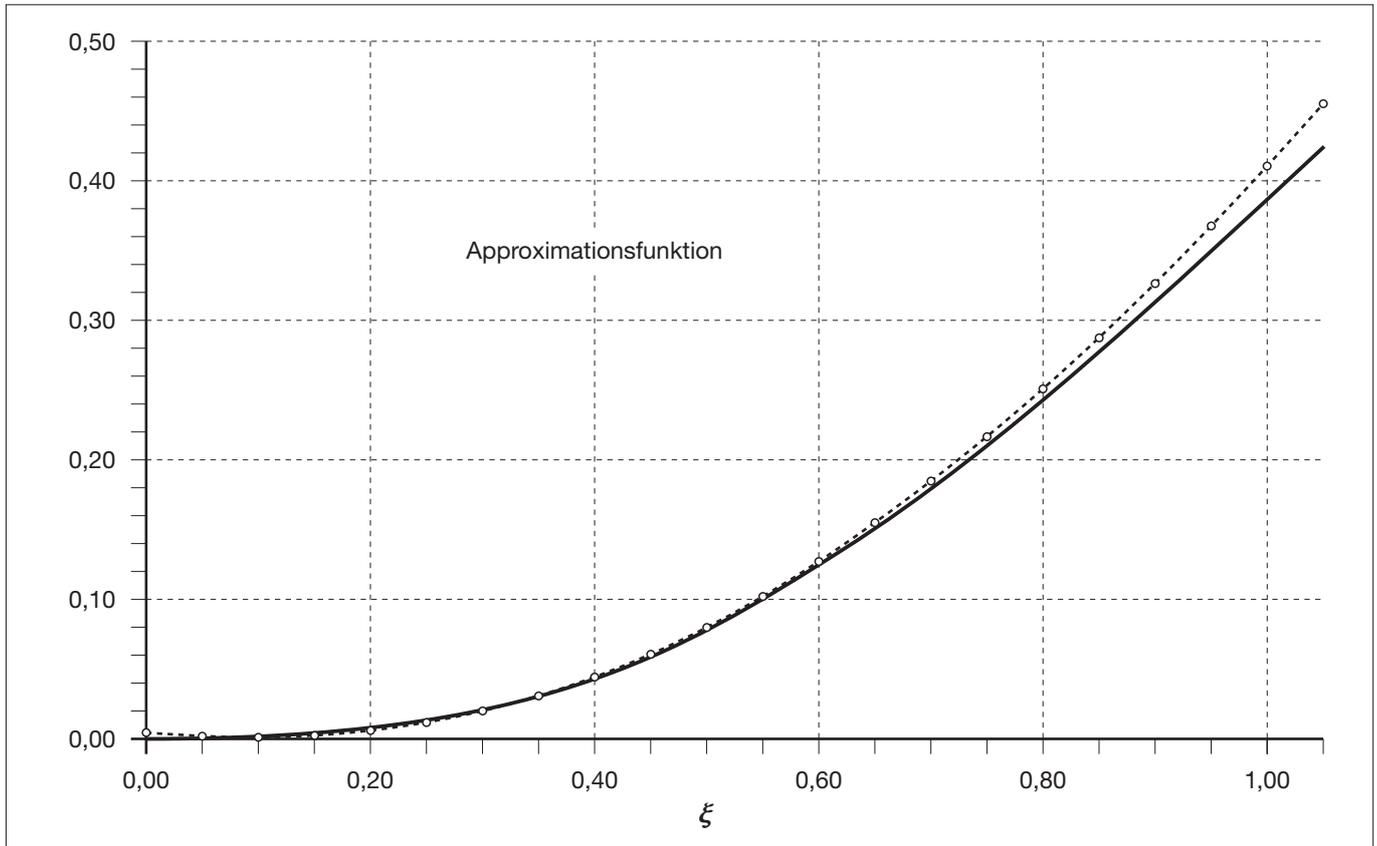


Abb. 3.13: Größe des Biegemomentes. Vergleich zwischen genauer Funktion und Näherung

Aus der Forderung, dass das Biegemoment aus der Ausmitte der Längsdruckkraft mindestens so groß sein muss wie das Biegemoment infolge Erddruck ergibt sich

$$\frac{\gamma_e \cdot K_0 \cdot h \cdot h_e^2}{12} \leq \frac{2}{3} \cdot t \cdot n_{Sd, \min} \quad (3.42)$$

Der horizontale Erddruck liegt nach DIN 1055-2 [11] je nach den vorhandenen Randbedingungen zwischen dem aktiven und dem Erdruhedruck. In [18] wurde der aktive Erddruck angesetzt und ein Beiwert angenommen. Mit dieser Annahme und einer entsprechenden Umformung von Gleichung (3.42) erhält man schließlich

$$t \geq \frac{3}{2 \cdot n_{Sd, \min}} \cdot \frac{\gamma_e \cdot 0,333 \cdot h \cdot h_e^2}{12} = \frac{\gamma_e \cdot h \cdot h_e^2}{24 \cdot n_{Sd, \min}} \approx \frac{\gamma_e \cdot h \cdot h_e^2}{20 \cdot n_{Sd, \min}} \quad (3.43)$$

Das entspricht der Gleichung (15) in DIN 4223-3 [4] für zwei-seitig gehaltene Wände.

Für den Nachweis der Aufnahme der Schubspannungen (Plattenschub) sind in DIN 4223-3 [4] keine Regeln angegeben. Der Nachweis der Aufnahme der Schubkraft im Abschnitt 5.4 der Norm bezieht sich auf die Scheibenbeanspruchung. Unter den Voraussetzungen für den Nachweis erddruckbeanspruchter Wände ist der Nachweis jedoch entbehrlich.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] DIN 4223 07.1958x Bewehrte Dach- und Deckenplatten aus dampfgehärtetem Gas- und Schaumbeton. Richtlinien für Bemessung, Herstellung, Verwendung und Prüfung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [2] DIN 4223-1:2003-12 Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 1: Herstellung, Eigenschaften, Übereinstimmungsnachweis. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [3] DIN 4223-2:2003-12 Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 2: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung, Entwurf und Bemessung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [4] DIN 4223-3:2003-12 Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 3: Wände aus Bauteilen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung – Entwurf und Bemessung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [5] DIN 4223-4:2003-12 Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 4: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung, Anwendung in Bauwerken. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [6] DIN 4223-5:2003-12 Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 5: Sicherheitskonzept. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [7] DIN 1053-1:1996-11 Mauerwerk, Teil 1: Berechnung und Ausführung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [8] DIN 1053-100:2003-05 (Entwurf) Mauerwerk – Teil 100: Berechnung auf der Grundlage des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [9] DIN 4165:1996-11 Porenbeton-Blocksteine und Porenbeton-Plansteine. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [10] DIN 1045-1:2001-07 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [11] DIN 1055-2:1976-02 Lastannahmen für Bauten. Bodenkenngrößen. Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [12] DIN 1055-4:1988-08 Lastannahmen für Bauten. Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [13] E DIN 1055-100:1999-07 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung. Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [14] DIN V ENV 1996-3 Eurocode 6 – Berechnung und Ausführung von Mauerwerksbauten, Teil 3: Vereinfachte Berechnungsmethoden und einfache Regeln für Mauerwerk. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [15] prEN 1996-1-1:2002 Eurocode 6 – Design of Masonry Structures – Part 1-1: Common rules for reinforced and unreinforced masonry structures. Stage 34 draft. Editor: CEN European Committee for Standardisation
- [16] Schubert, P.: Eigenschaftswerte von Mauerwerk, Mauersteinen und Mauermörtel. In: Mauerwerk-Kalender 2001, Verlag Ernst & Sohn, S. 5-22
- [17] Kirtschig, K.: Eurocode 6 – Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, Teil 1-1: Allgemeine Regeln – Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. Juni 1995, Normtext – Erläuterungen – Hintergründe. In: Mauerwerk-Kalender 1997, Verlag Ernst & Sohn, S. 653-752
- [18] Mann, W.; Bernhardt, G.: Rechnerischer Nachweis von ein- und zweiachsig gespannten gemauerten Wänden, insbesondere von Kellerwänden auf Erddruck. In: Mauerwerk-Kalender 1984, Verlag Ernst & Sohn, S. 69-84

Weitergehende Literatur

Schubert, P.: Eigenschaftswerte von Mauerwerk, Mauersteinen und Mauermörtel. In: Mauerwerk-Kalender 2003, Verlag Ernst & Sohn, S. 5-24

Mann, W.: Das vereinfachte Berechnungsverfahren für gemauerte Wände nach Eurocode EC 6, Teil 3. In: Mauerwerk-Kalender 1999, Verlag Ernst & Sohn

Schubert, P.: Zur Schubfestigkeit von Mauerwerk. In: Mauerwerk-Kalender 1998, Verlag Ernst & Sohn, S. 733-747

Schubert, P.; Caballero Gonzalez, A.: Zugfestigkeit von Porenbeton und Haftscherfestigkeit von Dünnbettmörtel auf Porenbeton. In: Mauerwerk-Kalender 1997, Verlag Ernst & Sohn, S. 629-643

Untersuchungsbericht Nr. 13-29087: Schubtragverhalten von Mauerwerk aus HEBEL-Porenbeton-Plansteinen und Dünnbettmörtel. FMPA Baden-Württemberg. Otto-Graf-Institut (1997-04)

Untersuchungsbericht Nr. 13-29305: Schubtragverhalten von Mauerwerk aus YTONG-Porenbeton-Plansteinen und Dünnbettmörtel. FMPA Baden-Württemberg. Otto-Graf-Institut (1999-03)

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-2.1-10.2: Bewehrte YTONG-Wandplatten W aus dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 3,3 und 4,4. Deutsches Institut für Bautechnik (2001-10)

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-2.1-10.3: Bewehrte HEBEL-Wandplatten W aus dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 3,3 und 4,4. Deutsches Institut für Bautechnik (2001-10)

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-17.1-484: Mauerwerk aus Porenbeton-Planelementen W mit einem Überbindemaß von 0,4 h. Deutsches Institut für Bautechnik (2003-05)

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-17.1-28: Geschosshohe tragende YTONG-Wandelemente W (YTONG-System-Wandelemente) und YTONG-Wandtafeln W aus unbewehrtem, dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 2, 4 und 6. Deutsches Institut für Bautechnik (2001-08)

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-17.1-43: Geschosshohe tragende Hebel-Wandtafeln W aus unbewehrtem, dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 2, 4 und 6. Deutsches Institut für Bautechnik (2000-03)

ERLÄUTERUNGEN ZU DIN 4223-4:2003-12

Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus
dampfgehärtetem Porenbeton

Teil 4

Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung –
Anwendung in Bauwerken

DEUTSCHE NORM

Dezember 2003

**Vorgefertigte bewehrte Bauteile
aus dampfgehärtetem Porenbeton**
Teil 4: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung
Anwendung in Bauwerken

DIN
4223-4

ICS 91.100.30

Prefabricated reinforced components of autoclaved aerated concrete —
Part 4: Design and calculation of structural components, application of components in
structures

Éléments préfabriqués armés en béton cellulaire autoclavé —
Partie 4: Construction et calcul des éléments de construction porteurs, application des
éléments de construction porteurs

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	3
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe und Formelzeichen	5
3.1 Begriffe	5
3.2 Formelzeichen	5
3.3 Einheiten	6
3.4 Abkürzungen	6
4 Baustoffe	7
4.1 Dampfgehärteter Porenbeton	7
4.2 Betonstahl	7
4.3 Beton	7
4.4 Mörtel	7
4.5 Befestigungsmittel	7
5 Entwurf und Berechnung	7
5.1 Allgemeine Grundlagen	7
5.2 Räumliche Steifigkeit	10
5.3 Dach- und Deckenbauteile	10
5.4 Tragende Wände	13
5.5 Sturzwandplatten	16
5.6 Aussteifende Wände (Wandscheiben)	18
5.7 Bemessung der Befestigungsmittel	18

Fortsetzung Seite 2 bis 28

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Inhaltsverzeichnis

	Allgemeines	84
Zu Abschnitt 5.1:	Allgemeine Grundlagen für Entwurf und Bemessung	84
Zu Abschnitt 5.2:	Räumliche Steifigkeit	84
Zu Abschnitt 5.3.1:	Plattenbeanspruchung von Dach- und Deckenbauteilen	86
Zu Abschnitt 5.3.2:	Scheibenbeanspruchung von Dach- und Deckenbauteilen	87
Zu Abschnitt 5.4:	Tragende Wände	93
Zu Abschnitt 5.5:	Sturzwandplatten	95
Zu Abschnitt 5.6:	Wandscheiben	96
Zu Abschnitt 6.1:	Übertragung von Querkräften über die Bauteilfugen	98
Zu Abschnitt 6.2:	Übertragung von in Bauteilebene wirkenden Schubkräften	99
Zu Abschnitt 6.4:	Deckenscheiben mit vereinfachtem Nachweis	101
Zu Abschnitt 6.5:	Anwendung von Betoneckdübeln bei Scheiben	102
Zu Abschnitt 7:	Bauausführung	102
	Literatur- und Quellenverzeichnis	102

Allgemeines

Die Bemessung tragender Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton mit statisch anrechenbarer Bewehrung erfolgt vollständig nach DIN 4223-2 [4]. Die Anwendung dieser Bauteile und deren funktionelles Zusammenwirken im Tragsystem eines Bauwerks sind in DIN 4223-4 geregelt. Die Grundlage des Inhalts von DIN 4223-4 bilden die in den bisher geltenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen verankerten Anwendungsregeln für Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton. Die entsprechenden Regelungen der Zulassungen wurden zum großen Teil übernommen und soweit es erforderlich war, dem geänderten Sicherheitskonzept angepasst.

Die inhaltlichen Schwerpunkte der Norm DIN 4223-4 liegen auf

- der Ausbildung von Wand-, Dach- und Deckenscheiben,
- der Ausbildung von Fugen und dem Nachweis der Fugentragfähigkeit sowie
- den Annahmen für die Schnittkraftermittlung bei tragenden Wänden und bei Sturzwandplatten.

Für die Bemessung und den Nachweis der Fugen zwischen Porenbetonbauteilen mit ebenen Verbindungsflächen wird in DIN 4223-4 auf DIN 4223-3 [5] verwiesen, da die Fugen unbewehrt sind und in ihrer Tragwirkung den in Teil 3 der Norm geregelten Fugen entsprechen.

Mit Einführung der Normenreihe DIN 4223 kann eine Vielzahl bisher erforderlicher allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen für die Bemessung und die Anwendung von Porenbetonbauteilen künftig entfallen. Nach wie vor sind jedoch z.B. für die Verankerung von Porenbetonbauteilen allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen erforderlich, sofern sie nicht nach DIN 4223 nachgewiesen werden können.

Die folgenden Erläuterungen zu den wesentlichen Abschnitten der Norm DIN 4223-4 sollen Hintergründe erläutern und Hilfestellungen zur Anwendung der Norm geben.

Zu Abschnitt 5.1: Allgemeine Grundlagen für Entwurf und Bemessung

Tragende Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton sind werkmäßig hergestellte vorgefertigte Einzelbauteile, deren Zusammenwirken untereinander und mit anderen Bauteilen durch Verwendung anderer, nicht aus dampfgehärtetem Porenbeton bestehender Materialien ermöglicht wird. Deshalb wird im Abschnitt 5.1 besonders auf die Kraftübertragung zwischen planmäßig zusammenwirkenden Porenbetonbauteilen durch eine entsprechende Ausbildung der Fugen hingewiesen.

Zum letzten Absatz in 5.1 ist ergänzend anzumerken, dass für die Kraftübertragung senkrecht zur Bauteilebene (Querkräfte aus der Plattentragwirkung) profilierte vermörtelte Fugen erforderlich sind. Für die Übertragung von Kräften in Bauteilebene parallel zu den Bauteillängsrändern (Scheibenschub) sind dagegen auch mit Dünnbettmörtel vermörtelte Fugen mit ebenen Verbindungsflächen anwendbar (vgl. Erläuterungen zum Abschnitt 6.2.3).

Für die Bemessung und für die Nachweise der Tragfähigkeit wird davon ausgegangen, dass zwischen den Porenbetonbauteilen senkrecht zur Fugenfläche keine Zugkräfte übertragen werden können. Für deren Aufnahme wird in DIN 4223-4 die gesonderte Anordnung von Zuggliedern oder Ringankersystemen, die die Konstruktion aus Porenbetonbauteilen zugfest umschließen, gefordert.

Zu Abschnitt 5.2: Räumliche Steifigkeit

Die Auswirkung von Imperfektionen darf nach DIN 1045-1 [1], 7.2, über eine Schiefstellung mit dem Winkel α_{a1} berücksichtigt werden. Gleichung (4) in [1] ergibt bei einer Gebäudehöhe von bis zu etwa 15 m für typische Bauwerke aus tragenden Porenbetonbauteilen eine anzunehmende Schiefstellung von höchstens

$$\alpha_{a1} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{h_{\text{ges}}}} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{15}} \approx \frac{1}{390} < \frac{1}{200} \quad (4.1)$$

Damit betragen die Horizontalkräfte zur Gebäudeaussteifung aus zunehmender Schiefstellung etwa 2,5‰ der zu berücksichtigenden Vertikallasten und können in der Regel vernachlässigt werden.

Ein rechnerischer Nachweis der Gebäudeaussteifung darf dann entfallen, wenn die Fußbodenoberkante der obersten Geschossdecke unter einem (möglichen) Aufenthaltsraum nicht mehr als 7 m über der Geländeoberfläche liegt (Gebäudeklasse 3 nach Musterbauordnung) und wenn eine ausreichende aussteifende Wirkung durch Wände (oder andere aussteifende Bauteile) offensichtlich vorhanden ist. Davon kann ausgegangen werden, wenn die folgenden drei Bedingungen erfüllt sind:

- Die Geschossdecken sind als steife Scheiben ausgebildet.
- Es sind aussteifende Wände in ausreichender Anzahl vorhanden.
- Aussteifende Wände und Deckenscheiben wirken zusammen.

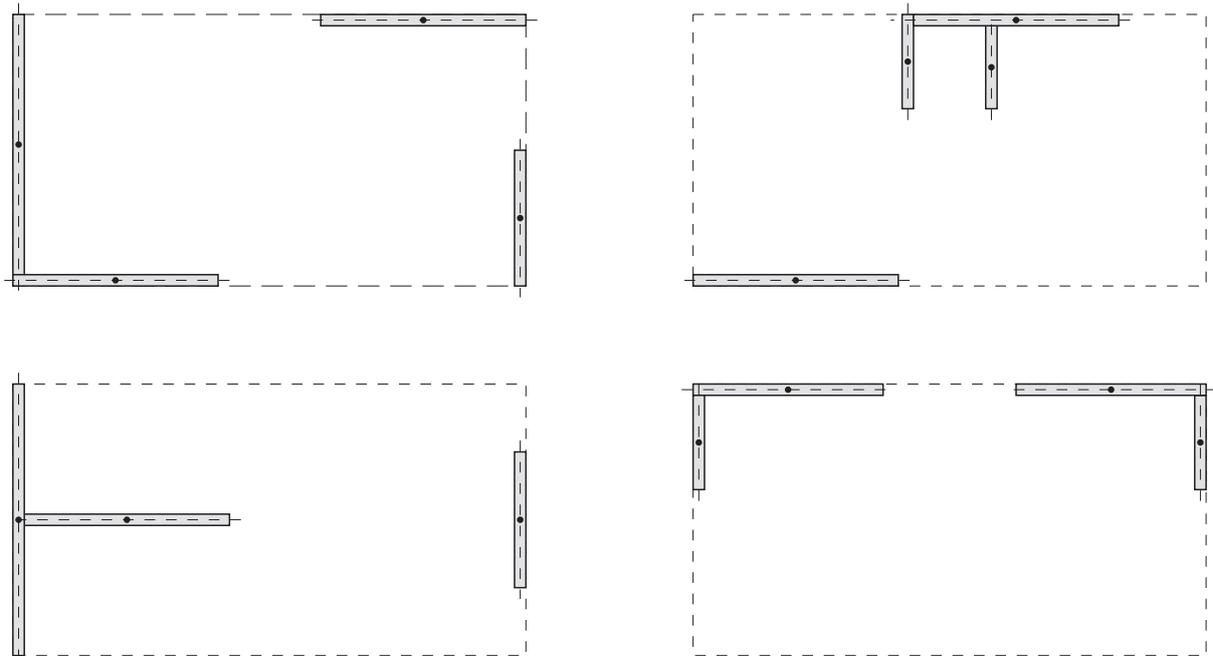
Um ohne umfangreiche Berechnungen abschätzen zu können, ob die für die Aussteifung herangezogenen Wände hinsichtlich der Aussteifung ausreichend sind, wurden in DIN 4223-4 eine Reihe zusätzlicher Bedingungen angegeben, bei deren Erfüllung von einer ausreichenden Aussteifungswirkung ausgegangen werden kann:

- Es müssen mindestens drei Wände für die Aussteifung herangezogen werden.
- Die Länge der aussteifenden Wände muss jeweils mindestens 30 % der größten Grundrissausdehnung betragen. Damit wird sichergestellt, dass die aussteifenden Wände in der Lage sind, die horizontalen Aussteifungskräfte aufzunehmen und abzutragen (Schubbeanspruchung der Wände).
- Zwei der aussteifenden Wände sollten nahezu rechtwinklig zueinander angeordnet sein.
- Die Schwerpunkte der aussteifenden Wände und die Schnittpunkte der Wandachsen im Grundriss dürfen nicht in einem Punkt zusammenfallen.
- Der Steifigkeitsmittelpunkt der aussteifenden Wände, der etwa dem Schubmittelpunkt eines offenen zusammenge-

setzten Querschnitts entspricht, sollte annähernd auf der Wirkungslinie der Resultierende der Einwirkung (Windlast) liegen, damit Momente, die im Grundriss zu einer Verdrehung führen, gering gehalten werden.

In Abb 4.1 sind zur Erläuterung der vorstehenden Bedingungen Beispiele für geeignete und ungeeignete Anordnungen aussteifender Wände angegeben.

a) geeignete Anordnung aussteifender Wände



b) ungeeignete Anordnung aussteifender Wände

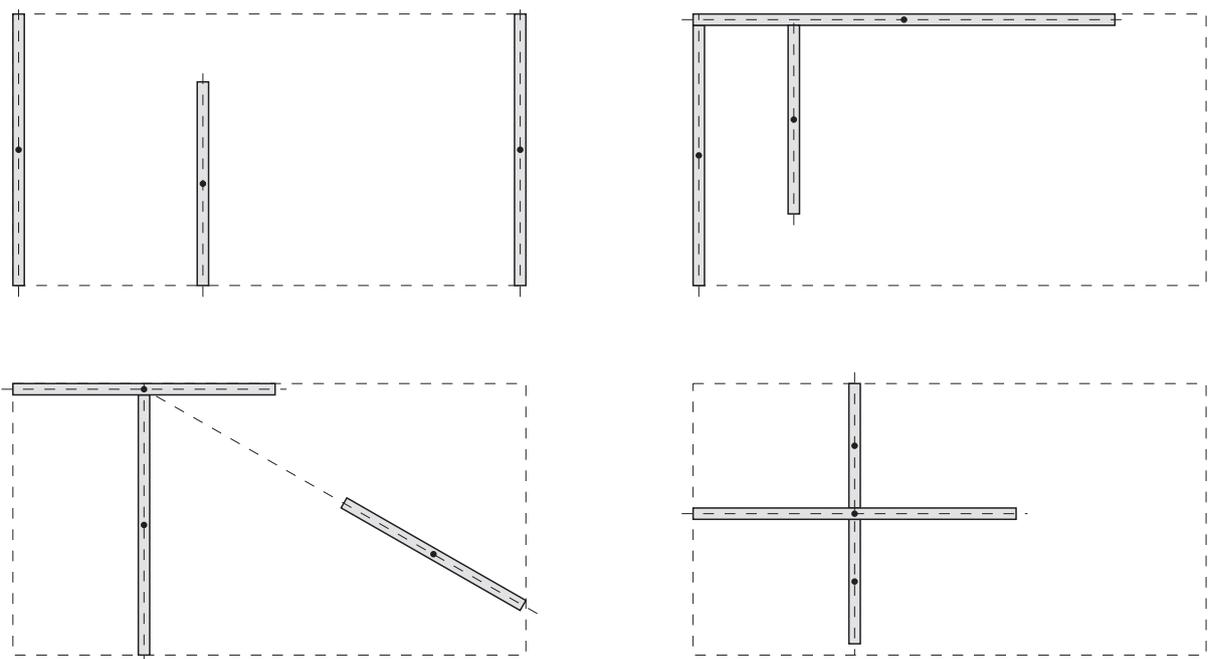


Abb. 4.1: Beispiele für die Anordnung aussteifender Wände

**Zu Abschnitt 5.3.1:
Plattenbeanspruchung von Dach- und Deckenbauteilen**

Für die Bemessung von Dach- und Deckenbauteilen wird in DIN 4223-4 grundsätzlich die Annahme eines statisch bestimmt gelagerten Einfeldträgers (mit oder ohne Kragarm) verlangt. Mit dieser Forderung wird verhindert, dass insbesondere an statisch unbestimmten Systemen auftretende Zwangsschnittkräfte und Lastumlagerungen unplanmäßig die Sicherheit gegen Bauteilversagen vermindern.

In DIN 4223-2 [4], 3.1.2, wird die Anwendung von vorgefertigten Bauteilen auf den üblichen Hochbau mit vorwiegend ruhenden, gleichmäßig verteilten Nutzlasten bis 5,0 kN/m² und ggf. Einzellasten bis 7,0 kN begrenzt. Damit ist die Anwendung von Porenbetonbauteilen für die Herstellung von Decken oder Dächern mit Verkehrslasten nach DIN 1055-3 [8], 6.4.3 Gegengewichtsstaplerbetrieb und 6.4.5 Hubschrauberlandeplätze ausgeschlossen. In DIN 4223-4, 5.3.1, wird diese Forderung explizit aufgeführt.

Gegenüber den bisherigen Regelungen in den betreffenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (z.B. [19]) wird die Bemessung von Deckenbauteilen für Verkehrslasten aus Fahrzeugverkehr (DIN 1055-3 [8], Kategorie F) zugelassen. Zur Reduzierung der Auswirkungen von häufiger auf die Fugen zwischen den einzelnen Deckenbauteilen wirkender Be-

anspruchung durch Überfahren wird jedoch in diesem Fall ein bewehrter Aufbeton gefordert. Dieser Aufbeton wird auch für Lasten nach DIN 1055-3:2003-10, Tabelle 1, Kategorie C, gefordert. Für die Ermittlung des Bemessungswertes der aufnehmbaren Schnittkräfte der Porenbetonbauteile darf der Aufbeton statisch nicht in Rechnung gestellt werden. Ein dafür bemessener Aufbeton darf jedoch (auch allein) für die Aufnahme von Scheibenbeanspruchungen herangezogen werden. Weiterhin darf der Aufbeton für die Lastverteilung bei konzentrierter Lasteinleitung (entsprechende Vergrößerung der Lasteinleitungsfläche) berücksichtigt werden.

Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über die für Porenbetonbauteile nach DIN 4223 anwendbare Nutzlastkategorien nach DIN 1055-3 [8] sowie weitere mit der Nutzlast im Zusammenhang stehende Anwendungsbedingungen.

Die Übertragung von Querkräften in den Fugen von Decken in Fertigteilbauweise bedarf besonderer Maßnahmen. In DIN 4223-4 werden hierfür Bemessungsregeln zur Verfügung gestellt (siehe Erläuterungen zum Abschnitt 6). Dabei wird berücksichtigt, dass über die profilierten und vermörtelten Fugen eine Querkraftübertragung möglich ist.

Bei Einzellasten oder Linienlasten parallel zur Spannrichtung des Bauteils hängt der über die Fugen zu übertragende Anteil der Last von der Laststellung ab. Durch rechnerische Unter-

Üblicher Hochbau mit vorwiegend ruhenden Verkehrslasten Nutzlasten bis 5,0 kN/m ² Einzellasten bis 7,0 kN				
Nutzlast $q_k \leq 3,5 \text{ kN/m}^2$			Nutzlast $q_k > 3,5 \text{ kN/m}^2$	
kein Aufbeton erforderlich			mindestens 50 mm (bewehrter) Aufbeton statisch nicht anrechenbar	
Nutzlastkategorien nach DIN 1055-3:2002-10, Tabelle 1				
A1	A2	A3		
B1	B2	B3		
C1			C2	C3
D1			D2	
-			D3	
T1			E1	
			T2	
			Z	
Nutzlastkategorien nach DIN 1055-3:2002-10, Tabelle 2				
H				
Nutzlastkategorien nach DIN 1055-3:2002-10, Tabelle 3				
-			F1	F2
			F3	

Tabelle 4.1: Nutzlastkategorien nach DIN 1055-3

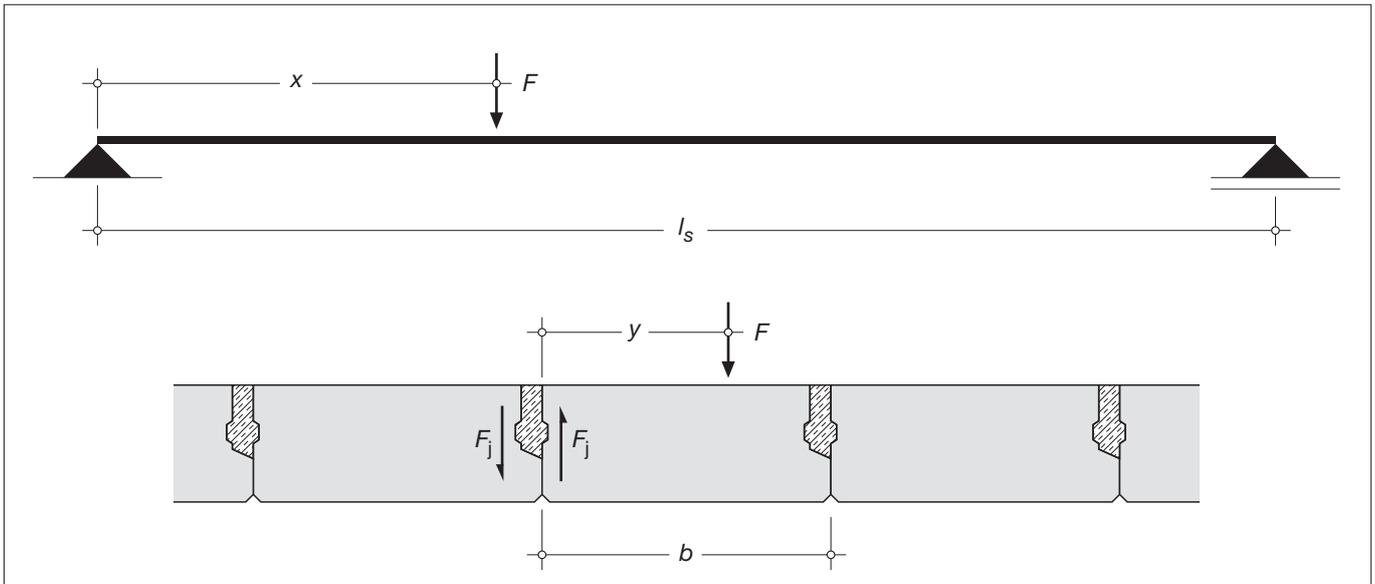


Abb. 4.2: Querverteilung von Einzellasten über die Bauteillängsfugen. Bezeichnungen

suchungen [15] an einem Modell aus querkraftgekoppelten Einzelplatten unter den in DIN 4223-4 genannten Voraussetzungen wurden die in DIN 4223-4 angegebenen Größenordnungen der Lastverteilungsfaktoren ermittelt. Die Bemessung des unmittelbar belasteten Bauteils darf für eine entsprechend abgeminderte Einzellast erfolgen. Ein Nachweis bzw. die gesonderte Bemessung der Nachbarbauteile darf entfallen, da vorausgesetzt wird, dass alle Bauteile des betrachteten Plattentragwerks hinsichtlich der Bewehrung gleich ausgebildet sind und die über die Fugen zu übertragenden Lastanteile stets kleiner sind als der für das belastete Bauteil in Rechnung zu stellende Anteil. Die Fugen sind jedoch in jedem Fall für die Übertragung der Querkraft zu bemessen.

Bei der Ermittlung der über die Fugen zu übertragenden Lastanteile wird von einer Einzellast in der Mitte zwischen den Auflagern des Decken- bzw. Dachbauteils ausgegangen. Bei Linienlasten ist die Lage der Resultierenden maßgebend. Hinsichtlich des Abstandes der Einzellast von den Bauteillängsrändern wird unterschieden, ob die Last in der Mitte zwischen den Rändern oder direkt am Plattenlängsrand steht. Für andere Laststellungen ist eine lineare oder andere geeignete Interpolation möglich. Als Beispiel ist im Folgenden eine quadratische Interpolation angegeben, die zu einer geschlossenen Lösung für die über die Fugen zu übertragenden Lastanteile und für den bei der Bemessung des unmittelbar in Rechnung zu stellenden Lastanteil führt.

Mit den in Abb. 4.2 angegebenen Bezeichnungen ergibt sich für den Anteil der von der betrachteten Fuge zu übertragenden Querkraft F_j ein Wert nach Gleichung (4.2) und der für die Bemessung des Bauteils in Rechnung zu stellende Anteil der Einzellast F_P ergibt sich nach Gleichung (4.3) durch Abzug der an beiden Bauteilrändern übertragenen Lastanteile:

$$F_j = F \cdot \xi \cdot (1 - \xi) \cdot (1,2 - 0,8 \cdot \psi^2) \quad (4.2)$$

$$F_P = F \cdot \left[1 - 1,6 \cdot \xi \cdot (1 - \xi) \cdot (1 + \psi - \psi^2) \right] \quad (4.3)$$

Dabei ist

F_j	der über die Längsfuge zwischen den Bauteilen zu übertragende Lastanteil
F_P	der für die Bemessung des Bauteils in Rechnung zu stellende Lastanteil
F	die Einzellast bzw. die Resultierende der Linienlast
ξ	der auf die Deckenstützweite l_s bezogene Abstand der Last vom Auflager $\xi = x / l_s$
ψ	der auf die Bauteilbreite b bezogene Abstand der Last vom betrachteten Längsrand $\psi = y / b$

Im letzten Absatz von DIN 4223-4, 5.3 wird die Annahme einer mitwirkenden Plattenbreite für die Biegebemessung von (höchstens) einem Sechstel der Bauteilstützweite zur Verteilung von Lasten am freien Rand von Bauteilen zugelassen. Die mittragende Breite für die Biegebemessung ist dabei auf die Breite der Randplatte beschränkt.

Für die Querkraftbemessung am Auflager ist von einer mitwirkenden Plattenbreite b_{mQ} von

$$b_{mQ} = d + \frac{t}{2} \quad (4.4)$$

auszugehen, wobei d die Dicke der Deckenplatte und t die Breite der Randlast ist.

Zu Abschnitt 5.3.2: Scheibenbeanspruchung von Dach- und Deckenbauteilen

In DIN 4223-4, 5.3.2 werden grundsätzliche Regeln für die Ausbildung und Bemessung von Dach- oder Deckenscheiben angegeben. Von grundlegender Bedeutung für die Bemessung und Konstruktion von Scheiben sind die anzunehmenden statischen Systeme, für die die Beanspruchung ermittelt wird. Bei Scheiben, die aus vorgefertigten Bauteilen hergestellt werden, sind dabei zwei Systemmerkmale besonders zu beachten: die Belastungsrichtung und die Scheibenstützrichtung. In Abhängigkeit von der Richtung der

Bauteillängsfugen ergeben sich damit vier Grundtypen von Scheiben nach Tabelle 4.2.

Für den Kraftfluss des Lastabtrags innerhalb der Scheibe werden üblicherweise die in Bild 2 der Norm beispielhaft dargestellten Systeme angenommen. Bei Scheiben, die analog einem Einfeldträger senkrecht zur Spannrichtung belastet werden (Typ 2 und Typ 3 nach Tabelle 4.2), kommen prinzipiell drei der Tragsysteme in Frage:

- Kombiniertes Druckbogen-Zugband-Fachwerk-Modell
- Druckbogen-Zugband-Modell mit diskreten Schubdübeln
- Einzelnes Bauteil als Druckbogen-Zugband-Modell

Kombiniertes Druckbogen-Zugband-Fachwerk-Modell

Das kombinierte Druckbogen-Zugband-Fachwerk-Modell (Abb. 4.3) ist dann anwendbar, wenn die Belastungsrichtung parallel zu den Bauteillängsfugen verläuft (Typ 3 nach Tabelle 4.2). Die Bemessung der Scheibe wird mit Hilfe der Schnittkräfte am Ersatzträger separat für Momente und Querkraft ge-

führt. Die Zug- und Druckkräfte infolge der Scheibenbelastung werden durch das Druckbogen-Zugband-System aufgenommen, das Zugband ist entsprechend zu dimensionieren. Als statische Nutzhöhe wird 65% bis 85% der Scheibenhöhe angenommen (siehe hierzu auch die Erläuterungen zum Druckbogen-Zugband-Modell mit diskreten Schubdübeln).

Die Querkraft am Ersatzträger infolge der Scheibenbelastung wird durch die Streben und Pfosten des gedachten Fachwerks abgetragen. Die Streben werden durch die auf Druck beanspruchten Porenbetonbauteile gebildet. Die auf Zug beanspruchten Pfosten des Fachwerks werden durch in die Bauteillängsfugen einzulegende Zugglieder (Bewehrung) gebildet. Diese Zugglieder sind im Ringanker (Bewehrung) gebildet. Diese Zugglieder sind im Ringanker zu verankern. Zur Erhöhung der Tragfähigkeit der Fachwerkknoten können Eckdübel aus Beton nach DIN 4223-4, 6.5 angeordnet werden.

Da die Übertragung von Zugkräften quer zu den Fugen ausgeschlossen ist, ist die Umschließung der gesamten Scheibe mit einem Stahlbetonringanker und das Einlegen von Bewehrung in jede Längsfuge zwischen den Bauteilen und deren Veranke-

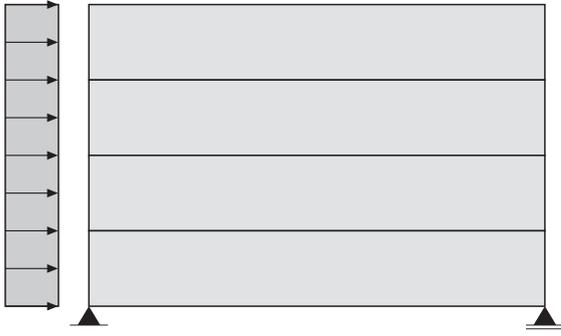
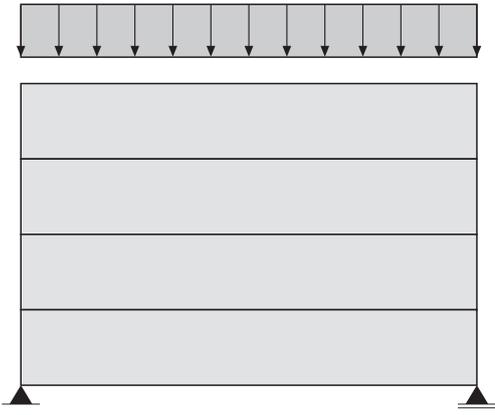
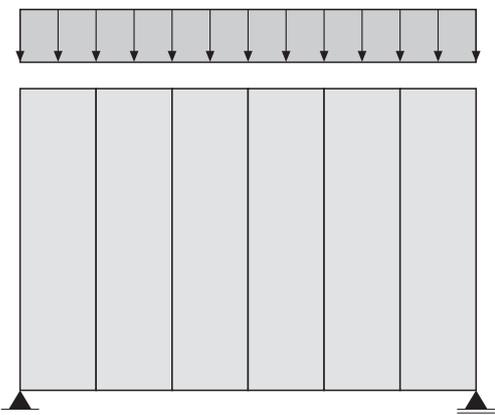
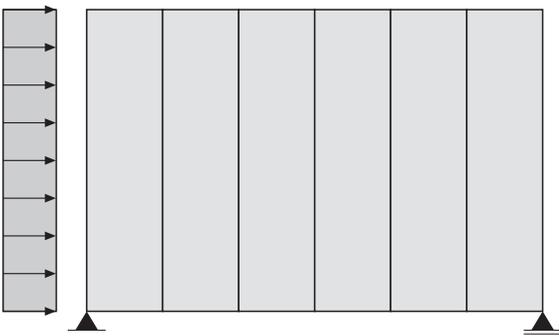
		Belastungsrichtung	
		parallel zu den Bauteillängsfugen	senkrecht zu den Bauteillängsfugen
Scheibenstützrichtung	senkrecht zu den Bauteillängsfugen	 <p>Typ 1</p>	 <p>Typ 2</p>
	parallel zu den Bauteillängsfugen	 <p>Typ 3</p>	 <p>Typ 4</p>

Tabelle 4.2: Scheibengrundtypen

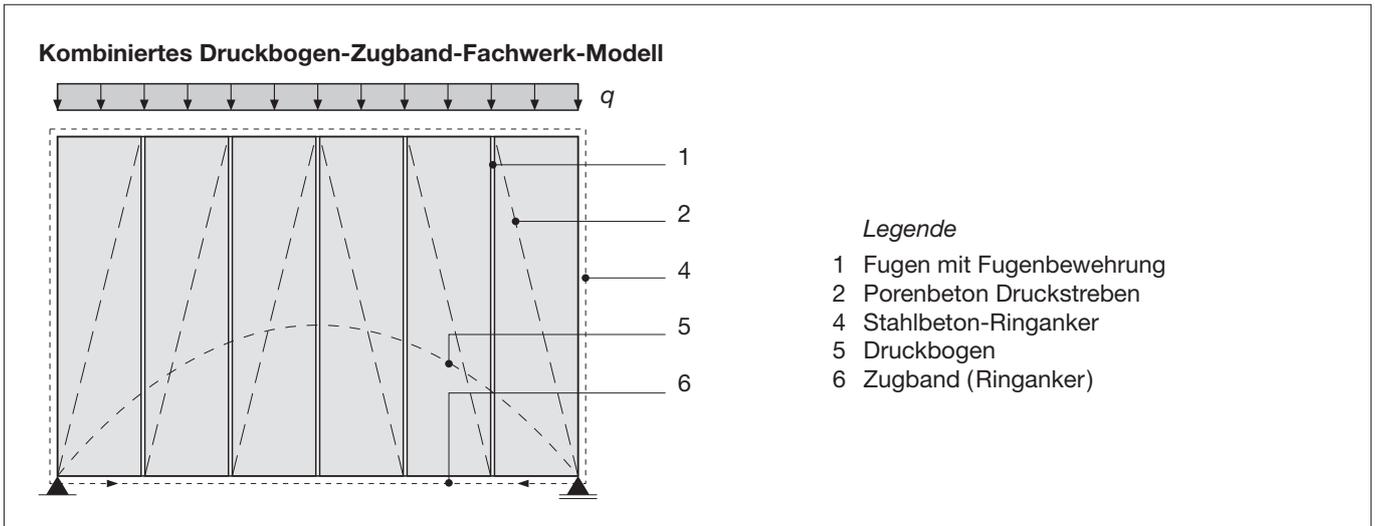


Abb. 4.3: Druckbogen-Zugband-Fachwerk-Modell als Scheibentragsystem

rung im Ringanker Grundvoraussetzung für die Tragfähigkeit der Scheibe.

Lässt man eine möglicherweise gleichzeitig vorhandene Plattenbeanspruchung außer acht, ergibt sich die größte Ausnutzung der Tragfähigkeit bei diesem Tragsystem immer am Ort der größten Querkraft, am Scheibenaufleger. Die Eintragung der Zugkraft aus dem Untergurt in die erste Porenbeton-Druckstrebe und die sichere Ableitung der Scheibenauflegerkraft in die Unterkonstruktion wird für die Bemessung von Scheibe mit größeren Schubbeanspruchungen maßgebend. Umgekehrt bestimmt die Ausbildung des Scheibenauflegers und die konstruktive Durchbildung der Scheibe am Auflager die Tragfähigkeit der Scheibe.

Bei kombinierter Platten- und Scheibenbeanspruchung sind die Biegedruckspannungen mit den Druckspannungen der Dia-

gonalen zu überlagern. Bei Deckenplatten wird diese Überlagerung für die Bemessung der Porenbetondruckzone entscheidend.

Druckbogen-Zugband-Modell mit diskreten Schubdübeln

Das Druckbogen-Zugband-Modell nach Abb. 4.4 (Scheibentypen 2 und 3 nach Tabelle 4.2) wird derzeit hauptsächlich für die Bemessung von Dachscheiben herangezogen. Dieses Modell darf dann zur Ermittlung der Scheibenschnittkräfte und zur Bemessung der Scheibe herangezogen werden, wenn sich die Bogentragwirkung einstellen kann. Damit ist die Sicherstellung der Übertragung des Scheibenschubs in den Fugen zwischen den Porenbetonbauteilen verbunden. Die zu übertragende Schubkraft resultiert aus der zur Bauteillängsfuge parallelen Komponente der Druckkraft im Bogen. Vorausset-

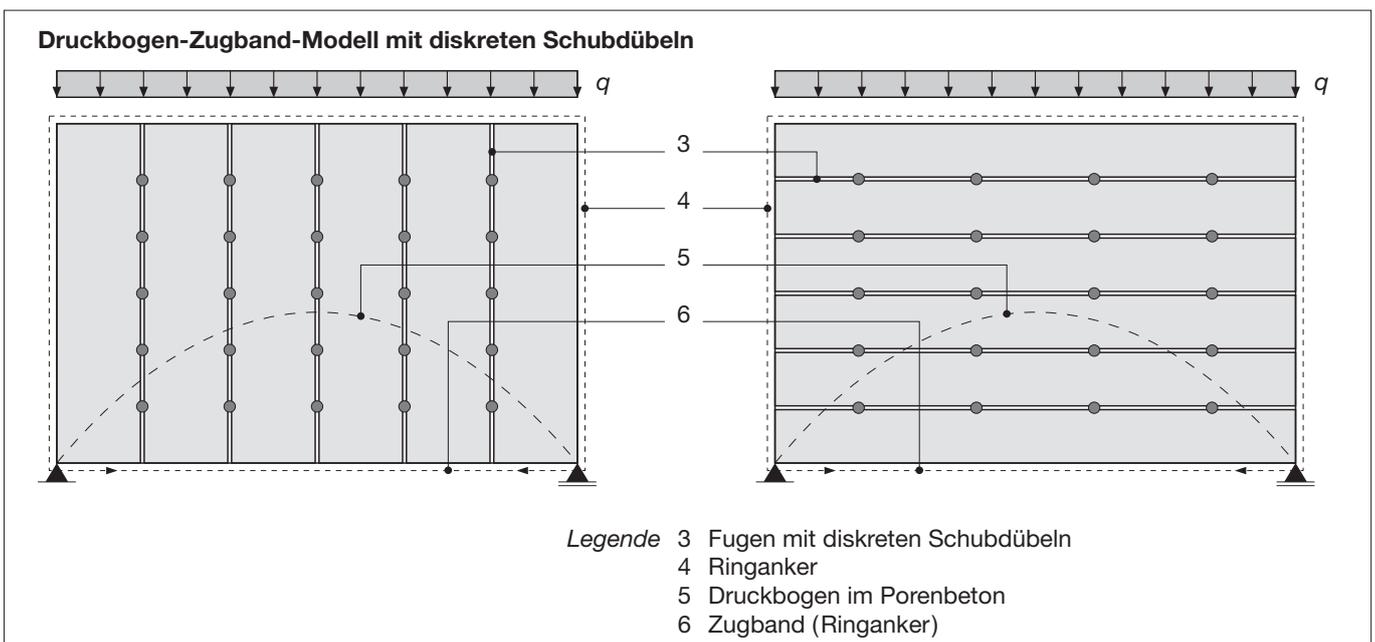


Abb. 4.4: Scheibentragsystem Druckbogen-Zugband-Modell

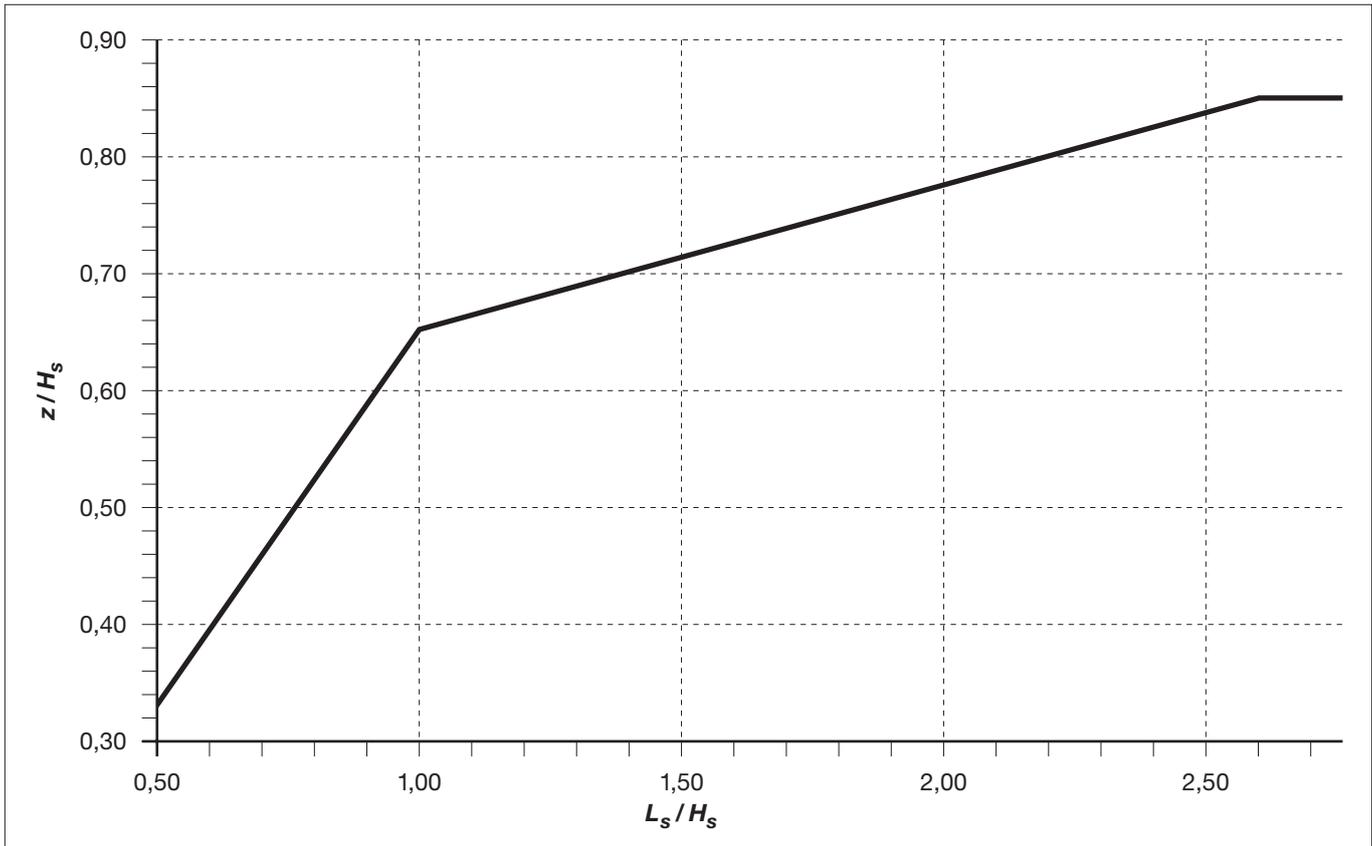


Abb. 4.5: Statische Nutzhöhe in Abhängigkeit von den Scheibenabmessungen

zung für die Wirksamkeit der diskreten Schubdübel und des Tragsystems als Ganzes ist auch hier die Umschließung der gesamten Scheibe mit einem Stahlbetonringanker.

Für einfache Scheiben ist es möglich, die Schnittkräfte am statisch bestimmt gelagerten Ersatzträger zu ermitteln und unter Annahme einer statischen Nutzhöhe von etwa 0,65 bis 0,85 der Scheibenhöhe den Schnittkraftverlauf nach den Prinzipien der Stützlinientheorie zu bestimmen. Der höhere Wert geht vom „Zustand II“ aus (keine Kraftübertragung in der Zugzone) und entspricht damit den grundsätzlichen Annahmen für das Zusammenwirken der vorgefertigten Bauteile. Die Annahme dieser statischen Nutzhöhe geht auf Berechnungen in [17] zurück und ist auch Grundlage der Scheibenberechnung in den bisher geltenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (z.B. [21]). Das nachfolgende Diagramm in Abb. 4.5 gibt Anhaltswerte für die statische Nutzhöhe in Abhängigkeit von der Scheibengeometrie. Weitergehende Informationen zur Ermittlung der Scheibenschnittkräfte sind z.B. in [19] zu finden.

Die statische Nutzhöhe der Scheibe darf auch geringer als oben angegeben angenommen werden. Da die Tragfähigkeit der Scheibe im Regelfall durch die im Zugband aufnehmbare Zugkraft und deren Einleitung in den Porenbeton-Druckbogen im Bereich des Scheibenauflegers begrenzt wird und die Scheibenverformung (Durchbiegung), liegt man bei zu gering angenommener Nutzhöhe zumindest auf der sicheren Seite. Die damit einhergehende Erhöhung der Druckkraft im oberen Teil der Scheibe ist unkritisch, da auch eine größere Querschnittsfläche beansprucht wird. Bei zusätzlich biegebeanspruchten Bauteilen ist in jedem Fall zu prüfen, ob die Kräfte

des Druckbogens bei der Biegebemessung zu berücksichtigen sind.

Einzelnes Bauteil als Druckbogen-Zugband-Modell

Ist zwischen den Porenbetonbauteilen einer Scheibe vom Typ 2 nach Tabelle 4.2 an den Längsrändern Druckkontakt über die Fuge hinweg sichergestellt und werden Betoneckdübel nach DIN 4223-4, 6.5, zur Einleitung der Kräfte des Druckbogens in das jeweilige Auflager angeordnet, darf die Scheibe vereinfachend in einzelne Glieder aufgelöst werden (siehe Abb. 4.6). Die Bauteile der Scheibe sind für diesen Fall auf die aus der Scheibenbelastung resultierende Biegung zu bemessen. Die Gesamtlast auf die Scheibe verteilt sich infolge der Verformung der einzelnen Bauteile (Durchbiegung in Richtung der Scheibenlast) und durch den Druckkontakt auf die in Krafrichtung aufeinander folgenden Bauteile. Bei teilweise geöffneten Fugen (z.B. aus bauseitigen Imperfektionen oder Schwinden) muss zum Herstellen des Druckkontaktes zunächst die Fugenöffnung überdrückt werden. Dadurch kommt es zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Scheibenlast auf die einzelnen Bauteile. Das wird mit Gleichung (1) in DIN 4223-4 ausreichend berücksichtigt (vgl. [14]). Dabei wird der Lastanteil für das einzelne Bauteil je nach Anzahl der in Krafrichtung aneinander liegenden und mitwirkenden Bauteile um bis zu 4% der Scheibenlast erhöht.

Die Bemessung der einzelnen am Lastabtrag beteiligten Dach- bzw. Deckenbauteile aus Porenbeton erfolgt auf Grundlage von DIN 4223-2 für kombinierte Platten- und Scheibenbeanspruchung. Die Auflagerung jedes Porenbetonbauteils auf der

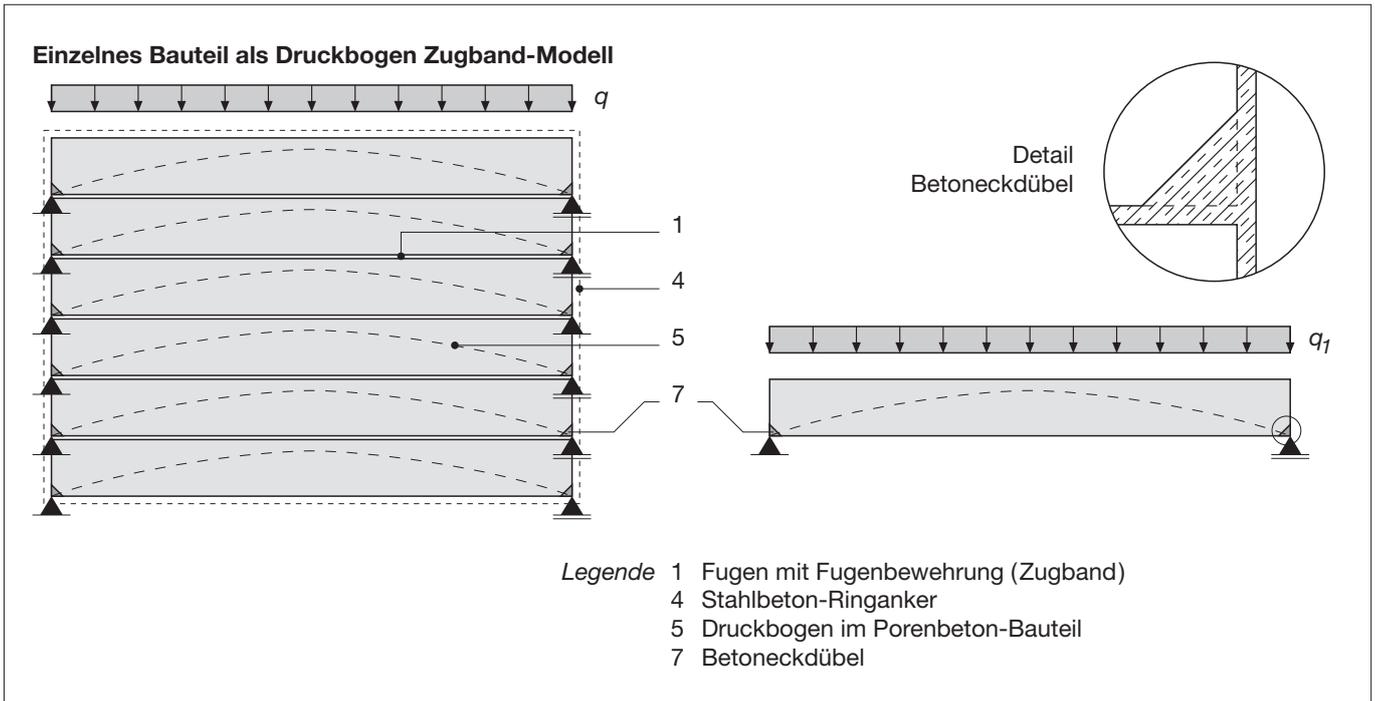


Abb. 4.6: Scheibentragsystem mit Druckbogenausbildung in jedem Bauteil

Unterkonstruktion ist so zu bemessen und konstruktiv so zu gestalten, dass sich ein Tragsystem nach Abb. 4.6 auch einstellen kann. Das heißt, die anteiligen Scheibenlasten müssen an jedem einzelnen Bauteil in den umlaufenden Ringanker eingeleitet werden können. Hierzu ist die Anordnung von Betoneckdübel hilfreich.

Scheiben des Typs 1 nach Tabelle 4.2 ergeben sich bei Dächern, bei denen die Windlast auf den Giebel über die Dachscheibe in die Giebel- und Querwände abzutragen ist (siehe Abb. 4.7).

Voraussetzung für die Annahme dieses Tragmodells ist, dass die betrachtete Scheibe mit einem Stahlbeton-Ringanker umschlossen ist. Das Kräftegleichgewicht zwischen den Scheibenlasten und den Scheibenstützkräften bewirkt in Scheibenebene ein Moment, infolge dessen in den Längsfugen zwi-

schen den Bauteilen Zug- und Druckspannungen senkrecht zu den Bauteilrändern entstehen.

Zugspannungen in Bauteilebene senkrecht zu den Längsfugen können nicht übertragen werden (siehe Abb. 4.8). Daher erfordern auch Scheiben mit einem Tragsystem nach DIN 4223-4, Bild 2b einen die gesamte Scheibe umschließenden Stahlbetonringanker. Beim Nachweis der Schubtragfähigkeit der Fugen ist zu berücksichtigen, dass die Fugen gegebenenfalls nur zum Teil überdrückt sind (z.B. Nachweis der durch die Fugen aufnehmbaren Schubkraft nach DIN 4223-3 [5], Abschnitt 5.4).

Die im Bild 2 der Norm DIN 4223-4 dargestellten Tragsysteme sind als Beispiele zu sehen. Andere Tragsysteme können angenommen werden, wenn damit die Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen erfüllt werden und ein Nachweis der

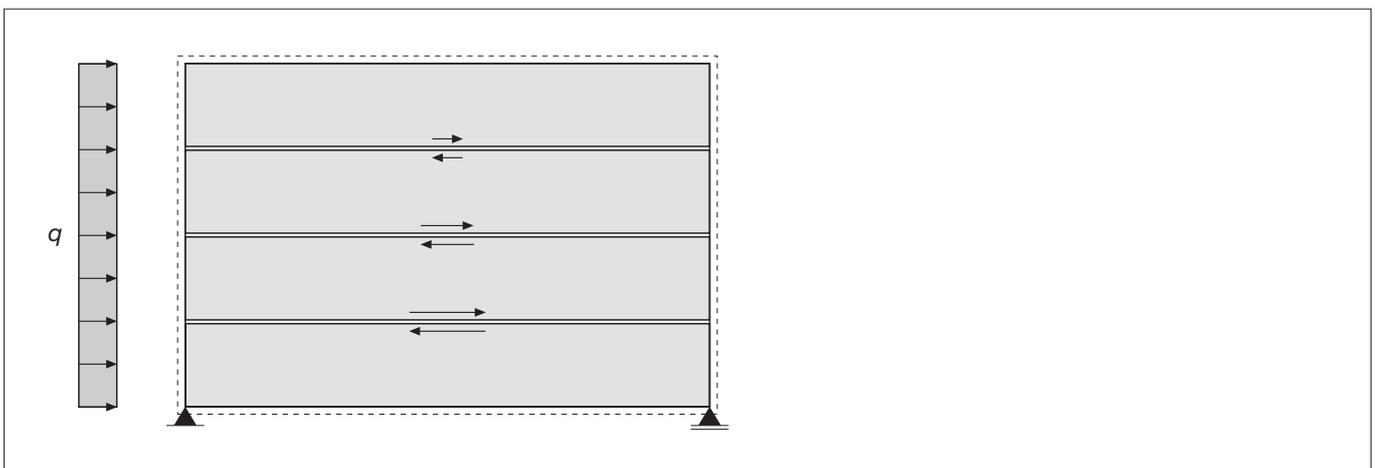


Abb. 4.7: Scheibentragsystem mit quer zum Scheibenaufleger wirkender Scheibenlast

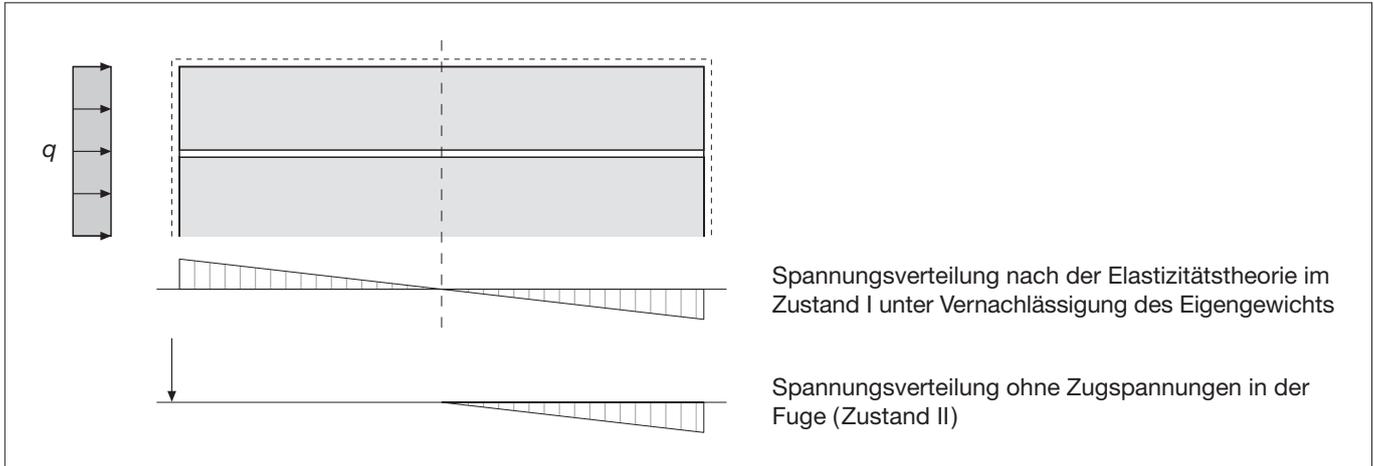


Abb. 4.8: Aufnahme von Zugkräften durch Zugglieder (Stahlbetonringanker)

Tragfähigkeit der Scheibe als Gesamtkonstruktion sowie der Einzelbauteile der Scheibe entsprechend den Anforderungen der Norm DIN 4223-2 und DIN 4223-4 geführt werden kann.

Als typische Beispiele für andere als in DIN 4223-4, Bild 2, abgebildete Systeme sind die Dachscheiben bis zu einer Scheibenstützweite von 35 m zu nennen, die bisher in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt waren und aus mehreren Reihen von Dachbauteilen hergestellt werden (siehe Abb. 4.9, vgl. hierzu auch [17]).

In DIN 4223-4, 5.3.2, wird die Überlagerung von Platten- und Scheibenschnittkräften für die Bemessung gefordert. Insbesondere ist damit gemeint, dass der parallel zu den Biege-normalspannungen wirkende Anteil der Längsdruckkräfte in Bauteilebene aus der Scheibenbeanspruchung (Druckbogen, Druckstreben) bei der Bemessung der Bauteile auf Plattenbiegung in Rechnung zu stellen ist (Biegung mit Längsdruck). Im Fall kombinierter Beanspruchung ist auch immer die Überlagerung von reiner Biegung und Längsdruck zu untersuchen, da bei der Biegebemessung von Porenbetonbauteilen in der Regel die Ausnutzung der Druckzone maßgebend wird.

Zu Abschnitt 5.4: Tragende Wände

Werden Wände, die unmittelbar durch Wind belastet werden, aus liegend angeordneten bewehrtem Porenbeton-Platten hergestellt, können die Auswirkungen bauseitiger und herstellungsbedingter Imperfektionen sowie Kriechen auf die Beanspruchung vereinfachend durch die Einführung eines Lasterhöhungsfaktors nach DIN 4223-4 [6], Bild 4, erfasst werden. Ebenso können die Auswirkungen der genannten Einflüsse nach Theorie II. Ordnung auf die Erhöhung der Befestigungskräfte vereinfacht durch Einführung eines Lasterhöhungsfaktors nach DIN 4223-4, Bild 5, berücksichtigt werden. Die Lasterhöhungsbeiwerte entstammen ursprünglich den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen [23] und [24] und wurden anhand umfangreicher Berechnungen im Zuge der Zulassungserteilung ermittelt. Für die Einführung der Lasterhöhungsfaktoren in DIN 4223-4 wurden diese unter Beachtung des geänderten Sicherheitskonzeptes nach DIN 4223-5 [7] überprüft (vgl. z.B. [16]).

Um Wände aus liegend angeordneten Bauteilen, die neben ihrer Eigenlast weitere Lasten aus aufliegenden Bauteilen (z.B. Decken oder Dachkonstruktionen) zu tragen haben, vereinfacht nach DIN 4223-4, Bilder 4 und 5, bemessen zu können, ist die Auflast unter Berücksichtigung ggf. unterschiedlicher Teilsicherheitsbeiwerte auf der Lastseite in eine adäquate Wandhöhe umzurechnen und mit dieser der Lasterhöhungsbeiwert zu ermitteln. Eine entsprechende Umrechnung ist auch dann erforderlich, wenn die Wand (z.B. zur Strukturierung der Oberfläche) keine konstante Dicke über die Wandhöhe aufweist (vgl. Abb. 4.11 und Erläuterungen weiter unten).

Aufgrund der unvermeidlichen bauseitigen Imperfektionen im Bereich der Bauteilfugen und daraus resultierenden ungleichförmigen Spannungsverteilung wird der Bemessungswert der aufnehmbaren Druckspannung auf 90 % der Druckfestigkeit des Porenbetons begrenzt:

$$\sigma_{Sd} \geq \sigma_{Rd} = -0,90 \cdot \alpha \cdot f_{cd} = -0,90 \cdot \alpha \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{c2}} \quad (4.5)$$

Dabei ist

- σ_{Sd} der Bemessungswert der Randdruckspannung (negativ für Druck)
- σ_{Rd} der Bemessungswert der aufnehmbaren Randdruckspannung (negativ für Druck)
- α der Faktor nach DIN 4223-2 [4] zur Berücksichtigung von Langzeiteffekten, i.d.R. $\alpha = 0,85$
- f_{cd} der Bemessungswert der Druckfestigkeit des Porenbetons
- f_{ck} die charakteristische Druckfestigkeit von Porenbeton nach DIN 4223-1 [3]
- γ_{c2} der Teilsicherheitsbeiwert für sprödes Versagen des Porenbetons nach DIN 4223-5 [7]

Für den Fall, dass Porenbeton-Wandbauteile einen Überstand über das Auflager aufweisen, wird der Bemessungswert der aufnehmbaren Randdruckspannungen aufgrund der Spannungsspitzen an der Auflagervorderkante weiter auf 50 % der Druckfestigkeit des Porenbetons begrenzt:

$$\sigma_{Sd} \geq \sigma_{Rd} = -0,50 \cdot \alpha \cdot f_{cd} = -0,50 \cdot \alpha \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{c2}} \quad (4.6)$$

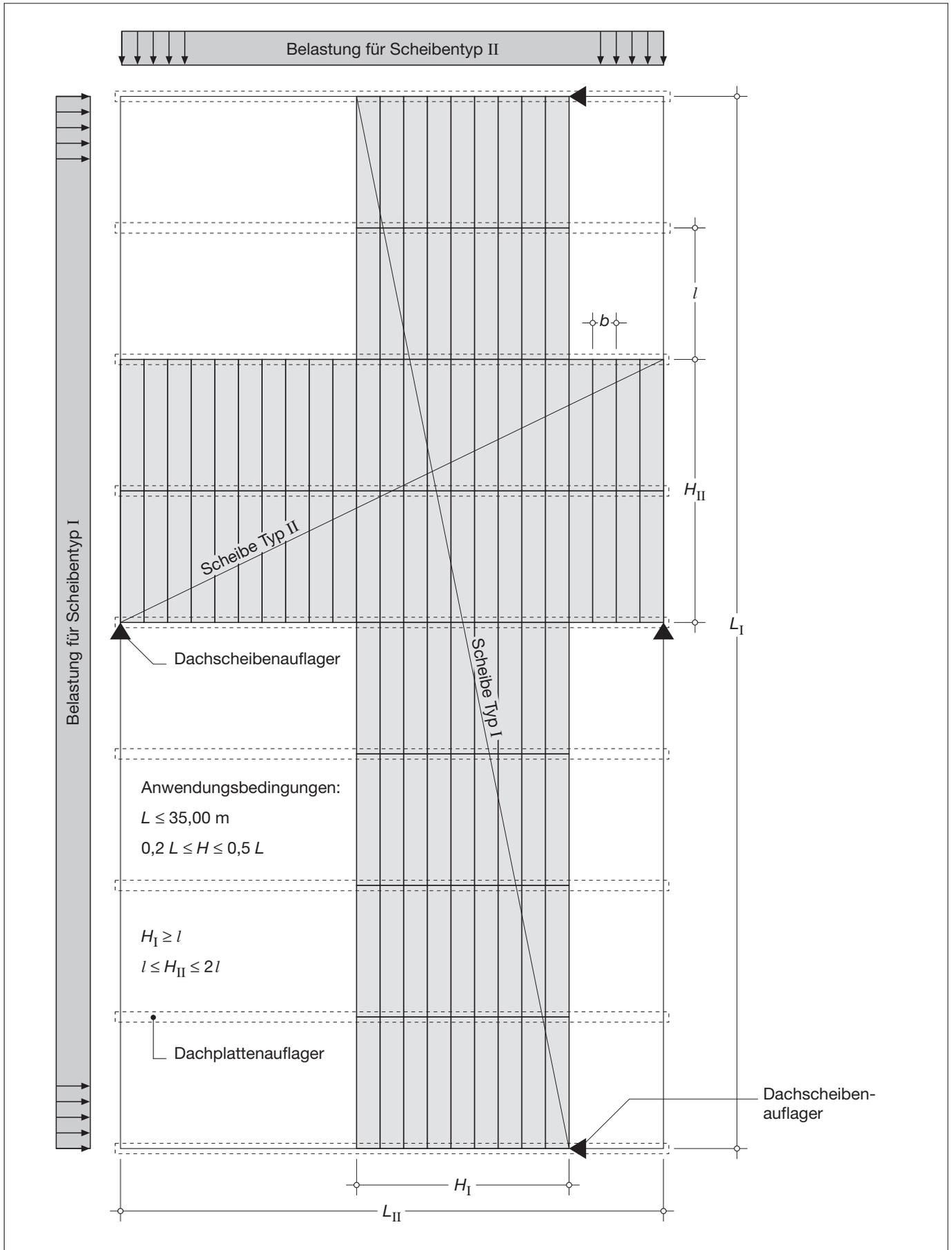


Abb. 4.9: Dachscheiben aus vorgefertigten Bauteilen nach DIN 4223

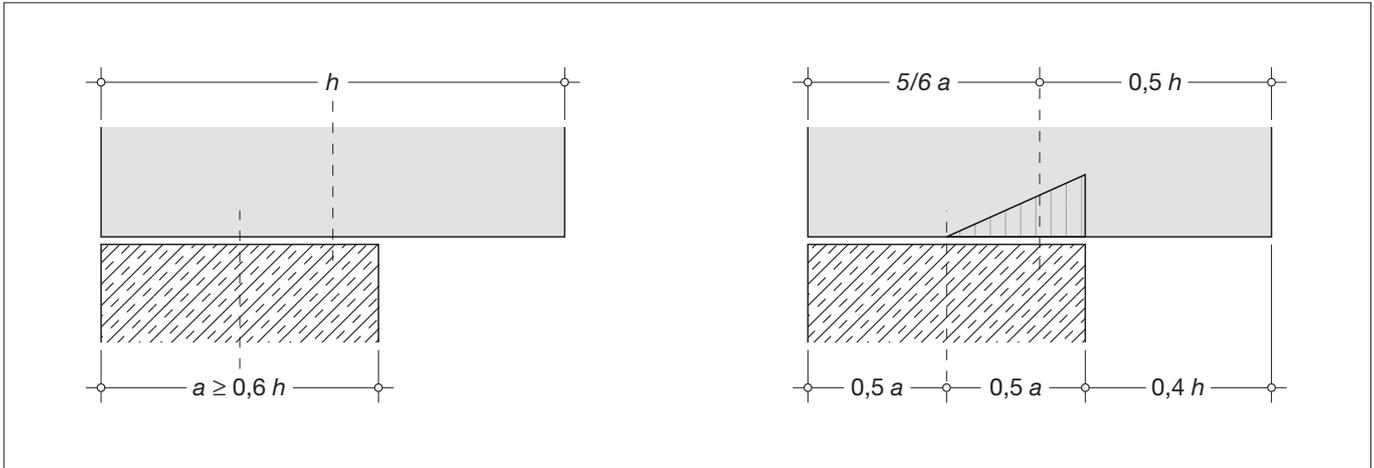


Abb. 4.10: Überstand von Wandbauteilen über das Auflager

Der Überstand über das Auflager ist auf die 0,4-fache Bauteildicke begrenzt. Die Begrenzung resultiert aus der Forderung, dass die Fuge in der Kontaktfläche höchstens bis zur Mitte rechnerisch klapft (siehe Abb. 4.10).

Für liegend angeordnete Wandbauteile mit trapezförmigem Querschnitt oder bei Bauteilen mit Rechteckquerschnitt und unterschiedlicher Bauteildicke ergeben sich entsprechende Überlegungen (siehe Abb. 4.11), wobei für a die kleinste Bauteildicke und für h die größte Bauteildicke anzunehmen ist. Dabei ist zu beachten, dass die kleinere Querschnittsdicke a nicht geringer sein darf als in Abb. 4.11 angegeben. Diese Regeln gelten nicht nur für das Auflager der Wand sondern auch für jedes einzelne Bauteil.

Für den vereinfachten Nachweis der Tragfähigkeit von Wänden aus liegend angeordneten Bauteilen nach Abb. 4.11 mit Hilfe der Lasterhöhungsbeiwerte nach DIN 4223-4, 5.4, ist die geringste Querschnittsdicke a als Wanddicke anzunehmen. Die zugehörige Wandhöhe H zur Ermittlung des Lasterhöhungsfaktors α_q ergibt sich dann zu

$$H = \frac{A_V}{a} \quad (4.7)$$

Dabei ist

- H die rechnerische Wandhöhe zur Ermittlung der α_q -Werte nach DIN 4223-4, Bild 4
- A_V die Querschnittsfläche der Wand im Vertikalschnitt
- a die kleinste Dicke der Wand, wobei diese nicht kleiner als das 0,6-fache der größten Dicke der Wand betragen darf

Die Stapelhöhe I_s zur Ermittlung der Befestigungskräfte nach DIN 4223-4, Bild 5 ergibt sich entsprechend zu

$$I_s = \frac{n_{Sd}}{a \cdot \gamma_W} \quad (4.8)$$

Dabei ist

- I_s die rechnerische Stapelhöhe zur Ermittlung der α_z -Werte nach DIN 4223-4, Bild 5
- n_{Sd} die Auflast je Längeneinheit im Wandquerschnitt über der zu bemessenden Befestigung
- γ_W das Berechnungsgewicht der Wand
- a die kleinste Dicke der Wand, wobei diese nicht kleiner als das 0,6-fache der größten Dicke der Wand betragen darf

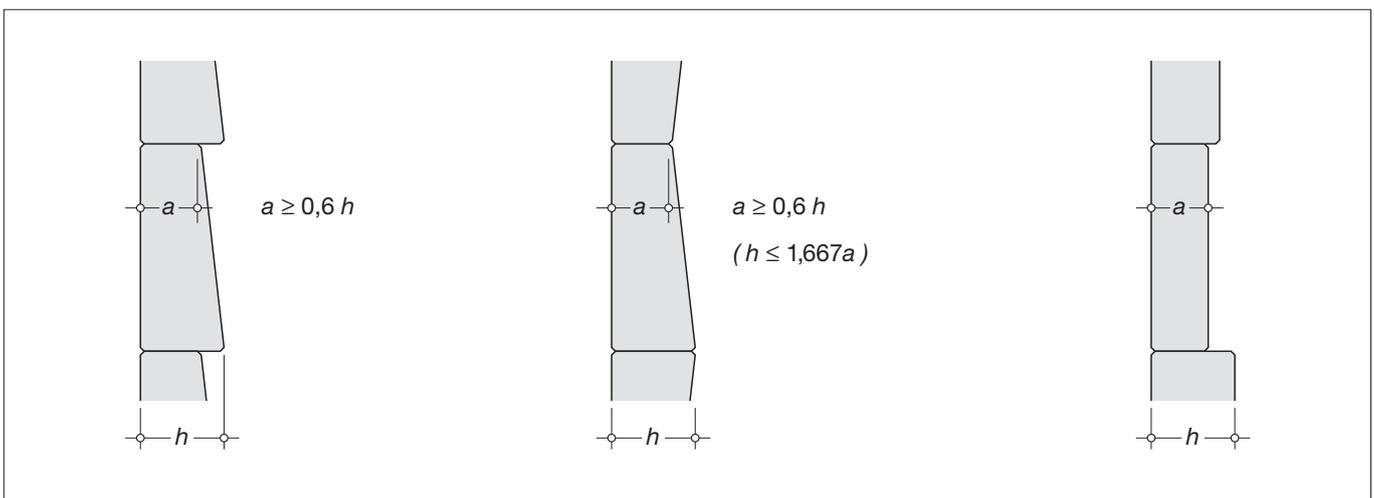


Abb. 4.11: Überstand bei liegend angeordneten Wandbauteilen unterschiedlicher Querschnittsform

Die Regeln für Wandbauteile mit Überstand sind nur dann anwendbar, wenn im Bereich der verbleibenden Aufstandsfläche die Bauteile eben sind.

**Zu Abschnitt 5.5:
Sturzwandplatten**

Sturzwandplatten sind nach DIN 4223-4, 3.1.3, Wandbauteile, die sowohl in ihrer Platten- als auch in ihrer Scheibenebene beansprucht werden. Die Scheibenbeanspruchung resultiert aus der Belastung aus Eigengewicht und aufliegender Platten. Die Plattenbeanspruchung resultiert aus Windlast auf die Platte selbst als auch aus indirekten Windlasten auf am Plattenlängsrand angeschlossene Tür- und / oder Fensterbänder.

Üblicherweise sind die Platten an ihren vier Ecken horizontal gehalten. Daraus resultieren an den Plattenschmalseiten im Auflagerbereich auch Querbiegemomente.

Für die Bemessung der Sturzwandplatten sind die Plattenbeanspruchungen mit den Scheibenbeanspruchungen zu überlagern. Als Bemessungsverfahren bietet sich das Verfahren von Baumann [18] an. Die im Folgenden angegebenen weiteren Systemannahmen beruhen auf den Typenuntersuchungen, die im Rahmen der Erstellung einer statischen Typenberechnung für Porenbeton-Sturzwandplatten auf der Basis der Norm DIN 4223 7.1958x [2] und der bauaufsichtlichen Zulassungen für diese Platten (siehe [23] und [24]) erstellt wurde.

Insbesondere für die Scheibenbeanspruchung wurden die folgenden Systemannahmen getroffen.

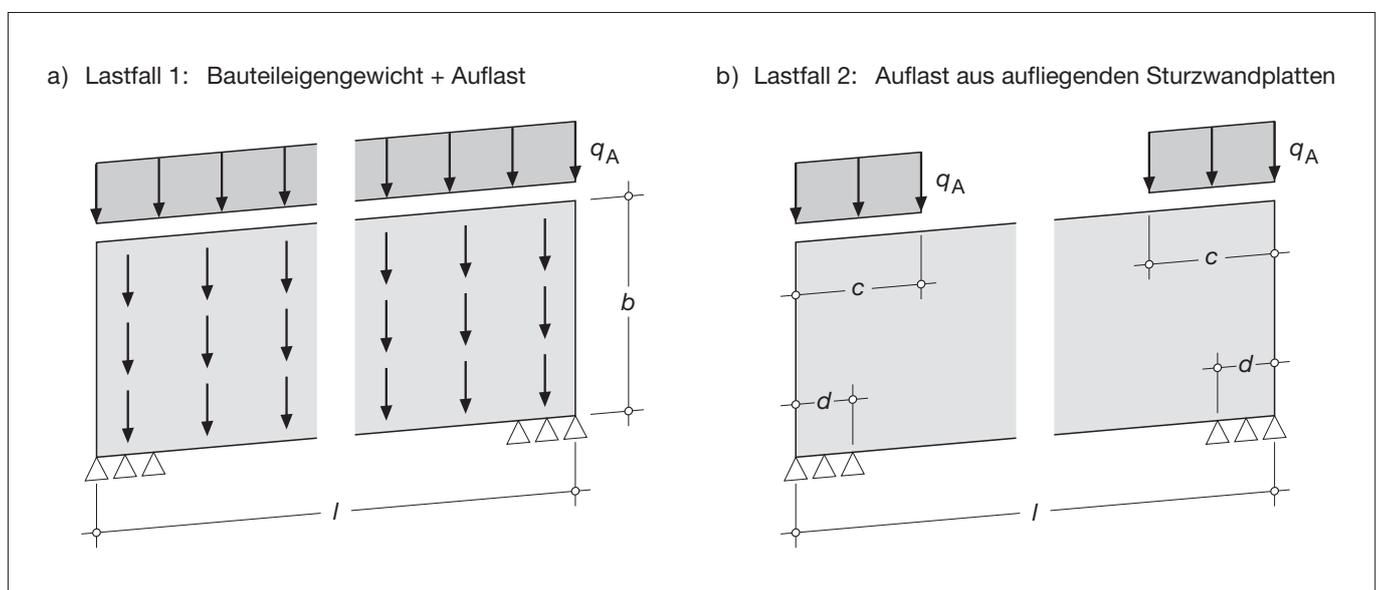


Abb. 4.12: Scheibenlastfälle bei Sturzwandplatten

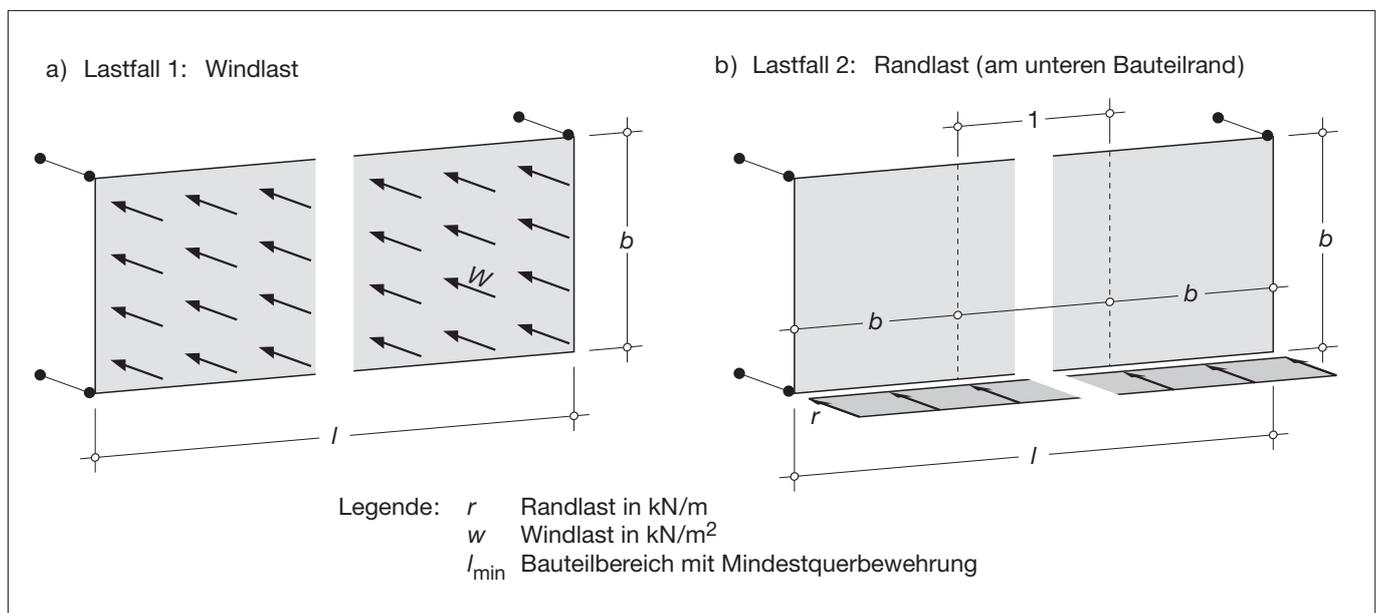


Abb. 4.13: Plattenlastfälle bei Sturzwandplatten

a) Belastung durch aufliegende Platten

Aufliegende Platten geben ihre Gewichtslasten nur in einem auflagenahen Bereich an die darunter liegenden Platten ab.

Die Länge der Lastezugsfläche c (vgl. Abb. 4.12 b) darf für Platten mit der Länge $3,50 \text{ m} \leq L \leq 7,50 \text{ m}$ und mit der Breite $0,50 \text{ m} \leq b \leq 0,75 \text{ m}$ mit $c = 0,32 \text{ m}$ angenommen werden. Die Belastung darf als Gleichlast q_A angesetzt werden.

Diese Systemannahme hat zur Folge, dass auch die auf der untersten Sturzwandplatte aufliegenden weiteren Platten als Sturzwandplatten ausgebildet werden müssen.

b) Auflagerung der untersten Sturzwandplatte

Die Auflagerung erfolgt in der Regel auf Konsolen, z.B. Stahlwinkeln. Auf der sicheren Seite liegend wurde die Länge des Auflagerbereiches mit $d = 0,15 \text{ m}$ angenommen.

Für „schlanke“ Sturzwandplatten, deren Scheibenstützweite größer oder gleich dem Vierfachen der Bauteilbreite ist, dürfen nach DIN 4223-4, 5.5 die Schnittgrößen mit vereinfachten Annahmen ermittelt werden. So dürfen die Spannungen aus der Scheibenbeanspruchung in Bauteilmitteln als linear über die Bauteilbreite verlaufend betrachtet werden. Randlasten (siehe Abb. 4.13 b) dürfen auf eine mitwirkende Plattenbreite von $1/6$ der Plattenstützweite verteilt werden. Die mitwirkende Breite darf jedoch nicht größer angenommen werden als die Bauteilbreite, da eine Querkraftübertragung über die Fuge entsprechend DIN 4223-4, 5.3.1 ausgeschlossen ist.

Bei nur an den Eckpunkten gehaltenen Sturzwandplatten sind die Plattenquerbiegemomente m_{qd} infolge unmittelbarer Windlast und infolge der Randlast aus angeschlossenen Bauteilen zu berücksichtigen. Dieser Fall liegt z.B. vor, wenn die Sturzwandplatte mittels Nagellaschen (vgl. allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-2.1-38 [27]) an der Unterkonstruktion befestigt ist. Nach DIN 4223-4 darf das Biegemoment in Bauteilquerrichtung nach der folgenden aus der Theorie der Flächentragwerke abgeleiteten Gleichung ermittelt werden.

$$m_{qd} = l \cdot b \cdot \left(\frac{w}{8} + \frac{r}{6 \cdot b_m} \right) \cdot \gamma_Q \quad (4.9)$$

Dabei ist

m_{qd}	der Bemessungswert des Biegemomentes je Längeneinheit in Bauteilquerrichtung
l	die Stützweite der Sturzwandplatte (für Plattenbiegung)
b	die Bauteilbreite
b_m	die mitwirkende Bauteilbreite bei Randlast
w	der charakteristische Wert der Windlast (Plattenlastfall 1)
r	der charakteristische Wert der Randlast (Plattenlastfall 2)
γ_Q	der Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen

Die für die Aufnahme des Biegemomentes m_{qd} erforderliche Querbewehrung ist nach DIN 4223-2 zu ermitteln. Da die Querbiegebeanspruchung mit zunehmendem Abstand vom

Auflager sehr schnell abnimmt, ist es ausreichend, die ermittelte Biegequerbewehrung jeweils vom Auflager gerechnet auf einen Bereich einzulegen, der der Bauteilbreite b entspricht (siehe Abb. 4.13 b). Im verbleibenden mittleren Bereich der Sturzwandplatte ist mindestens die Querbewehrung nach DIN 4223-2, 12.2.1.2 (Mindestquerbewehrung nach DIN 4223-4, Bild 6) einzulegen. Die Bewehrung zur Aufnahme der Querbiegebeanspruchung darf auf die zur Verankerung erforderliche Querbewehrung im Auflagerbereich nach DIN 4223-2, 12.2.1.2. angerechnet werden.

Bei Sturzwandplatten mit Randlasten ist zu beachten, dass die Befestigungen am belasteten Bauteilrand (Abb. 4.13 b, untere Halterungen) für die Aufnahme der vollen Randlast zu bemessen sind. Die Befestigungen am der Last abgewandten Rand des Bauteils (Abb. 4.13 b, obere Halterungen) dürfen ohne Berücksichtigung der Randlast bemessen werden. Linienartige Befestigungen von Sturzwandplatten sind sinngemäß zu bemessen.

Zu Abschnitt 5.6: Wandscheiben

Abschnitt 5.6 in DIN 4223-4 enthält die grundsätzlichen Regeln zur Bemessung von Wandscheiben zur Aussteifung, die aus liegend oder stehend angeordneten Wandbauteilen aus dampfgehärtetem Porenbeton hergestellt werden. Der Lastabtrag in die Unterkonstruktion erfolgt bei Wandscheiben durch Druck- und Schubspannungen in der Lagerfuge der Scheibe. Vereinfachend darf hierbei eine lineare Spannungsverteilung angenommen werden. Der Nachweis der Schubtragfähigkeit der Fuge ist nach DIN 4223-3 [5] zu führen.

Bei fehlender oder zur Herstellung des Kräftegleichgewichts nicht ausreichender Auflast (z.B. bei Wänden im obersten Geschoss eines Gebäudes) sind die sich in der Lagerfuge der Wandscheibe ergebenden Zugkräfte durch geeignete Zusatzkonstruktionen, z.B. Ringbalken mit in der unteren Decke verankerten Zugstäben, aufzunehmen und in die Unterkonstruktion einzuleiten (vgl. hierzu auch die Erläuterungen zum Abschnitt 5.3.2).

Bei Wänden aus stehend angeordneten Bauteilen ohne Schubkraftübertragung in den Längsfugen darf die Scheibenbelastung auf die einzelnen Wandbauteile verteilt werden, wenn die Scheibenlast am Wandkopf angreift und die einzelnen Wandbauteile durch ein ausreichend steifes Bauteil am Wandkopf (z.B. Ringbalken oder Dach- bzw. Deckenscheiben) miteinander verbunden sind. Für jedes einzelne Wandbauteil gilt, dass die Lagerfuge höchstens bis zur Mitte klaffen darf.

Die Scheibentragfähigkeit einer solchen „aufgelösten“ Wandscheibe ist wesentlich geringer als die einer „homogenen“ Wandscheibe mit ansonsten gleichen Abmessungen (vgl. Abb. 4.15 und Gleichungen (4.10) bis (4.12)).

Unter der Annahme einer bis zur Mitte klaffenden Lagerfuge ergibt sich aus dem Momentengleichgewicht an der „homogenen“ Wandscheibe für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$S \cdot H = \sigma_{cd} \cdot \frac{h \cdot L}{4} \cdot \frac{L}{3} = \sigma_{cd} \cdot \frac{h \cdot b^2 \cdot n^2}{12} \quad (4.10)$$

Dabei ist

- S die Scheibenbelastung
- H die Scheibenhöhe (Wandhöhe)
- L die Scheibenlänge
- h die Bauteildicke, bei Bauteilüberstand die verbleibende Aufstandsbreite
- b die Bauteilbreite
- n die Anzahl der Wandbauteile der Wandscheibe
- σ_{cd} der Bemessungswert der aufnehmbaren Randdruckspannungen

Für die „aufgelöste“ Scheibe ergibt sich entsprechend für jedes einzelne Wandbauteil

$$\frac{S}{n} \cdot H = \sigma_{cd} \cdot \frac{h \cdot b}{4} \cdot \frac{b}{3} = \sigma_{cd} \cdot \frac{h \cdot b^2}{12} \quad (4.11)$$

und damit für die gesamte Wand

$$S \cdot H = \sigma_{cd} \cdot \frac{h \cdot b^2 \cdot n}{12} \quad (4.12)$$

Um durch die aufgelöste Wandscheibe eine größere Horizontallast aufnehmen zu können, sind die Bauteillängsfugen so zu gestalten, dass Schubkräfte über die Fugen übertragen werden können (z.B. Vermörtelung mit Dünnbettmörtel entsprechend DIN 4223-3 [5] unter Beachtung der damit verbundenen Anforderungen an die Maßhaltigkeit der Bauteile nach DIN 4223-1 [3], Anwendung profilierter Fugen oder diskreter Schraubdübel nach DIN 4223-4). Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der aufnehmbaren Horizontallast besteht darin, durch Anordnung von vertikalen und horizontalen Zuggliedern (z.B. Fugenbewehrung, die in der Ringankerkonstruktion der Decke verankert ist) eine Scheibe so auszubilden, dass für den Lastabtrag ein Fachwerk zugrunde gelegt werden kann.

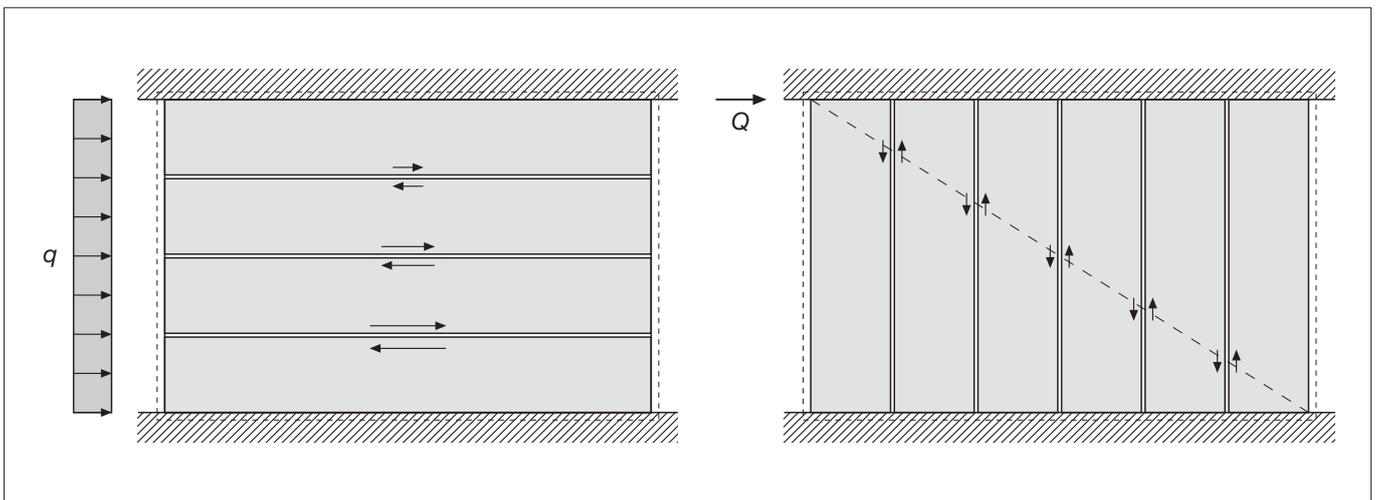


Abb. 4.14: Wandscheiben aus liegend oder stehend angeordneten Bauteilen

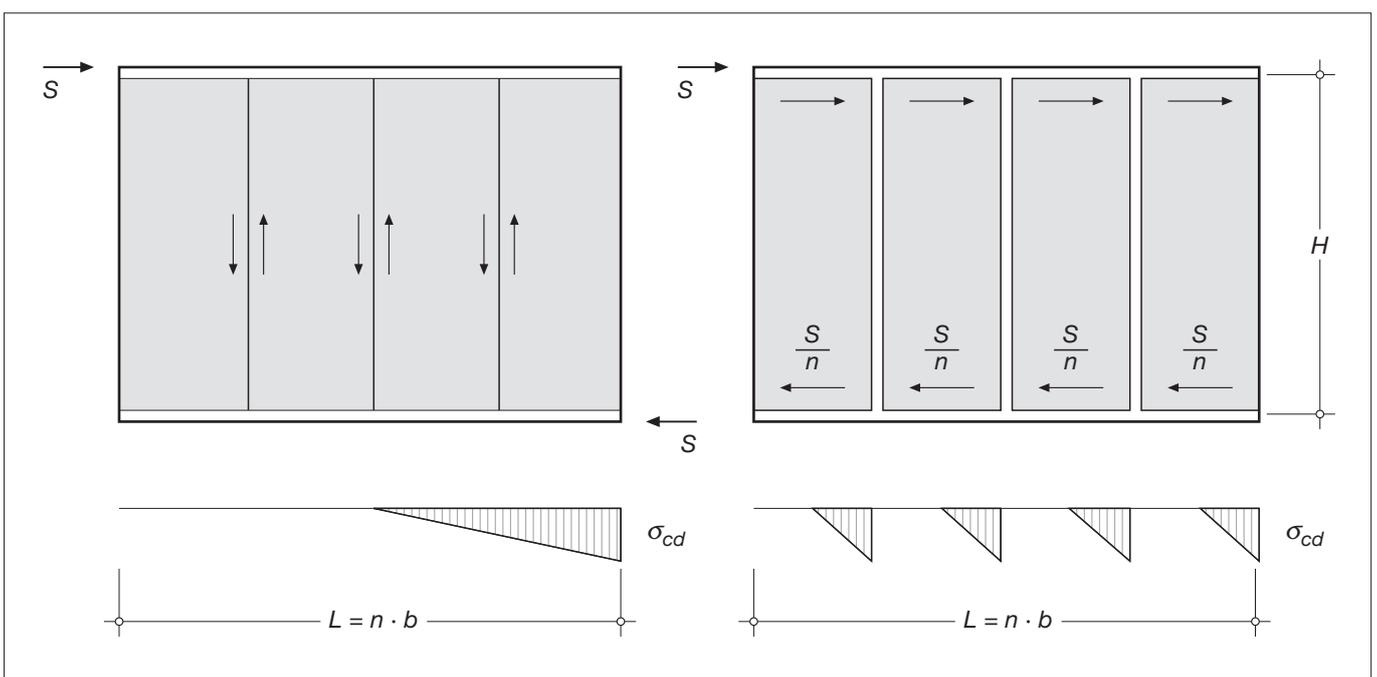


Abb. 4.15: Schnittkräfte bei „homogenen“ und „aufgelösten“ Wandscheiben

Alle vorgenannten Zusammenhänge gelten auch dann, wenn die Wandbauteile einen Überstand am Auflager aufweisen. Dann ist anstelle der tatsächlichen Bauteildicke mit der verbleibenden Aufstandsbreite zu rechnen. In diesem Fall ist zusätzlich zu beachten, dass der Bemessungswert der aufnehmbaren Randdruckspannungen nicht nach Gleichung (4.5), sondern nach Gleichung (4.6) zu ermitteln ist.

**Zu Abschnitt 6.1:
Übertragung von Querkräften über die Bauteilfugen**

Im Abschnitt 6.1.1 der Norm DIN 4223-4 wird klargestellt, dass für die Annahme einer planmäßigen Kraftübertragung zwischen Porenbetonbauteilen senkrecht zur Bauteilebene (Querkräfte aus Plattenbeanspruchung) die Längsränder der Bauteile grundsätzlich eine entsprechende Profilierung aufweisen und vermörtelt sein müssen (vgl. Abb. 4.16).

Unvermörtelte profilierte Fugen bei Dach- und Deckenplatten dürfen nicht zur planmäßigen Querkraftübertragung herangezogen werden. In diesem Fall darf auch eine bei der Biegebemessung der Platte gegebenenfalls berücksichtigte mitttragende Breite nicht größer als die Bauteilbreite in Rechnung gestellt werden. Weiterhin ist zu beachten, dass für diese Bauteile gegebenenfalls ein Nachweis der örtlichen Mindesttragfähigkeit nach DIN 1055-3, 6.1 zu führen ist.

Für den Nachweis der Querkrafttragfähigkeit der Fugen sind zwei Versagensformen zu untersuchen: Schubversagen des Porenbetons (Abscheren der „Zähne“) und Überschreitung der Druckspannungen an den Druckkontaktflächen der Zahnflanken. Neben der Druckfestigkeit und der Scherfestigkeit des Porenbetons ist die Form der Profilierung und der eng damit zusammenhängende Kräfteverlauf in der Fuge maßgebend. In Abhängigkeit von der Neigung der durch den Fugenverguss gebildeten Druckstrebe ergeben sich unterschiedlich große Abtriebskräfte (Zugkräfte senkrecht zur Fugenfläche). Daher ist die Umschließung des Dach- oder Deckenfeldes mit einem Ringankersystem Voraussetzung für die Querkraftübertragung.

Fugenversagen kann eintreten, wenn die durch die Verzahnung im Porenbeton (und im Vergussmaterial) aufnehmbaren Schubkräfte überschritten werden und sich Schub-

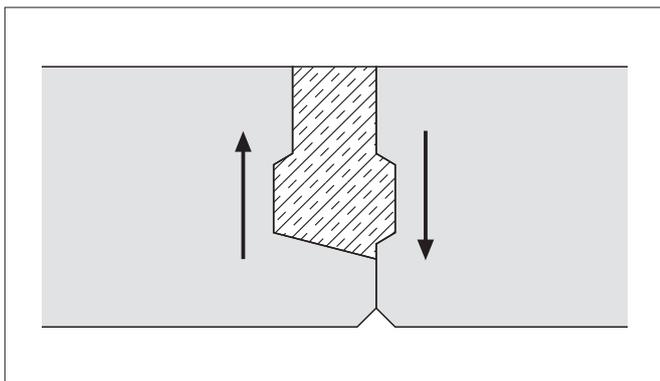


Abb. 4.16: Vermörtelte profilierte Bauteillängsfuge zur Übertragung von Querkräften

bruchflächen ausbilden. Da nach Abschnitt 7.5 der Norm DIN 4223-4 als Verfüllmaterial bei vermörtelten Fugen nur Baustoffe angewendet werden dürfen, die eine wesentlich größere Scherfestigkeit als Porenbeton aufweisen und davon ausgegangen werden kann, dass die Fugenprofilierung zu annähernd gleich großen Scherflächen im Porenbetonbauteil und im Verfüllmaterial führt, ist es ausreichend, den Nachweis der Aufnahme der Scherkräfte für den Porenbeton zu führen. Dabei ist die kleinste der möglichen Scherflächen dem Nachweis zugrunde zu legen (vgl. DIN 4223-4, Bild 9). Der Nachweis der Querkrafttragfähigkeit wird nach Gleichung (4.13) geführt.

$$V_{Sdj} \leq V_{Rdj} = \frac{\tau_{Rd} \cdot \min A_i}{1,5} \quad (4.13)$$

Dabei ist

- V_{Sdj} der Bemessungswert der zu übertragenden Querkraft (jeweils parallel zur Scherfläche)
- V_{Rdj} der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft parallel zur Scherfläche
- τ_{Rd} der Grundwert der aufnehmbaren Schubspannung für Porenbeton nach DIN 4223-2, 10.3.3
- $\min A_i$ die kleinste der anzunehmenden Scherflächen im Porenbeton

In Gleichung (4.13) ist der Teilsicherheitsbeiwert für sprödes Versagen des Porenbetons γ_{c2} nach DIN 4223-5 bereits in τ_{Rd} berücksichtigt (vgl. DIN 4223-2 [4], 10.3.3). Mit dem Faktor 1,5 wird die parabelförmige Verteilung der Schubspannungen über der Scherfläche berücksichtigt.

Fugenversagen kann neben der Ausbildung von Scherflächen durch die Überschreitung der Kontaktdruckspannungen auf den Porenbeton erfolgen. Daher ist auch der Nachweis nach Gleichung (4.14) zu führen.

$$V_{Sdj} \leq V_{Rdj} = b_j \cdot l_j \cdot 0,9 \cdot \alpha \cdot f_{cd} \quad (4.14)$$

Dabei ist

- V_{Sdj} der Bemessungswert der zu übertragenden Querkraft senkrecht zur Druckkontaktfläche
- V_{Rdj} der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft senkrecht zur Druckkontaktfläche
- b_j die Breite der Druckkontaktfläche
- l_j die Länge der Druckkontaktfläche
- α der Faktor nach DIN 4223-2 zur Berücksichtigung von Langzeiteffekten, i. d. R. $\alpha = 0,85$
- f_{cd} der Bemessungswert der Druckfestigkeit des Porenbetons; $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_{c2}$
- f_{ck} die charakteristische Druckfestigkeit des Porenbetons nach DIN 4223-1 [3]
- γ_{c2} der Teilsicherheitsbeiwert für sprödes Versagen des Porenbetons nach DIN 4223-5 [7]

Der Vergleich der Gleichung (4.14) mit Gleichung (4.5) zeigt den Ansatz, der für diesen Nachweis gewählt wurde: die aufnehmbare Druckkraft (senkrecht zur Kontaktfläche) ergibt sich aus der Kontaktfläche und der aufnehmbaren Druckspannung.

Zu Abschnitt 6.2: Übertragung von in Bauteilebene wirkenden Schubkräften

Die Übertragung von Schubkräften zwischen Porenbetonbauteilen in Bauteilebene parallel zum Längsrand ist insbesondere für die Scheibentragwirkung aussteifender Wände, Decken oder Dächer erforderlich. Für die Sicherstellung der Übertragung dieser Schubkräfte sind in DIN 4223-4 die folgenden Möglichkeiten angegeben:

- Profilierung der Fugen in Bauteillängsrichtung (einschließlich Verfüllung der Fugen),
- diskrete Schubdübel (oder andere gleichwertige Einzelverbinder),
- Vermörtelung der Fugen mit Dünnbettmörtel unter Beachtung der besonderen Anforderungen an die Maßhaltigkeit der Bauteile nach DIN 4223-1 [3].

Neben diesen in DIN 4223-4 angegebenen Möglichkeiten, Schubkräfte über die Fugen hinweg zu übertragen, besteht (bei Decken- und Dachscheiben) die Möglichkeit, einen bewehrten Aufbeton zur Herstellung der Scheibenwirkung aufzubringen. Dieser ist für die Scheibenbeanspruchung nach DIN 1045-1 [1] zu bemessen und auszuführen.

Die Kraftübertragung bei profilierten Längsrändern mit Fugenvergruss erfolgt nach den gleichen Mechanismen wie bei der Querkraftübertragung. Die Bemessung bzw. der Nachweis der Kraftübertragung erfolgt daher nach den Regeln des Abschnitts 6.1.2 der Norm DIN 4223-4 (vgl. Erläuterungen zum Abschnitt 6.1).

Die Anordnung diskreter Schubdübel entspricht im Prinzip einer speziellen Profilierung des Plattenlängsrandes. Der Nachweis der Schubtragfähigkeit ist daher entsprechend zu führen, jedoch unter Beachtung der sich für die diskreten Schubdübel ergebenden Geometrie. Das ist im Vergleich der Gleichungen (4.15) und (4.16) für diskrete Schubdübel mit den Gleichungen (4.13) und (4.14) für profilierte Fugen deutlich zu erkennen.

$$V_{Sd,DÜ} \leq V_{Rd,DÜ} = \min A_{DÜ} \cdot 0,9 \cdot \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_{c2}} \quad (4.15)$$

$$V_{Sd,DÜ} \leq V_{Rd,DÜ} = e \cdot h_{DÜ} \cdot \frac{\tau_{Rd}}{1,5} \quad (4.16)$$

Dabei ist

$V_{Sd,DÜ}$	der Bemessungswert der auf einen Dübel entfallenden Schubkraft
$V_{Rd,DÜ}$	der Bemessungswert der durch einen Schubdübel aufnehmbaren Schubkraft
$A_{DÜ}$	die Einschnittfläche des Schubdübels in das Porenbetonbauteil
e	der lichte Abstand zwischen den Schubdübeln
$h_{DÜ}$	die Höhe des Schubdübels
α	der Faktor zur Berücksichtigung von Langzeiteinflüssen auf die Druckfestigkeit von Porenbeton nach DIN 4223-2 [4], im Allgemeinen gilt $\alpha = 0,85$
f_{ck}	die charakteristische Druckfestigkeit des Porenbetons nach DIN 4223-1 [3]
τ_{Rd}	der Grundwert der aufnehmbaren Schubspannung für Porenbeton nach DIN 4223-2 [4], 10.3.3
γ_{c2}	der Teilsicherheitsbeiwert für sprödes Versagen des Porenbetons nach DIN 4223-5 [7]

Die Einschnittflächen ergeben sich nach Abb. 4.17. Bei runden Schubdübeln darf die Einschnittfläche an der Stelle des tiefsten Einschnittes ermittelt werden. Die Höhe des Schubdübels $h_{DÜ}$ muss mindestens das 0,6-fache der Bauteildicke h betragen. Die Mindesteinschnitttiefe ist auf 30 mm festgelegt. Kleinere Einschnitttiefen bergen besonders im Hinblick auf die üblichen runden Schubdübel Risiken, da die Neigung der Druckkontaktfläche am Übergang zwischen Porenbetonbauteil und Verfüllmaterial überproportional stark abnimmt und die Abtriebskräfte entsprechend anwachsen. Das kann bis zur Überschreitung der Porenbetondruckfestigkeit in diesem Bereich und damit zum Versagen der Dübelverbindung führen.

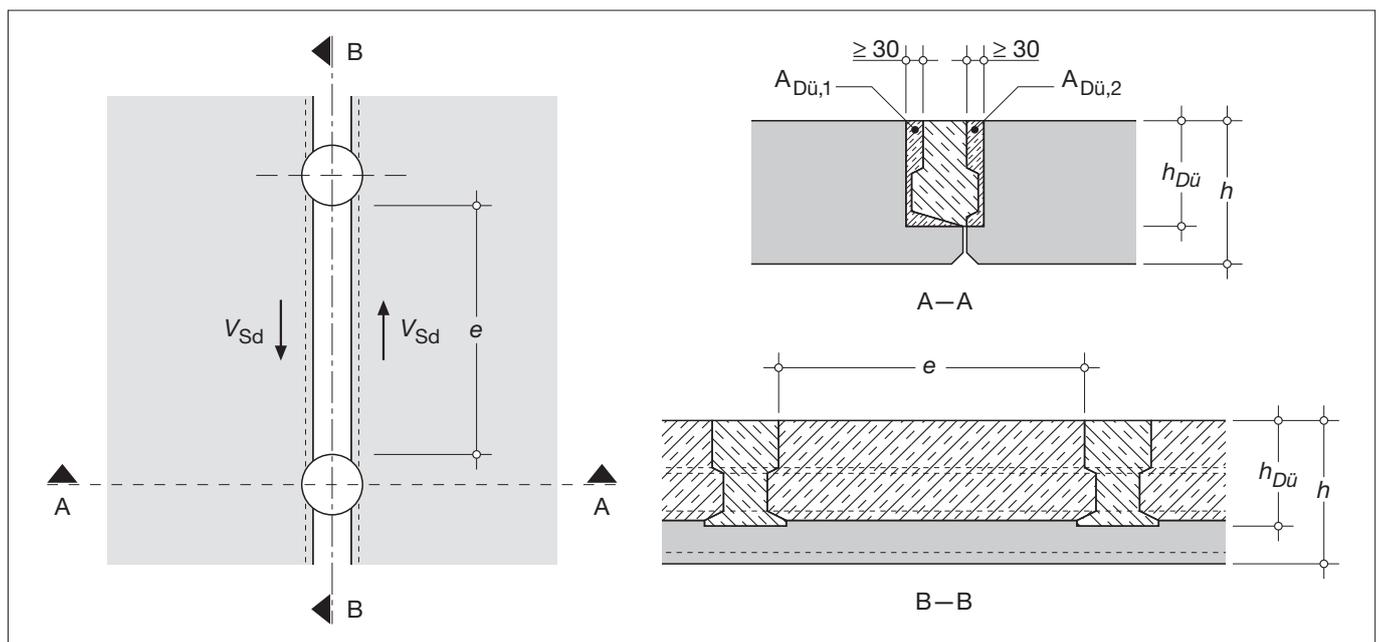


Abb. 4.17: Diskrete (runde) Schubdübel. Bezeichnungen

Der Achsabstand der für die Kraftübertragung herangezogenen diskreten Schubdübel e darf 1,50 m nicht überschreiten. Bei größeren Dübelabständen ist die Ermittlung des Bemessungswertes der durch einen Dübel aufnehmbaren Schubkraft nach Gleichung (4.16) nicht mehr vertretbar, da sich in diesem Fall andere als die dem Versagensmodell zugrunde liegenden Scherflächen einstellen können. Weiterhin ist die Annahme, dass die Scherfläche im Porenbeton parallel zum Bauteilrand verläuft, aufgrund der sehr kleinen Verhältnisse von Einschnitttiefe zu Dübelabstand bei größeren Dübelabständen ebenfalls nicht mehr gerechtfertigt. Der Wert von 1,50 m für den größten Schubdübelabstand war bisher Bestandteil der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (vgl. [21]) und hat sich praktisch bewährt. Von dieser Regelung kann bei konstruktiv angeordneten Dübeln abgewichen werden, die rechnerisch keine Schubkraft aufzunehmen haben.

Auf die Angabe eines Mindestabstandes der diskreten Schubdübel untereinander wurde in DIN 4223-4 verzichtet, da aufgrund des Verhältnisses von Scherfestigkeit zu Druckfestigkeit des Porenbetons bei Unterschreitung eines bestimmten Schubdübelabstandes immer Gleichung (4.16) für die Bemessung maßgebend wird. Der Achsabstand des diskreten Schubdübels vom Plattenende sollte jedoch 0,75 m nicht unterschreiten.

Zur Orientierung sind in Tabelle 4.3 die Bemessungswerte der aufnehmbaren Schubkraft für einen diskreten Schubdübel für praktisch vorkommende Dübelhöhen $h_{DÜ}$ durch Auswertung der Gleichung (4.15) zusammengestellt. Der lichte Abstand zwischen den Schubdübeln ist dabei mit $e = 1,35$ m als praktischer Höchstwert angenommen. Die Größe der kleinsten Einschnittfläche $A_{DÜ}$, die für die Erzielung des gleichen Bemessungswertes der aufnehmbaren Schubkraft wie nach

Gleichung (4.16) erforderlich ist, ergibt sich durch Umformung von Gleichung (4.15):

$$\min A_{DÜ} = V_{Rd,DÜ} \cdot \frac{\gamma_{c2}}{0,9 \cdot \alpha \cdot f_{ck}} \approx 2,22 \cdot \frac{V_{Rd,DÜ}}{f_{ck}} \quad (4.17)$$

Im Gegensatz zu Fugen mit profilierten Bauteillängsrändern nach DIN 4223-4, Bild 11, bei denen aufgrund etwa gleicher Scherflächen des Porenbetons und des Verfüllmaterials auf einen Nachweis des Verfüllmaterials verzichtet werden kann, ist im Fall der diskreten Schubdübel zu prüfen, ob der Betondübel die Dübelkräfte aufnehmen kann. Da aus Gleichgewichtsgründen am Dübel keine Betonzugspannungen aus äußeren Kräften auftreten, kann dieser Nachweis nach Gleichung (72) in DIN 1045-1 [1] geführt werden. Unter Annahme einer rechteckigen Scherfläche des Betondübel und unter Vernachlässigung der aus Gleichgewichtsgründen vorhandenen Druckspannungen im Dübel ergibt sich für die durch den Dübel aufnehmbare Schubkraft

$$V_{Rd,DÜ} = \frac{2}{3} \cdot h_{DÜ} \cdot d_{DÜ} \cdot \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} \quad (4.18)$$

Dabei ist

- $h_{DÜ}$ die Höhe des diskreten Schubdübels
- $d_{DÜ}$ die Dicke des diskreten Schubdübels in Richtung des Bauteillängsrandes
- $f_{ctk;0,05}$ der untere Quantilwert der Betonzugfestigkeit nach DIN 1045-1, Tabelle 9 oder Tabelle 10
- γ_c der Sicherheitsbeiwert für unbewehrten Beton, $\gamma_c = 1,8$ (vgl. DIN 1045-1, 5.3.3 (8))

Tabelle 4.3 enthält in der rechten Spalte die Bemessungswerte der aufnehmbaren Schubkräfte für Betondübel aus C20/25 nach Gleichung (4.18) bei einer Dicke des Dübels $d_{DÜ}$ von 15 cm.

		P 2,2	P 3,3	P 4,4	P 6,6 *)	C 20/25
f_{ck} [MPa]		2,2	3,3	4,4	6,6	20
τ_{Rd} bzw. $f_{ctk;0,05}$ [MPa]		0,0550	0,0673	0,0777	0,0952	1,5
$h_{DÜ}$ [cm]	$e \cdot h_{DÜ}$ [m ²]	$V_{Rd,DÜ}$ [kN]				
15,0	0,203	7,44	9,11	10,5	12,9	12,5
17,5	0,236	8,65	10,6	12,2	15,0	14,6
20,0	0,270	9,90	12,1	14,0	17,1	16,7
22,5	0,304	11,2	13,6	15,8	19,3	18,8
25,0	0,338	12,4	15,2	17,5	21,5	20,8
27,5	0,371	13,6	16,7	19,2	23,6	22,9
30,0	0,405	14,9	18,2	21,0	25,7	25,0

*) nicht in DIN 4223-1:2003-12 enthalten

Tabelle 4.3: Bemessungswerte der aufnehmbaren Schubkraft eines diskreten Schubdübels bei einem lichten Dübelabstand von $e = 1,35$ m

Mit der vereinfachenden Annahme eines Rechteckquerschnittes für die Einschnittfläche gilt Gleichung (4.19):

$$A_{DÜ} = h_{DÜ} \cdot t_{DÜ} \quad (4.19)$$

Dabei ist

- $A_{DÜ}$ die Einschnittfläche des Schubdübels in das Porenbetonbauteil
- $h_{DÜ}$ die Höhe des diskreten Schubdübels
- $t_{DÜ}$ die Einschnitttiefe des diskreten Schubdübels

Mit dieser Annahme und der Forderung nach dem gleichen Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft $V_{Rd,DÜ}$ nach Gleichung (4.15) und (4.16) ergibt sich für die Einschnitttiefe:

$$V_{Rd,DÜ} = h_{DÜ} \cdot t_{DÜ} \cdot 0,9 \cdot \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_{c2}} = e \cdot h_{DÜ} \cdot \frac{\tau_{Rd}}{1,5} = e \cdot h_{DÜ} \cdot \frac{0,063 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{1,5 \cdot \gamma_{c2}} \quad (4.20)$$

$$t_{DÜ} = e \cdot \frac{0,063 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{1,5 \cdot 0,9 \cdot \alpha \cdot f_{ck}} = \frac{e}{18,21 \cdot \sqrt{f_{ck}}} \quad (4.21)$$

In Tabelle 4.4 sind die nach Gleichung (4.21) ermittelten erforderlichen Mindesteinschnitttiefen $t_{DÜ}$ in Abhängigkeit von der Druckfestigkeitsklasse und unterschiedlichen lichten Schubdübelabständen e angegeben. Aus Tabelle 4.4 ist auch zu erkennen, dass aufgrund der in DIN 4223-4 vorgeschriebenen Mindesteinschnitttiefe von 30 mm bei lichten Schubdübelabständen $e < 0,75$ m die Scherfestigkeit des Porenbetons maßgebend wird. Bei profilierten Bauteilrändern ist die rechnerisch erforderliche Einschnitttiefe $t_{DÜ}$ nach Gleichung (4.21) nur ein oberer Anhaltswert für die erforderliche Mindesteinschnitttiefe.

Zur Übertragung von in Bauteilebene wirkenden Schubkräften aus Scheibenbeanspruchung dürfen auch Bauteile mit ebenen Längsrändern eingesetzt werden, wenn sie mittels Dünnbettmörtel untereinander verbunden sind. Dazu müssen die Bauteile den besonderen Anforderungen an die Maßhaltigkeit, Ebenheit und Planparallelität nach DIN 4223-1 [3], 5.1.3 genügen.

Die Bemessung der Fugen und der Nachweis der Fugentragfähigkeit erfolgt aufgrund des entsprechenden Fugentragmodells nach DIN 4223-3 [5], Abschnitt 5.4 (vgl. hierzu auch die Erläuterungen zu DIN 4223-3). Bei Dachbauteilen mit Nut und Feder, die zur Übertragung von Schubkräften an den ebenen Fugenflächen außerhalb von Nut und Feder mit Dünnbettmörtel verbunden werden, ist der Nachweis der Schubkraftübertragung entsprechend zu führen. Dabei sind die in DIN 4223-4 angegebenen Bedingungen zu beachten.

Zur Übertragung von Querkraften aus Plattenbeanspruchung (vgl. Erläuterungen zu Abschnitt 6.1) dürfen Fugen bei Bauteilen mit ebenen Bauteilrändern nicht herangezogen werden.

**Zu Abschnitt 6.4:
Deckenscheiben mit vereinfachtem Nachweis**

Nach DIN 4223-4, 6.4 darf auf einen rechnerischen Nachweis der Schubbeanspruchung in den Fugen verzichtet werden, wenn bestimmte geometrische Bedingungen eingehalten werden und konstruktive Regeln eingehalten werden. Die Bedingungen für die Scheibenausbildung wurde aus den bisher geltenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (z.B. [19]) unter Berücksichtigung des Sicherheitskonzeptes der Teilsicherheitsfaktoren übernommen und resultieren aus Ver-

e [m]	f_{ck} [MPa]			
	2,2	3,3	4,4	6,6 *)
1,50	56	45	39	32
1,40	52	42	37	30
1,30	48	39	34	Mindesteinschnitttiefe nach DIN 4223-4: min $t_{DÜ} = 30$ mm
1,20	44	36	31	
1,10	41	33		
1,00	37	30		
0,90	33			
0,80	30			
0,70				

*) nicht in DIN 4223-1:2003-12 enthalten

Tabelle 4.4: Rechnerische Mindesteinschnitttiefe $t_{DÜ}$ [mm] in Abhängigkeit vom lichten Dübelabstand e und von der charakteristischen Druckfestigkeit f_{ck}

suchen, die im Rahmen der Zulassungserteilung durchgeführt wurden.

Zu Abschnitt 6.5: Anwendung von Betoneckdübeln bei Scheiben

Außer den in den Fugen angeordneten diskreten Schubdübeln ist nach DIN 4223-4 auch die Ausbildung von Stahlbetoneckdübeln möglich. Der Bemessung der Scheibe ist dabei ein Fachwerk-Modell nach Bild 2a oder ein Druckbogen-Zugband-Modell nach Bild 2b zugrunde zu legen (vgl. Erläuterungen zum Abschnitt 5.3). Durch den Betoneckdübel wird insbesondere die Tragfähigkeit des Fachwerkknotens bei Fachwerkmodellen (siehe Abb. 4.3) erhöht. Bei Modellen nach Abb. 4.6 ist die Anordnung von Betoneckdübeln Grundvoraussetzung dafür, dass sich die angenommene Tragwirkung einstellen kann.

Zu Abschnitt 7: Bauausführung

DIN 4223-4 enthält im Abschnitt 7 grundsätzliche Regelungen zur Bauausführung bei Anwendung von vorgefertigten Bauteilen aus dampfgehärtetem Porenbeton. Die Schwerpunkte liegen dabei auf der Auflagerung der Bauteile auf der Unterkonstruktion, dem nachträglichen Kürzen der Bauteile und dem nachträglichen Einbringen von Aussparungen, dem Verfüllen der Fugen, dem Herstellen der Ringanker und dem eventuellen Aufbringen eines Aufbetons.

Beim Einbau von Bauteilen mit geringfügigen Beschädigungen (fehlende Ecken oder Kanten, fehlende Randprofilierung) muss in jedem Fall sichergestellt sein, dass die Tragfähigkeit des beschädigten oder bearbeiteten Bauteils für die vorgesehene Beanspruchung noch ausreichend ist. Von besonderem Interesse ist dabei die Verankerung der Bewehrung im Auflagerbereich sowie ein intakter Korrosionsschutz der Bewehrung.

Zur Sicherstellung der Tragfähigkeit der schrägen Betondruckstreben und der Verankerung der oberen Längsbewehrung am Kragarmende werden die obere und die untere Bewehrung durch an den Querstäben eingeschweißte Steckbügel oder Verbindungsstäbe miteinander verbunden. Durch das Einkürzen von Kragarmen wird diese Bewehrung entfernt und die Tragfähigkeit des Bauteils im Bereich des Kragarms ist nicht mehr vorhanden. Das Kürzen von Kragarmen darf aus diesem Grund in keinem Fall erfolgen.

Bei der Verfüllung von Bauteilfugen mit Zementmörtel oder Beton und bei Herstellung eines Aufbetons ist besonders darauf zu achten, dass die Bauteilflächen sauber, d.h., frei von losen Teilen und Staub sind. Andernfalls wird der erforderliche Verbund zwischen dem Füllmaterial nicht ausreichend hergestellt bzw. gestört. Außerdem sind die Füllbereiche ausreichend anzunässen, damit dem Mörtel bzw. dem Beton nicht durch den trockenen Porenbeton das für die Erhärtung erforderliche Wasser entzogen wird und damit die erforderliche Festigkeit des Füllmaterials erreicht wird.

Bei Verwendung von Beton für das Verfüllen von profiliertem Fugen zur Querkraft- bzw. Schubkraftübertragung oder für die Herstellung diskreter Schubdübel ist Beton mindestens der

Festigkeitsklasse C12/15 bzw. LC12/13 zu verwenden. Für das Verfüllen von Fugen nach Abschnitt 7.8, in denen Bewehrung eingelegt ist, ist im Gegensatz zu den Abschnitten 7.5 und 7.7 ein Beton mindestens der Festigkeitsklasse C20/25 bzw. LC20/22 zu verwenden.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] DIN 1045-1:2001-07: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2001)
- [2] DIN 4223 07.1958x: Bewehrte Dach- und Deckenplatten aus dampfgehärtetem Gas- und Schaumbeton. Richtlinien für Bemessung, Herstellung, Verwendung und Prüfung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2002)
- [3] DIN 4223-1:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 1: Herstellung, Eigenschaften, Übereinstimmungsnachweis. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [4] DIN 4223-2:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 2: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung, Entwurf und Bemessung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [5] DIN 4223-3:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 3: Wände aus Bauteilen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung – Entwurf und Bemessung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [6] DIN 4223-4:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 4: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung – Anwendung in Bauwerken. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [7] DIN 4223-5:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 5: Sicherheitskonzept. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [8] DIN 1055-3:2003-10: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [9] DIN 1055-4:1986-08: Lastannahmen für Bauten. Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1986)
- [10] DIN 1055-100:2001-03: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung. Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2001)

- [11] DIN 18203-1:1996-04: Toleranzen im Hochbau. Teil 1: Vorgefertigte Teile aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1997)
- [12] DIN 18203-2:1986-05: Toleranzen im Hochbau. Vorgefertigte Teile aus Stahl. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1986)
- [13] DIN 18203-3:1984-08: Toleranzen im Hochbau. Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1984)
- [14] Verteilung der horizontalen Lasten zur Bemessung von Porenbeton-Deckenscheiben mit Platteneckdübeln für Scheibentyp I. Bundesverband Porenbetonindustrie e.V., Januar 2002
- [15] Untersuchung zur Lastverteilung von durch Einzel- und Linienlasten belasteten Porenbetonplatten über Vergussfugen auf benachbarte Platten. Bundesverband Porenbetonindustrie e.V., Januar 2002
- [16] Überprüfung der Lasterhöhungsfaktoren (α -Faktoren) für die Bemessung von liegend angeordneten Wandplatten. Bundesverband Porenbetonindustrie e.V., April 2003
- [17] Berechnung und Ausführung von Dachscheiben aus Porenbetonplatten. Berichtsheft Nr. 5, Bundesverband Porenbetonindustrie e.V., Nachdruck 1993
- [18] T. Baumann: Berechnung Tragwirkung orthogonaler Bewehrungsnetze beliebiger Richtung in Flächentragwerken aus Stahlbeton, Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft Nr. 217, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1972
- [19] F. Leonhardt: Vorlesungen über Massivbau, 2. Teil, Sonderfälle der Bemessung im Stahlbetonbau, 3. Auflage, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, Wien, New York 1986
- [20] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-2.1-4.1: Bewehrte Porenbeton-Deckenplatten W aus dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 3,3, 4,4 und 6,6 zur Ausbildung von Decken und Deckenscheiben mit Bezug auf DIN 1045:1988-07 und DIN 1045-1:2001-07. Deutsches Institut für Bautechnik (2004-03)
- [21] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-2.1-4.2: Bewehrte Porenbeton-Dachplatten W aus dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklasse 2,2, 3,3 und 4,4 zur Ausbildung von Dächern und Dachscheiben mit Bezug auf DIN 1045:1988-07 und DIN 1045-1:2001-07. Deutsches Institut für Bautechnik (2003-11)
- [22] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-2.1-4.2.1: Bewehrte Porenbeton-Dachplatten W aus dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 2,2, 3,3 und 4,4 mit Nut-Feder-Verbindung ohne Vermörtelung mit Bezug auf DIN 1045:1988-07 und DIN 1045-1:2001-07. Deutsches Institut für Bautechnik (2003-11)
- [23] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-2.1-10.2: Bewehrte YTONG-Wandplatten W aus dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 3,3 und 4,4. Deutsches Institut für Bautechnik (2001-10)
- [24] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-2.1-10.3: Bewehrte Hebel-Wandplatten W aus dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 3,3 und 4,4. Deutsches Institut für Bautechnik (2001-10)
- [25] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-17.1-28: Geschoßhohe tragende YTONG-Wandelemente W (YTONG-System-Wandelemente) und YTONG-Wandtafeln W aus unbewehrtem, dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 2, 4 und 6. Deutsches Institut für Bautechnik (2001-08)
- [26] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-17.1-43: Geschoßhohe tragende HEBEL-Wandtafeln W aus unbewehrtem, dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklassen 2, 4 und 6. Deutsches Institut für Bautechnik (2000-03)
- [27] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-2.1-38: Verankerungsmittel für Porenbetonmontagebauteile. Deutsches Institut für Bautechnik (2004-08)

ERLÄUTERUNGEN ZU DIN 4223-5:2003-12

Vorgefertigte bewehrte Bauteile
aus dampfgehärtetem Porenbeton

Teil 5

Sicherheitskonzept

Vorgefertigte bewehrte Bauteile
aus dampfgehärtetem Porenbeton
Teil 5: Sicherheitskonzept

DIN
4223-5

ICS 91.100.30

Mit
DIN 4223-1:2003-12
und
DIN 4223-2:2003-12
Ersatz für
DIN 4223:1958x-07

Prefabricated reinforced components of autoclaved aerated concrete —
Part 5: Safety concept

Éléments préfabriqués armés en béton cellulaire autoclavé —
Partie 5: Conception de sécurité

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	3
2 Normative Verweisungen	3
3 Begriffe und Formelzeichen	3
3.1 Begriffe	3
3.2 Formelzeichen	4
4 Tragwiderstand	4
5 Grenzzustände der Tragfähigkeit	4
5.1 Allgemeines	4
5.2 Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen und den Tragwiderstand im Grenzzustand der Tragfähigkeit	5
6 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	5

Tabellen

Tabelle 1 — Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen auf Tragwerke	5
Tabelle 2 — Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften	5

Fortsetzung Seite 2 bis 5

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Inhaltsverzeichnis

	Allgemeines	108
	Einwirkungen, Auswirkungen, Beanspruchungen	108
Zu Abschnitt 1:	Anwendungsbereich	109
Zu Abschnitt 4:	Tragwiderstand	109
Zu Abschnitt 5:	Grenzzustände der Tragfähigkeit	110
Zu Abschnitt 6:	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	112
	Literatur	114
	Weitergehende Literatur	114

Allgemeines

Grundsätzliches Ziel bei Entwurf, Konstruktion und Ausführung baulicher Anlagen ist die Erfüllung des vorgesehenen Nutzungszweckes während der geplanten Nutzungsdauer unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Gesichtspunkte. Die sich daraus ergebenden Anforderungen an die Bemessung der Tragwerke und der einzelnen Tragwerksteile lassen sich einteilen in:

– Anforderungen an die Tragfähigkeit:

Das Tragwerk und seine Teile sind so zu planen und auszuführen, dass sie während der Errichtung und Nutzung allen möglichen Einwirkungen und Einflüssen mit angemessener Zuverlässigkeit widerstehen. Darüber hinaus ist die Planung und Ausführung so zu gestalten, dass das Tragwerk durch außergewöhnliche Einwirkungen nicht in einem unverhältnismäßig hohen Maße beschädigt wird.

– Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit:

Das Tragwerk und seine Teile sollen eine den Anforderungen entsprechende planmäßige Nutzung ermöglichen.

Durch geeignete Wahl der Baustoffe, eine ausreichende Dimensionierung der Bauteile und Wahl geeigneter Tragsysteme ist die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit des Tragwerks und seiner Teile mit angemessener Zuverlässigkeit dauerhaft sicherzustellen. Das bedeutet, dass eine Beständigkeit gegen auftretende Einwirkungen erreicht wird und während der gesamten Nutzungsdauer sichergestellt ist (vgl. hierzu auch DIN 1055-100 [7], Abschnitt 4.2).

Entsprechend der genannten Aufteilung der Anforderungen ist die Bemessung von Tragwerken und Tragwerksteilen für unterschiedlich definierte Grenzzustände durchzuführen:

– Grenzzustand der Tragfähigkeit

Zustand, dessen Überschreitung rechnerisch unmittelbar zum Einsturz oder anderen Formen des Versagens führt.

– Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Zustand, bei dessen Überschreitung die für die Nutzung festgelegten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind. Die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit für Porenbetonbauteile sind in DIN 4223-2 [2] festgelegt durch die

- Begrenzung der Rissbreiten
- Begrenzung der Verformungen.

Die rechnerischen Nachweise für die so definierten Grenzzustände werden für alle Bemessungssituationen durch den Vergleich einer Beanspruchung mit einem zugehörigen Bauteilwiderstand, d.h. den im Querschnitt aufnehmbaren Wert derselben Größe, geführt.

Es werden folgende Bemessungssituationen unterschieden:

- Bemessungssituationen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit
 - **ständige Situationen**, die den üblichen Nutzungsbedingungen des Tragwerks entsprechen.
 - **vorübergehende Situationen**, die sich auf zeitlich be-

grenzte Zustände des Tragwerks beziehen, z.B. im Bauzustand oder bei der Instandsetzung.

- **außergewöhnliche Situationen**, die sich auf außergewöhnliche Einwirkungen auf das Tragwerk, z.B. Explosion oder Fahrzeuganprall, beziehen. Zu den außergewöhnlichen Bemessungssituationen sind auch seismische Einwirkungen auf das Tragwerk zu rechnen.
- Bemessungssituationen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit
 - **seltene Situationen** mit nicht umkehrbaren (bleibenden) Auswirkungen auf das Tragwerk.
 - **häufige Situationen** mit umkehrbaren (nicht bleibenden) Auswirkungen auf das Tragwerk.
 - **quasi-ständige Situationen** mit Langzeitauswirkungen auf das Tragwerk.

Gemäß dem Nachweis Konzept der DIN 1055-100 ist die geforderte Zuverlässigkeit des Tragwerks in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit mit unterschiedlichen Teilsicherheitsbeiwerten auf der Einwirkungs- und Bauteilwiderstandsseite nachzuweisen. Durch diese Aufteilung in einwirkungs- und materialbezogene Sicherheiten können die unterschiedlichen stochastischen Verteilungen der einzelnen Kenngrößen genauer berücksichtigt und in der Bemessung besser gewichtet werden.

Einwirkungen, Auswirkungen, Beanspruchungen

Einwirkungen sind die auf das Tragwerk einwirkenden Kraft- oder Verformungsgrößen. Entsprechend ihrer zeitlichen Veränderlichkeit werden die Einwirkungen wie folgt unterteilt:

– ständige Einwirkungen G:

Einwirkungen, deren zeitliche Änderungen gegenüber dem Mittelwert vernachlässigt werden können oder bei denen die Änderungen bis zum Erreichen eines Grenzwertes gleichmäßig (monoton) verlaufen, z.B. Eigenlast des Tragwerks (einschließlich nicht tragender Teile), horizontaler Erddruck (aus Eigengewicht).

– veränderliche Einwirkungen Q:

Einwirkungen, bei denen zeitliche Änderungen häufig und nicht monoton veränderlich auftreten, z.B. Nutzlast, Verkehrslast, Windlast, Schneelast.

– außergewöhnliche Einwirkungen A:

Einwirkungen von gewöhnlich kurzer Dauer, die während der Nutzungsdauer des Tragwerks mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht auftreten, deren Auftreten aber zu erheblichen Schäden am Tragwerk führen kann, z.B. Explosionen, Anprall von Fahrzeugen, Erdbeben.

Die Zahlenwerte für die einzelnen Einwirkungen sind den jeweiligen Lastnormen (z.B. der Normenreihe DIN 1055) zu entnehmen oder im Einzelfall zwischen Bauherr, Tragwerksplaner und Bauaufsicht zu vereinbaren. Diese Werte sind die charakteristischen Werte der Einwirkungen (G_k , Q_k , A_{1k}). Für die Nachweise in den Grenzzuständen werden die veränderlichen Einwirkungen aus den charakteristischen Werten, den Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten ermittelt.

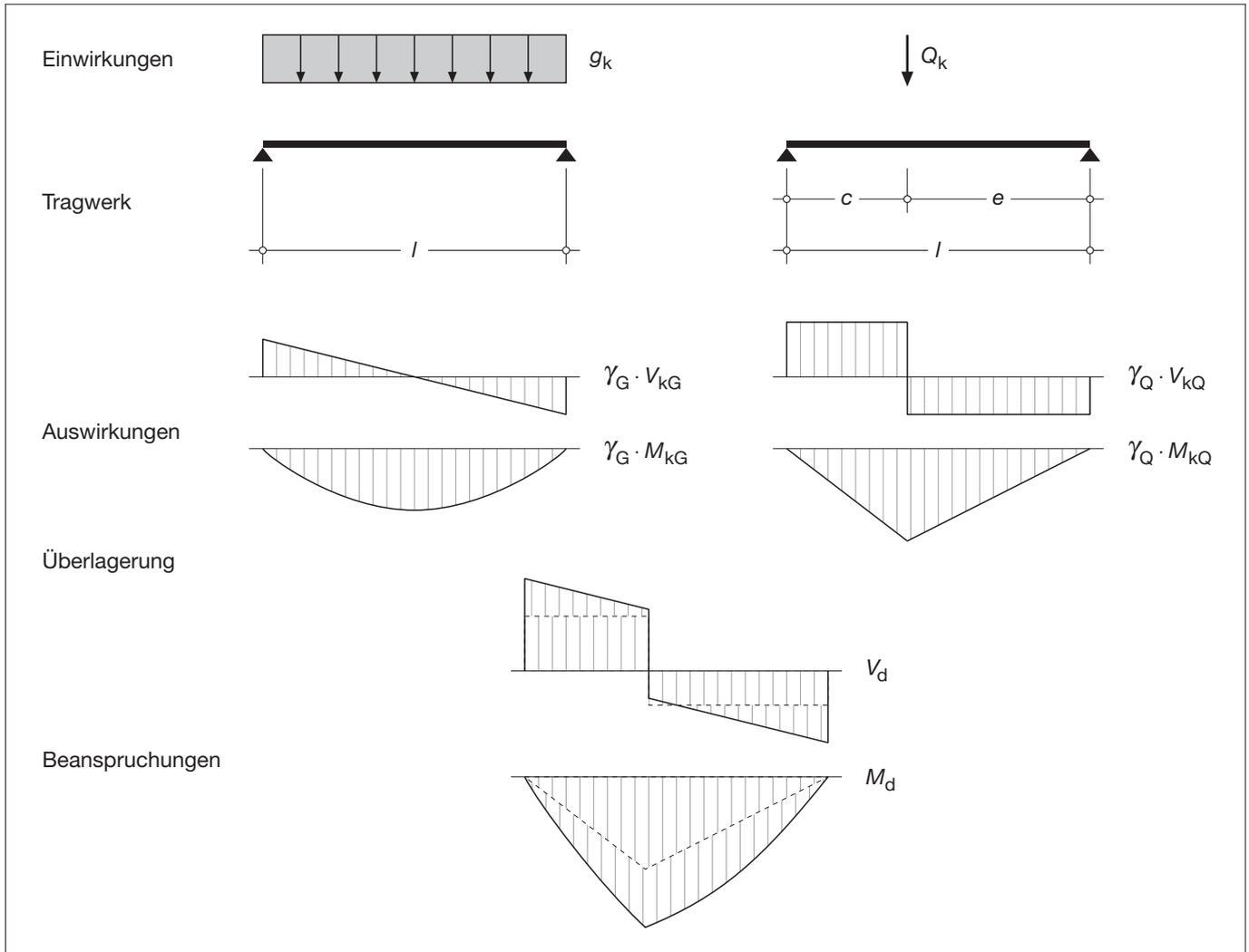


Abb 5.1: Zusammenhang zwischen Einwirkung, Auswirkung und Beanspruchung

Die Auswirkung E ist die unmittelbare Folge einer Einwirkung auf das Tragwerk oder seine Teile (z. B. Schnittgröße, Spannung, Dehnung, Verformung).

Die Beanspruchung ist die Folge der gleichzeitig zu betrachtenden Einwirkungen bzw. einer Einwirkungskombination auf das Tragwerk (Überlagerung der für die jeweilige Bemessungssituation maßgebenden Einwirkungen).

Die Zusammenhänge zwischen Einwirkungen, Auswirkungen und Beanspruchungen sind am Beispiel eines Einfeldträgers (Platte oder Balken) in Abb. 5.1 als Prinzip dargestellt.

Zu Abschnitt 1: Anwendungsbereich

Das für einen rechnerischen Nachweis der Zuverlässigkeit anzuwendende Sicherheitskonzept ist bauartübergreifend in DIN 1055-100 [7] geregelt. In DIN 1055-100 sind auch die zu berücksichtigenden Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen sowie die Kombinationsregeln für mehrere, voneinander unabhängige veränderliche Einwirkungen festgelegt.

In DIN 4223-5 Tabelle 1 sind die für den typischen Anwendungsbereich von Porenbetonbauteilen in Bauwerken maßgebenden Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen vereinfachend zusammengefasst (vgl. auch Tabelle 5.2). Die Teilsicherheitsbeiwerte der Baustoffeigenschaften sind in DIN 4223-5 Tabelle 2 angegeben (siehe Tabelle 5.1).

DIN 4223-5 enthält zur Vereinfachung Auszüge aus DIN 1055-100, die den Großteil der üblichen Bemessungsaufgaben im Grenzzustand der Tragfähigkeit abdecken. In besonderen Fällen, z. B. bei der Berücksichtigung mehrerer unabhängiger veränderlicher Einwirkungen, ist DIN 1055-100 hinzuzuziehen.

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist neben den Hinweisen in DIN 4223-2 [2] immer DIN 1055-100 zu beachten.

Zu Abschnitt 4: Tragwiderstand

Die charakteristischen Werte der Baustoffeigenschaften X_k sind der Norm DIN 4223-1 [1] bzw. der jeweiligen Technischen Baubestimmung zu entnehmen. Die charakteristische Werte

Bemessungssituationen	Porenbeton		Stahl
	duktiler Versagen γ_{c1}	sprödes Versagen γ_{c2}	
Grenzzustände der Tragfähigkeit			
ständige und vorübergehende	1,3	1,7	1,15
außergewöhnliche	1,2	1,4	1,0
infolge von Erdbeben	1,1	1,2	1,0
Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit			
seltene	1,0		1,0
häufige	1,0		1,0
quasi-ständige	1,0		1,0

Tabelle 5.1: Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften

werden in der Regel als 5%-Quantilwerte aus der stochastischen Verteilung der jeweiligen Eigenschaft ermittelt.

Der Bemessungswert der Baustoffeigenschaft X_d ist aus dem charakteristischen Wert der Baustoffeigenschaft X_k und dem materialbezogenen Teilsicherheitsbeiwert γ wie folgt zu ermitteln:

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma} \quad (5.1)$$

Dabei ist γ der Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoffeigenschaft nach DIN 4223-5 Tabelle 2. Es gilt $\gamma = \gamma_{c1}$ bzw. $\gamma = \gamma_{c2}$ für Porenbeton und $\gamma = \gamma_s$ für Betonstahl. Mit der Festlegung von zwei Teilsicherheitsbeiwerten für den Porenbeton werden die unterschiedlichen Versagensformen, Versagen mit Vorankündigung (duktiler Versagen) und ohne Vorankündigung (sprödes Versagen), berücksichtigt.

In Tabelle 5.1 sind die in DIN 4223-5 Tabelle 2 angegebenen Teilsicherheitsbeiwerte der Baustoffeigenschaften für die Bemessungssituationen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit zusammengefasst.

Die charakteristischen Werte der mechanischen Eigenschaften von Wänden aus Porenbeton nach DIN 4223-3 [3] (Druckfestigkeit der Wand, Haftscherfestigkeit der Fugen, Biegezugfestigkeit der Wand) werden aus den Mittelwerten der Baustoffeigenschaften abgeleitet.

**Zu Abschnitt 5:
Grenzzustände der Tragfähigkeit**

Grundsätzlich ist in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit der Nachweis in der Form

$$E_d \leq R_d \quad (5.2)$$

zu führen. Dabei ist:

E_d der Bemessungswert der Beanspruchung, z.B. der Schnittkraft oder des Schnittmomentes, für die maßgebende Bemessungssituation

R_d der Bemessungswert des Tragwiderstandes. Der Bemessungswert des Tragwiderstandes ist im Allgemeinen als Funktion der Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften X_d und der Bemessungswerte der maßgebenden geometrischen Größen (im Allgemeinen Nennwerte) zu bestimmen.

Für den typischen Anwendungsbereich von Porenbetonbauteilen nach DIN 4223 sind die Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen in Tabelle 5.2 angegeben. Diese Teilsicherheitsbeiwerte gelten für das Versagen des Tragwerks oder eines seiner Teile durch Bruch oder übermäßige Verformung. Die Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen für den Nachweis der Lagesicherheit des Tragwerks sind DIN 1055-100 [7], Tabelle A.3 zu entnehmen.

Für den Nachweis der Tragfähigkeit sind die für den jeweils betrachteten Grenzzustand der Tragfähigkeit maßgebenden Einwirkungen bzw. deren Auswirkungen zu kombinieren. Für Porenbetonbauteile gilt für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen die aus DIN 1055-100 [7], Gleichung (14) abgeleitete Grundkombination mit einer veränderlichen Einwirkung

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \right\} \quad (5.3)$$

Dabei ist

E_d der Bemessungswert der Beanspruchung
 $E\{..}$ „Funktion von“; Überlagerung der Bemessungswerte der Einwirkungen unter Berücksichtigung der Sicherheitsbeiwerte und des statischen Systems
 \oplus „in Kombination mit“

Bemessungssituation	Einwirkungen	Teilsicherheitsbeiwerte	
		ungünstig wirkend	günstig wirkend
ständig und vorübergehend	ständige	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,00$
	veränderliche	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_G = 0$
außergewöhnlich	ständige und veränderliche	$\gamma_A = 1,00$ ¹⁾	$\gamma_A = 1,00$ ¹⁾
Bauzustände	ständige und veränderliche	$\gamma_G = 1,15$	$\gamma_G = 1,00$

¹⁾ nach DIN 1055-100 [7], Tabelle A.3

Tabelle 5.2: Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen

Σ	„Kombination der unabhängigen Einwirkungen infolge von“	$M_d = 1,35 \cdot g_k \cdot b \cdot \frac{c \cdot e}{2} + 1,5 \cdot Q_k \cdot \frac{c \cdot e}{l}$	(5.4)
$G_{k,j}$	die unabhängige ständige Einwirkung, bestehend aus einem oder mehreren charakteristischen Werten ständiger Kraft- oder Verformungsgrößen, z.B. Eigenlast	Dabei ist	
$Q_{k,1}$	die (vorherrschende) unabhängige veränderliche Einwirkung, bestehend aus einem oder mehreren charakteristischen Werten veränderlicher Kraft- oder Verformungsgrößen, z.B. Verkehrslast	g_k die Summe aus dem charakteristischen Wert der Eigenlast der Deckenplatte und den charakteristischen Werten weiterer ständiger Lasten (z. B. Fußbodenaufbau, Putz, Verkleidung)	
$\gamma_{G,j}$	der Teilsicherheitsbeiwert der unabhängigen ständigen Einwirkung $G_{k,j}$	b die Breite der Deckenplatte	
$\gamma_{Q,1}$	der Teilsicherheitsbeiwert der unabhängigen veränderlichen Einwirkung $Q_{k,1}$	c, e die Abstände der Einzellast jeweils vom Trägerende nach Abb 5.1	
		Q_k der charakteristische Wert der veränderlichen Last (im Beispiel eine Einzellast)	
		l die Stützweite der Deckenplatte	

Für das in Abb. 5.1 dargestellte Beispiel ergibt sich der Bemessungswert des Biegemomentes M_d einer Deckenplatte mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach Tabelle 5.2 für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen an der Stelle der Einzellast zu

Aufgrund der linear-elastischen Berechnung der Schnittkräfte können für den Nachweis der Tragfähigkeit anstelle der Einwirkungen auch die Auswirkungen kombiniert werden:

Einwirkung	Kategorie ¹⁾	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nutzlasten				
Wohn-, Büro- und Aufenthaltsräume	A, B	0,7	0,5	0,3
Versammlungs- und Verkaufsräume	C, D	0,7	0,7	0,6
Lagerräume	E	1,0	0,9	0,8
Verkehrslasten				
Fahrzeug bis 30 kN	F	0,7	0,7	0,6
Dächer	H	0	0	0
Schneelasten (Orte bis NN +1000m)		0,5	0,2	0
Windlasten		0,6	0,5	0
Temperatur (außer Brand)		0,6	0,5	0
Baugrundsetzungen		1,0	1,0	1,0
Sonstige Einwirkungen (z. B. Erddruck)		0,8	0,7	0,5

¹⁾ Nutzlastkategorie entsprechend DIN 1055-3 [6], Tabelle 1 bis Tabelle 3

Tabelle 5.3: Kombinationsbeiwerte ψ_i

$$\begin{aligned}
 M_{k,G} &= g_k \cdot b \cdot c \cdot e/2 \\
 M_{k,Q} &= Q_k \cdot c \cdot e/l \\
 M_d &= 1,35 \cdot M_{k,G} + 1,5 \cdot M_{k,Q}
 \end{aligned}
 \tag{5.5}$$

Sind neben der vorherrschenden veränderlichen Einwirkung weitere unabhängige veränderliche Einwirkungen für den Nachweis der Tragfähigkeit zu berücksichtigen, dürfen diese Einwirkungen mit einem Kombinationsbeiwert ψ_i abgemindert werden. Die so ermittelten repräsentativen Werte berücksichtigen die geringere Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens mehrerer voneinander unabhängiger veränderlicher Einwirkungen. Der Bemessungswert der Beanspruchung ergibt sich in diesem Fall nach der entsprechend erweiterten Gleichung (5.3):

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} (\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) \right\}
 \tag{5.6}$$

Dabei ist

- $Q_{k,i}$ die andere unabhängige veränderliche Einwirkung, bestehend aus einem oder mehreren charakteristischen Werten veränderlicher Kraft- oder Verformungsgrößen, z. B. Verkehrslast.
- $\gamma_{Q,i}$ der Teilsicherheitsbeiwert für die andere unabhängige veränderliche Einwirkung $Q_{k,i}$
- $\psi_{0,i}$ der Kombinationsbeiwert zur Bestimmung des repräsentativen Wertes der veränderlichen Einwirkung $Q_{k,i}$ nach DIN 1055-100, Tabelle A.2 (vgl. Tabelle 5.3)

Für eine Dachplatte eines Daches mit Dachterrasse nach Abb. 5.2 ergibt sich als Beispiel der Bemessungswert der Belastung für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen zu

$$\begin{aligned}
 q_d &= \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot s_k \\
 q_d &= 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k + 1,5 \cdot 0,5 \cdot s_k
 \end{aligned}
 \tag{5.7}$$

Dabei ist

- q_d der Bemessungswert der Belastung
- g_k der charakteristische Wert der Eigenlast des Daches
- q_k der charakteristische Wert der (vorherrschenden) veränderlichen Last
- s_k der charakteristische Wert der Schneelast

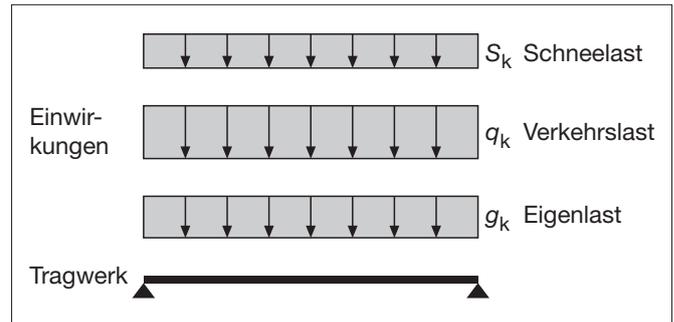


Abb. 5.2: Statisches System und Belastung einer Dachterrasseplatte

Ist nicht offensichtlich, welche unabhängige veränderliche Einwirkung die vorherrschende ist, sollte der Reihe nach jede in Frage kommende unabhängige veränderliche Einwirkung als vorherrschend untersucht werden. Das ist insbesondere bei der Bemessung von Sturzwandplatten mit gleichzeitig wirkenden Vertikal- und Horizontallasten zu beachten:

$$\begin{aligned}
 q_{d1,V} &= \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_{k,V} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{k,V} \\
 q_{d1,H} &= \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot w_k = 1,5 \cdot 0,6 \cdot w_k
 \end{aligned}
 \tag{5.8}$$

$$\begin{aligned}
 q_{d2,V} &= \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot q_{k,V} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot 0,7 \cdot q_{k,V} \\
 q_{d2,H} &= 1,5 \cdot w_k
 \end{aligned}$$

Dabei ist

w_k der charakteristische Wert der Windlast

**Zu Abschnitt 6:
Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit**

Für die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit wird in DIN 4223-5 auf die Regelungen der Norm DIN 1055-100 [7] verwiesen. Danach ist der Nachweis

$$E_d \leq C_d
 \tag{5.9}$$

zu führen. Dabei ist:

C_d Bemessungswert der geforderten Tragwerks- oder Bauteileigenschaft (Gebrauchstauglichkeitskriterium), z. B. ertragbare Verformung

Nachweiskriterium	Bemessungssituation	C_d
Porenbetondruckspannung	quasi-ständig	$0,45 \cdot f_{ck}$
Betonstahlzugspannung	selten	$0,8 \cdot f_{yk}$
Rissbreite w_k	häufig	$0,3 \dots 0,4 \text{ mm}^1$
Kurzzeitdurchbiegung w_{el}	häufig	$1/250$ der Stützweite ²⁾
Langzeitdurchbiegung w_{∞}	quasi-ständig	
(Berücksichtigung des Kriechens)		

¹⁾ in Abhängigkeit von der Expositionsklasse, siehe DIN 4223-2, 11.2.3, Tabelle 1

²⁾ bei Kragarmen ist für die Stützweite die 2,5fache Kragarmlänge anzunehmen

Tabelle 5.4: Nachweise nach DIN 4223-2 in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

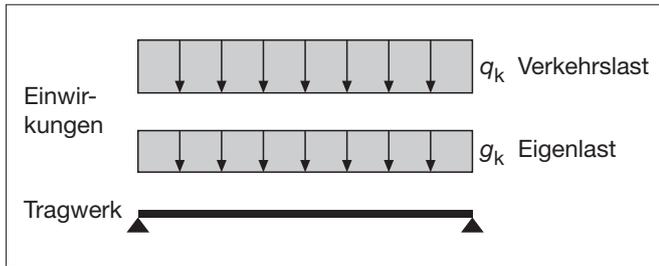


Abb. 5.3: Statisches System und Belastung einer Deckenplatte

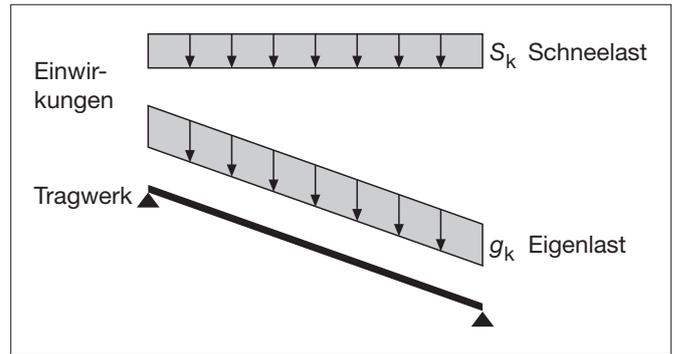


Abb. 5.4: Einwirkungen bei Dachplatten

E_d Bemessungswert der Beanspruchung, z. B. Verformung infolge der Einwirkungen.

Die maßgebenden Bemessungssituationen für die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit sind in DIN 4223-2, Abschnitt 11 angegeben. Zusammenfassend sind die Nachweiskriterien, die zugehörigen Bemessungssituationen und der jeweilige Bemessungswert des Gebrauchstauglichkeitskriteriums C_d in Tabelle 5.4 aufgeführt.

Die Bemessungswerte der Beanspruchung E_d in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit sind nach den folgenden aus den Gleichungen (22) bis (24) in DIN 1055-100, Abschnitt 10.4 abgeleiteten Kombinationsregeln zu ermitteln:

Seltene Kombination:

$$E_{d,rare} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} (\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) \right\} \quad (5.10)$$

Häufige Kombination:

$$E_{d,frequ} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) \right\} \quad (5.11)$$

Quasi-ständige Kombination:

$$E_{d,perm} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus \sum_{i \geq 1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) \right\} \quad (5.12)$$

Die für die Nachweise nach den Gleichungen anzuwendenden Kombinationsbeiwerte ψ nach DIN 1055-100 [7], Tabelle A.2, sind in Tabelle 5.3 angegeben.

Auf einen Nachweis der Porenbetondruckspannungen und der Betonstahlzugspannung darf nach DIN 4223-2 [2], Abschnitt 11.1.1 verzichtet werden, wenn die Bemessung des nachzuweisenden Bauteils nach DIN 4223-2 Abschnitt 10 erfolgt ist, die bauliche Durchbildung Abschnitt 12 entspricht und die Festlegungen für die Mindestbewehrung nach den Abschnitten 11.2.2 bzw. 11.2.4 eingehalten sind.

Zur Erläuterung der Kombinationsregeln in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit wird eine Deckenplatte nach Abb. 5.3 betrachtet.

Der Nachweis der Kurzzeitdurchbiegung für häufige Bemessungssituationen ist bei Einordnung in die Kategorie A nach

DIN 1055-3 [6] mit dem Bemessungswert der Belastung nach Gleichung (5.11) zu führen:

$$q_{d,frequ} = g_k + \psi_1 \cdot q_k = g_k + 0,5 \cdot q_k \quad (5.13)$$

Für die Dachterrassenplatte nach Abb. 5.2 ergibt sich der Bemessungswert der Belastung bei Einordnung des Bauwerks in die Lastkategorie A nach DIN 1055-3 entsprechend zu:

$$q_{d,frequ} = g_k + \psi_1 \cdot q_k + \psi_2 \cdot s_k = g_k + 0,5 \cdot q_k + 0 \cdot s_k \quad (5.14)$$

Handelt es sich um eine Dachplatte eines nur zu Reparaturzwecken begehbaren geneigten Daches (siehe Abb. 5.4), sind für die Ermittlung der Bemessungslast die Eigenlast des Daches (Platte inklusive Belag und Verkleidung), die Nutzlast nach DIN 1055-3, Kategorie H und die Schneelast zu kombinieren.

Da die Kombinationsbeiwerte für die Nutzlast nach Kategorie H gleich Null sind, wird die Schneelast zur vorherrschenden Einwirkung:

$$q_{d,frequ} = g_k + \psi_1 \cdot s_k = g_k + 0,2 \cdot s_k \quad (5.15)$$

Die charakteristischen Werte in Gleichung (5.15) sind hierbei die sich infolge der Dachneigung ergebenden Anteile.

Der Nachweis der Langzeitdurchbiegung für quasi-ständige Bemessungssituationen ist sowohl für die Deckenplatte nach Abb. 5.3 als auch für die Dachplatte des Terrassendaches nach Abb. 5.2 mit einem Bemessungswert der Belastung nach Gleichung (5.12)

$$q_{d,perm} = g_k + \psi_2 \cdot q_k = g_k + 0,3 \cdot q_k \quad (5.16)$$

zu führen. Für die Dachplatte des geneigten Daches nach Abb. 5.4 ergibt sich aufgrund der anzuwendenden Kombinationsbeiwerte der Bemessungswert der Belastung zu

$$q_{d,perm} = g_k \quad (5.17)$$

Literatur

- [1] DIN 4223-1:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 1: Herstellung, Eigenschaften, Übereinstimmungsnachweis. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [2] DIN 4223-2:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 2: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung, Entwurf und Bemessung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [3] DIN 4223-3:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 3: Wände aus Bauteilen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung – Entwurf und Bemessung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [4] DIN 4223-4:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 4: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung – Anwendung in Bauwerken. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [5] DIN 4223-5:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 5: Sicherheitskonzept. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [6] DIN 1055-3:2003-10: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003)
- [7] DIN 1055-100:2001-03: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung. Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2001)

Weitergehende Literatur

- DIN 1045-1:2001-07: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2001)
- DIN 4223:07.1958x: Bewehrte Dach- und Deckenplatten aus dampfgehärtetem Gas- und Schaumbeton. Richtlinien für Bemessung, Herstellung, Verwendung und Prüfung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- DIN 1055-4:1986-08: Lastannahmen für Bauten. Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1986)
- Zilch, K.; Rogge, A.: Bemessung der Stahlbeton- und Spannbetonbauteile nach DIN 1045-1. In: Beton-Kalender 2001, Teil 1, Verlag Ernst & Sohn
- Litzner, H.-U.: Die neue DIN 1045 Teil 1; Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. In: Betonwerk + Fertigteil – Technik, Heft 8, 67. Jahrgang (2001), S. 14-25
- DIN V ENV 1991-1: Eurocode 1 – Grundlagen von Entwurf, Berechnung und Bemessung sowie Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1: Grundlagen der Tragwerksplanung. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1995)
- Entwurf DIN EN 12 602. Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton (Deutsche Fassung prEN 12 602:1996). Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Jan. 1997)
- Entwurf DIN 4223. Gasbeton; Bewehrte Bauteile. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Ausz. 1978)
- Fischer, L.: Sicherheitskonzepte für neue Normen – ENV und DIN-neu; Teil 10: Methode der Grenzzustände (Methode der Teilsicherheitsbeiwerte) In: Bautechnik, Heft 11, Jahrgang 76 (1999)

Nachweis der Befestigung

Übergangsregelung für den Nachweis der Befestigung

Die Befestigung der Bauteile aus Porenbeton an die Unterkonstruktion erfolgt nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Nr. Z-2.1-38 (Verankerungsmittel für Porenbetonmontagebauteile), die jedoch noch nicht auf das Sicherheitskonzept der Teilsicherheitsbeiwerte umgestellt ist.

Nach der durch das DIBt genehmigten Übergangsregelung dürfen bis zur Festlegung der charakteristischen Halterungskraft und des anzuwendenden Teilsicherheitsbeiwertes die Bemessungswerte der aufnehmbaren Halterungskraft nach der folgenden Gleichung ermittelt werden:

$$Z_{Rd} = (2 \cdot \text{zul } Z) / \gamma_{c2}$$

mit:

Z_{Rd} = Bemessungswert der aufnehmbaren Halterungskraft

zul Z = zulässige Halterungskraft nach Zulassung Z-2.1-38, Tabelle 1 und 2

γ_{c2} = Teilsicherheitsbeiwert für sprödes Versagen = 1,7

Sinngemäß gilt dies auch für die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen Nr. Z-2.1-14.1 und Z-2.1-14.2.

Druckfehler in DIN 4223-2:2003-12

Abschnitt 3.2.1, Seite 9:

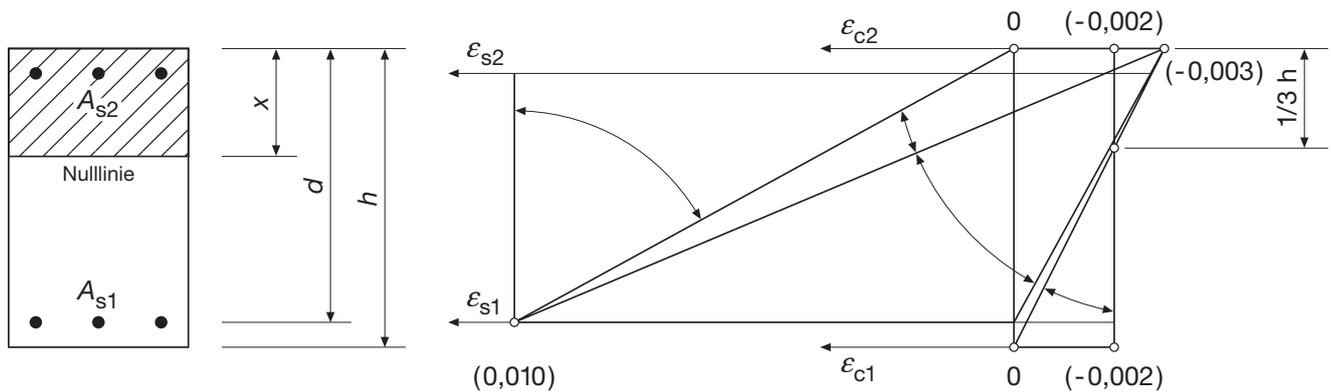
Die Erläuterung zu n_p muss richtig lauten (vgl. Seite 41 der Norm):
 „ n_p Anzahl der Querstäbe im Wirkungsbereich von Querdruck“

Abschnitt 8.3.3.2, Seite 18:

Im Abschnitt vor Gleichung (9) muss es richtig heißen:
 „... ist für den kritischen Querschnitt in den Gleichungen (6) bis (8) ...“

Abschnitt 10.2, Seite 25:

Bild 7 enthält Unstimmigkeiten und sollte wie folgt aussehen:



Abschnitt 10.4, Seite 29:

Gleichung 23 soll heißen:

$$\frac{T_{Sd}}{T_{Rd1}} \leq 0,3 \quad \text{und} \quad \frac{V_{Sd}}{V_{Rd1}} \leq 0,95$$

Gleichung 24 soll heißen:

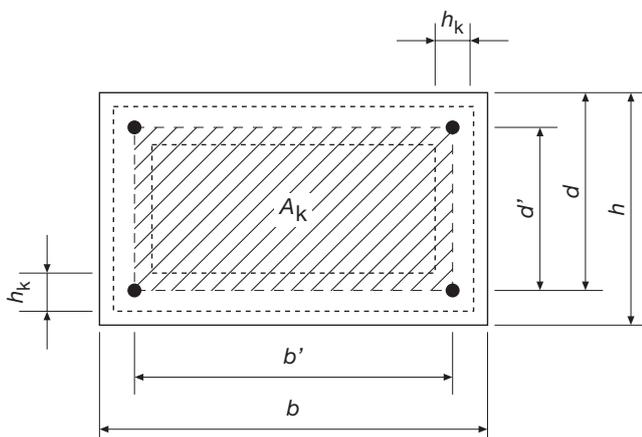
$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd1}} \leq 0,3 \quad \text{und} \quad \frac{T_{Sd}}{T_{Rd1}} \leq 0,95$$

Gleichung 25 soll heißen:

$$\frac{T_{Sd}}{V_{Rd1}} + \frac{V_{Rd}}{V_{Rd1}} \leq 1,25$$

Abschnitt 10.4, Seite 30:

In Bild 9 ist die Bezeichnungen h' durch d' zu ersetzen und die Darstellung des idealisierten Kastenquerschnitts zu korrigieren:



Druckfehler in DIN 4223-2:2003-12

Abschnitt 11.2.4, Seite 38:

Gleichung (32) muss richtig lauten:

$$A_{sw} = 1,1 \cdot \frac{V_{Sd}}{d \cdot \sigma_{swd}} \cdot s$$

$$A_{sw} = 1,1 \cdot \tau_{Rd} \cdot (1 - 0,83 \cdot d) \cdot (1 + 240 \cdot \rho_l) \cdot \frac{s \cdot b_w}{\sigma_{swd}}$$

Unmittelbar nach Gleichung (32) ist zu ergänzen:

„Der Nachweis der Mindestquerkraftbewehrung ist für alle Querschnitte eines Balkens zu führen.

Dabei ist der jeweils kleinere Wert A_{sw} für die Bemessung der Mindestquerkraftbewehrung maßgebend.“

Abschnitt 11.3.2, Seite 38:

Bei den Erläuterungen zu Gleichung (33) muss es richtig heißen:

„ φ_∞ .. die Endkriechzahl nach DIN 4223-1:2003-12, Tabelle 6;“

„ $\epsilon_{s,0}$ das Schwindmaß in mm / m nach DIN 4223-1:2003-12, Tabelle 6;“

Druckfehler in DIN 4223-3:2003-12

Inhalt, Seite 1:

Im Inhaltsverzeichnis fehlt der Abschnitt

„5.2 Nachweis der Tragfähigkeit vertikal beanspruchter Wände“

Abschnitt 3.2, Seite 5:

Das Symbol des kleinsten Bemessungswertes der Druckspannung muss richtig lauten:

„ σ_{sd} “ (ohne Komma im Index)

Abschnitt 4.3.3, Seite 6:

Der erste Satz endet mit einem Doppelpunkt

„... angenommen werden.“

richtig muss an dieser Stelle ein Punkt stehen

„... angenommen werden.“

Abschnitt 5.2.2, Seite 10:

Die Erläuterung des Abminderungsfaktors zu Gleichung (2) muss richtig lauten:

„ Φ ein Abminderungsfaktor nach 5.2.3.1 und 5.2.3.2 zur Berücksichtigung der Lastausmitte, der Schlankheit der Wand und des Auflagerdrehwinkels am Endauflager von Decken;“

Abschnitt 5.4, Seite 14:

Der Satz vor Gleichung (9) muss richtig lauten:

„Der Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft V_{Rd} darf wie folgt berechnet werden:“

Im zweiten Satz der Erläuterung für c zu Gleichung (9) muss es richtig heißen:

„... Für hohe Wände mit $h / l_w \geq 2$...“

Abschnitt 5.5, Seite 15:

Der erste Satz muss richtig heißen:

„Bei einer nur durch Eigenlast ...“

Druckfehler in DIN 4223-4:2003-12

Abschnitt 3.2, Seite 5:

Die erste Erläuterung im Abschnitt 3.2 Formelzeichen muss richtig lauten:

„ A_j angenommene Scherfläche im Porenbeton ($j = 1, 2, 3, \dots$)“

Abschnitt 3.2, Seite 6:

Die Erläuterung zu α_q muss richtig lauten:

„ α_q Lasterhöhungsbeiwert zur Bemessung ...“

Abschnitt 5.4, Seite 14:

Gleichung (2) muss richtig lauten:

$$Z_d = (1 + \alpha_z) \cdot \gamma_Q \cdot w \cdot b \cdot l / 2$$

Die Erläuterungen zu Gleichung (2) sind entsprechend zu ergänzen:

„ γ_Q Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen nach DIN 4223-5, Tabelle 1“

Abschnitt 5.4, Seite 16:

Letzter Satz im Abschnitt muss lauten „... nach DIN 4223-1:2003-12, 4.1.3 zu führen.“

Abschnitt 6.1.2, Seite 20:

Die letzte Erläuterung zu Gleichung (7) muss richtig lauten:

„ γ_{c2} der Teilsicherheitsbeiwert für Porenbeton bei sprödem Versagen nach DIN 4223-5.“

Abschnitt 6.2.2, Seite 22:

Im zweiten Absatz muss es richtig heißen:

„... darf der Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft je Schubdübel $V_{Rd,Dü}$ wie folgt ...“

Abschnitt 6.2.3, Seite 24:

Der vierte Anstrich des zweiten Absatzes muss richtig lauten:

„- Der umlaufende Ringanker ist kraftschlüssig mit den Dachbauteilen verbunden.“

Abschnitt 6.4, Seite 25:

Im vierten Anstrich muss es richtig heißen:

„... der für die Aufnahme der Schubkraft in der Fuge ...“

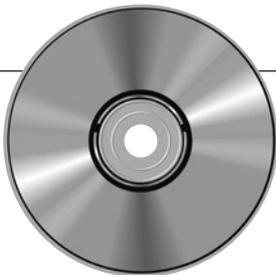
Inhaltsverzeichnis CD-ROM

Bemessung von Porenbetonbauteilen nach DIN 4223-2:2003-12

Beispiel 1:	Deckenplatte mit Gleichlast
Beispiel 2:	Dachplatte mit 6,0 m Stützweite
Beispiel 3:	Dachplatte mit 6,5 m Spannweite
Beispiel 4:	Dachplatte mit 5,0 m Stützweite, in Schräge (45°) verlegt
Beispiel 5:	Kragplatte
Beispiel 6:	Deckenplatte mit Druckbewehrung
Beispiel 7:	Kellerwandplatte
Beispiel 8:	Sturzwandplatte
Beispiel 9:	Brüstungsplatte
Beispiel 10:	Fassadenplatte
Beispiel 11:	Einfeldbalken

Besondere Nachweise

Beispiel 12:	Nachweis der Teilflächenpressung
Beispiel 13:	Durchstanznachweis
Beispiel 14:	Sturzwandplatte nach Typenstatik



Auf der beiliegenden CD-ROM sind neben dem Erläuterungstext Beispiele zur Bemessung von Porenbetonbauteilen enthalten. Weitere Beispiele sowie eventuelle Aktualisierungen werden unter **www.bv-porenbeton.de** ins Internet gestellt. Adobe Reader Version 5 oder neuer erforderlich.

Inhaltsverzeichnis CD-ROM

Bemessung von Porenbetonbauteilen nach DIN 4223-**3**:2003-12

- Beispiel 1: Innenwand aus stehend angeordneten Wandbauteilen
- Beispiel 2: Außenwand aus stehend angeordneten Wandbauteilen
- Beispiel 3: Kelleraußenwand aus stehend angeordneten Wandbauteilen
- Beispiel 4: Innenwand aus liegend angeordneten Wandbauteilen
- Beispiel 5: Außenwand aus stehend angeordneten Wandbauteilen zur Ausfachung
- Beispiel 6: Ausfachende Außenwand aus liegend angeordneten Wandbauteilen mit Stoßfugen
- Beispiel 7: Konzentrierte Lasten (Teilflächenlasten)

Inhaltsverzeichnis CD-ROM

Bemessung von Porenbetonbauteilen nach DIN 4223-4:2003-12

- Beispiel 1: Decke aus vorgefertigten Platten mit Wandlast
- Beispiel 2: Dachscheibe (Typ II) aus vorgefertigten bewehrten Porenbeton-Platten
- Beispiel 3: Dachscheibe (Typ I) aus vorgefertigten bewehrten Porenbeton-Platten
- Beispiel 4: Deckenscheibe (Typ II) mit diskreten Schubdübeln aus vorgefertigten Porenbeton-Platten
- Beispiel 5: Wand aus vorgefertigten bewehrten Porenbeton-Bauteilen