

PORENBEETON BERICHT 5

Dachscheiben aus Porenbetonfertigteilen



DACHSCHEIBEN AUS PORENBETON- FERTIGTEILEN

Herausgeber: Bundesverband Porenbetonindustrie e. V.
Vertrieb: BVP Porenbeton Informations-GmbH
Postfach 21 02 63, 30402 Hannover · Entenfangweg 15, 30419 Hannover
Telefon 05 11 / 390 89 77 · Telefax 05 11 / 390 89 790
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

Ausgabe: 2. Auflage 2008

Veröffentlichungen, auch auszugsweise, bedürfen der schriftlichen Genehmigung des Herausgebers.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1. Einführung	5
2. Berechnungsgrundlagen	6
2.1 Vorbemerkung	6
2.2 Systemannahmen	6
2.3 Werkstoffverhalten	6
2.4 Fugentragverhalten	6
3. Trag- und Verformungsverhalten	11
3.1 Allgemeines	11
3.2 Versagensarten	12
3.3 Biegetragverhalten	12
3.4 Schubtragverhalten im Auflagerbereich	12
3.5 Schubtragverhalten der Fugen	13
3.6 Überlagerung von Scheiben- und Plattenwirkung	13
4. Vereinfachtes Bemessungsverfahren	15
4.1 Voraussetzungen der Anwendbarkeit	15
4.2 Bemessung des Zugbandes	15
4.3 Schubbemessung am Scheibenaufleger	16
4.4 Schubbemessung der Fugen	17
4.5 Bemessung der Scheibenaufleger	18
5. Konstruktive Durchbildung	19
5.1 Vorbemerkung	19
5.2 Fugenbewehrung	19
5.3 Fugenausbildung	19
5.4 Auflagerausbildung	19
5.5 Öffnungen	19
6. Bemessungsbeispiel	21
6.1 Nachweis der Plattenwirkung	21
6.2 Nachweis der Scheibenwirkung	22
6.2.1 Scheibentyp I	22
6.2.2 Scheibentyp II	24
Zusammenfassung	26
Quellenverzeichnis	27
Anhang / Checkliste	28

Vorwort

Mit der bauaufsichtliche Einführung der Normen der Reihe DIN 4223:2003-12 ([11] bis [14]) haben sich die Berechnungsgrundlagen für die Bemessung und Ausführung von bewehrten Bauteilen aus dampfgehärtetem Porenbeton wesentlich verändert. Das gilt insbesondere für das Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte, das der Norm DIN 4223:2003-12 zugrunde liegt. Für Neu- und Umbauten unter Verwendung von Porenbetonfertigteilen ist somit grundsätzlich die Norm DIN 4223 anzuwenden, sofern nicht auf geltende allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen zurückgegriffen werden kann.

Das vorliegende Berichtsheft 5, Dachscheiben aus Porenbeton, basiert auf dem 1993 vom Bundesverband zuletzt herausgegebenen Berichtsheft 5 [8], Berechnung und Ausführung von Dachscheiben aus Porenbetonplatten. Gegenüber dem bisherigen Berichtsheft wurde die Bemessung auf das Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte und auf die Bemessungsregeln von DIN 4223:2003-12 umgestellt. Die allgemeinen Grundlagen und die konstruktiven Hinweise wurden mit Ergänzungen vollständig übernommen, da sich hieran mit Einführung der DIN 4223:2003-12 nichts geändert hat.

1. Einführung

Die Bemessung und Ausführung von Dachscheiben erfolgte bisher nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (z.B. [15]). Im Rahmen der Erteilung dieser Zulassungen wurden rechnerische Untersuchungen der Tragfähigkeit von Scheiben aus Porenbetonbauteilen und Tragfähigkeitsversuche vorgenommen. In Auswertung dieser Untersuchungen wurde im Jahre 1977 in Heft 9 und 10 der Zeitschrift Betonwerk + Fertigteil-Technik ein Aufsatz zur Bemessung und Ausführung von Dachscheiben veröffentlicht, der dem bisherigen Berichtsheft 5 zugrunde lag.

Im November 1977 wurden vom damaligen Institut für Bautechnik (heute Deutsches Institut für Bautechnik) Zulassungsbescheide [1] für Dachscheiben aus Porenbetonbauteilen erteilt. Grundlage für die Zulassungserteilung war ein Gutachten [2], das im Auftrag des Bundesverbandes Porenbetonindustrie e.V. im Oktober 1974 vorgelegt wurde. Bereits vor diesem Zeitpunkt sind Dachscheiben aus Porenbetonbauteilen ähnlich beurteilt worden [3]. Die in diesem Rahmen durchgeführten Untersuchungen stützten sich auf Kleinversuche an Plattenausschnitten zur Ermittlung des Fugentragverhaltens. Wegen der Spaltwirkung der zur Sicherung der Schubübertragung in den Fugen erforderlichen Betondübel lieferten diese Untersuchungen ungünstige Ergebnisse, die nur die Ausführung kleiner Scheibenspannweiten zuließen.

Zur besseren Beurteilung von Dachscheiben aus Porenbetonbauteilen musste das wirkliche Trag- und Verformungsverhalten vergossener Plattenfugen mit diskreten Schubdübeln (in [8] als „Fräsdübel“ bezeichnet) zunächst durch großmaßstäbliche Versuche [4] geklärt werden. Die wichtigsten Ergebnisse der im Anschluss an die Versuche durchgeführten numerischen Untersuchungen und die Grundlagen des in den bisher geltenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (z.B. [15]) geregelten vereinfachten Bemessungsverfahrens werden im Folgenden erläutert.

2. Berechnungsgrundlagen

2.1 Vorbemerkung

Voraussetzung für eine wirklichkeitsnahe Berechnung und Bemessung von Scheiben aus Fertigteilen ist eine möglichst genaue Beschreibung der Werkstoffgesetze der für die Herstellung der Fertigteile verwendeten Baustoffe (Porenbeton und Bewehrungsstahl). Dies wird ebenso für das Zusammenwirken der Bauteile untereinander für die Beschreibung des Trag- und Verformungsverhaltens der mit Zementmörtel oder Beton vergossenen Bauteilfugen (siehe DIN 4223-4, Abschnitt 7.4) benötigt. Aufgrund der dabei zu berücksichtigenden Nichtlinearitäten (z.B. bilineare Spannungs-Dehnungs-Beziehungen) scheiden geschlossene Lösungen zur Ermittlung der Spannungen, Kräfte und Verformungen im Wesentlichen aus.

In der Regel werden derartige Aufgaben unter Anwendung der Finite-Elemente-Methode iterativ gelöst [5]. Prinzipiell wird dabei das gesamte Scheibentragwerk in hinreichend kleine („finite“) Elemente unterteilt, wobei die unterschiedlichen Werkstoffe zu berücksichtigenden sind (Porenbeton-, Stahl- und Fugenelemente). Die Steifigkeit der Elemente, die unter anderem vom jeweiligen Elastizitätsmodul, der Verbundsteifigkeit und der Schubsteifigkeit abhängt, wird entsprechend der Beanspruchung schrittweise verändert, bis sich ein Gleichgewichtszustand einstellt.

Neben den Annahmen für Werkstoff- und Verbundgesetze ist bei der Ermittlung der Schnittkräfte in Scheiben eine möglichst realitätsnahe Beschreibung der Auflagerbedingungen und der Lasteinwirkung von Bedeutung. Dies gilt insbesondere auch bei der Ermittlung der Scheibenschnittkräfte unter Anwendung von Berechnungsprogrammen auf Basis der Finite-Elemente-Methode.

2.2 Systemannahmen

Die praktisch vorkommenden Systeme von Dachscheiben zur Gebäudeaussteifung lassen sich gemäß Bild 1 in zwei Gruppen unterteilen:

- Scheibentyp I die Einzelbauteile sind parallel zur Scheibenspannungsrichtung angeordnet
- Scheibentyp II die Einzelbauteile sind rechtwinklig zur Scheibenspannungsrichtung angeordnet.

Für beide Gruppen wurden Rechteckscheiben mit unterschiedlichen Außenabmessungen, unterschiedlicher Größe der einzelnen Platten sowie unterschiedlicher Bewehrung und Auflagerung rechnerisch untersucht.

2.3 Werkstoffverhalten

Für die Werkstoffe Porenbeton und Bewehrungsstahl können die Spannungs-Dehnungs-Beziehungen der DIN 4223-2 [12] entnommen werden. Im Bild 2 sind die entsprechenden Werkstoff-Kennlinien jeweils als bilineare Funktionen dargestellt. Die Querdehnungszahl wird für den Porenbeton und für den Normalbeton mit $\mu = 0,2$ angesetzt.

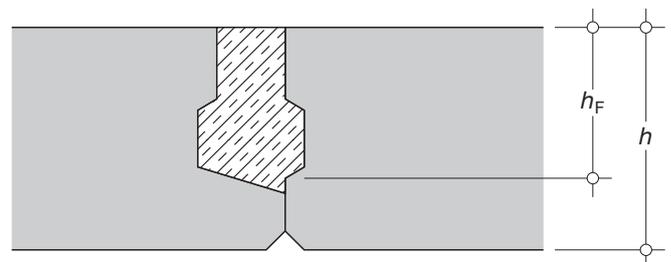
Für den Verbund zwischen Fugenbewehrung und Porenbetonplatten gelten andere Beziehungen als die bekannten zwischen Bewehrung und Fugenbeton. Für die seinerzeit durchgeführten numerischen Untersuchungen wurde auf Basis der Ergebnisse aus den Großversuchen eine bilineare Verbundcharakteristik mit einem höchstens aufnehmbaren Verbundschubfluss von $P_v = 0,188 \text{ MN/m}$ zugrunde gelegt.

2.4 Fugentragverhalten

Das Trag- und Verformungsverhalten der Bauteilfugen wurde im für die rechnerischen Untersuchungen verwendeten Programm durch die in Bild 3 dargestellten Fugenkennlinien beschrieben:

- Bilineare Druckspannungs-Stauchungsbeziehung (σ_c - ε_c -Beziehung)
- Bilineare Schubspannungs-Gleitungsbeziehung (τ - δ -Beziehung)
- Schubspannungs-Druckspannungs-Interaktion (τ - σ -Beziehung).

Die σ_c - ε_c -Linie wird entsprechend der in DIN 4223-2, Abschnitt 9 vorgegebenen Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Porenbetons für die Bemessung (siehe Bild 2) festgelegt. Der Bemessungswert der Porenbetondruckfestigkeit f_{cd} ist jedoch aufgrund der Fugenausbildung im Verhältnis von Fugenhöhe h_F zu Bauteildicke h abzumindern:



$$f_{cd}^* = \frac{h_F}{h} \cdot \alpha \cdot f_{cd} = \frac{h_F}{h} \cdot \alpha \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{c1}} \quad (2.1)$$

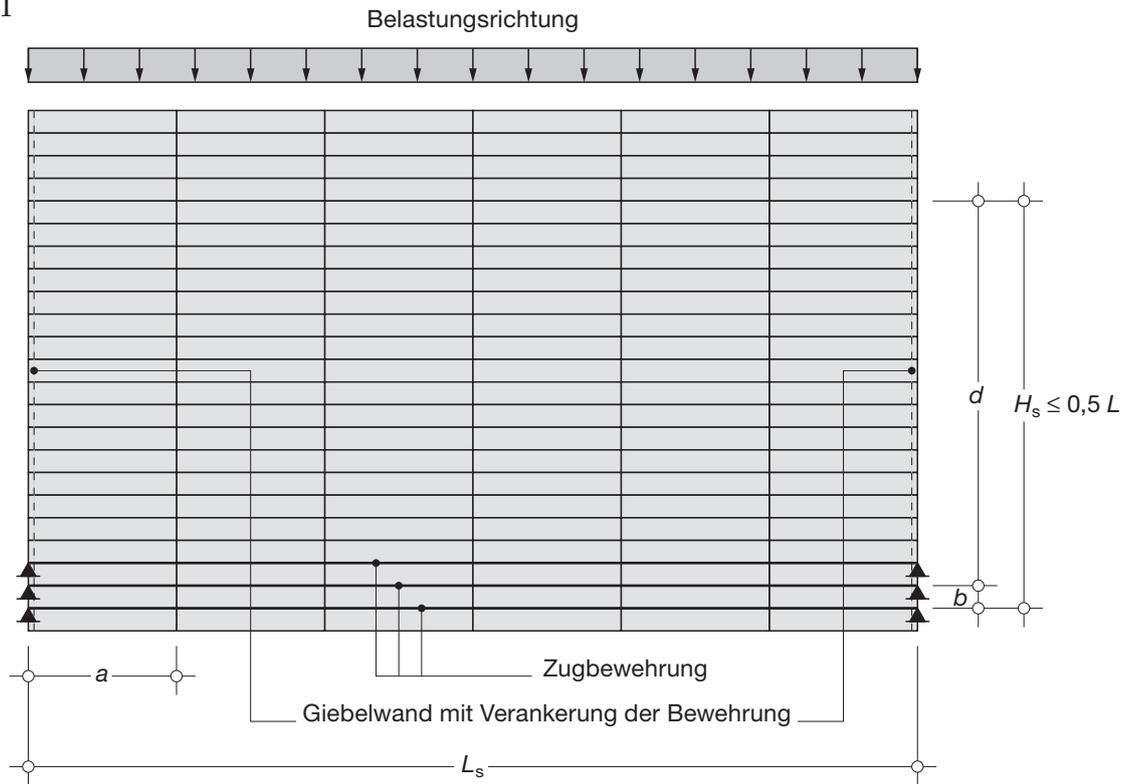
Hierbei ist α der Beiwert zur Berücksichtigung von Langzeiteinflüssen auf die Porenbetondruckfestigkeit ($\alpha = 0,85$ nach [12]).

Bei den Bauteillängsfugen ist nach DIN 4223-4 [13], Abschnitt 6 mindestens $h_F = 0,6 \cdot h$ einzuhalten. Wegen der weiter unten in Abschnitt 3.6 erläuterten Überlagerung von Scheiben- und Plattenwirkung wird die gleiche Abminderung auch für die auf volle Höhe vergossenen Querfugen angesetzt.

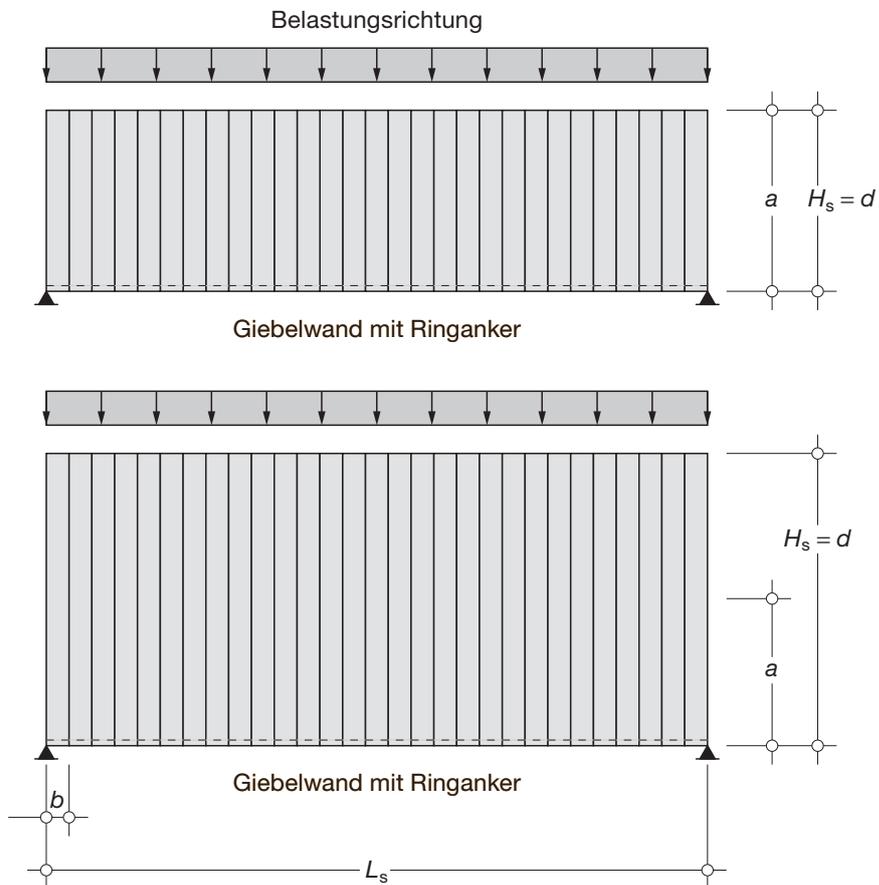
Die Ergebnisse der Kleinversuche [3] bestätigen bei überwiegend auf Druck beanspruchten unverdübelten Fugen die Porenbetondruckfestigkeit f_{cd} nach Gleichung (2.1).

Die τ - δ -Beziehung und die τ - σ -Beziehung wurden aus Versuchen ermittelt (siehe Bild 3). Der Anfangswert der Schubtragfähigkeit

Scheibentyp I



Scheibentyp II



- a = Bauteillänge
- b = Bauteilbreite
- L_s = Scheibenstützweite
- H_s = Scheibenhöhe
- d = statische Nutzhöhe

Bild 1: Scheibentypen

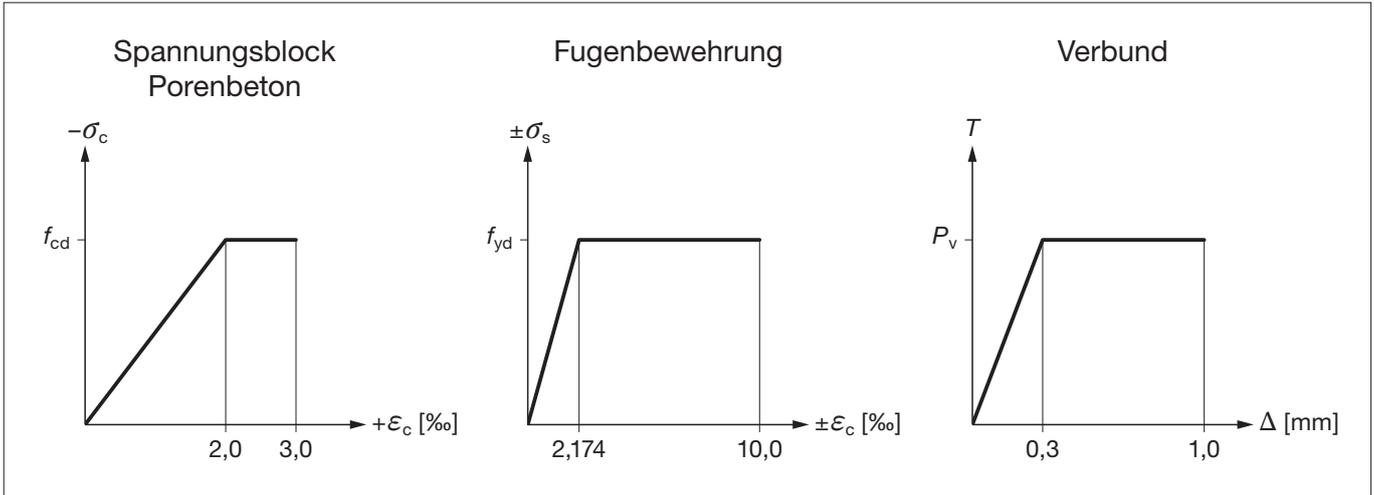


Bild 2: Werkstoff- und Verbundkennlinien

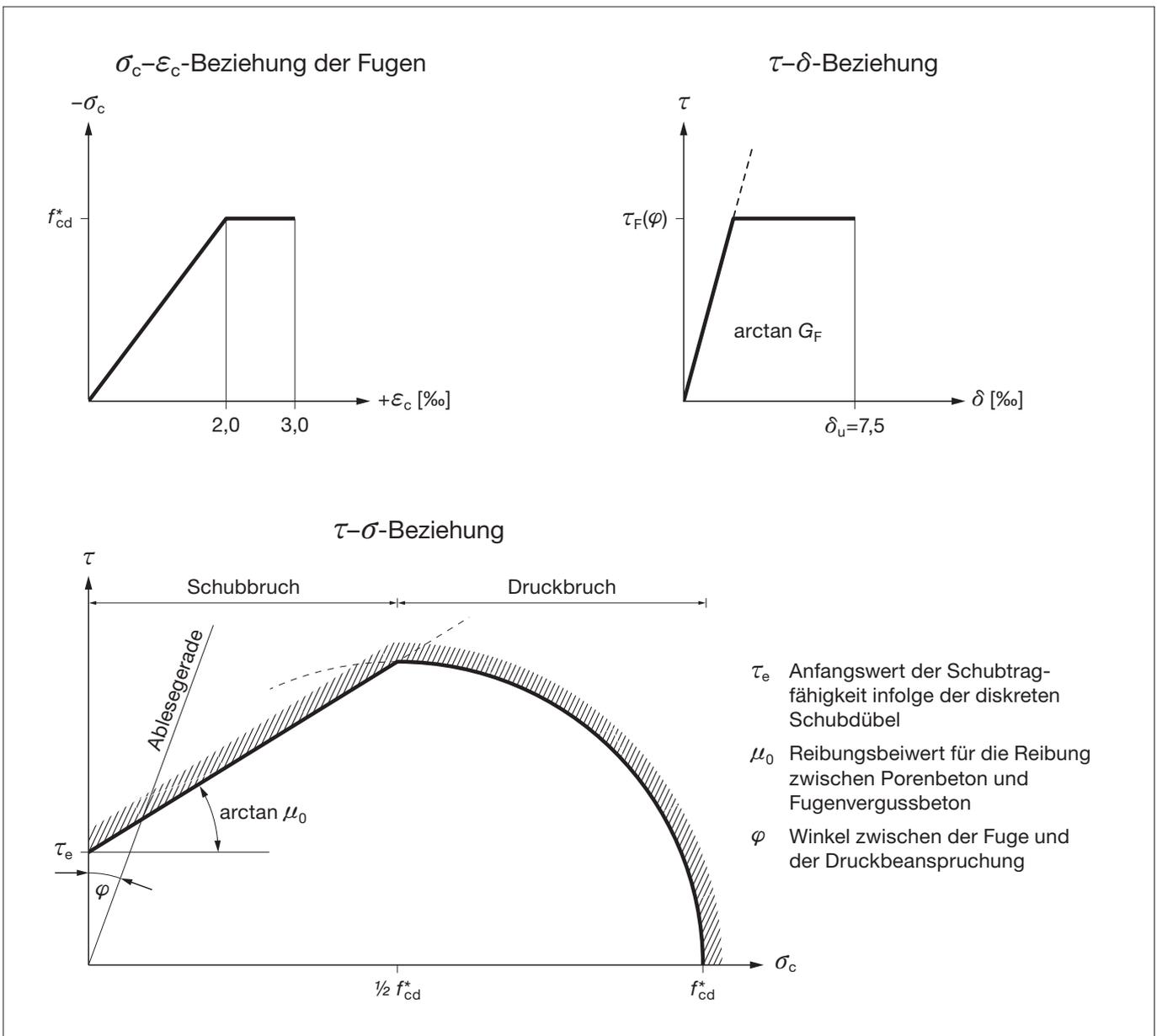


Bild 3: Fugenkennlinien

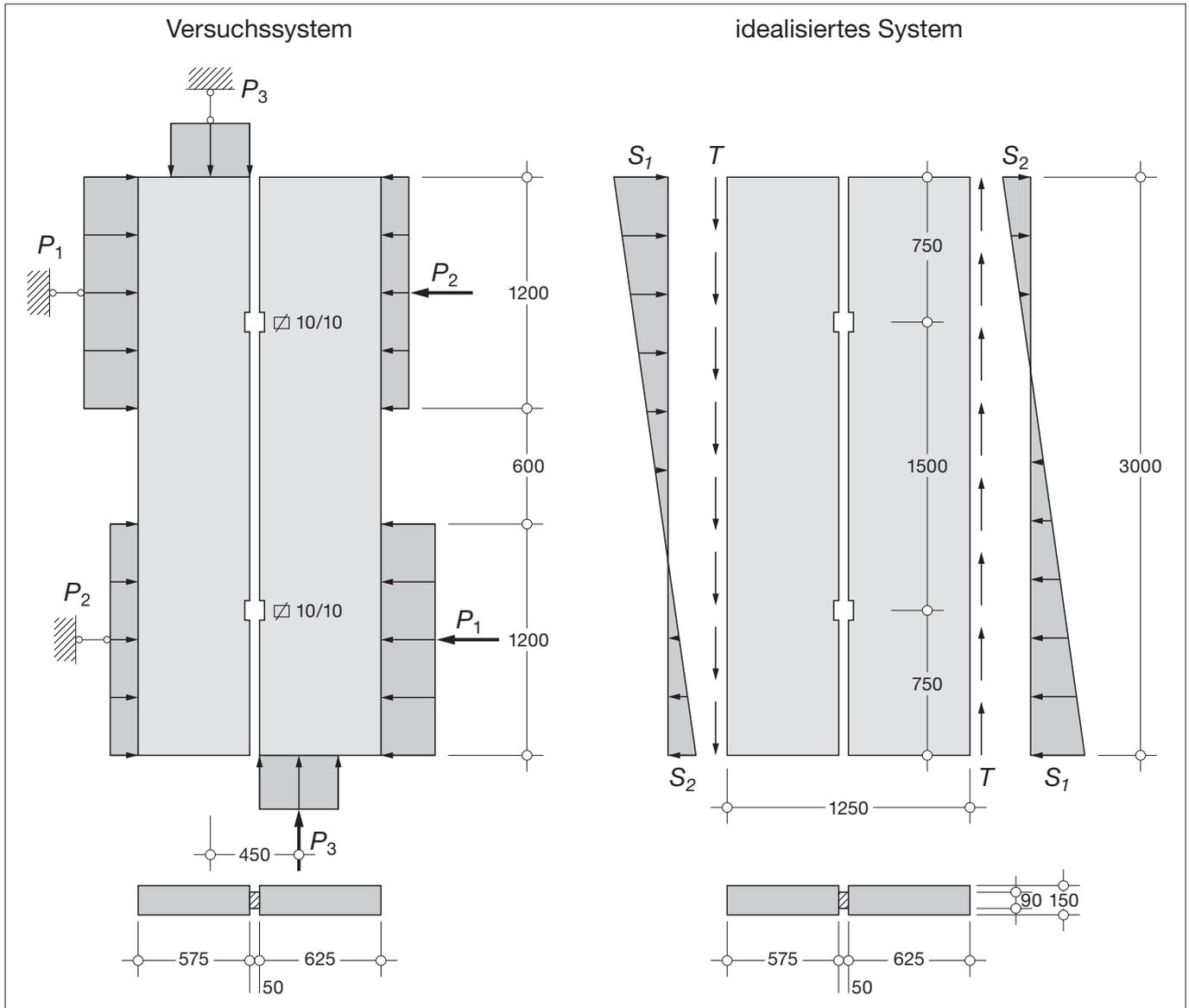


Bild 4: Versuchssystem und zugehöriges idealisiertes System für die numerischen Untersuchungen

higkeit τ_e der τ - σ -Beziehung ergibt sich aus der Tragfähigkeit der diskreten Schubdübel und der Reibungskoeffizient μ_0 resultiert aus der Reibung zwischen dem Porenbeton und dem Vergussbeton der Fugen.

Aus dem Mohrschen Spannungskreis mit $\sigma_I = f_{cd}$ und $\sigma_{II} = 0$ (keine Zugfestigkeit der Fuge) folgt für die Schubtragfähigkeit der überwiegend auf Druck beanspruchten Fugen (siehe Bild 3, τ - σ -Beziehung, Druckbruchbereich):

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{f_{cd}^*}{2}\right)^2 - \left(\sigma_c - \frac{f_{cd}^*}{2}\right)^2} = \sigma_c \cdot \sqrt{\frac{f_{cd}^*}{\sigma_c} - 1} \quad (2.2)$$

Bei den großmaßstäblichen Versuchen [4] wurden die Längsfugen zweier reibungsarm auf Stahlrohren liegend gelagerter Platten (298/62,5/15 cm) mit einem stark schwindenden Beton zur Simulation im Bauwerk vorhandener Risse vergossen und nach ca. 28 Tagen einer kombinierten Druck-Schub-Belastung

mehrmals hintereinander bis zum Versagen durch gegenseitiges Gleiten der Fugenufer unterworfen. Dabei ergaben sich annähernd bilineare τ - δ -Beziehungen. Der Schubmodul wurde aus den Versuchen zu $G_F = 800 \text{ N/mm}^2$ ermittelt.

Grenzgleitungen δ_u ließen sich aus den Versuchen nicht gewinnen, da selbst nach vorherigen Verschiebungen in der Größenordnung von einigen Zentimetern bei Wiederbelastung praktisch die gleiche Tragfähigkeit erreicht wurde. Für die numerischen Untersuchungen wurde daher δ_u aus Eichrechnungen am Versuchssystem bestimmt.

Die näherungsweise lineare τ - σ -Beziehung für die überwiegend auf Schub beanspruchten Fugen (siehe Bild 3, τ - σ -Beziehung, Schubbruchbereich) setzt sich aus der Schubtragfähigkeit der diskreten Schubdübel (Anfangswert τ_e) und der Reibung zwischen Fugenbeton und Porenbeton (Reibungsbeiwert $\mu_0 \approx 0,7$) zusammen:

$$\tau = \tau_e + \mu_0 \cdot \sigma \quad (2.3)$$

Das Zusammenwirken mehrerer Dübel in den Längsfugen konnte wegen der versuchstechnisch bedingten Schubkrafteinleitung an den Stirnseiten der Platten und des daraus resultierenden Nieteffekts in den Versuchen direkt nur für Fugenverdübelungen mit bis zu zwei Dübeln geklärt werden. Diese Versuche wurden jedoch zur Überprüfung der Eingabewerte des Rechenprogramms [5] benutzt. Mit Hilfe der für unverdübelt Fugen und Fugen mit einem Dübel geeichten Werkstoff- und Fugenkennlinien konnte dann an einem idealisierten System mit konstanter Verteilung der Schub- und Druckspannungen über die Fugenlänge die Tragfähigkeit für verschiedene Verdübelungsarten rechnerisch untersucht werden (Bild 4).

3. Trag- und Verformungsverhalten

3.1 Allgemeines

Horizontale Einwirkungen auf Gebäude resultieren unter anderem aus der unmittelbaren Windlast auf Fassaden, aus der Schiefstellung von Stützen oder aus dem seitlichen Ausweichen der Druckgurte hoher Unterzüge und Pfetten (Kippen). Durch aussteifende Bauteile werden diese Einwirkungen aufgenommen und in das Fundament abgetragen.

Wird die Dachkonstruktion zur Gebäudeaussteifung herangezogen, müssen die horizontalen Kräfte durch Scheibenwirkung zu den aussteifenden vertikalen Bauteilen weitergeleitet werden. Die Einleitung der Kräfte kann kontinuierlich von der Fassade in den Druckrand der Dachscheibe oder bei Sog in deren Zugrand erfolgen. Die Kräfte können aber auch mittelbar über die

Unterkonstruktion (Wände, Unterzüge, Binder oder Pfetten) in die Dachscheibe eingetragen werden (Bild 5).

- a) kontinuierliche Windeinwirkung beim Scheibentyp II (unmittelbar über Fassadenelemente)
- b) diskretisierte Windeinwirkung beim Scheibentyp I (mittelbar über Unterzüge, z.B. Dachbinder)

Die Verteilung der Hauptspannungen und deren Größe hängt bei Scheibensystemen auch wesentlich von der Verteilung und vom Ort der Einwirkung ab (siehe auch [6]). Bei Lastangriff im Zugbereich werden die Kräfte üblicherweise über die Bewehrung der rechtwinklig zur Scheibenspannrichtung verlaufenden Fugen oder über die darunter liegenden Balken der Unterkonstruktion im Druckbereich der Scheibe „aufgehängt“.

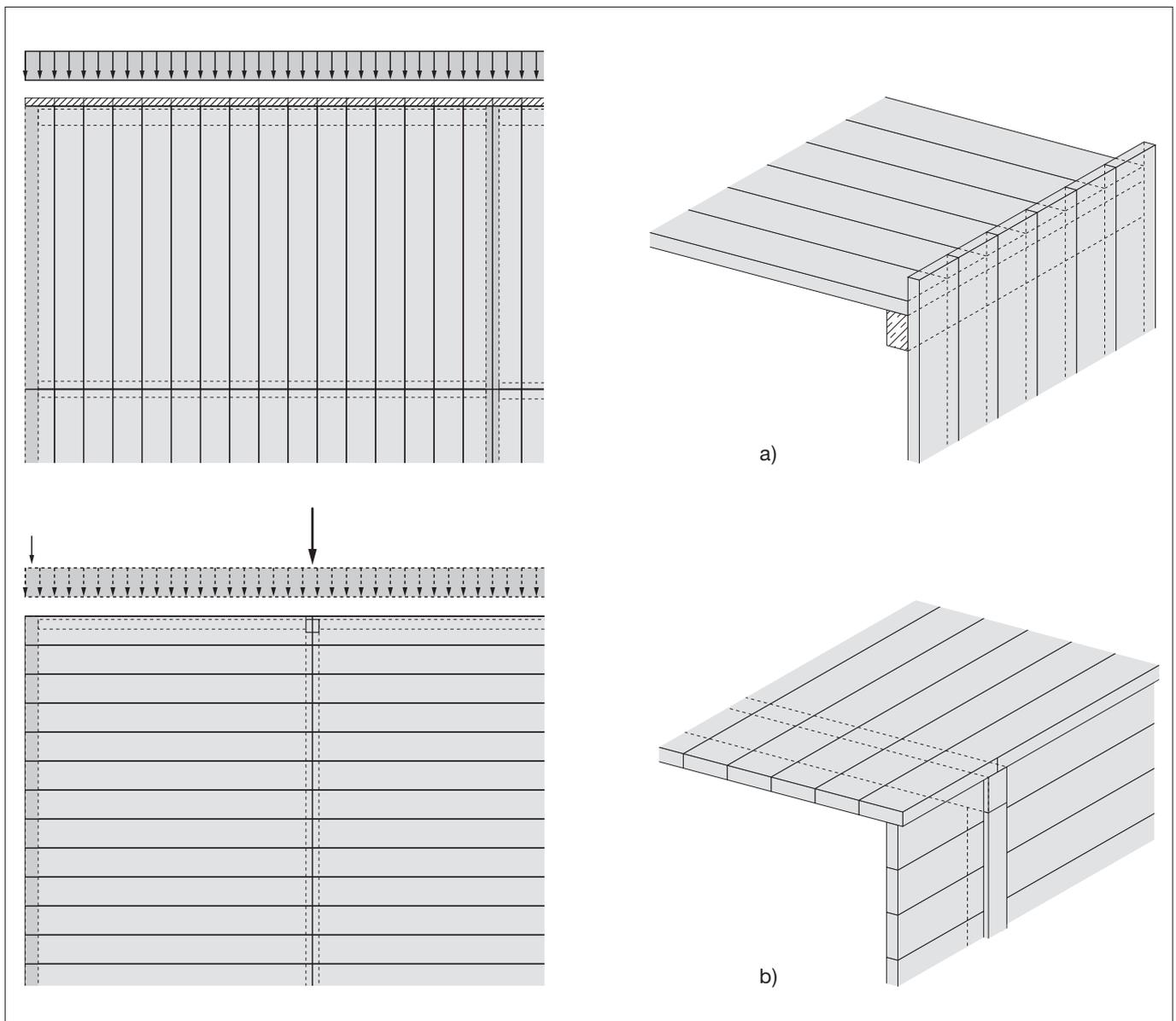


Bild 5: Beispiele für Einwirkungen auf Scheiben in Abhängigkeit von der Unterkonstruktion

3 Trag- und Verformungsverhalten

Aus diesem Grund kann die Einleitung der Einwirkungen am Druckrand als repräsentativ für die verschiedenen Einleitungsmöglichkeiten angesehen werden.

Das Zusammenwirken der einzelnen Porenbetonbauteile in einer großflächigen Scheibe wird durch die folgenden Sachverhalte ermöglicht:

- Die Porenbetonbauteile übertragen als Teile eines Druckbogens Kräfte in die Scheibenaufleger.
- Die Fugenbewehrung in Scheibenspannrichtung übernimmt die Zugbandfunktion.
- Die Fugenbewehrung quer zur Scheibenspannrichtung vermindert das Aufreißen der Fugen in Scheibenspannrichtung und sichert dadurch eine bessere Schubübertragung (Kontinuitätsbewehrung); sie dient außerdem als Aufhängebewehrung für am Zugrand angreifende Einwirkungen.
- Der Fugenverguss überträgt die Druckkräfte senkrecht zur Fugenfläche sowie in Verbindung mit den diskreten Schubdübeln die Schubkräfte in Längs- und Querrichtung von Bauteil zu Bauteil. Er schützt die Fugenbewehrung vor Korrosion und leitet die Kräfte aus der Bewehrung in die angrenzenden Bauteile ein.

3.2 Versagensarten

Dachscheiben aus Porenbetonbauteilen können auf verschiedene Arten versagen:

- Versagen der Zugbewehrung in den Fugen durch Überschreiten von Grenzdehnungen;
- Versagen des Porenbetons in der Druckzone in Scheibenmitte oder im Auflagerbereich;
- Versagen des Porenbetons im Auflagerbereich durch Überschreiten der Schubtragfähigkeit;
- Versagen der Bauteilfugen durch Überschreitung der τ - σ -Tragfähigkeitsgrenze.

Welche der genannten Versagensarten die Gesamttragfähigkeit der Scheibe bestimmt, hängt von den konstruktiven Bedingungen ab:

- äußere Geometrie der Scheibe (Scheibenspannweite L_S und Scheibenhöhe H_S);
- Abmessungen (Länge l und Breite b) sowie Anordnung (Scheibentyp I oder Scheibentyp II) der Einzelbauteile;
- Größe und Verteilung der Bewehrung sowie deren Verankerung am Scheibenrand;
- Steifigkeit, Verteilung und konstruktive Ausführung der Scheibenaufleger;
- Ausführung und Verdübelung der Fugen.

3.3 Biegetragverhalten

Analog zu einem Stahlbetonbalken im Zustand II reißt die Fertigteilscheibe unter der Beanspruchung infolge der Einwirkung senkrecht zur Scheibenspannrichtung über einen Teil der Höhe auf. Die Risse entstehen vornehmlich in den Bauteilfugen und stellen sich bereits bei relativ geringer Belastung ein. Sie verändern sich in ihrer Länge bis zum Versagen kaum. Sie sind von der äußeren Form der Scheibe, der Größe und Anordnung der Platten sowie von der Art der Auflagerung abhängig.

Die Rissbreiten sind abhängig von der Beanspruchung der rechtwinklig zum Riss verlaufenden Fugenbewehrung. Betrachtet man Größe und Richtung der Hauptspannungen in der Ebene der Porenbetonbauteile, so zeigt sich über einem gering beanspruchten Innenbereich ein Druckbogen mit um so stärkerer Wölbung, je größer das Verhältnis von Scheibenhöhe H_S zu Spannweite L_S und je konzentrierter das Auflager ausgebildet wird.

Die Verteilung der Druckspannungen im Druckbogen und die Richtung der Hauptdruckspannungen hängt wesentlich von der betrachteten Stelle, den Scheiben- und Bauteilabmessungen sowie der Verteilung der Einwirkungen ab. An der Stelle des größten Momentes ist jedoch unabhängig von den genannten Einflüssen eine dreieckförmige Druckspannungsverteilung über die Scheibenhöhe mit der Nulllinie im Abstand x vom Druckrand zu beobachten. Bei Scheiben des Typs I ist $x \geq 0,3 \cdot d$ (d = statische Höhe; d entspricht dem Abstand zwischen dem angenommenen Druckrand der Scheibe und dem Schwerpunkt der Zugbewehrung). Bei Scheiben des Typs II gilt $x \geq 0,2 \cdot H_S$. Anhaltswerte für die statische Nutzhöhe d in Abhängigkeit von den äußeren Abmessungen der Scheibe sind z.B. in [9] und [6] zu finden.

Da die Zugkraft Z_{Sd} annähernd konstant ist, folgt die Größe des inneren Hebelarms z an der Stelle s der Scheibe dem Moment $M_{Sd}(s)$ an der Stelle s (siehe Gleichung 4.2).

Die parallel zur Scheibenspannrichtung wirkende Komponente der schrägen Spannungsergebnisse im Auflagerbereich des Druckbogens ist durch Fugenbewehrung in Scheibenspannrichtung (Scheibentyp I) oder durch einen Ortbetonringanker am Zugrand (insbesondere Scheibentyp II) aufzunehmen. Diese Bewehrung muss bereits am Scheibenrand über dem Auflager voll wirksam sein und ist daher dort ausreichend zu verankern.

Neben der Bewehrungsverankerung muss durch entsprechende konstruktive Ausbildung der Auflagerpunkte (siehe Abschnitt 5.4) eine einwandfreie Krafteinleitung aus der Bewehrung in die Porenbetonbauteile sichergestellt werden (siehe hierzu auch die Anlagen 5 und 6 zur Checkliste Dachscheiben).

3.4 Schubtragverhalten im Auflagerbereich

Bei den meisten in Vorbereitung von [8] gerechneten Beispielen wurden die Bruchschubspannungen des Porenbetons im Auflagerbereich überschritten. Rechnerisch befinden sich in diesem Bereich der Scheiben keine Biegezugrisse. Die von der Form des Druckbogens abhängenden größten Schubspannungen $\max \tau$ ergeben sich aus der Schubspannungsverteilung über die Scheibenhöhe H_S . Sie kann mit Hilfe des Beiwertes ϑ beschrieben werden, der in Bild 6 über die statische Höhe d aufgetragen ist.

Die Anordnung der Fugenbewehrung in Scheibenspannrichtung beeinflusst ebenfalls die Schubspannungsverteilung. Die einzelnen Bewehrungslagen bilden in Verbindung mit schrägen Druckstreben in den Porenbetonplatten ein mehrstöckiges Fachwerk; die an jedem Verankerungspunkt aufnehmbare Schubkraft richtet sich nach der von der Bewehrung aufnehmbaren Zugkraft und nach dem Winkel der Druckstrebe (Bild 7).

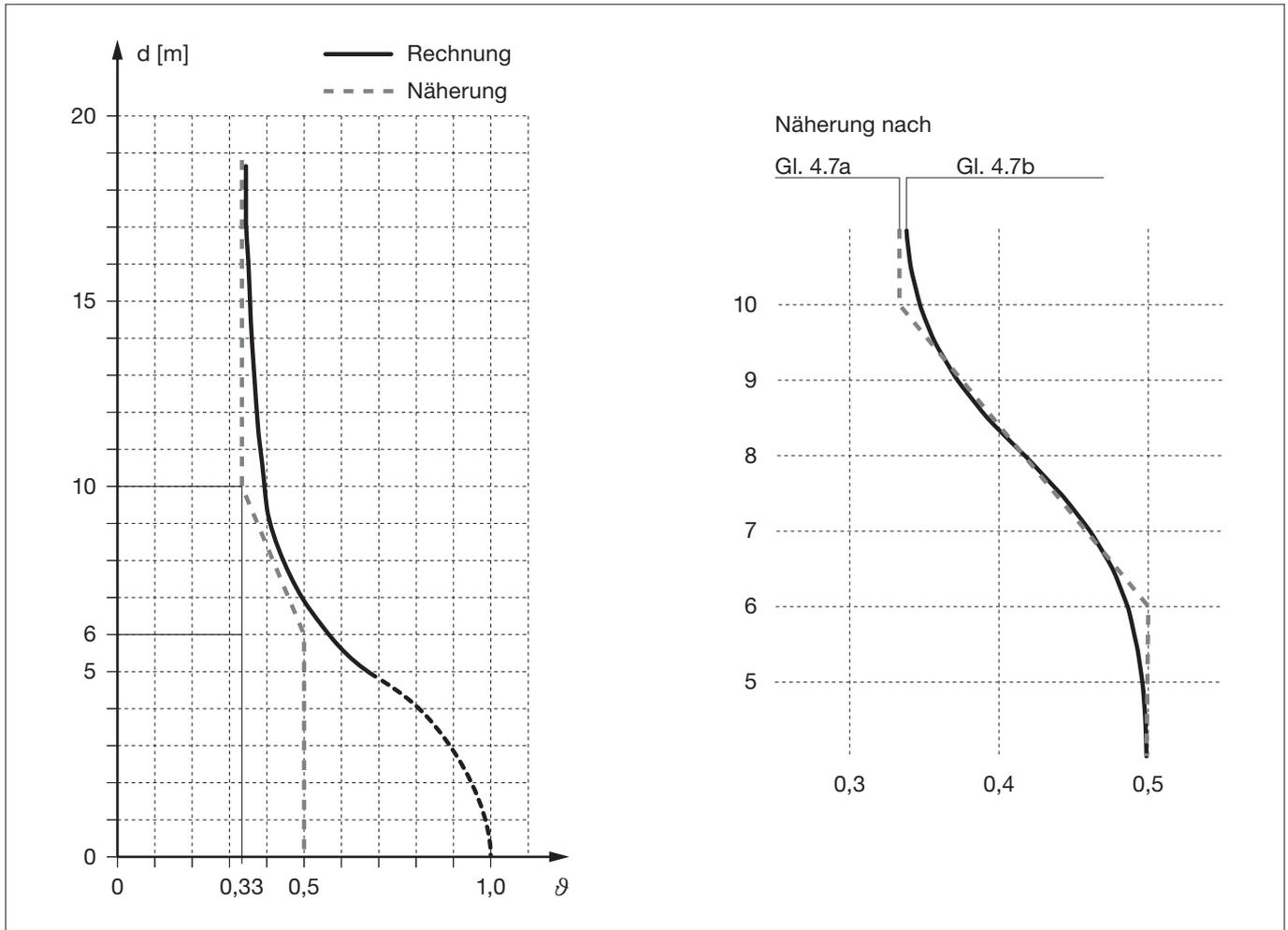


Bild 6: Beiwert ϑ der Schubspannungsverteilung am Scheibenaufleger in Abhängigkeit von der statischen Höhe d

3.5 Schubtragverhalten der Fugen

Unter Bezugnahme auf die Regelungen der Norm DIN 4223:2003-12 ist hier darauf hinzuweisen, dass die im Folgenden für die Bemessung und Berechnung herangezogenen Schubspannungen in der Fuge ein Modell für das Schubtragverhalten abbilden, das auf den Untersuchungen in [4] basiert. Daher führt ein unmittelbarer Vergleich der bei der Bemessung der Scheiben ermittelten Schubspannungen mit dem Grundwert der aufnehmbaren Schubspannungen τ_{Rd} nach DIN 4223-2:2003-12 zu falschen Aussagen.

Dem zugrundeliegenden Schubspannungsmodell Rechnung tragend werden die Nachweise zur Schubtragfähigkeit auf Schubspannungsebene mit den Bemessungswerten der aufnehmbaren Bruchschubspannungen nach Tabelle 2 geführt.

Die rechnerische Schubtragfähigkeit der Fugen in Scheiben-spannungsrichtung kann im Auflagerbereich unter die des Porenbetons absinken, wenn bei hohen Scheiben und steilen Druckstreben der Druckbruchbereich der τ - σ -Beziehung maßgebend wird (vgl. Bild 3, τ - σ -Beziehung für große Winkel φ).

Bei Scheiben des Typs II und bei Scheiben des Typs I mit kurzen Bauteilen kann die auflagnächste Querfuge auf Schub versagen, wenn ihre Neigung zur Richtung der Druckstreben sehr

flach ist (Schubbruchbereich). Falls über die Unterkonstruktion größere Einzellasten in die Querfugen eingeleitet werden, besteht bei geringer Überdrückung auch dort Schubbruchgefahr. Die größten Schubspannungen τ_0 im gerissenen Innenbereich der Scheibe (Zustand II) treten in der Nulllinie auf.

Da in der Nähe der Scheibenaufleger infolge des Druckbogens Biegezugrisse überdrückt werden und quasi Zustand I herrscht, brauchen die Schubspannungen τ_0 nur bis zur Größe von $\max \tau$ nach Abschnitt 3.4 in Rechnung gestellt werden.

3.6 Überlagerung von Scheiben- und Plattenwirkung

Neben der Scheibenbeanspruchung infolge horizontaler Einwirkungen werden die Porenbetondachbauteile durch überwiegend gleichmäßig verteilte vertikale Einwirkungen aus Platteneigengewicht, Belag, Verkehrslasten sowie Schnee auf Plattenbiegung beansprucht. Die Druckkräfte N_{Sd} aus der Scheibenwirkung sind mit den Biegemomenten M_{Pd} aus der Plattenwirkung zu überlagern. Diese Überlagerung ist stets bei Scheiben des Typs I für die Platten im Scheitel des Druckbogens durch einen Nachweis für Biegung mit Längskraft zu untersuchen.

Bei Scheiben des Typs II erreichen die in Plattenlängsrichtung wirkenden Komponenten der schrägen Auflagerdruckspan-

3 Trag- und Verformungsverhalten

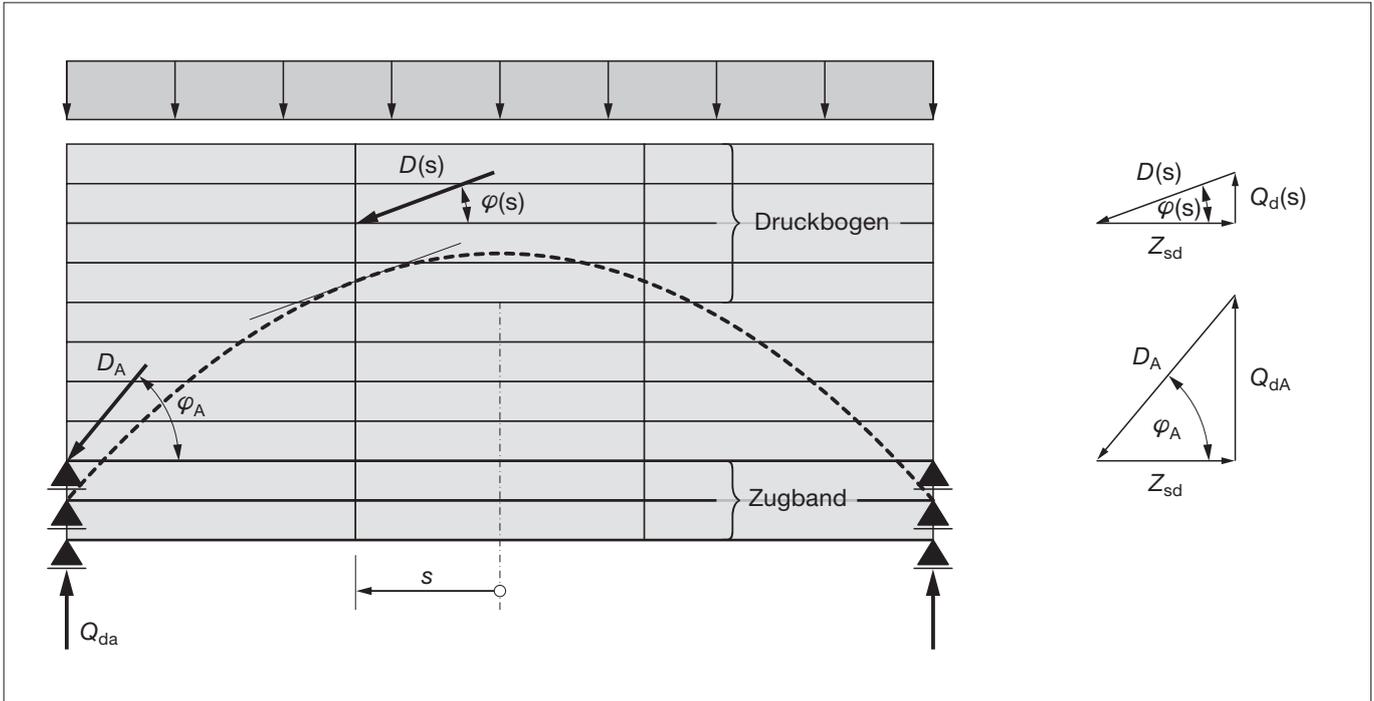


Bild 7: Druckbogen-Zugband-Modell

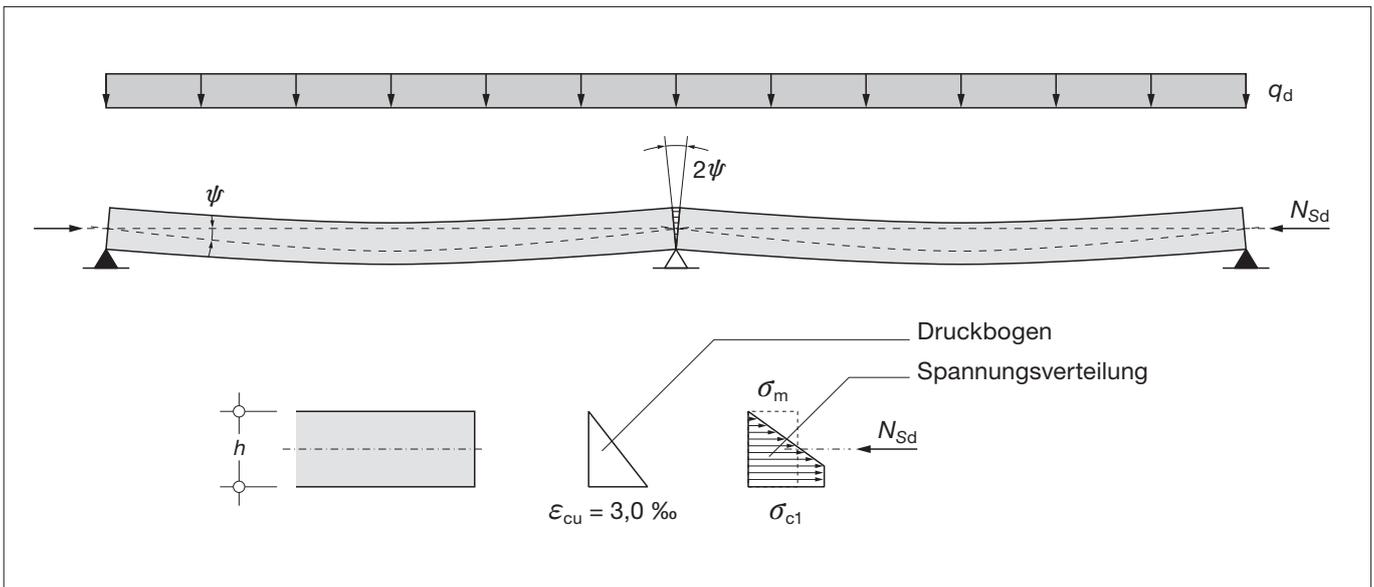


Bild 8: Druckspannungsverteilung in den Querfugen infolge Durchbiegen der Porenbetonplatten

nungen als Folge der Scheibengeometrie und der Schubspannungsbegrenzung am Scheibenaufleger keine kritische Größe. Auf einen Nachweis der Überlagerung kann hier in der Regel verzichtet werden.

Aufgrund der Plattenbeanspruchung verformen sich die Porenbetonbauteile (Bild 8). Der Auflagerdrehwinkel ψ infolge der Durchbiegung bewirkt eine Konzentration der Längsdruckspannungen aus der Scheibenbeanspruchung im unteren Bereich der auf ganze Höhe vergossenen Querfugen. Nimmt man entsprechend DIN 4223-2 eine lineare Abnahme der Porenbetonstauchungen über die der Bauteildicke h entsprechenden Fugenhöhe an und setzt für die Randdruckspannung

den Bemessungswert der Porenbetondruckfestigkeit ein, so stellt sich eine bilineare Druckspannungsverteilung mit dem Mittelwert

$$\sigma_m = \frac{2}{3} \cdot \sigma_{c1} = \frac{2}{3} \cdot f_{cd} \approx 0,6 \cdot f_{cd}$$

ein. Der Ansatz des reduzierten Bemessungswertes der Druckfestigkeit f_{cd} (vgl. Abschnitt 2.4) ist daher auch bei diesen Fugen geboten.

4. Vereinfachtes Bemessungsverfahren

4.1 Voraussetzungen der Anwendbarkeit

Aus den in Abschnitt 3 zusammengefaßten Erkenntnissen über das Trag- und Verformungsverhalten von Porenbetondachscheiben können Modellvorstellungen entwickelt und als Grundlage für einfache praktische Bemessungsregeln herangezogen werden.

Alle Nachweise werden dabei nach den Regeln der DIN 4223 unter Berücksichtigung des Konzeptes der Teilsicherheitsbeiwerte für den Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt. Angesichts der Unsicherheiten infolge des Zusammenwirkens vieler Einzelbauteile wird für die Bemessung ein zusätzlicher Sicherheitsbeiwert $\gamma_{zs} = 2,0$ empfohlen.

Die Gültigkeit des vereinfachten Bemessungsverfahrens muss auf Scheiben beschränkt werden, die in Abmessungen, Ausführung und Belastung den seinerzeit rechnerisch untersuchten entsprechen:

$$\begin{aligned} L_s &\leq 35 \text{ m} \\ 0,2 \cdot L_s &\leq H_s \leq 0,5 \cdot L_s \\ H_s &\geq a \text{ (Bauteillänge)} \\ q_k &\leq 5 \text{ kN/m (charakteristischer Wert gleichmäßig ver-} \\ &\quad \text{teilten Einwirkung)} \end{aligned}$$

Die angegebenen Grenzabmessungen beziehen sich auf die zur Aussteifung herangezogene Scheibe, die Abmessungen der Dachfläche kann davon abweichen (siehe hierzu auch Anlage 1 zur Checkliste Dachscheiben).

Auf die ursprüngliche Unterscheidung zwischen Dachscheiben aus Bauteilen mit einer Dicke $100 \text{ mm} \leq h < 150 \text{ mm}$ und aus Bauteilen mit einer Dicke $h \geq 150 \text{ mm}$ wird verzichtet. Aufgrund der konstruktiven Anforderungen an die Scheibenausbildung, insbesondere der nach [10] zu berücksichtigenden Anforderungen an die Dauerhaftigkeit der Fugenbewehrung, ist bei der Bemessung von einer Bauteildicke $h \geq 150 \text{ mm}$ auszugehen (siehe hierzu auch Abschnitt 5.1).

4.2 Bemessung des Zugbandes

Das Tragverhalten im Innern der Fertigteilscheibe lässt sich durch eine Berechnung derselben als Balken im gerissenen Zustand (Zustand II) vollständig erfassen. Die Gültigkeit dieses Modells ist jedoch auf schlanke balkenartige Systeme mit einem Seitenverhältnis

$$\frac{H_s}{L_s} \leq 0,5$$

beschränkt (siehe Abschnitt 4.1). Größere Seitenverhältnisse dürfen bei diesem vereinfachten Verfahren nicht in Ansatz gebracht werden.

Nach Abschnitt 3.3 gilt

$$x \leq 0,3 \cdot d \quad (\text{für Scheibentyp I}) \quad (4.1 \text{ a})$$

$$x \leq 0,2 \cdot H_s \quad (\text{für Scheibentyp II}) \quad (4.1 \text{ b})$$

Der innere Hebelarm z folgt daraus zu

$$z = d - \frac{x}{3}$$

Um möglichen ungünstigeren Druckspannungsverteilungen und einem zu schwach dimensionierten Zugband zu begegnen, ist der Hebelarm der inneren Kräfte entsprechend Bild 9 in Abhängigkeit von der Scheibengeometrie zu begrenzen.

Für den im Abschnitt 4.1 angegebenen Bereich der zulässigen Scheibenabmessungen gilt daher:

$$z = 0,75 \cdot d$$

Die resultierende Stahl-Zugkraft Z_{sd} und die Porenbetondruckkraft N_{sd} ergeben sich aus dem Bemessungswert des Momentes M_{sd} :

$$Z_{sd} = -N_{sd} = \frac{M_{sd}}{z} \quad (4.2)$$

Die für das Zugband erforderliche Bewehrung ergibt sich zu

$$\text{erf } A_s = \frac{Z_{sd}}{f_{yd}} = \frac{\gamma_s \cdot Z_{sd}}{f_{yk}} \quad (4.3)$$

mit f_{yd} Bemessungswert der Streckgrenze (siehe Bild 2); $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$
 f_{yk} charakteristische Streckgrenze des Bewehrungsstahls;
 $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ für Bewehrungsstahl BSt 500 S nach DIN 488
 γ_s Teilsicherheitsbeiwert für den Betonstahl nach DIN 4223-5 [14], Tabelle 2; $\gamma_s = 1,15$

Es ist der Nachweis zu führen, dass der Bemessungswert der Druckkraft im Druckbogenscheitel kleiner ist als der Bemessungswert der aufnehmbaren Druckkraft:

$$-N_{sd} \leq f_{cd} \cdot \frac{h \cdot x}{2} = 0,6 \cdot \alpha \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{c1}} \cdot \frac{h \cdot x}{2} \quad (4.4)$$

mit γ_{c1} Teilsicherheitsbeiwert für duktilen Versagen des Porenbetons nach DIN 4223-5, Tabelle 2; $\gamma_{c1} = 1,3$

Bei der Biegebemessung der Bauteile ist der Bemessungswert des Biegemomentes M_{pd} aus der Plattenbeanspruchung mit dem aus der Scheibenbeanspruchung resultierenden Bemessungswert der Druckkraft N_{sd} zu überlagern.

Dazu ist die Druckkraft in dem am Druckrand der Scheibe (Typ I) befindlichen Bauteil

$$N_{sd} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot h \cdot \max \sigma_c \cdot \left(2 - \frac{b}{x} \right) \quad (4.5)$$

auf den Schwerpunkt der Plattenbiegezugbewehrung zu projizieren:

$$M_d = M_{pd} - N_{sd} \cdot e_z = M_{pd} - N_{sd} \cdot \left(d_p - \frac{1}{2}h \right) \quad (4.6)$$

4 Vereinfachtes Bemessungsverfahren

Dabei ist

M_d	der Bemessungswert des Biegemomentes
M_{Pd}	der Bemessungswert des Biegemomentes aus Plattenbeanspruchung
N_{Sd}	der Bemessungswert der Längs(druck)kraft aus der Scheibenbeanspruchung
d_p	die statische Nutzhöhe (für Plattenbiegung)
h	die Bauteildicke.

Bei der Ermittlung der Fläche der Biegezugbewehrung ist die Längsdruckkraft entsprechend zu berücksichtigen (siehe hierzu z.B. [9])

4.3 Schubbemessung am Scheibenaufleger

Im Bereich der Scheibenaufleger bleibt die Scheibe ungerissen (Zustand I). Die Verteilung der Schubspannungen wird durch den Beiwert ϑ beschrieben. Nach Bild 6 gilt für ϑ in Abhängigkeit vom Scheibentyp und von der Nutzhöhe der Scheibe näherungsweise:

$$\vartheta = \frac{1}{3} \quad \text{für Scheibentyp I mit } d > 10 \text{ m und für Scheibentyp II}$$

$$\vartheta = \frac{1}{2} - \frac{1}{24} \cdot (d - 6) \quad \text{für Scheibentyp I mit } 6 \text{ m} \leq d \leq 10 \text{ m} \quad (4.7a)$$

$$\vartheta = \frac{1}{2} \quad \text{für Scheibentyp I mit } d < 6 \text{ m}$$

Alternativ kann der Beiwert ϑ für Scheiben des Typs I nach der Gleichung

$$\vartheta = \frac{1}{12} \cdot (5 - \tanh(0,6 \cdot d - 4,8)) \quad (4.7b)$$

genähert werden. Dabei ist die Scheibennutzhöhe d in Meter einzusetzen.

Mit Hilfe des Beiwertes ϑ ergibt sich der Bemessungswert der Schubkraft am Auflager aus dem Bemessungswert der Auflagerquerkraft $Q_{Sd,A}$ zu

$$V_{d,S} = \frac{Q_{Sd,A}}{\vartheta} \quad (4.8)$$

Analog zur Plattenbeanspruchung ist in der Regel nachzuweisen, dass der Bemessungswert der Schubkraft $V_{d,S}$ den Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft $V_{Rd,S}$ nicht überschreitet:

$$V_{d,S} \leq V_{Rd,S} \quad (4.9)$$

mit $V_{Rd,S} = \tau_{Rd1,S} \cdot d \cdot h$;

$\tau_{Rd1,S}$ Bemessungswert der aufnehmbaren Scheibenschubspannung nach Tabelle 2

Die Bemessungswerte der aufnehmbaren Bruchschubspannungen $\tau_{Rd1,S}$ der Tabelle 2 ergeben sich in Abhängigkeit von der charakteristischen Druckfestigkeit des Porenbetons aus dem Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit V_{Rd1} (DIN 4223-2:2003-12, Gleichung 19), wobei die Mitwirkung der Bewehrung an der Querkrafttragfähigkeit unberücksichtigt bleibt:

$$\tau_{Rd1,S} = \frac{V_{Rd1}}{b_w \cdot d} = 0,06 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{c2}}$$

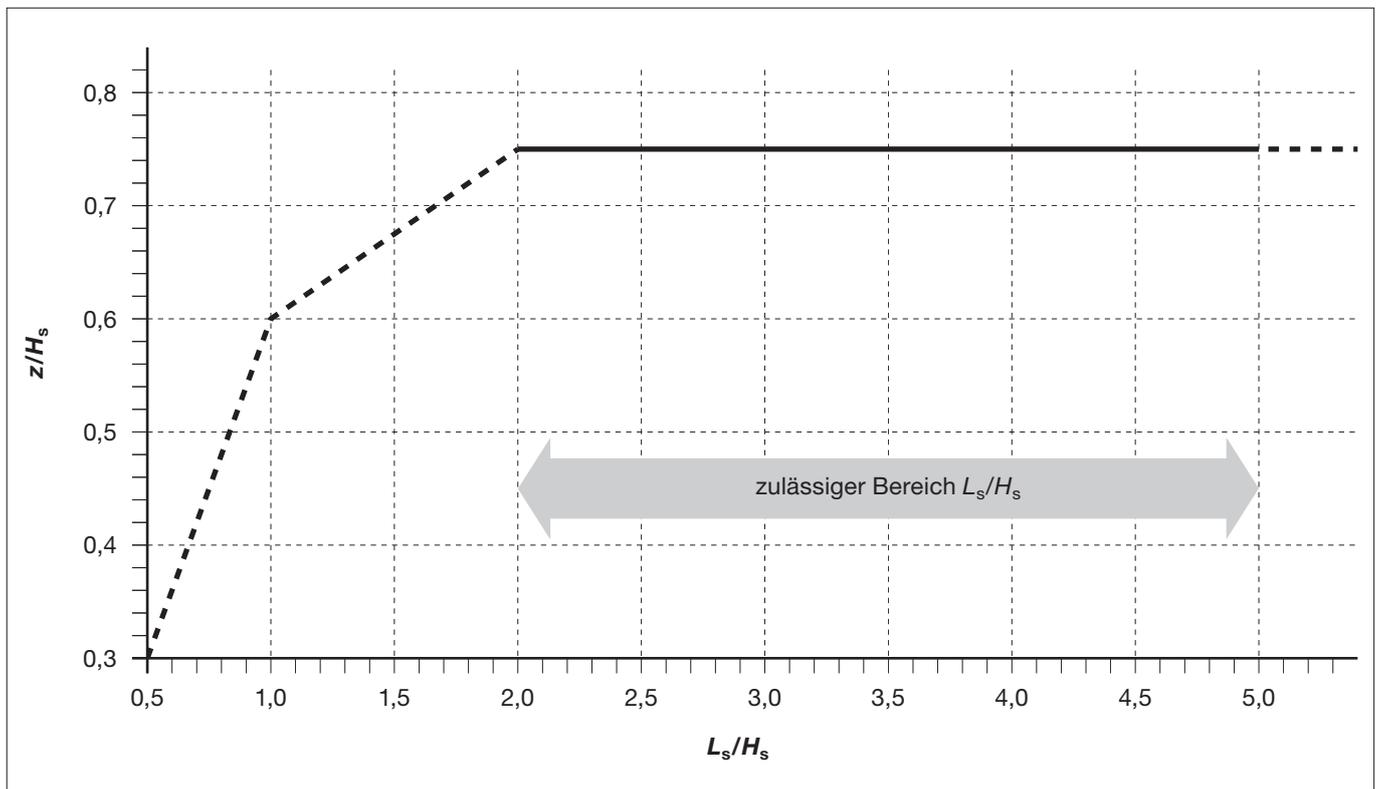


Bild 9: Innerer Hebelarm z in Abhängigkeit von den Scheibenabmessungen

Für $\tau_{Rd1,S} < \tau_{d,S} \leq \tau_{Rd2,S}$ kann bei Scheiben des Typs I ein Schubnachweis der unmittelbar über den Auflagerpunkten liegenden Bauteile im Zustand II geführt werden. Dabei wird angenommen, dass der auf diese Bauteile entfallende Querkraftanteil ΔQ durch ein inneres Fachwerk mit Druckstreben unter 45° und Zugstreben in Plattenquerrichtung (Querbewehrung der Dachbauteile) aufgenommen werden kann (Bild 10).

Ungünstige dreiaxiale Beanspruchungszustände infolge der Überlagerung von Scheiben- und Plattenwirkung im Bereich des Scheibenauflegers werden vereinfachend durch eine vektorielle Überlagerung der Bemessungswerte der Schub- und Querkräfte berücksichtigt, wobei die Plattenquerkraft erhöht angesetzt wird.

Vereinfachend wird der Nachweis mit den entsprechenden Schubspannungen geführt:

$$\tau_{res} = \sqrt{\tau_{d,s}^2 + (\gamma_Q \cdot \tau_{d,p})^2} \leq \tau_{Rd2,S} \quad (4.10)$$

mit $\tau_{d,p} = \frac{V_d}{b \cdot d \cdot k_z}$

Bemessungswert der Schubspannungen infolge Querkraftbeanspruchung aus der Plattenbemessung

$\tau_{d,S}$ Bemessungswert der Scheibenschubspannung am Scheibenaufleger

γ_Q Teilsicherheitsbeiwert für unabhängige veränderliche Einwirkungen; $\gamma_Q = 1,5$

Die Bemessungswerte der aufnehmbaren Bruchschubspannungen $\tau_{d,S}$ nach Tabelle 2 ergeben sich aus dem maximalen

Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit V_{Rd2} nach DIN 4223-2:2003-12 Gleichung 18:

$$\tau_{Rd2,S} = \frac{V_{Rd2}}{b \cdot d} = 0,36 \cdot \nu \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{c2}}$$

mit $\nu = 0,7 - \frac{f_{ck}}{30} \geq 0,5$

Die nach Bild 10 erforderliche Schubbewehrung

$$A_s = \frac{\Delta Q}{f_{yd}} = \frac{V_{res}}{f_{yd}} = \frac{\tau_{res} \cdot b \cdot h}{f_{yd}} \quad (4.11)$$

muss am Auflager konzentriert auf der Bauteilunter- und -oberseite gleichmäßig verteilt werden und am Bauteilrand ausreichend verankert sein.

4.4 Schubbemessung der Fugen

Die Tragfähigkeit der verdübelten Plattenfugen (Längsfugen mit diskreten Schubdübeln und Quertfugen mit Dübelwirkung der Fugenkreuzungen) ist mit Hilfe der τ - σ -Beziehung (Bild 3) nachzuweisen.

Bei Scheiben des Typs I mit nahezu gleichmäßig verteilter Belastung sind die Längsfugen über den Scheibenauflegern am stärksten beansprucht. Hierfür ist der Nachweis mit V_{Sd} nach Gl. (4.8) und einer Neigung der Spannungsergebnenden zur Fuge von

$$\tan \varphi_A = \frac{Q_{Sd,A}}{Z_{sd}} \quad (4.12)$$

zu führen (vgl. Bild 7).

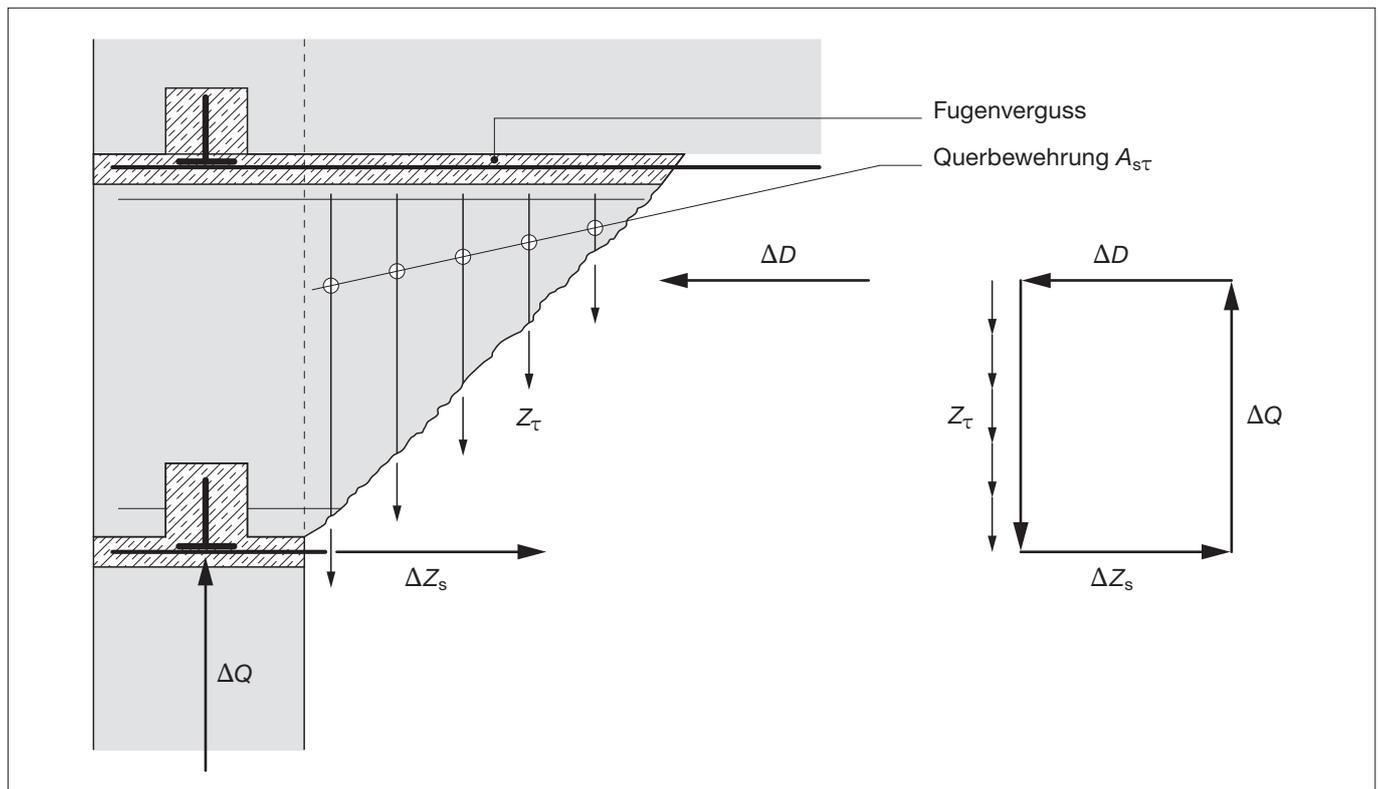


Bild 10: Schubbemessung der Porenbetonplatten am Auflager

4 Vereinfachtes Bemessungsverfahren

Zur Auswertung der τ - σ -Beziehung (Bild 3) werden aus den Gl. (2.3) und (2.2) Beiwerte $a_1(\varphi)$ für den Schubbruchbereich bzw. $a_2(\varphi)$ für den Druckbruchbereich ermittelt (Tabelle 3):

$$a_1(\varphi) = \frac{1}{1 - \mu_0 \cdot \tan \varphi}$$

$$a_2(\varphi) = \frac{\tan \varphi}{1 + \tan^2 \varphi}$$

Mit τ_e aus Tabelle 4 und f_{cd}^* aus Tabelle 1 gilt als Bemessungswert der aufnehmbaren Schubspannung in der Fuge τ_{RdF} der kleinere Wert aus

$$\tau_{RdF}(\varphi) = a_1(\varphi) \cdot \tau_e \quad (4.13 \text{ a})$$

und

$$\tau_{RdF}(\varphi) = a_2(\varphi) \cdot f_{cd}^* \quad (4.13 \text{ b})$$

Die Anfangswerte τ_e der Schubtragfähigkeit nach Tabelle 4 ergeben sich in Abhängigkeit vom Dübelabstand e nach der Gleichung:

$$\tau_e = \frac{0,075}{e} - 0,01 \quad (4.14)$$

mit τ_e Anfangswert der Schubtragfähigkeit in Megapascal (N/mm²)
 e Dübelabstand in Meter

Tabelle 3. Beiwerte $a_1(\varphi)$ und $a_2(\varphi)$ zur Auswertung der τ - σ -Beziehung

$\tan \varphi$	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,3	2,0	10,0	∞
$a_1(\varphi)$	1,00	1,16	1,39	1,72	2,27	3,33	6,25	11,1	–	–	–
$a_2(\varphi)$	–	–	–	–	–	0,50	0,49	0,48	0,40	0,10	0,0

Bei Einleitung größerer Einzellasten im Querfugenbereich sowie bei Scheiben des Typs II an der auflagnächsten Querfuge ist der Nachweis der Schubtragfähigkeit dieser Fugen analog mit dem dort ermittelten Bemessungswert der Querkraft am Ersatzträger und der Schubspannung τ_0 in der Nulllinie der Scheibe im Zustand II zu führen. Für die Neigung zwischen der Spannungsresultierenden und Querfugen ist in diesem Fall

$$\tan \varphi^\perp(s) = Z_S / Q_U(s) \quad (4.15)$$

einzusetzen.

4.5 Bemessung der Scheibenaufleger

Die Scheibenaufleger sind für drei Aufgaben zu bemessen:

- Aufnahme der schrägen Druckstreben in den darüberliegenden Porenbetonplatten
- Verankerung der Zugbewehrung
- Weiterleitung der Auflagerkräfte in die Unterkonstruktion.

Die Weiterleitung der Auflagerkräfte und die Verankerung der Bewehrung sind nachzuweisen. Wegen der Näherungen

Tabelle 1. Bemessungswerte der Porenbetondruckfestigkeit f_{cd} und f_{cd}^* gemäß Gl. (2.1)

Festigkeitsklasse	f_{cd} [MPa]	f_{cd}^* [MPa]
2,2	1,44	0,86
3,3	2,16	1,29
4,4	2,88	1,73
6,6	4,32	2,59

Tabelle 2. Bemessungswerte der aufnehmbaren Bruchschubspannungen für die Porenbetonbauteile

Festigkeitsklasse	$\tau_{Rd1,S}$ [MPa]	$\tau_{Rd2,S}$ [MPa]
2,2	0,08	0,29
3,3	0,12	0,41
4,4	0,16	0,52
6,6	0,23	0,70

Tabelle 4. Anfangswerte τ_e der Schubtragfähigkeit

Dübelabstand e [cm]	τ_e [MN/m ²]
75	0,090
100	0,065
150	0,040

hinsichtlich der Neigung der Druckstreben und der gleichmäßigen Verteilung der Auflagerkräfte auf bis zu drei Einzellager bei Scheiben des Typs I ist die Auflagerquerkraft um den Faktor 1,5 zu erhöhen.

5. Konstruktive Durchbildung

5.1 Vorbemerkung

Fertigteilscheiben zeigen ähnliche Trageigenschaften wie homogene Scheiben, wenn durch einwandfreie konstruktive Lösungen sichergestellt ist, dass die einzelnen Tragelemente (Einzelbauteile und Verbindungen) in der vorgesehenen Weise zusammenwirken. In diesem Abschnitt soll daher noch einmal zusammenfassend auf die entscheidenden Detailpunkte bei Dachscheiben aus Porenbetonbauteilen hingewiesen werden.

5.2 Fugenbewehrung

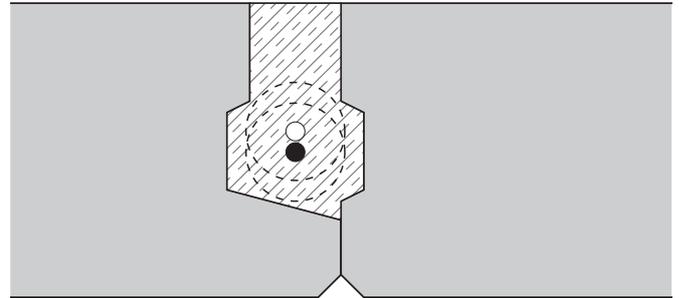
Die bei der Bemessung ermittelte statisch erforderliche Bewehrung zur Aufnahme der Zugkräfte soll bei Scheiben des Typs I auf höchstens drei Längsfugen am Zugrand gleichmäßig verteilt werden. Um das Aufreißen der Querfugen und die Verformungen zu begrenzen, sollen zwei weitere Fugen mit mindestens der halben Bewehrung der Randfugen versehen und die übrigen Fugen des Zugbereiches mit mindestens 1 Ø 8 BSt 500 S bewehrt werden. Bei Scheiben des Typs II ist die erforderliche Biegezugbewehrung in einem Ortbetonringanker am Zugrand zu konzentrieren. Ein möglichst umlaufender Ortbetonringanker ist als konstruktiv beste Lösung für alle Fertigteilscheiben (Typ I und II) anzustreben, da er das Zusammenwirken der Einzelbauteile ermöglicht und das Verformungsverhalten wesentlich verbessert. Die Bemessung und die konstruktive Durchbildung der Stahlbetonringanker ist nach DIN 1045-1 [10] vorzunehmen.

Bei der Wahl der Fugenprofilierung der Dachbauteile ist zu beachten, dass entsprechend [10] die erforderliche Mindestbetondeckung der Fugenbewehrung in Abhängigkeit von der Expositionsklasse allseitig sichergestellt werden kann. Ggf. sind geeignete Abstandhalter zur Lagesicherung der Bewehrung bzw. zur Sicherstellung einer ausreichenden Betondeckung vorzusehen (vgl. auch Bild 11). Aufgrund der konstruktiven Anforderungen an die Scheibenausbildung und an die Dauerhaftigkeit der erforderlichen Fugenbewehrung beträgt die Mindestbauteildicke $h = 150$ mm.

Zur Verminderung der Rissbildung in den Längsfugen sind auch die Querfugen mit mindestens 1 Ø 8 BSt 500 S zu bewehren. In der Praxis kann die stabilisierende Wirkung dieser Kontinuitätsbewehrung bei Scheiben des Typs I auch durch eine Verbindung mit der Unterkonstruktion in Form von Haltebügeln oder -blechen in den Fugenkreuzungen erreicht werden; dabei ist aber eine lückenlose Zugübertragung in den Querfugen sicherzustellen.

5.3 Fugenausbildung

Die Bauteilfugen und Aussparungen für die diskreten Schubdübel sind mit einem nicht zu feinkörnigen Beton mindestens der Festigkeitsklasse C20/22 oder LC20/22 nach DIN EN 206-1 zu vergießen. Bei Fugen mit Zuggliedern ist für die Verfüllung ein Beton mindestens der Festigkeitsklasse C20/22 bzw. LC20/22 nach DIN EN 206-1 zu verwenden. Die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit nach DIN 1045-1 (Mindestbetondeckung, Be-



Fugenprofil VPD

Bauteildicke	150 mm
Bewehrungsstahl	2 Ø 10
allseitige Betondeckung:	20 mm

Bild 11: Beispiel einer für die Herstellung von Dachscheiben geeignete Plattenrandprofilierung mit Darstellung der allseitigen Betondeckung der Fugenbewehrung

tonfestigkeitsklasse) in Abhängigkeit von der Expositionsklasse sind zu beachten.

Die zu verfüllenden Bereiche (Fugen und Dübelaussparungen) müssen vor dem Verfüllen sorgfältig gesäubert und ausreichend angeätzt werden, da lose Porenbetonteilchen und Bohrstaub die Reibung zwischen Fugenverguss und Porenbetonbauteil und damit die Fugentragfähigkeit verringern. Die Betondübel sollten im Abstand von mindestens 75 cm von den Bauteilstirnseiten und mit einem Achsabstand untereinander von höchstens 150 cm in den Bauteillängsfugen angeordnet werden. Dabei sind die Kreuzungen von Fugen als Dübel zu zählen.

Bei der Planung der Fugenbewehrung für die Scheibe ist zu beachten, dass das Zusammenwirken mehrerer Dübel in einer Fuge erst durch eine durchgehende Fugenbewehrung ermöglicht wird.

5.4 Auflagerausbildung

Bei der konstruktiven Durchbildung der Scheibenaufleger ist entsprechend DIN 4223-4 [13], 5.3.2, durch geeignete Maßnahmen das Auftreten von Zwängungen aus Temperatur zu vermeiden. Das ist insbesondere bei Dachscheiben zu beachten, die klimabedingten Temperaturänderungen ausgesetzt sind, während die Unterkonstruktion nahezu konstanten Bedingungen im Gebäudeinneren unterworfen ist.

5.5 Öffnungen

Oft ist es in der Praxis bei Dachscheiben erforderlich, Öffnungen zu integrieren (natürliche Beleuchtung, Entrauchungsöffnungen). Grundsätzlich ist die Anordnung von Öffnungen in Dachscheiben aus Porenbeton möglich, wenn diese bei der

Bemessung berücksichtigt werden. Zusätzlich sind ergänzende konstruktive Hinweise zu beachten.

- Öffnungen sind in ihren Abmessungen bezogen auf die Scheibenabmessung gering zu halten.
- Öffnungen sind möglichst in der neutralen, wenig beanspruchten Zone der Scheibe anzuordnen. Das gilt insbesondere für Konstruktionen, bei denen nur eine Scheibe für die Aufnahme von Windlasten aus entgegengesetzten Richtungen vorgesehen ist.
- Im Bereich des Druckbogens angeordnete Öffnungen müssen mit einem steifen Rahmen (z.B. aus Stahl) eingefasst werden. Der Rahmen muss so bemessen und konstruiert sein, dass die anteiligen Druckkräfte aufgenommen und weitergeleitet werden können.
- Die Weiterleitung der Kräfte der im Bereich von Öffnungen unterbrochenen Fugenbewehrung ist durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen (z.B. kraftschlüssiger Anschluss der Fugenbewehrung an den die Öffnungen umschließenden Metallrahmen).
- Bei nahezu parallel zu den Spannungstrajektorien der Scheibe verlaufenden Längsfugen zwischen den Porenbetonbauteilen im Bereich der Öffnungsränder sind mittels diskreter Schubdübel die auf die durch die Öffnung geschnittenen Dachbauteile entfallenden Normalkräfte auf die benachbarten Bauteile zu übertragen. Das gilt für Drucktrajektorien und Zugtrajektorien gleichermaßen.

Eine Bemessung von Scheiben aus Porenbetonbauteilen mit Öffnungen nach dem hier vorgestellten vereinfachten Verfahren scheidet aus, wenn die Berechnungsgrundlagen des vereinfachten Verfahrens nicht eingehalten sind und die vorstehend aufgeführten Hinweise zur konstruktiven Durchbildung der Dachscheiben nicht ausführbar sind.

6. Bemessungsbeispiel

Die in Bild 12 dargestellte Dachdecke einer Halle aus 20 cm dicken Porenbetondachbauteilen der Festigkeitsklasse P 4,4 soll als Scheibe zur Windaussteifung in Längs- und Querrichtung herangezogen werden.

Die Biegebemessung der Dachbauteile erfolgt nach DIN 4223-2 [12] unter Verwendung der in [9] angegebenen Bemessungshilfen.

6.1 Nachweis der Plattenwirkung

Einwirkungen (Belastung):

Eigengewicht	= 1,68 kN/m ²
Belag	= 1,56 kN/m ²
	$g = 3,24 \text{ kN/m}^2$
Schnee	$s = 0,75 \text{ kN/m}^2$

$$q_d = \gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot s = 1,35 \cdot 3,24 + 1,5 \cdot 0,75 = 5,5 \text{ kN/m}^2$$

Statik:

$$M_d = q_d \cdot b \cdot \frac{l_{\text{eff}}^2}{8} = 5,5 \cdot 0,625 \cdot \frac{5,0^2}{8} = 10,74 \text{ kNm}$$

$$V_d = q_d \cdot b \cdot \frac{l_{\text{eff}}}{2} = 5,5 \cdot 0,625 \cdot \frac{5,0}{2} = 8,6 \text{ kN}$$

Bemessung:

Porenbetonfestigkeitsklasse P 4,4 (DIN 4223-2, Gl. 19)	$f_{\text{ck}} = 4,4 \text{ MPa}$
Betonstahlmatten BSt 500	$\tau_{\text{Rd}} = 77,7 \text{ kN/m}^2$
Statische Nutzhöhe der Platten	$f_{\text{yk}} = 500 \text{ MPa}$
	$d = 18 \text{ cm}$

$$k_d = d \cdot \sqrt{\frac{b}{M_d}} = 18 \cdot \sqrt{\frac{0,625}{10,74}} = 4,342$$

aus Bemessungstabelle Biegung mit Längskraft für P 4,4 und BSt 500 abgelesen:

$$\varepsilon_c = 3 \text{ ‰} \quad \varepsilon_s = 6,63$$

$$k_z = 0,888 \quad k_x = 0,312 \quad k_s = 2,592$$

$$\text{erf } A_s = k_s \cdot \frac{M_d}{d} = 2,592 \cdot \frac{10,74}{18} = 1,55 \text{ cm}^2$$

Bei Annahme von 8 Ø 5 als Längsbewehrung (1,57 cm²) beträgt der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft ohne Querkraftbewehrung nach DIN 4223-2, Gl. 19:

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

$$= 77,8 \cdot (1 - 0,83 \cdot 0,18) \cdot \left(1 + 240 \cdot \frac{1,57}{62,5 \cdot 18}\right) \cdot 0,625 \cdot 0,18$$

$$= 9,93 \text{ kN}$$

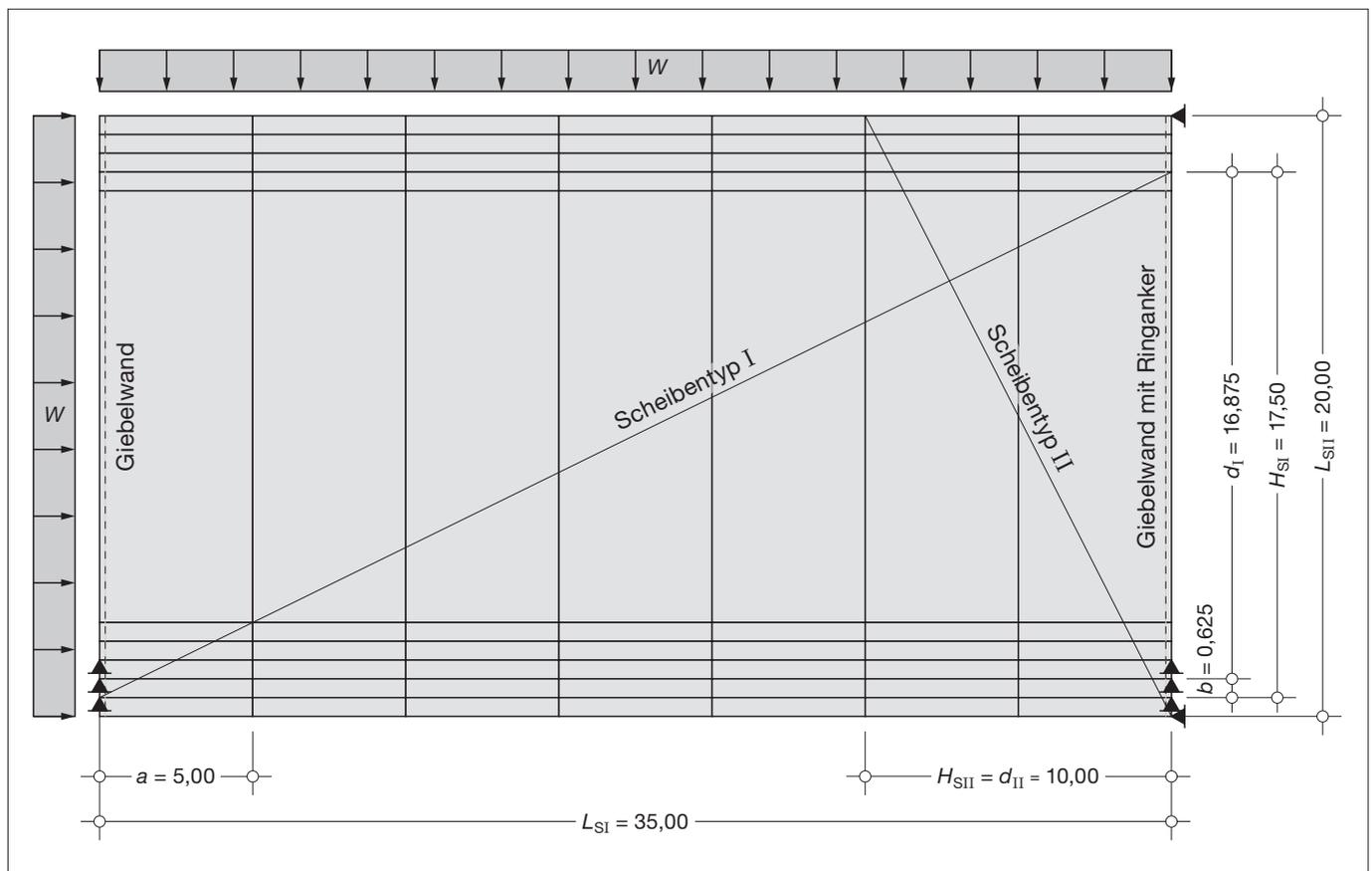


Bild 12: System der Scheiben und Einwirkungen

6 Bemessungsbeispiel

$$V_{Rd1} \geq 0,06 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{c2}} \cdot b_w \cdot d = 0,06 \cdot \frac{4400}{1,7} \cdot 0,625 \cdot 0,18$$

$$= 17,47 \text{ kN}$$

$$V_{Rd1} = \underline{\underline{17,47 \text{ kN} > 8,6 \text{ kN}}} = V_d$$

6.2 Nachweis der Scheibenwirkung

$$w = 2,0 \text{ kN/m}$$

$$w_d = \gamma_Q \cdot w = 1,5 \cdot 2,0 = 3,0 \text{ kN/m}$$

6.2.1 Scheibentyp I

Biegebemessung:

$$H_{SI} \leq 0,5 \cdot L_{SI} = 0,5 \cdot 35,00 = 17,50 \text{ m}$$

$$d_I = H_{SI} - b = 17,50 - 0,625 = 16,875 \text{ m}$$

(d_I – statische Nutzhöhe bezogen auf den Schwerpunkt der in drei Längsfugen vorgesehenen Bewehrung des Zugrandes)

$$x_I = 0,3 \cdot d_I = 0,3 \cdot 16,875 = 5,06 \text{ m}$$

$$z_I = d_I - \frac{x_I}{3} = 16,875 - \frac{5,06}{3} = 15,19 \text{ m}$$

nach Bild 9:

$$z_I = 0,75 \cdot d_I = 0,75 \cdot 16,875 = 12,66 \text{ m (maßgebend)}$$

$$M_{SdI} = \frac{w_d \cdot L_{SI}^2}{8} = \frac{3,0 \cdot 35,00^2}{8} = 459,4 \text{ kNm}$$

$$Z_{SI} = \frac{M_{SdI}}{z_I} = \frac{459,4}{12,66} = 36,3 \text{ kN}$$

$$\text{erf } A_{sI} = \gamma_{zs} \cdot \frac{Z_{SI}}{f_{yd}} = \gamma_{zs} \cdot \frac{\gamma_s \cdot Z_{SI}}{f_{yk}} = 2,0 \cdot \frac{1,15 \cdot 36300}{500} = 167 \text{ mm}^2$$

gewählt: 3 Ø 10 BSt 500 S, verteilt auf drei Fugen (236 mm²); alle übrigen Längsfugen je 1 Ø 8, BSt 500 S

$$\min \sigma_{cl} = -\frac{2 \cdot Z_{SI}}{h \cdot x_1} = -\frac{2 \cdot 0,0363}{0,20 \cdot 5,06} = -0,072 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_{cd}^*}{\gamma_{zs}} = 0,6 \cdot \alpha \cdot \frac{f_{cd}}{\gamma_{zs}} = 0,6 \cdot \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_{c2} \cdot \gamma_{zs}} = 0,6 \cdot \frac{0,85 \cdot 4,4}{1,7 \cdot 2,0} = 0,66 \text{ MPa}$$

$$-\min \sigma_{cl} = \underline{\underline{0,072 \text{ MPa} < 0,66 \text{ MPa}}} = \frac{f_{cd}^*}{\gamma_{zs}}$$

Überlagerung von Scheiben- und Plattenwirkung:

Nachweis der Porenbetonplatten am Druckrand in Scheibenmitte:

$$N_{dI} = \frac{b \cdot h}{2} \cdot \min \sigma_{cl} \cdot \left(2 - \frac{b}{x_1}\right)$$

$$= -\frac{0,625 \cdot 0,20}{2} \cdot 0,072 \cdot \left(2 - \frac{0,625}{5,06}\right) \cdot 10^3 = -8,44 \text{ kN}$$

(Druckspannungsverteilung nach Bild 13)

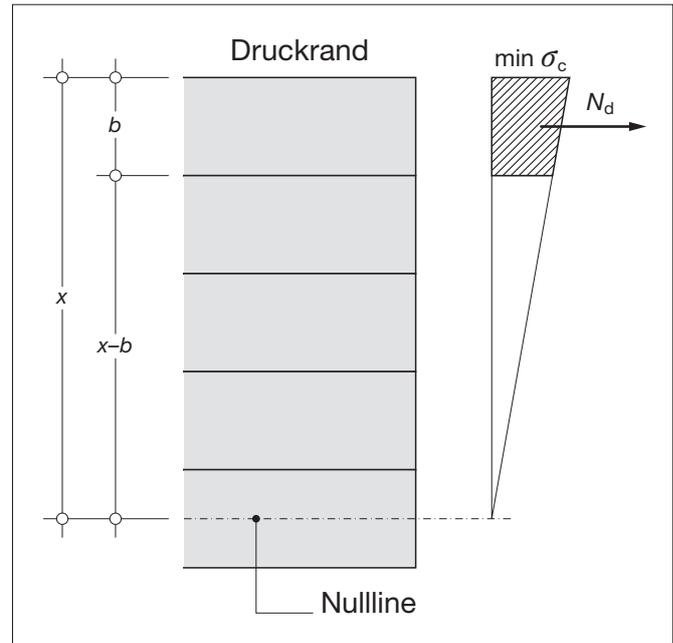


Bild 13: Längsdruck aus Scheibenwirkungen

$$e_s = d - \frac{h}{2} = 18 - \frac{20}{2} = 8 \text{ cm}$$

$$M_{dI} = M_d - N_{dI} \cdot e_s = 10,74 + 8,44 \cdot 0,08 = 11,42 \text{ kNm}$$

Bemessung:

$$k_d = d \cdot \sqrt{\frac{b}{M_{dI}}} = 18 \cdot \sqrt{\frac{0,625}{11,42}} = 4,211$$

aus Bemessungstabelle Biegung mit Längskraft für P 4,4 und BSt 500 abgelesen:

$$\epsilon_c = 3 \text{ ‰} \quad \epsilon_s = 5,97$$

$$k_z = 0,879 \quad k_x = 0,334 \quad k_s = 2,62$$

$$\text{erf } A_s = k_s \cdot \frac{M_{dI}}{d} + \gamma_{sz} \cdot \frac{\gamma_s \cdot N_{dI}}{f_{yk}} = 2,62 \cdot \frac{11,42}{18} - 2,0 \cdot \frac{1,15 \cdot 8,44}{500} \cdot 10$$

$$\text{erf } A_s = 1,27 \text{ cm}^2 < 1,57 \text{ cm}^2$$

Schubbemessung am Scheibenaufleger:

$$d_I > 10,0 \text{ m} \Rightarrow \vartheta = 1/3$$

$$Q_{dAI} = w_d \cdot \frac{L_{SI}}{2} = 3,0 \cdot \frac{35,0}{2} = 52,5 \text{ kN}$$

$$\tau_{dI} = \frac{Q_{dAI}}{\vartheta \cdot h \cdot d_I} = \frac{0,0525}{0,333 \cdot 0,20 \cdot 16,875} = 0,047 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{Rd1,S}}{\gamma_{zs}} = \frac{0,160}{2,0} = 0,080 \text{ MPa}$$

$$\tau_{dI} = \underline{\underline{0,047 \text{ MPa} < 0,080 \text{ MPa}}} = \frac{\tau_{Rd1,S}}{\gamma_{zs}}$$

Der Schubnachweis wird geführt, obwohl er im vorliegenden Fall nicht erforderlich ist.

$$\tau_{d,P} = \frac{V_d}{b \cdot d \cdot k_z} = \frac{0,0086}{0,625 \cdot 0,18 \cdot 0,888} = 0,086 \text{ MPa}$$

$$\tau_{res} = \sqrt{\tau_{dI}^2 + (\gamma_Q \cdot \tau_{d,P})^2} = \sqrt{0,047^2 + (1,5 \cdot 0,086)^2} = 0,137 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{Rd2,S}}{\gamma_{ZS}} = \frac{0,520}{2,0} = 0,260 \text{ MPa} > 0,137 \text{ MPa} = \tau_{res}$$

$$\Delta Q = \tau_{res} \cdot b \cdot h = 0,137 \cdot 0,625 \cdot 0,20 \cdot 10^3 = 17,1 \text{ kN}$$

$$A_{sT} = \gamma_{ZS} \cdot \frac{\Delta Q}{f_{yd}} = 2,0 \cdot \frac{1,15 \cdot 17,1 \cdot 10^3}{500} = 78,7 \text{ mm}^2 = 0,79 \text{ cm}^2$$

oben und unten als Querbewehrung in der Platte verteilen!

Schubbemessung der Längsfugen über dem Scheibenauf-
lager:

$$\tan \varphi_A = \frac{Q_{dAI}}{Z_{SI}} = \frac{52,5}{36,3} = 1,446$$

$$a_2(\varphi) = \frac{\tan \varphi_A}{1 + \tan^2 \varphi_A} = \frac{1,446}{1 + 1,446^2} = 0,468$$

$$\tau_{RdF} = a_2(\varphi) \cdot f_{cd} = 0,468 \cdot 1,32 = 0,618 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{RdF}}{\gamma_{ZS}} = \frac{0,618}{2,0} = 0,309 \text{ MPa} > 0,047 \text{ MPa} = \tau_{dI}$$

Schubbemessung des Scheibenauf-
lagers:

Es werden drei rechnerische Auflagerpunkte gewählt. Die 1,5-fachen Auflagerkräfte sind jeweils

$$Q_{xI} = \frac{1,5}{3} \cdot Q_{dAI} = \frac{1,5}{3} \cdot 52,5 = 26,3 \text{ kN}$$

$$Q_{yI} = \frac{1,5}{3} \cdot Z_{SI} = \frac{1,5}{3} \cdot 36,3 = 18,2 \text{ kN}$$

Beanspruchung der Auflagerprofile:

Beim Nachweis der Auflagerprofile ist zu beachten, dass die Zugkraft Z_S der Zugbewehrung und die parallel dazu verlaufende Komponente des Druckbogens q_y im Gleichgewicht stehen (vgl. Bild 14).

$$e_x = 0,5 \cdot h = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ cm}$$

$$e_y = 0,5 \cdot h = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ cm (siehe Bild 15)}$$

(Hebelarm der Zugkraft bis Einspannstelle)

$$M_{yI} = -Q_{xI} \cdot e_x = -26,3 \cdot 0,10 = -2,63 \text{ kNm}$$

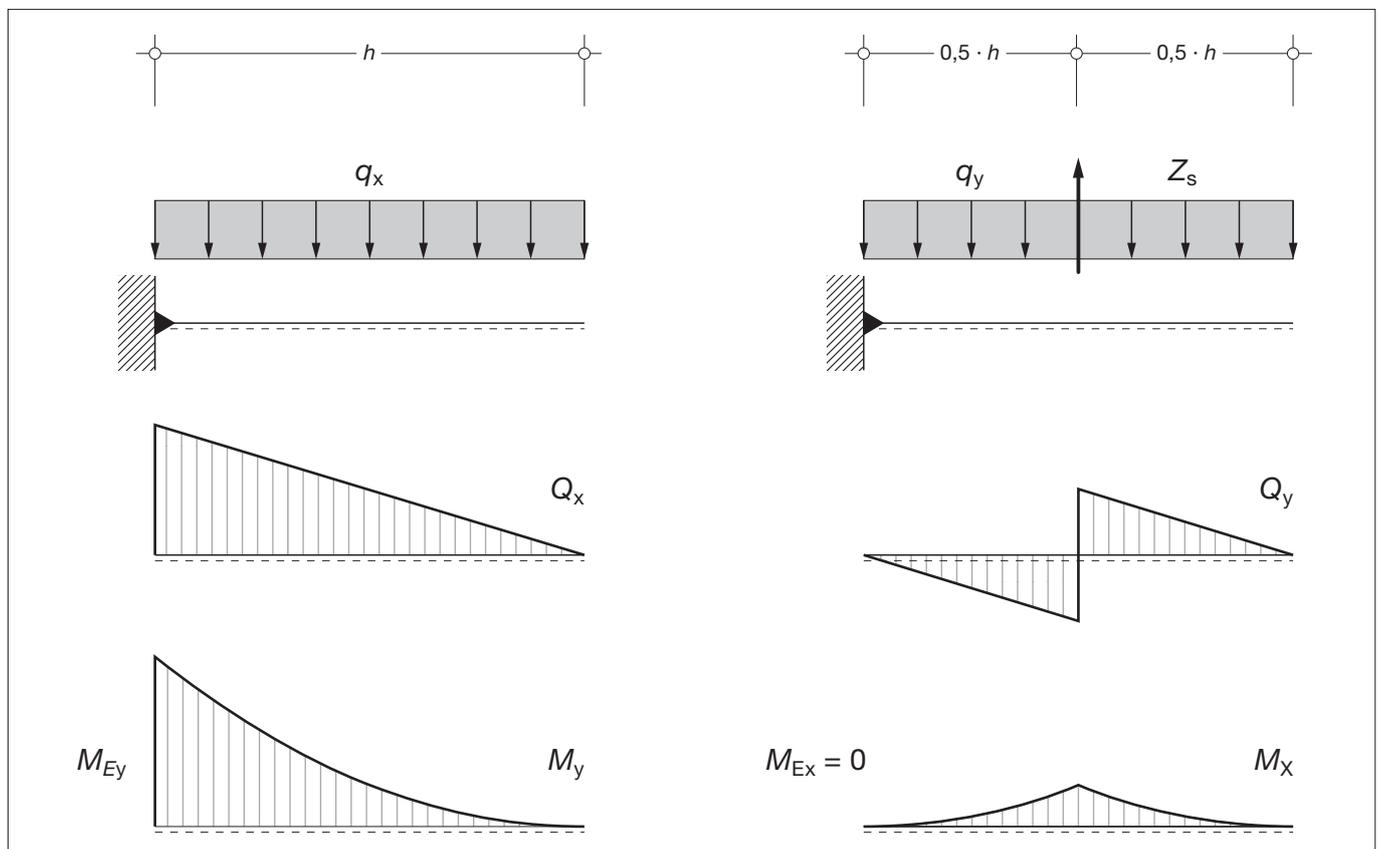


Bild 14: Beanspruchung der Auflagerprofile

6 Bemessungsbeispiel

$$M_{xI} = \frac{Q_{yI} \cdot h}{2} = \frac{18,2 \cdot 0,20}{4} = 0,91 \text{ kNm}$$

gewählt: HEA 120, S235JRG, mit

$$\begin{aligned} W_y &= 106 \text{ cm}^3 & S_y &= 59,7 \text{ cm}^3 \\ W_x &= 38,5 \text{ cm}^3 & t &= 0,5 \text{ cm} \\ I_y &= 606 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\sigma_z = \frac{2,63 \cdot 1000}{106} + \frac{0,91 \cdot 1000}{38,5} = 24,8 + 23,6$$

$$= 48,4 \text{ MPa} < \frac{240}{2,0 \cdot 1,1} = 109 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = \frac{10 \cdot 26,3 \cdot 59,7}{606 \cdot 0,5} = 51,8 \text{ MPa} < \frac{240}{2,0 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,1} = 69,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_v = \sqrt{48,4^2 + 3 \cdot 51,8^2} = 101,9 \text{ MPa} < \frac{240}{2,0 \cdot 1,1} = 109 \text{ MPa}$$

Abmessung der Betondübel:

$$a_{xI} = \frac{Q_{xI} \cdot \gamma_{zS}}{h \cdot f_{cd}} = \frac{0,0263 \cdot 2,0}{0,20 \cdot 2,88} = 0,091 \text{ m}$$

$$a_{yI} = \frac{Q_{yI} \cdot \gamma_{zS}}{h \cdot f_{cd}} = \frac{0,0182 \cdot 2,0}{0,20 \cdot 2,88} = 0,063 \text{ m}$$

(f_{cd} aus Tabelle 1)

gewählt: $a_{xI} = 0,15 \text{ m}$
 $a_{yI} = 0,15 \text{ m}$ (Betonüberdeckung des Auflagerprofils beachten)

Verankerung der Zugbewehrung:

z.B. am Auflagerprofil anschweißen.

Der Nachweis ist für die Zugkraft $Z_{SI}/3 = 12,1 \text{ kN}$ unter Berücksichtigung des zusätzlichen Sicherheitsbeiwertes γ_{zS} zu führen.

6.2.2 Scheibentyp II

Biegebemessung:

$$H_{SII} = d_{II} = 10,0 \text{ m}$$

$$x_{II} = 0,2 \cdot H_{II} = 0,2 \cdot 10 = 2,00 \text{ m}$$

$$z_{II} = d_{II} - \frac{x_{II}}{3} = 10,0 - \frac{2,00}{3} = 9,33 \text{ m}$$

nach Bild 9:

$$z_{II} = 0,75 \cdot d_{II} = 0,75 \cdot 10,00 = 7,5 \text{ m (maßgebend)}$$

$$M_{sdlII} = \frac{w_d \cdot L_{sII}^2}{8} = \frac{3,0 \cdot 20,0^2}{8} = 150 \text{ kNm}$$

$$Z_{SII} = \frac{M_{sdlII}}{z_{II}} = \frac{150}{7,5} = 20,0 \text{ kN}$$

$$\text{erf } A_{sII} = \gamma_{zS} \cdot \frac{Z_{SII}}{f_{yd}} = \gamma_{zS} \cdot \frac{\gamma_s \cdot Z_{SII}}{f_{yk}} = 2,0 \cdot \frac{1,15 \cdot 20000}{500} = 92 \text{ mm}^2$$

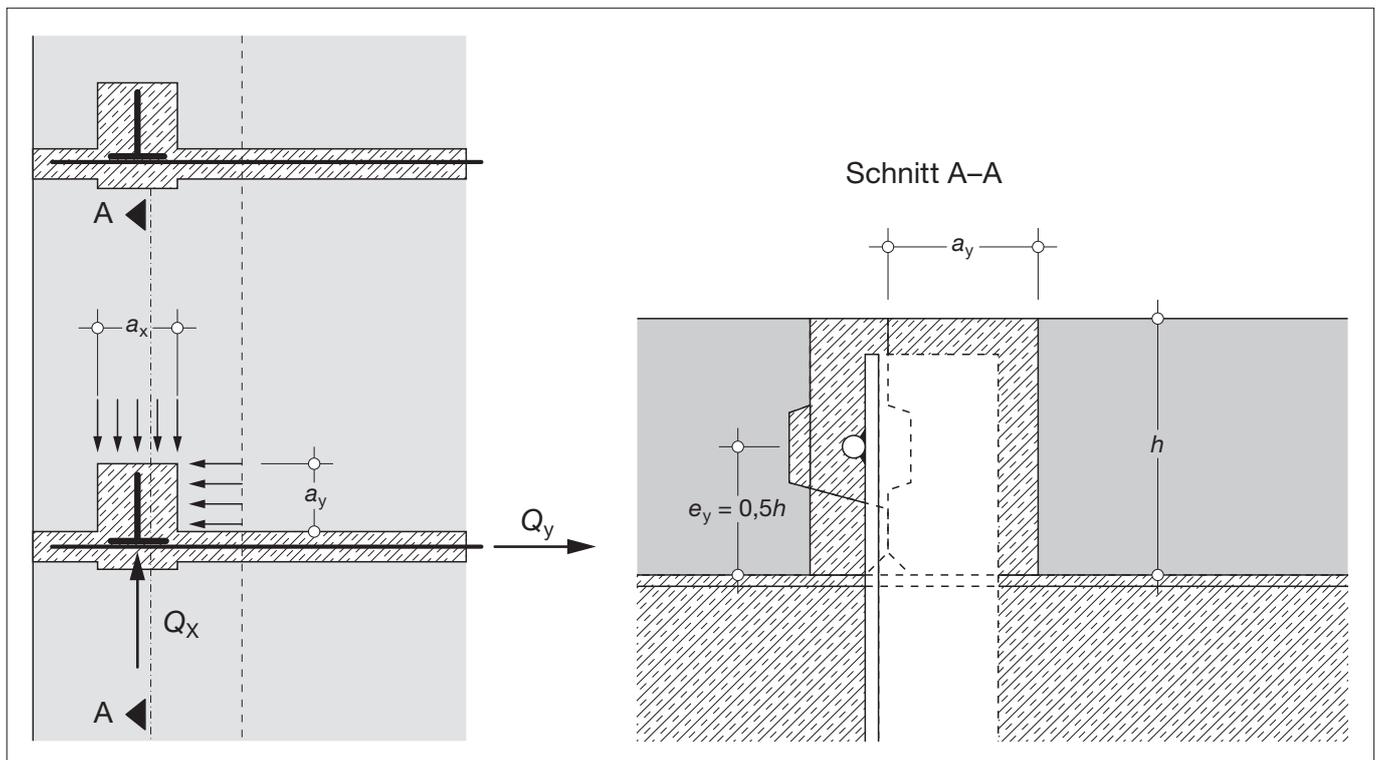


Bild 15: Auflagerausbildung (Prinzipdarstellung)

gewählt: Ringanker mit 2 Ø 10, BSt 500 S (157 mm²)

$$\min \sigma_{cII} = -\frac{2 \cdot Z_{SII}}{h \cdot x_{II}} = -\frac{2 \cdot 0,020}{0,20 \cdot 2,00} = -0,100 \text{ MPa}$$

$$-\min \sigma_{cII} = \underline{0,100 \text{ MPa} < 0,660 \text{ MPa}} = \frac{f_{cd}}{\gamma_{ZS}}$$

Überlagerung von Scheiben- und Plattenwirkung nicht erforderlich.

Schubbemessung am Scheibenaufleger:

$$d_{II} = 10,0 \text{ m} \Rightarrow \vartheta = 1/3$$

$$Q_{dAII} = w_d \cdot \frac{L_{SII}}{2} = 3,0 \cdot \frac{20,0}{2} = 30 \text{ kN}$$

$$\tau_{dII} = \frac{Q_{dAII}}{\vartheta \cdot h \cdot d_{II}} = \frac{0,030}{0,333 \cdot 0,20 \cdot 10,0} = 0,045 \text{ MPa}$$

$$x_{dII} = \underline{0,045 \text{ MPa} < 0,080 \text{ MPa}} = \frac{\tau_{Rd1,S}}{\gamma_{ZS}}$$

Schubbemessung der ersten Querfuge:

$$\tan \varphi^{\perp}(s) = \frac{Z_{SII}}{Q_{dAII} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot b}{L_{SII}}\right)} = \frac{20,0}{30,0 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,625}{20,0}\right)} = 0,711$$

$$\tau_0 \approx \tau_{dII} = 0,045 \text{ MPa}$$

$$a_1(\varphi) = \frac{1}{1 - \mu_0 \cdot \tan \varphi^{\perp}} = \frac{1}{1 - 0,7 \cdot 0,711} = 1,991$$

gewählt: Dübelabstand $e_{DÜ} = 1,0 \text{ m}$

$$\tau_e = 0,065 \text{ MPa} \quad (\text{Tabelle 4})$$

$$\tau_{RdF} = a_1(\varphi) \cdot \tau_e = 1,991 \cdot 0,065 = 0,129 \text{ MPa}$$

$$\tau_{dII} = \underline{0,045 \text{ MPa} < 0,0647 \text{ MPa}} = \frac{\tau_{RdF}}{\gamma_{ZS}}$$

Bemessung des Scheibenauflegers:

$$Q_{xII} = 1,5 \cdot Q_{dIIA} = 1,5 \cdot 30,0 = 45,0 \text{ kN}$$

$$Q_{yII} = 1,5 \cdot Z_{SII} = 1,5 \cdot 20,0 = 30,0 \text{ kN}$$

Beanspruchung der Auflagerprofile:

$$e_x = 0,5 \cdot h = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ cm}$$

$$e_y = 0,5 \cdot h = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ cm} \quad (\text{siehe Bild 15})$$

(Hebelarm der Zugkraft bis zur Einspannstelle)

$$M_{yII} = Q_{xII} \cdot e_x = 45,0 \cdot 0,10 = 4,50 \text{ kNm}$$

$$M_{xII} = \frac{Q_{yII}}{2} \cdot \frac{h}{2} = \frac{30,0 \cdot 0,20}{4} = 1,50 \text{ kNm}$$

gewählt: HEB 140, S235JRG, mit
 $W_y = 216 \text{ cm}^3$ $S_y = 123 \text{ cm}^3$
 $W_x = 78,5 \text{ cm}^3$ $t = 0,7 \text{ cm}$
 $I_y = 1510 \text{ cm}^4$

$$\sigma_z = \frac{4,50 \cdot 1000}{216} + \frac{1,50 \cdot 1000}{78,5} = 20,8 + 19,1$$

$$= 39,9 \text{ MPa} < \frac{240}{2,0 \cdot 1,1} = 109 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = 10 \cdot \frac{45 \cdot 123}{1510 \cdot 0,7} = 52,4 \text{ MPa} < \frac{240}{2,0 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,1} = 63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_v = \sqrt{39,9^2 + 3 \cdot 52,4^2} = 99,1 \text{ MPa} < \frac{240}{2,0 \cdot 1,1} = 109 \text{ MPa}$$

Abmessung der Betondübel:

$$a_{xII} = \frac{Q_{xII} \cdot \gamma_{ZS}}{h \cdot f_{cd}} = \frac{0,045 \cdot 2,0}{0,20 \cdot 2,88} = 0,156 \text{ m}$$

$$a_{yII} = \frac{Q_{yII} \cdot \gamma_{ZS}}{h \cdot f_{cd}} = \frac{0,030 \cdot 2,0}{0,20 \cdot 2,88} = 0,104 \text{ m}$$

(f_{cd} aus Tabelle 1)

gewählt: $a_{xII} = 0,20 \text{ m}$
 $a_{yII} = 0,20 \text{ m}$ (Betonüberdeckung des Auflagerprofils beachten)

Verankerung der Zugbewehrung wie bei Scheibentyp I

Zusammenfassung

Dachscheiben aus Porenbetonbauteilen können zur Aussteifung von Gebäuden gegenüber horizontalen Einwirkungen herangezogen werden, wenn die Scheibenwirkung unter Annahme wirklichkeitsnaher Werkstoff-, Verbund- und Fugenkennlinien und unter Berücksichtigung der daraus resultierenden Nicht-linearitäten nachgewiesen wird. Das haben numerische Untersuchungen der für die Praxis wesentlichen Systeme gezeigt. Die in [8] angegebenen und aus großmaßstäblichen Versuchen ermittelten Kennlinien für das Tragverhalten verdübelter Plattenfugen wurden um die Spannung-Dehnungs-Beziehungen nach DIN 4223-2 ergänzt.

Ausgehend von Untersuchungsergebnissen und den daraus entwickelten Modellvorstellungen werden unter Berücksichtigung der DIN 4223:2003-12 einfache Regeln für die Bemessung und konstruktive Durchbildung derartiger Scheiben angegeben und an einem Beispiel erläutert.

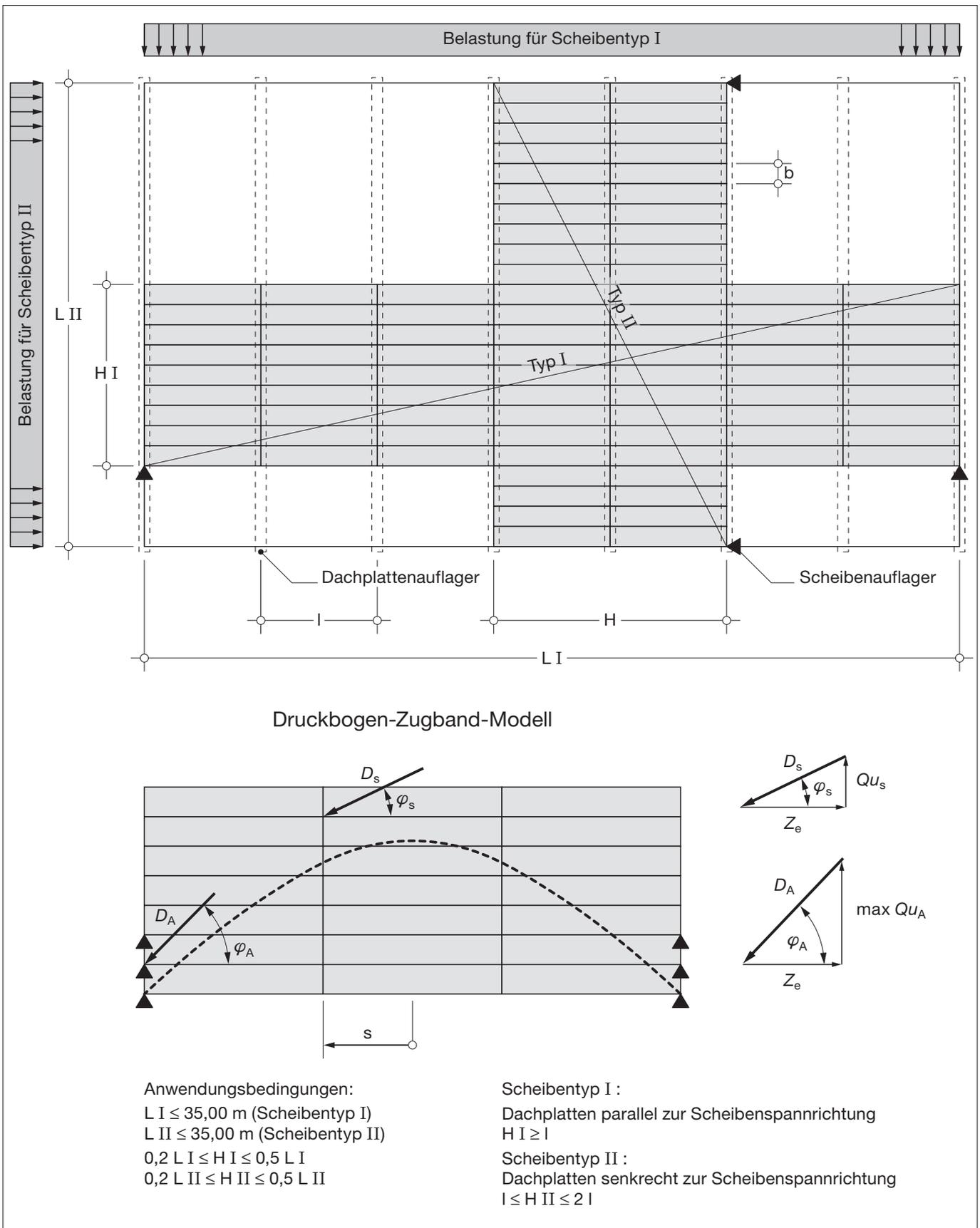
Quellenverzeichnis

- [1] Zulassungsbescheid Nr. II/2-1.2 1-3.3 des Instituts für Bautechnik, Berlin, vom 1.11.1977 für Dachscheiben aus bewehrten SIPOREX-Dachplatten aus dampfgehärtetem Gasbeton der Güteklassen GSB 35 und GSB 50.
- [2] Tragverhalten von Dachscheiben aus Gasbetonplatten, Gutachten G 72 068 der Ingenieursozietät BGS, Frankfurt am Main, vom 31.10.1974.
- [3] Auswirkung der Kraftübertragung in vermörtelten Gasbetonfugen auf die rechnerische Behandlung von Gasbeton-Dachscheiben, Gutachterliche Äußerung des Instituts für Massivbau der TH Darmstadt vom 22.9.1971.
- [4] Prüfungsbericht Nr. 242.1.72 vom 27.10.1972 und Nr. 224.1.73 vom 18.10.1973 des Instituts für Massivbau der TH Darmstadt über die Fugentragfähigkeit von Gasbetonscheiben.
- [5] Beck, H./Mehlhorn, G./Stauder, W./Schwing, H.: Zusammenwirken von einzelnen Fertigteilen als großflächige Scheibe. Schriftenreihe Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 224. Berlin: Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn 1973.
- [6] F. Leonhardt: Vorlesungen über Massivbau, 2. Teil, Sonderfälle der Bemessung im Stahlbetonbau, 3. Auflage, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, Wien, New York 1986
- [7] 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
- [8] Porenbeton Bericht 5. Berechnung und Ausführung von Dachscheiben aus Porenbetonplatten. Hrsg.: Bundesverband Porenbetonindustrie e.V., überarbeiteter Nachdruck (1993).
- [9] Porenbeton Bericht 23. Erläuterungen zu DIN 4223. Hrsg.: Bundesverband Porenbetonindustrie (2. Auflage 2006).
- [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. (2001).
- [11] DIN 4223-1:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 1: Herstellung, Eigenschaften, Übereinstimmungsnachweis. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003).
- [12] 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).
- [13] 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).
- [14] DIN 4223-5:2003-12: Vorgefertigte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton – Teil 5: Sicherheitskonzept. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003).
- [15] 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)

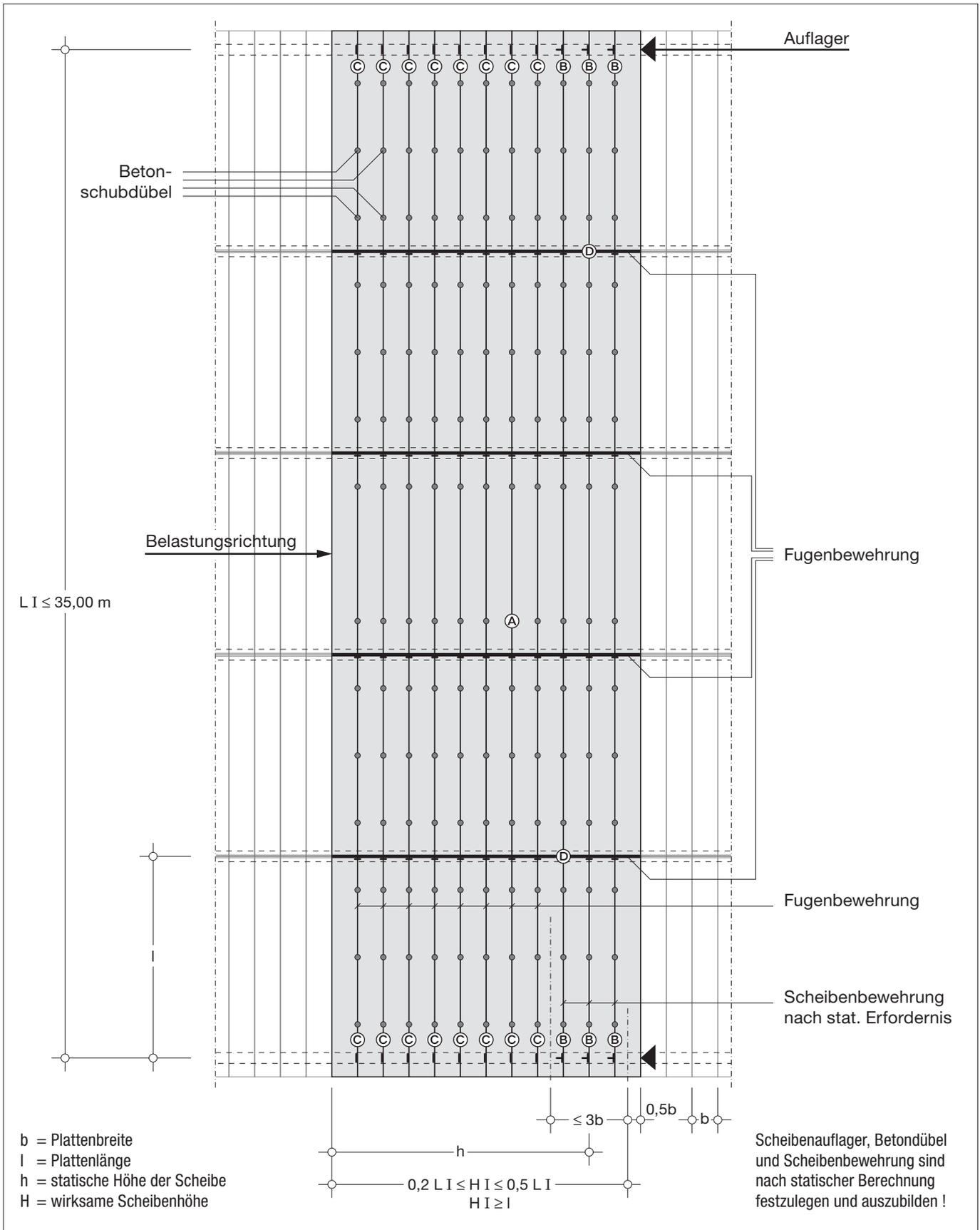
Anhang / Checkliste

- Der Scheibengrundriss muss rechteckig sein (siehe Anlage 1)
- Die maximalen Abmessungen der Scheibe ($L \leq 35 \text{ m}$; $0,2 \cdot L \leq H \leq 0,5 \cdot L$, siehe Anlage 1 bis 3) sind zu beachten.
- Für die Verbindung der Scheibe zur Unterkonstruktion sind Halteschlaufen bzw. Haltebleche erforderlich (siehe Anlage 4).
- An den Scheibenauflegern sind Fixpunkte erforderlich (z.B. Anschweißplatten in Stahlbetonbindern, siehe Anlage 5 und 6).
- Öffnungen sind im Scheibenbereich zu vermeiden oder möglichst in der neutralen Zone (außerhalb des Zugbandes und des Druckbogens, siehe Anlage 1) anzuordnen.
- Die Mindestdicke der Dachbauteile beträgt 150 mm. Die Bauteillängsränder müssen so profiliert sein, dass für die eingelegte Bewehrung eine allseitige Betondeckung von mindestens 25 mm sichergestellt wird (siehe Anlage 7). Zur Lagesicherung der Bewehrung sind geeignete Abstandhalter zu verwenden.
- Für die Bewehrung ist Stahl der Festigkeitsklasse BSt 500 zu verwenden.
- Für den Fugenverguss ist Beton mindestens der Festigkeitsklasse C16/20 zu verwenden. Die Korngröße des Vergussbetons ist auf die Fugengeometrie abzustimmen.
- die Bauteildicke ergibt sich aus der Plattenbemessung unter Berücksichtigung der Scheibenbeanspruchung (Druckbogen).
- Die maximal abzutragenden Lasten sind von der Bauteildicke der Dachbauteile, von der Geometrie der Scheibe (Abmessungen) und der Richtung der Einwirkungen (Scheibentyp I / Scheibentyp II, siehe Anlage 1) abhängig.
- Bei der Ausführung der Scheibe auf der Baustelle ist Betonstahl an Baustahl zu schweißen (besonderer Schweißnachweis erforderlich).
- Eine Kragarmausbildung ist beim Scheibentyp I möglichst zu vermeiden; beim Scheibentyp II ist eine Kragarmausbildung der Dachplatten mit großem konstruktiven Aufwand verbunden (Ringanker unterhalb der Scheibenebene).
- Ein umlaufender Ringanker in Scheibenebene ist sowohl beim Scheibentyp I als auch beim Scheibentyp II anzustreben.
- Die Ausbildung konstruktiv angeordneter Dachscheiben (ohne rechnerischen Nachweis) wird wie folgt empfohlen:
 - Verwendung von Dachbauteile mit Fugenvergussprofilen
 - umlaufenden Stahlbetonringanker mit mindestens $2 \text{ } \varnothing 10$
 - durchlaufende Fugenbewehrung (mind. $1 \text{ } \varnothing 8$) in den profilierten Längsfugen
 - Fugenverguss mit Beton mindestens der Festigkeitsklasse C16/20

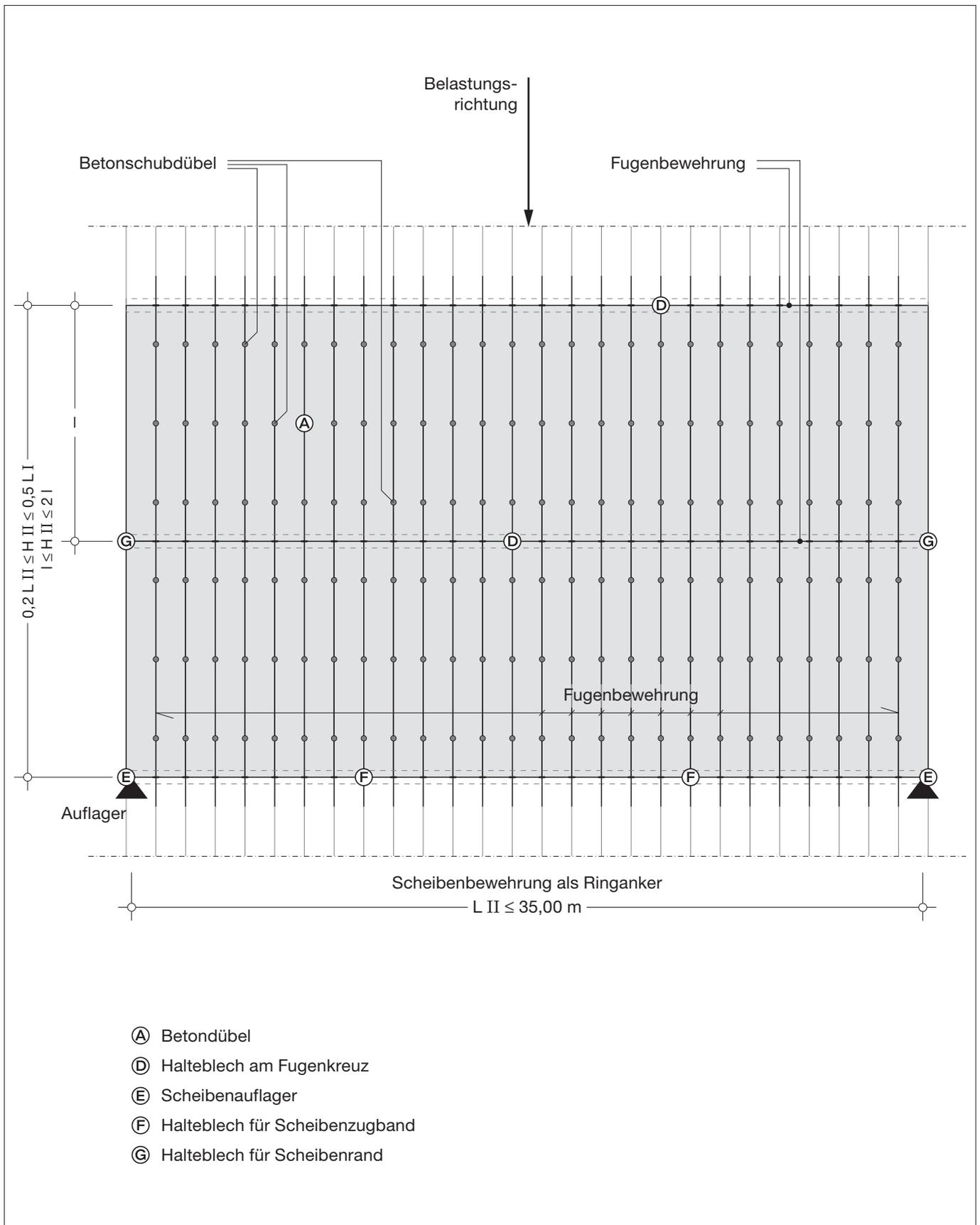
Anhang 1 zur Checkliste / Übersicht Scheibentypen



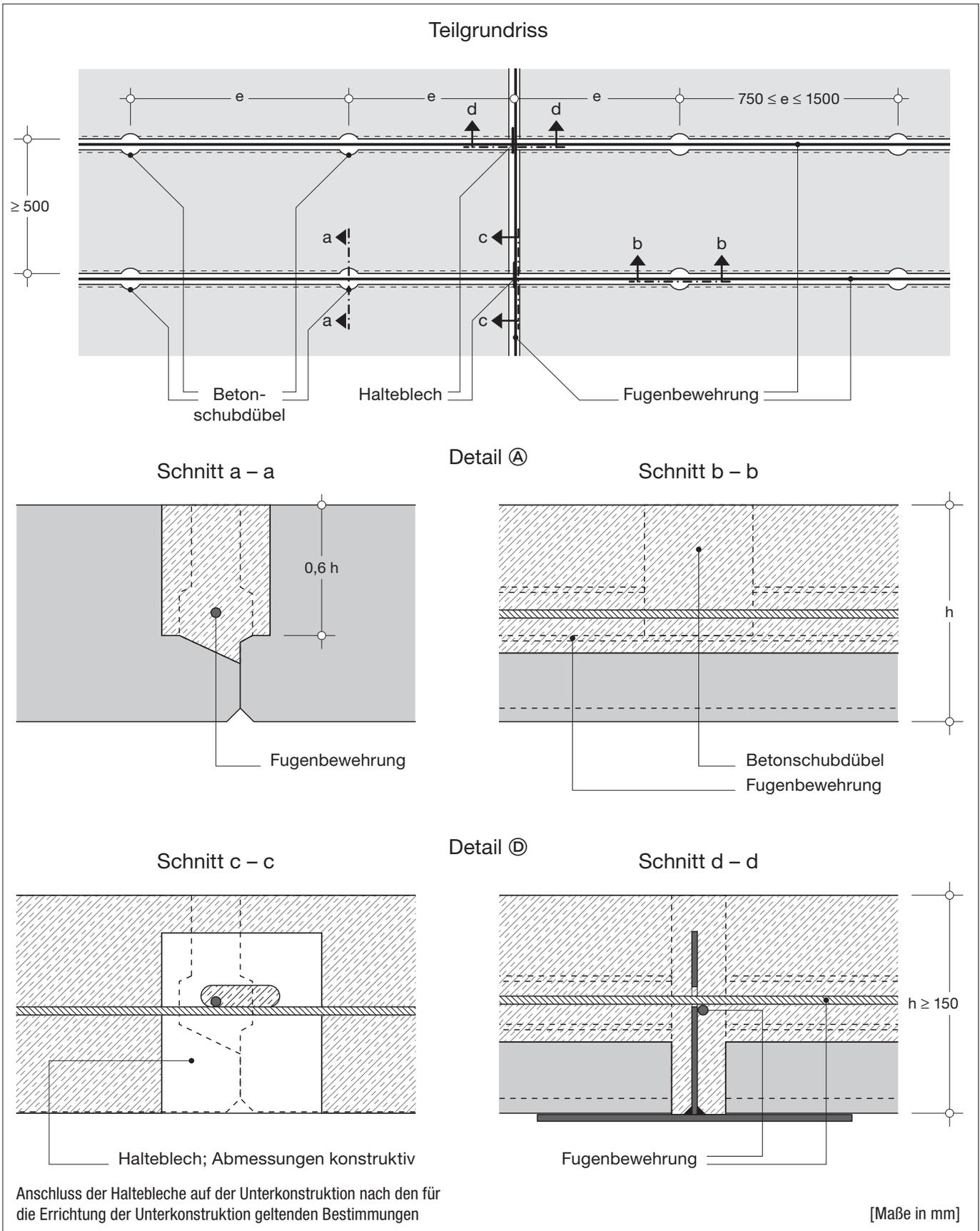
Anhang 2 zur Checkliste / Scheibentyp I Bewehrungsdetails



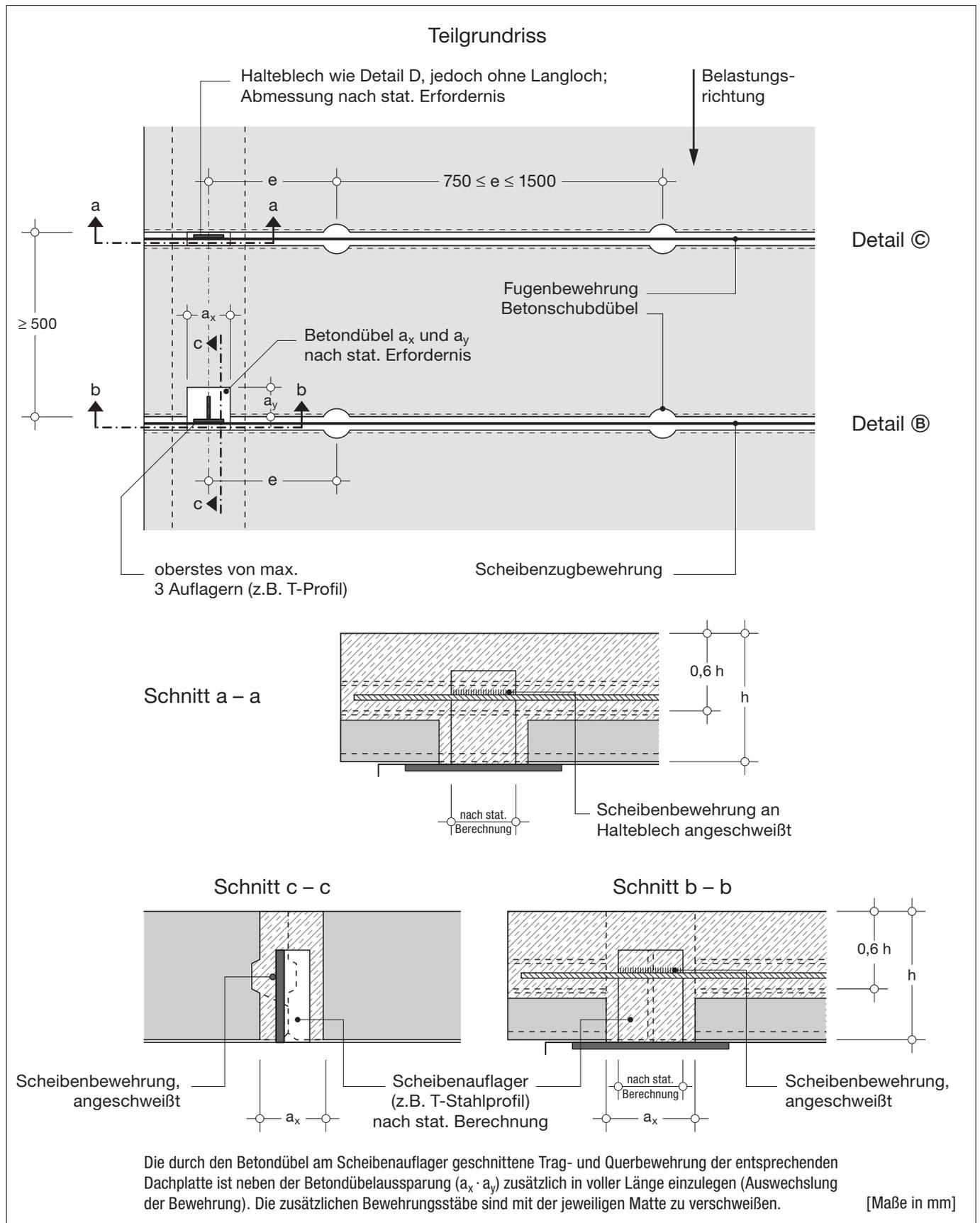
Anhang 3 zur Checkliste / Scheibentyp II Bewehrungsdetails



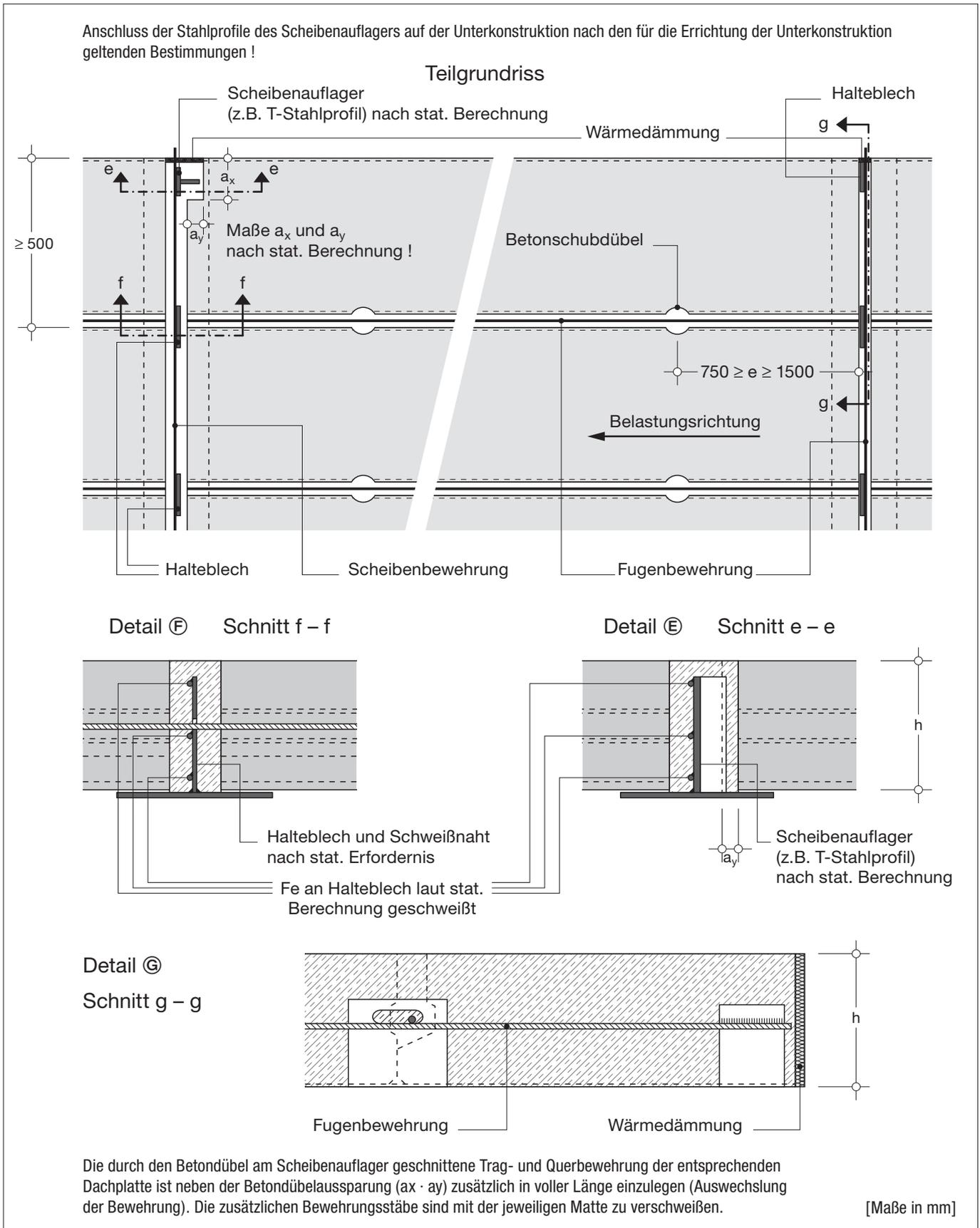
Anhang 4 zur Checkliste / Diskrete Schubdübel und Haltebleche



Anhang 5 zur Checkliste / Scheibenaufleger Scheibentyp I

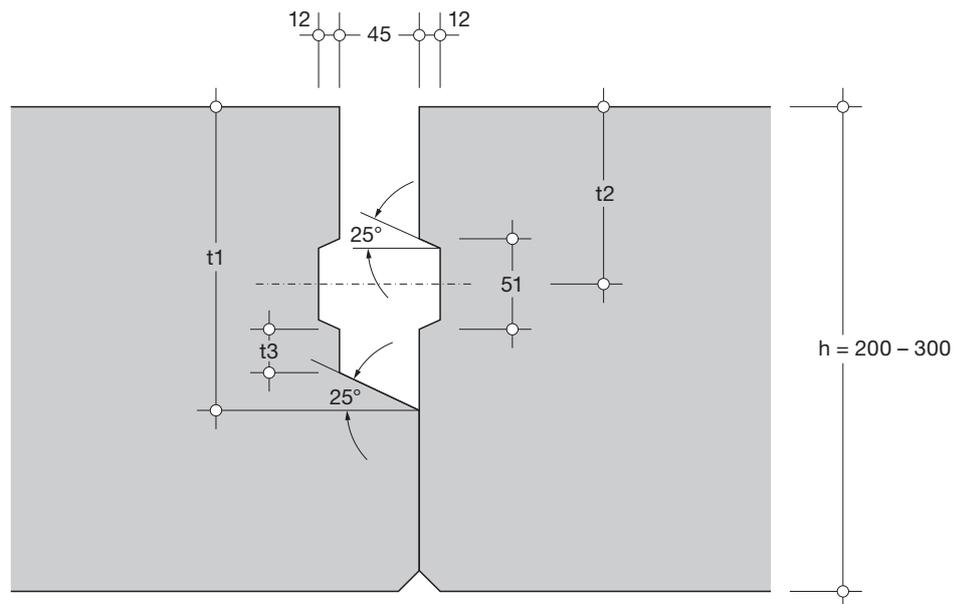
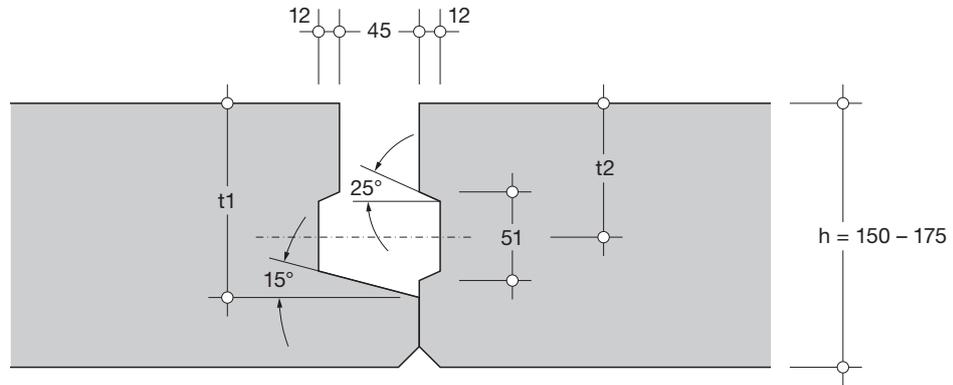


Anhang 6 zur Checkliste / Scheibenaufleger Scheibentyp II



Anhang 7 zur Checkliste / Profilformen

VPD (Dachscheibe)



h	t1	t2	t3
150	111	75 ⁵	-
175	123	88	-
200	147	100 ⁵	0
225	147	100 ⁵	0
250	157	100 ⁵	10
275	172	100 ⁵	25
300	187	100 ⁵	40

[Maße in mm]

