

**Beurteilung des rechnerischen Ansatzes des vertikalen
Anteils der Vorspannung beim Durchstanznachweis
von vorgespannten Flachdecken auf Grundlage des
Eurocode 2 prEN 1992-1-1**

T 3041

T 3041

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2004, ISBN 3-8167-6545-9

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.IRBbuch.de

Abschlussbericht

für das DIBT – Forschungsvorhaben P 32 - 5 - 7.227 - 1067 / 03:

Beurteilung des rechnerischen Ansatzes des vertikalen Anteils der Vorspannung beim Durchstanznachweis von vorgespannten Flachdecken auf Grundlage des Eurocode 2 prEN 1992-1-1 (July 2002, stage 49).

von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Konrad Zilch

Dipl.-Ing. Gregor Hammelehle

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	1
	Zusammenfassung	3
	Summary	4
	Résumé	5
2	Einleitung	6
3	Literaturrecherche	8
3.1	Allgemeines	8
3.2	Zeitraum vor 1975	9
3.2.1	Versuchsreihen	9
3.2.2	Bemessungsansätze	9
3.3	Zeitraum 1975-1985	11
3.3.1	Versuchsreihen	11
3.3.2	Bemessungsansätze	15
3.4	Zeitraum 1985-1995	18
3.4.1	Versuchsreihen	18
3.4.2	Bemessungsansätze	19
3.5	Zeitraum 1995 bis heute	21
3.5.1	Versuchsreihen	21
3.5.2	Bemessungsansätze	24
3.6	Zusammenfassung	27
4	Beurteilung der Versuchsreihen hinsichtlich der Verwertbarkeit	27
4.1	Allgemeines	27
4.2	Zeitraum vor 1975	27
4.3	Zeitraum 1975-1985	28
4.4	Zeitraum 1985-1995	30
4.5	Zeitraum 1995 bis heute	31
4.6	Zusammenfassung	33

5	Untersuchung der wissenschaftlichen Hintergründe der Normenformulierungen.	34
5.1	Allgemeines.....	34
5.2	Untersuchung der versuchstechnischen Hintergründe.....	34
5.3	Untersuchung der mechanischen Hintergründe.....	36
5.4	Zusammenfassung	37
6	Beurteilung der Durchstanzformulierung des EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] im Hinblick auf die Berücksichtigung der vertikalen Anteile der Vorspannung.....	37
7	Zusammenfassung	40
8	Literatur	42
8.1	Normen, Komitee - Empfehlungen und Anwendungshefte (DAfStb)	42
8.2	Versuchsreihen	43
8.3	Allgemein	45
Anhang A	Abbildungen der Versuchsaufbauten.....	46
Anhang B	Tabellarische Zusammenfassung der Versuchsreihen und Bemessungsansätze.....	57

Zusammenfassung

Gemäß den Regelungen des EC 2 Teil 1 (July, 2002) darf beim Durchstanznachweis von vorgespannten Flachdecken mit gekrümmt verlaufenden Spanngliedern der Vertikalanteil der Vorspannung berücksichtigt werden. Die durchstanzrelevante Last kann um die Summe aller vertikalen Kraftanteile, der den Rundschnitt (im Abstand $2d$ vom Stützenrand, bzw. dem Rand der Lasteinleitungsfläche) kreuzenden Spannglieder, reduziert werden. Im Vergleich zu den rechnerischen Empfehlungen des amerikanischen Building Codes ACI 318-99 und des Model Code 90 in Verbindung mit den FIP recommendations (1998) wird der Traglastanteil der vertikalen Vorspannungsanteile deutlich erhöht berücksichtigt.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde beurteilt inwieweit der erhöhte Traglastanteil infolge der vertikalen Vorspannungsanteile beim Durchstanznachweis nach EC 2 Teil 1 (July, 2002) bestätigt werden kann. Es wurde eine umfangreiche Datensammlung, bestehend aus entsprechenden Versuchsreihen und rechnerischen Empfehlungen ausgewählter Normen und Normungskomitees, zusammengestellt. Die Versuchsreihen wurden dahingehend untersucht, inwieweit sie im Hinblick auf eine differenzierte Beurteilung des Traglastanteils infolge des vertikalen Anteils der Vorspannung auswertbar sind. Parallel dazu wurden die rechnerischen Empfehlungen der Normen und Normungskomitees hinsichtlich ihrer wissenschaftlichen Hintergründe in versuchstechnischer und mechanischer Hinsicht untersucht.

Es kann gezeigt werden, dass es sich bei den rechnerischen Ansätzen des amerikanischen Building Codes ACI 318-99 und des Model Code 90 in Verbindung mit den FIP recommendations, 1998 in mechanischer Hinsicht um konservative Ansätze handelt. Eine erhöhte Berücksichtigung der vertikalen Vorspannungsanteile ist vor diesem Hintergrund somit denkbar.

Als Ergebnis der Forschungsarbeit muss jedoch festgestellt werden, dass auf Grundlage der recherchierten Daten eine differenzierte Beurteilung der Traglastanteile infolge des vertikalen Anteils der Vorspannung am Gesamtdurchstanzwiderstand nicht möglich ist. Die erhöhte Berücksichtigung der vertikalen Vorspannungsanteile bei der Ermittlung des Durchstanzwiderstands nach EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] kann somit nicht bestätigt werden.

Weitere experimentelle Untersuchungen sind notwendig, die sich speziell mit dem Einfluss des vertikalen Anteils der Vorspannung auf das Durchstanzverhalten von vorgespannten Flachdecken beschäftigen.

Summary

According to the code prediction equations of EC 2 part 1 (July, 2002) the vertical component of the prestressing forces may be considered while determining the punching shear strength of prestressed concrete flat plates with a curving tendon profile. The effective punching shear load may be reduced by the sum of the vertical components resulting from the inclined prestressing tendons crossing the control section (with a distance $2d$ from the loaded area). Compared with the computational recommendations of the American Building Code ACI 318-99 and the Model Code 90 in connection with the FIP recommendations (1998) the possible contribution of the vertical component of the prestressing force to the punching shear strength is taken into consideration in a clearly increased way.

Within the framework of the research project it has been evaluated if the increased contribution due to the vertical component of the prestressing force according to the code equation of EC 2 part 1 (July, 2002) can be confirmed. An extensive data collection, consisting of appropriate test series and computational recommendations of selected standards and standardization committees, has been arranged. An evaluation of the test series was realised in order to know, to what extent they may be analysed regarding to a differentiated evaluation of the possible contribution due to the vertical component of the prestressing. At the same time, the computational recommendations of the standards and standardization committees were examined regarding to their scientific background (experimental and mechanical).

It can be shown that the code equations of the American Building Code ACI 318-99 and the Model Code 90 in connection with the FIP recommendations, 1998 concerning mechanical regard represent conservative code predictions. Based on this circumstance, an increased consideration of the vertical component of the prestressing force is thus conceivable.

However, as result of the research work it has to be realised that on basis of the investigated data a differentiated evaluation of the effect of the vertical components of the prestressing forces to the punching shear resistance is not possible. The increased consideration of the vertical component of the prestressing force during determination of the punching shear resistance according to EC 2 part 1 (July, 2002) thus cannot be confirmed.

Further experimental investigations are necessary, particularly dealing with the influence of the vertical components of the prestressing forces on the punching shear resistance of prestressed concrete flat plates.

Résumé

Selon les règlements du EC 2 première partie (juillet, 2002) la partie verticale de la précontrainte peut être prise en considération lors de la vérification au poinçonnement de dalles minces précontraintes avec des câbles de précontrainte présentant une courbure. La charge significative au poinçonnement peut être réduite par la somme de toutes les parties verticales de la force résultant des câbles de précontrainte traversant la section critique (ayant une distance de $2d$ à partir du bord de l'appui). Comparé aux recommandations théoriques du Building Code américain ACI 318-99 et du Model Code 90 en rapport avec les FIP recommandations (1998) la partie de résistance selon l'effort verticale de la précontrainte est prise en considération dans une mesure significativement élevée.

Dans le cadre de ce projet de recherche on a évalué la mesure selon laquelle il est possible de confirmer la partie élevée de résistance en conséquence des parties verticales de précontrainte lors de la vérification au poinçonnement selon EC 2 première partie (juillet, 2002). On a réalisé une collection de nombreux données contenant des séries d'essais correspondantes et de recommandations théoriques de normes sélectionnées et de comités de normes. Les séries d'essais ont été évaluées selon un paramètre indiquant la possibilité de les analyser en vue d'une évaluation détaillée de la partie de résistance en conséquence de la partie verticale de la précontrainte. Parallèlement, on a analysé les recommandations théoriques des normes et des comités de normes à l'égard de leurs arrière-plans scientifiques du point de vue expérimental et mécanique.

On peut en démontrer que, du point de vue mécanique, il s'agit de solutions conservatrices en ce qui concerne les solutions théoriques du Building Code américain ACI 318-99 et du Model Code 90 en rapport avec les FIP recommandations, 1998. A l'égard de ces circonstances on peut tenir en considération plus particulièrement les parties verticales de la précontrainte.

Cependant, il faut constater en tant que résultat de ce projet de recherche que, à la base des données recherchées, une évaluation détaillée des parties de résistance en conséquence de la partie verticale de la précontrainte au niveau de la résistance totale au poinçonnement n'est pas possible. Ainsi, on ne peut pas confirmer une considération particulière des parties verticales de précontrainte lors de la détermination de la résistance au poinçonnement selon EC 2 première partie (juillet, 2002).

Il en faut d'autres recherches expérimentales s'occupant particulièrement de l'influence de la partie verticale de la précontrainte sur le comportement au poinçonnement de dalles minces précontraintes.

2 Einleitung

Der Durchstanzwiderstand von vorgespannten Flachdecken nach EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] ermittelt sich über die folgende Nachweisgleichung:

$$v_{RD,c} = C_{RD,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0,10 \cdot \sigma_{cp} \quad (1)$$

$v_{RD,c}$ beschreibt dabei den Durchstanzwiderstand entlang des kritischen Rundschnitts im Abstand $2d$ vom Stützenrand. In der Formulierung werden die Parameter der Betondruckfestigkeit (f_{ck}), des geometrischen Längsbewehrungsgrad (ρ_l) sowie die Abhängigkeit von Maßstabseinflüssen (k) berücksichtigt. Der empfohlene Wert für $C_{RD,c}$ ist 0,12.

Der Traganteil der Vorspannung am Durchstanzwiderstand wird in EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] in zweierlei Hinsicht berücksichtigt. Zum einen erfolgt die Berücksichtigung des günstig wirkenden Längskraftanteils der Vorspannung in Form eines additiven Zuschlags ($0,10 \cdot \sigma_{cp}$) auf der Widerstandsseite des Nachweisformats (Druckspannungen werden mit negativem Vorzeichen in Rechnung gestellt). Zum anderen werden die vertikalen Anteile der Vorspannkräfte im Bereich des Rundschnitts (im Abstand von $2d$ vom Stützenrand) bereits auf der Einwirkungsseite des Nachweisformats berücksichtigt. Die einwirkende und somit aufzunehmende Bemessungskraft wird um den vertikalen Anteil, sämtlicher den kritischen Rundschnitt kreuzender Spannglieder, verringert.

Im Zuge des Forschungsantrags konnte aufgezeigt werden, dass der vertikale Anteil der Vorspannung bei DIN 1045-1 [N2] und besonders bei EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] (aufgrund der Berücksichtigung über den erweiterten Rundschnitt von $2d$) deutlich stärker berücksichtigt wird, als bei anderen derzeitigen Normen mit vergleichsweise kleineren Rundschnitten.

Die rechnerischen Untersuchungen von A. Zorn [A1] unterstreichen diesen Sachverhalt. Am Beispiel einer vorgespannten Flachdecke mit hochbauüblichen Abmessungen werden auf Grundlage verschiedener Normenkonzepte die rechnerischen Durchstanzlasten im Bereich einer Innenstütze verglichen.

Dabei wird deutlich, dass der anrechenbare vertikale Abzugswert der Vorspannung V_{Rp} zwischen den einzelnen Normen in Abhängigkeit des betrachteten Rundschnitts stark variiert (siehe Abbildung 1; die Anteile aus Vorspannung wurden durchweg auf der Widerstandsseite angetragen). Besonders deutlich wird dies am Beispiel des EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1]:

Vergleicht man den vertikalen Vorspannungsanteil V_{Rp} auf Grundlage des EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] mit dem des ACI 318-99 [N3] (Umlenkkräfte werden im Bereich eines

Rundschnitts mit Abstand $a = 0,5 d$ vom Auflagerrand berücksichtigt), so ergibt sich ein Faktor von ca. 2,4.

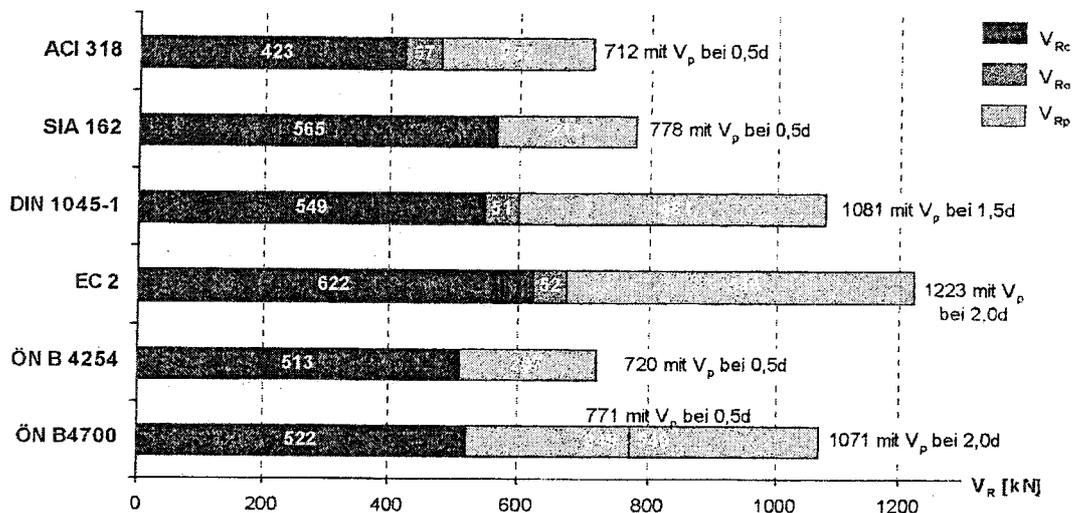


Abbildung 1: Durchstanzwiderstand V_R (Abb.1 in [A1])

Im Verlauf des Forschungsantrags konnte ferner gezeigt werden, dass der Ansatz des EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] in dieser Form auch den Empfehlungen der FIP recommendations, 1998 [N6] widerspricht, die einen Abzug der vertikalen Anteile der Vorspannung von der durchstanzrelevanten Last im Bereich $d/2$ vom Auflagerrand vorsehen.

In der vorliegenden Forschungsarbeit wird untersucht, ob die Berücksichtigung des vertikalen Vorspannungsanteils am Gesamtwiderstand des Durchstanzens in dem beschriebenen Masse gerechtfertigt werden kann.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wird zunächst eine ausführliche Literaturstudie hinsichtlich der bereits durchgeführten, bzw. derzeit laufenden -nationalen und internationalen- Versuchsreihen bzgl. Durchstanzen von vorgespannten Flachdecken durchgeführt. Es erfolgt eine Zusammenstellung der relevanten Versuchsreihen in einem Zeitraum von mehr als 40 Jahren mit Darstellung der maßgebenden Versuchseigenschaften und der jeweiligen Versuchserkenntnisse im Hinblick auf die Beurteilung des Einflusses des vertikalen Anteils der Vorspannung auf den Durchstanzwiderstand.

Parallel dazu wird nach entsprechenden Berechnungsansätzen, bzw. nach rechnerischen Empfehlungen recherchiert, die gegebenenfalls die erhöhte Berücksichtigung des Vertikalanteils der Vorspannung am Durchstanzwiderstand rechtfertigen können.

Auf Grundlage der zusammengestellten Datensammlung wird im Anschluss die derzeitige rechnerische Berücksichtigung des vertikalen Anteils der Vorspannung am Gesamtdurchstanzwiderstand in EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] kritisch beurteilt.

3 Literaturrecherche

3.1 Allgemeines

Die Zusammenstellung der recherchierten Versuchsdaten erfolgt in zeitlicher Reihenfolge. Gegenstand der Datensammlung sind sowohl Versuchsreihen bezüglich Innenstützen als auch Rand- und Eckstützen. Die Versuche werden im Hinblick auf das Durchstanzen von vorgespannten Flachdecken und im besonderen dem Traganteil der vertikalen Anteile der Vorspannung hinsichtlich der folgenden Parameter beschrieben:

- Werden die Versuche an Platten oder Plattenausschnitten durchgeführt?
- Wie dick ist die Versuchsplatte?
- Wie sieht der Spanngliedverlauf, bzw. die Verteilung der Spannglieder aus?
- Liegen die Spannglieder im Verbund oder nicht?
- Wird zusätzlich eine herkömmliche Längsbewehrung angeordnet?

Parallel dazu werden Daten der jeweiligen Normen und Normenkomitees gesammelt und erläutert. Dabei wird sowohl über die Berücksichtigung des vertikalen Anteils der Vorspannung als auch des Längskraftanteils der Vorspannung im Zusammenhang mit dem Nachweis gegen Durchstanzen von vorgespannten Flachdecken berichtet.

Die Versuchsdaten und die rechnerischen Empfehlungen auf Grundlage von Normen und Normenkomitees werden unabhängig voneinander dargestellt.

In Anhang A sind die Versuchsplatten, bzw. Versuchsaufbauten der jeweiligen Versuchsreihen exemplarisch abgebildet. Die Abbildungen geben zusätzliche Informationen hinsichtlich der Bewehrungsführung und Spanngliedführung der beschriebenen Versuchsplatten.

In Anhang B sind die Hauptdaten der vorgestellten Versuchsreihen und Bemessungsansätze in tabellarischer Form zusammengefasst dargestellt (Tabelle B 1 bis B 3). In Tabelle B 1 sind die maßgebenden Versuchsdaten zusammengestellt, in Tabelle B 2 sind die Rechenansätze der Normen und Normenkomitees hinsichtlich der Berücksichtigung des Längskraftanteils der Vorspannung im Zusammenhang mit der Ermittlung des Durchstanzwiderstands dargestellt. Tabelle B 3 verdeutlicht die Berücksichtigung des vertikalen Anteils der Vorspannung beim Durchstanznachweis auf Grundlage der vorgestellten Normen und Normenkomitees.

3.2 **Zeitraum vor 1975**

3.2.1 Versuchsreihen

Scordelis, Lin und May [V1] führten im Jahre 1958 Schubversuche im Bereich von Einzelstützungen an vorgespannten Hubdecken aus Normalbeton durch. Bis zu diesem Zeitpunkt gab es nur wenig experimentelle Erkenntnisse in diesem Bereich. In der Versuchsreihe wurden 15 Einzelversuche durchgeführt, davon 12 Versuche an verbundlos vorgespannten Hubdecken mit Plattenstärken zwischen 150 und 250 mm. Bei allen vorgespannten Versuchsplatten mit Ausnahme von einer verliefen die Spannglieder horizontal eben; eine zusätzliche schlaaffe Bewehrung wurde nicht eingelegt. Die Verteilung der Spannglieder im Grundriss erfolgte gleichmäßig in beiden Spannrichtungen. In Abbildung A1 im Anhang ist die Spanngliederverteilung und der Spanngliederverlauf der Versuchsplatten exemplarisch dargestellt.

Im Jahre 1971 startete an der University of Texas at Austin mit den Versuchen von **Gerber und Burns** [V2] ein auf längere Zeit angelegtes Versuchsprogramm. Die erste Versuchsreihe befasste sich mit Bruchversuchen an vorgespannten Einzelplatten aus Normalbeton. Untersucht wurden 10 Versuchsplatten mit einer Plattendicke von 180 mm, davon waren 6 Hubdecken und 4 Ortbetondecken. Der Spanngliederverlauf der nicht im Verbund liegenden Spannglieder war gekrümmt. Die Verteilung der Spannglieder im Grundriss war nahezu gleichmäßig in beiden Richtungen; direkt über der Stütze verliefen jeweils zwei konzentriert angeordnete Spannglieder. Zum Teil wurde eine zusätzliche schlaaffe Längsbewehrung angeordnet. In Abbildung A2 im Anhang ist die Spanngliederführung der Versuchsplatten exemplarisch dargestellt.

Im Jahre 1974 folgten weitere Versuche von **Smith und Burns** [V3]. Untersucht wurden drei verbundlos vorgespannte Einzelplatten aus Normalbeton. Die Plattendicke der Versuchsplatten betrug 70 mm. Die Spannglieder lagen nicht im Verbund und wurden gekrümmt eingebaut. Im Bereich des Stützstreifens erfolgte in beiden Richtungen eine Verdichtung der Spannglieder. Bei zwei Versuchsplatten wurde zusätzliche schlaaffe Längsbewehrung eingebaut. In Abbildung A3 im Anhang ist die Spanngliederführung der Versuchsplatten exemplarisch dargestellt.

3.2.2 Bemessungsansätze

Die meisten Erfahrungen mit verbundlos vorgespannten Flachdecken wurden in dem untersuchten Zeitraum vor 1975 in den USA gesammelt. Deshalb wird im Folgenden kurz auf die Regelungen der amerikanischen Bemessungsnorm -Building code ACI 318- hinsichtlich

der Bemessung von vorgespannten Flachdecken im Bereich von Einzelstützungen eingegangen.

Gerber und Burns [V2] erwähnen in ihrem Versuchsbericht 1971, dass der ACI 318-63 (siehe [V2]) keine Nachweisgleichungen bereitstellt für eine Schubbemessung im Bereich von Einzelstützungen bei vorgespannten Flachdecken, bzw. Hubdecken. Smith und Burns [V3] betonen 1974, dass auf Grundlage der Regelungen des ACI 318-71 (siehe [V3]) kein Unterschied bei der Schubbemessung im Bereich von Einzelstützungen zwischen vorgespannten und herkömmlichen Flachdecken gemacht wird. Das ACI-ASCE Komitee 423 empfiehlt im Jahre 1974 [N4] eine Ergänzungsgleichung für den Schubwiderstand von vorgespannten Flachdecken im Bereich von Einzelstützungen:

$$v_{cw} = 3,5\sqrt{f_c} + 0,3f_{pc} + \frac{V_p}{b_w d} \quad (2)$$

v_{cw} stellt die zulässige Widerstandsschubspannung entlang eines kritischen Rundschnitts im Abstand $d/2$ vom Stützenrand dar, f_c beschreibt die Betondruckfestigkeit, f_{pc} entspricht der Betondruckspannung infolge Vorspannung, b_w beschreibt die Länge des kritischen Rundschnitts und V_p ist die Summe der vertikalen Kraftanteile der den Rundschnitt kreuzenden Spannglieder. Die Gleichung berücksichtigt sowohl den Längskraftanteil der Vorspannung als auch den vertikalen Anteil der Vorspannung. Der Schubwiderstand erhöht sich bei gekrümmt verlaufenden Spanngliedern im Vergleich zu einer rein ebenen Vorspannung um den Vertikalanteil sämtlicher den Bemessungsquerschnitt kreuzenden Spannglieder. Nach Aussage der Autoren ist dieser Anteil verglichen mit dem gesamten Schubwiderstand verhältnismäßig klein und kann bei konservativer Betrachtung vernachlässigt werden.

Gleichung (2) wurde in den Ausführungen des ACI-ASCE Komitee 423, 1974 [N4] mit den Versuchsreihen von Scordelis / Lin / May [V1], Gerber / Burns [V2] und Grow / Vanderbilt (siehe [N4]) verglichen. Der Vertikalanteil des Schubwiderstands infolge einer geneigten Spanngliedführung wurde dabei nicht berücksichtigt. In Abbildung 2 sind die Vergleichsuntersuchungen dargestellt. Die Versuche von Grow und Vanderbilt (siehe [N4]) befassten sich mit Leichtbetonplatten und werden hier nicht näher erläutert.

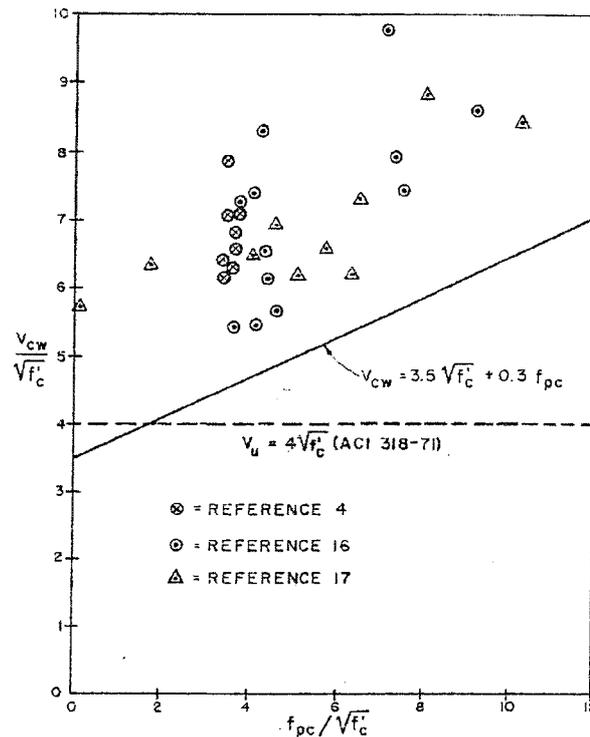


Abbildung 2: Vergleich von Versuchsergebnissen mit der rechnerischen Empfehlung des ACI-ASCE Komitee 423 (Abb. 2 in [N4]).

3.3 Zeitraum 1975-1985

3.3.1 Versuchsreihen

Das Versuchsprogramm an vorgespannten Flachdecken aus Normalbeton an der University of Texas at Austin wurde zwischen 1975 und 1985 um drei weitere Versuchsreihen ergänzt. **Burns und Hemakom** [V4] untersuchten 1977 ein 9-feldriges Deckenfeld im Maßstab 1/3 (siehe Abbildung A 4 im Anhang). Die Plattendicke betrug ca. 70 mm, die Spannweite der einzelnen Felder betrug ca. 3,0 m. Die Spannglieder lagen nicht im Verbund und wurden parabelförmig eingebaut. Die Spannglieder wurden zu 70% auf den Stützstreifen und zu 30 % auf den Feldsteifen verteilt. Im Bereich der Stützen wurde eine obere schlaaffe Längsbewehrung gemäß den Empfehlungen des ACI-ASCE Komitee 423 (1974) [N4] ergänzt. Ansonsten wurde keine schlaaffe Längsbewehrung verwendet. Das Hauptinteresse des Versuchs war, das mechanische Verhalten der vorgespannten Gesamtplattenstruktur im gesamten Lastbereich von der Erstbelastung bis zu Versagenslast zu erforschen. Weiteres Ziel der Untersuchungen war die Durchstanztragfähigkeit der vorgespannten Platte im Bereich der Innenstützen. Laut den Aussagen der Autoren konnten im Bereich der Innenstützen Durchstanzversagen beobachtet werden. Die experimentellen Versagenslasten werden im Anschluss mit den rechnerischen Versagensprognosen (siehe Gl. 2) des ACI-

ASCE Komitee 423, 1974 [N4] verglichen. Der Vertikalanteil der Spannglieder wird dabei nicht berücksichtigt.

Burns und Hemakom [V5] machten im Jahre 1985 einen weiteren Versuch an einem 9-feldrigen Deckensystem. Die geometrischen Abmessungen der Versuchsplatte waren direkt vergleichbar mit den Abmessungen der im Jahre 1977 untersuchten Platte. Die Spannglieder lagen ohne Verbund und wurden parabelförmig verlegt. In der einen Richtung waren die Spannglieder ausschließlich im Bereich der Stützenreihen gebündelt, in der Querrichtung wurden die Spannglieder gleichmäßig über die gesamte Plattenbreite verteilt eingelegt (siehe Abbildung A 5 im Anhang). Im Bereich der Stützen wurde oberseitig zusätzliche schlaaffe Längsbewehrung gemäß den Empfehlungen des ACI-ASCE Komitee 423, 1974 [N4] angeordnet. Laut der Aussage der Autoren konnte bei den abschließenden Bruchlastversuchen im Bereich der Innen- und Randstützen kein eindeutiges Durchstanzversagen beobachtet werden. Dem reinen Durchstanzversagen eilte aufgrund des geringen Längsbewehrungsgrads ein Biegeversagen voraus.

Eine weitere 4-feldrige Versuchsplatte wurde von **Kosut, Burns und Winter** [V6] im Jahr 1985 im Maßstab $\frac{1}{2}$ untersucht. Die Platte hatte ebenfalls eine Plattenstärke von ca. 70 mm und die einzelnen Felder hatten Spannweiten von ca. 3,0 m. Die Spannglieder lagen nicht im Verbund und waren parabelförmig verlegt. In der einen Spannrichtung waren die Spannglieder gebündelt im Bereich der Stützreihen konzentriert. In der Querrichtung wurden die Spannglieder gleichmäßig über die gesamte Plattenbreite verteilt eingelegt. Im Bereich der Stützen wurde oberseitig zusätzliche schlaaffe Längsbewehrung gemäß den Regelungen des ACI 318-77 angeordnet. Zusätzlich wurden an manchen Stützen Schubbewehrung angeordnet, welche sich jedoch im Verlauf der Untersuchungen als ineffektiv erwies. Im Bereich der Rand- und Eckstützen wurden Bruchlastversuche durchgeführt. Laut Aussagen der Autoren versagte die Flachdecke im Bereich der untersuchten Stützen durch sprödes Durchstanzen.

Pralong, Brändli, Thürlimann [V7] führten 1979 im Zuge einer größeren Versuchsreihe unter anderem Durchstanzversuche an drei vorgespannten Versuchsplatten durch. Die Versuchsplatten hatten einen gleichmäßigen 8-eckigen Grundriss mit einem Durchmesser $d = 2,60$ m und eine Plattenstärke von 180 mm. Bei einer Versuchsplatte lagen die Spannglieder im Verbund, die beiden anderen Versuchsplatten wurden mit Spannglieder ohne Verbund ausgeführt. Jeweils 6 Spannglieder verliefen im Bereich der Stütze in orthogonaler Richtung (siehe Abbildung A 6). Der Verlauf der einzelnen Spannglieder war trapezförmig, mit einem linearen Anstieg von den Plattenrändern bis zu den beiden

Umlenkstellen im Bereich der Stütze in einem Abstand von ca. $d/2$ vom Stützenrand (siehe Abbildung A 7). Innerhalb der beiden Umlenkstellen verliefen die Spannglieder eben mit einer leichten Exzentrizität bezüglich der Schwerachse der Platte. Die horizontale Ausbreitung einer jeden Spanngliedgruppe (bestehend aus sechs Einzelspannglieder) betrug ca. $c+d$ (c beschreibt die Stützenbreite und d die statische Nutzhöhe der Platte). Die Versuchsplatten wurden zusätzlich im Bereich der oberen Lage mit einer ringförmigen schlaffen Längsbewehrung bewehrt, die untere Lage wurde orthogonal bewehrt. Aufgrund der Versuchsanordnung konnten die vertikalen Umlenkkräfte versuchstechnisch ermittelt werden.

Kordina und Nölting [siehe V8] führten im Jahre 1984 eine Versuchsreihe mit Durchstanzversuchen an vorgespannten Versuchsplatten durch. Die Versuche bildeten die Grundlage für die Beurteilung vorgespannter Platten hinsichtlich Durchstanzen im Abschnitt 15 des Hefts 371 des DAfStB [N7]. Im Zuge der Versuchsreihe wurden 8 im Verhältnis 1:1,5 verkleinerte Flachdeckenausschnitte geprüft. Die Versuchsplatten hatten im Grundriss nahezu kreisförmige Form mit einem Durchmesser von $d = 2,40$ m und einer Plattenstärke von 150 mm. 7 der Versuchsplatten wurden vorgespannt, eine Platte diente als Vergleichsplatte und wurde nicht vorgespannt. In 6 Fällen der vorgespannten Versuchsplatten wurden gekrümmte Spanngliedverläufe ausgeführt, bei einer Versuchsplatte wurde ausschließlich zentrisch vorgespannt. Es wurden nicht im Verbund liegende Spannglieder verwendet. Bis auf eine Platte wurden bei den vorgespannten Platten ein zusätzliches orthogonales Bewehrungsnetz angeordnet. Die Spanngliedanordnung wurde entsprechend den Empfehlungen in Anhang A der Vornorm der DIN 4227 Teil 6 Ausgabe Mai 1982 [N10] gewählt. Knapp 50 % der Spannglieder verliefen in einem Stützstreifen der Breite $b = c + d$ (c beschreibt die Stützenbreite und d die statische Nutzhöhe der Platte), der Rest wurde auf den Feldstreifen verteilt. Des Weiteren wurde die Anordnung und Führung der Spannglieder so gewählt, dass die Summe der Umlenkkräfte aller Spannglieder ausschließlich innerhalb eines gedachten Durchstanzkegels (45° Kegel) über der Stütze nach unten und im gesamten restlichen Bereich mit konstantem Betrag nach oben gerichtet ist. Laut der Aussage der Autoren versagten sämtliche geprüften Platten auf Durchstanzen. Der Versuchsaufbau, bzw. die Spanngliedverteilung kann in Abbildung A 8 im Anhang betrachtet werden.

Regan [V9] berichtete im Jahre 1985 von einem Versuchsprogramm an einachsigen vorgespannten Flachdecken, das Informationen über das Durchstanzen von vorgespannten Brückenplatten liefern sollte. Es wurden zwei Versuchsreihen mit insgesamt 15 Einzelversuchen durchgeführt. Die Versuchsplatten hatten eine rechteckige Form im

Grundriss und eine Plattenstärke von 225 mm in Versuchsreihe 1, bzw. 180 mm in Versuchsreihe 2. Die Versuchseinrichtung und die Spanngliedverteilung der Versuchsreihe 1 kann exemplarisch in Abbildung A 9 im Anhang betrachtet werden. Versuchsreihe 2 unterschied sich nur in den Abmessungen der Platte, das grundlegende Plattensystem blieb unverändert. Die Vorspannung erfolgte nur in Längsrichtung, die Spannglieder wurden dabei gleichmäßig über den Querschnitt verteilt. Sämtliche Spannglieder wurden in Hüllrohren verlegt und später verpresst. Der Verlauf der Spannglieder bildete eine Kreisbahn mit Höhepunkt im Bereich des Stützenstumpfs. Die Platten wurden in Querrichtung herkömmlich mit schlaffer Bewehrung bewehrt, auf der Plattenoberseite im Biegezugbereich wurde zusätzlich zu den im Verbund liegenden Spanngliedern noch eine schlaffe Längsbewehrung ergänzt. Bis auf drei der untersuchten Platten versagten nach Aussage des Autors alle auf Durchstanzen.

Regan stellt im Anschluss eine Berechnungsmethode vor, auf deren Grundlage der Durchstanzwiderstand sowohl von einachsig als auch zweiachsig vorgespannten Platten abgeschätzt werden kann. Das vorgeschlagene Berechnungsmodell betrachtet eine vorgespannte Platte als eine herkömmlich bewehrte Platte mit einem zusätzlichen anrechenbaren Durchstanzwiderstand infolge der Dekompressions-Kraft der vorgespannten Platte. Dabei kann die günstig wirkende Dekompressions-Kraft nur für die Bereiche des kritischen Rundschnitts in Ansatz gebracht werden, welche tatsächlich von der Vorspannung erfasst werden. Das Prinzip der Dekompressions-Methode war bereits bei der Beurteilung von vorgespannten Balken angewendet worden und beruht auf dem mechanischen Zusammenhang, dass eine bestimmte Kraft –die Dekompressionskraft- erforderlich ist, um das Dekompressionsmoment zu erzeugen. Das Dekompressionsmoment wiederum beschreibt das Moment, das erforderlich ist, um bei einer vorhandenen Betondruckspannung infolge Vorspannung die vorgedrückte Randfaser druckfrei zu bekommen. Für zweiachsig vorgespannte Platten ergibt sich nach Regan die folgende Überlagerung der jeweiligen Durchstanzanteile:

$$P_{up} = P_{ur} + P_{0l} \left(\frac{P_{url}}{P_{ur}} \right) + P_{0t} \left(\frac{P_{urt}}{P_{ur}} \right) \quad (3)$$

Dabei beschreibt P_{up} die gesamte Durchstanzlast der vorgespannten Platte und P_{ur} die Durchstanzlast der Platte ohne Vorspannung. Die Anteile P_{0l} und P_{0t} beschreiben die jeweiligen Dekompressionskräfte infolge Längsvorspannung, bzw. Quervorspannung. Die Dekompressionskräfte werden zusätzlich in Abhängigkeit des Verhältnisses der Durchstanzanteile P_{url} , bzw. P_{urt} der betrachteten Richtung bezüglich des Gesamtwiderstands der nicht vorgespannten Platte P_{ur} gewichtet.

Die von Regan vorgeschlagene Berechnungsmethode berücksichtigt den vertikalen Anteil der Vorspannung nicht. Regan betonte, dass der Anteil bei vorgespannten Platten mit

gleichmäßiger Verteilung der einzelnen Spannglieder verglichen mit den restlichen Anteilen nur einen geringen Anteil am gesamten Durchstanzwiderstand besitzt.

Die Untersuchungen werden durch einen rechnerischen Vergleich mit ausgewählten Versuchsergebnissen an zweiachsig vorgespannten Platten ergänzt.

Franklin und Long [V10] führten im Jahre 1982 Durchstanzuntersuchungen an 7 vorgespannten Versuchsplatten durch. Ihre Untersuchungen sollten vor allem das Verhalten von vorgespannten Platten im Bereich von Innenstützen bei exzentrischer Belastung, d. h. einer Überlagerung von einer zentrischen Querkraftbelastung und einer zusätzlichen Momentenbelastung, näher beschreiben. Zudem wurde der Einfluss der korrekten Erfassung der Randbedingungen bei Plattenausschnitten (als vereinfachter Ersatz für ein Gesamtplattensystem) auf das Tragverhalten untersucht. Die Plattenstärke der Versuchsplatten betrug ca. 60 mm. Die Versuchsplatten wurden sowohl in Längsrichtung (gleichbedeutend mit der Richtung der exzentrischen Lasteinleitung) als auch in Querrichtung vorgespannt. Der Spanngliedverlauf im Bereich der Stütze war gekrümmt. Die Spannglieder lagen nicht im Verbund. In Längsrichtung wurden die Spannglieder im Bereich der Stütze deutlich konzentriert eingelegt, wohingegen in Querrichtung eine weitestgehend gleichmäßige Verteilung der Spannglieder gewählt wurde. Sowohl in Längsrichtung als auch in Querrichtung wurde zusätzliche schlaaffe Längsbewehrung verwendet.

3.3.2 Bemessungsansätze

Kordina und Nölting stellen im Jahre 1986 mit dem **Heft 371** [N7] ein Dokument zusammen, das den damaligen Wissensstand allgemein hinsichtlich der Tragfähigkeit durchstanzgefährdeter Stahlbetonplatten dokumentiert. Abschnitt 15 befasst sich mit dem Durchstanzen von vorgespannten Platten. Der Bericht wird durch die Zusammenstellung einer Datenbank mit 91 Durchstanzversuchen an vorgespannten Platten ergänzt. Die Datenbank enthält unter anderem die Versuche von Scordelis / Lin / May [V1], Gerber / Burns [V2], Pralong / Brändli / Thürlimann [V7] und Kordina / Nölting [siehe V8].

Als Ergebnis ihrer Untersuchungen empfehlen Kordina und Nölting den folgenden Bemessungsansatz für die Abschätzung des Durchstanzwiderstands von vorgespannten Flachdecken:

$$F_u = F_{u0}(\mu_s, \mu_{vi}) + Q_{bv} \quad (4)$$

Dabei beschreibt F_u die Traglast der vorgespannten Flachdecke, F_{u0} die Traglast der vorgespannten Flachdecke unter Berücksichtigung der zentrischen Vorspannung und Q_{bv} beschreibt den zusätzlichen traglaststeigernden Anteil infolge des vertikalen Anteils der Spanngliedkräfte. Der Ansatz berücksichtigt sowohl den Einfluss der Längsspannungen

infolge Vorspannung als auch den Einfluss des vertikalen Anteils der Vorspannung auf den Durchstanzwiderstand. Rechnerisch wird der Längskraftanteil über einen zusätzlichen fiktiven Längsbewehrungsgrad μ_{vi} :

$$\mu_{vi} = 100 \frac{\sigma_{bv,N}}{\beta_{Ss}} \quad (5)$$

erfasst. $\sigma_{bv,N}$ beschreibt dabei die zentrische Pressung aus Vorspannung, β_{Ss} beschreibt die Streckgrenze des Betonstahls. Grundlage des rechnerischen Durchstanzwiderstands F_{u0} bildet der rechnerische Ansatz für eine herkömmliche, nicht vorgespannte Stahlbetondecke.

Der Vertikalanteil Q_{bv} berücksichtigt sämtliche Umlenkkräfte innerhalb eines kritischen Rundschnitts im Abstand h_z vom Stützenrand (h_z beschreibt die statische Nutzhöhe der Spannglieder entlang des Rundschnitts). Die Grundlage des rechnerischen Ansatzes bildet ein Durchstanzkegel unter 45° (siehe Abbildung 3).

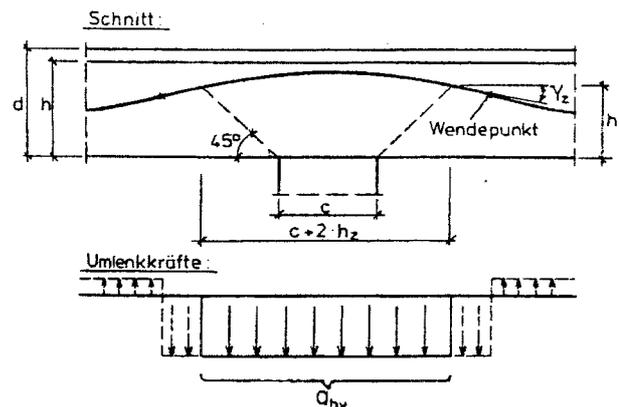


Abbildung 3: Innenstützbereich einer vorgespannten Flachdecke (Abb. 15.1 in [N7]).

Die Autoren betonen, dass vor allem die eigenen Versuche die Grundlage für ihre Untersuchungen bildeten. Dies wird damit begründet, dass sich eine Mehrzahl der Versuche der Datenbank mit Sonderfällen beschäftigt (Aussparungen, Leichtbeton, Lochrandstützung, keine Anordnung einer zusätzlichen Längsbewehrung, etc.) und somit nach Aussage der Autoren als Vergleichsgrundlage nicht umfassend verwertbar ist.

Der **Model Code 78** [N8] berücksichtigt unter anderem Regelungen für das Durchstanzen von Flachdecken aus Stahlbeton. Spezielle Regelungen für das Durchstanzen von vorgespannten Flachdecken werden nicht getroffen. In den **FIP recommendations, 1982** [N9] werden diesbezügliche Regelungen getroffen. Der rechnerische Ansatz für den Durchstanzwiderstand in Abschnitt 13.4.1 erfasst sowohl den Einfluss des Längskraftanteils der Vorspannung als auch die vertikalen Anteile der Vorspannung. Vergleichbar zu den

rechnerischen Empfehlungen von Regan [V9] wird der Längskraftanteil über eine Beziehung des Dekompressionsmoments berücksichtigt. Der Bemessungswiderstand der nicht-vorgespannten Platte $v_{Rd1, ohne\ Vorspannung}$ wird dabei über die folgende Beziehung erhöht:

$$v_{Rd1, mit\ Vorspannung} = v_{Rd1, ohne\ Vorspannung} \cdot \left(1 + \frac{M_0}{M_S} \right) \quad (6)$$

In dieser Gleichung beschreibt M_0 das Dekompressionsmoment bezüglich der Randfaser und M_S das Bemessungsmoment an der betrachteten Stelle. Im Gegensatz zu Regan [V9] fehlt jedoch eine differenzierte Unterscheidung zwischen den direkt von der Vorspannung erfassten Bereichen des Rundschnitts und den nicht direkt erfassten Bereichen. Die Regelung ist somit für einachsig vorgespannte Deckensysteme nicht sinnvoll anwendbar. Der Vertikalanteil der Vorspannung wird bei der Ermittlung des Durchstanzwiderstands durch eine Erhöhung des Durchstanzwiderstands um die Summe sämtlicher Vertikalanteile der den kritischen Rundschnitt kreuzenden Spannglieder berücksichtigt. Der kritische Rundschnitt definiert sich gemäß den FIP recommendations, 1982 [N9], bzw. Model Code 78 [N8] durch einen kritischen Umfang im Abstand $d/2$ vom Stützenrand (d beschreibt die statische Nutzhöhe der Platte).

DIN 4227 [N10] regelt im Abschnitt 12.9 ebenfalls das Durchstanzen von vorgespannten plattenartigen Bauteilen. Grundlage der Nachweise bilden die Regelungen der **DIN 1045** [N11]. Bei der Ermittlung der Durchstanztragfähigkeit wird sowohl der Längskraftanteil der Vorspannung als auch der vertikale Anteil der Vorspannung berücksichtigt. Vergleichbar zu den rechnerischen Empfehlungen von Kordina und Nölting [N7] wird der Längskraftanteil in Form eines zusätzlichen Bewehrungsgrads μ_{vi} berücksichtigt:

$$\mu_{vi} = 100 \frac{\sigma_{bv,N}}{\beta_{Ss}} \quad (7)$$

$\sigma_{bv,N}$ beschreibt dabei die zentrische Pressung aus Vorspannung, β_{Ss} beschreibt die Streckgrenze des Betonstahls. Die Ermittlung der Durchstanztragfähigkeit erfolgt unter Ansatz eines resultierenden Bewehrungsgrads $\mu_g = \mu_s + \mu_{vi}$, bestehend aus dem herkömmlichen Bewehrungsgrad μ_s und dem „Bewehrungsgrad infolge Vorspannung“ μ_{vi} , auf Grundlage der rechnerischen Durchstanzbemessung für eine nicht vorgespannte Platte nach DIN 1045 Abschnitt 22.5 bis 22.7 [N11].

Der Einfluss des vertikalen Anteils der Vorspannung auf die Durchstanztragfähigkeit wird durch den Abzug sämtlicher Umlenkkräfte innerhalb des kritischen Rundschnitts nach DIN 1045 Abschnitt 22.5 bis 22.7 [N11] von der durchstanzrelevanten Querkraft berücksichtigt.

Der kritische Rundschnitt nach DIN 1045 [N11] befindet sich im Abstand $d/2$ vom Stützenrand.

In **CEB bulletin d'information No. 168** [N12] werden drei verschiedene Berechnungsansätze für die Erfassung des Traganteils der Vorspannung beim Durchstanzen von Flachdecken vorgestellt und im Anschluss anhand von Versuchsnachrechnungen beurteilt. Bei den Berechnungsansätzen handelt es sich um die Methode des effektiven Längsbewehrungsgrads nach Kinnunen, Nylander und Ingvarsson, die Hauptzugspannungsannäherung, die auch die Grundlage für den rechnerischen Ansatz in den Regelungen des ACI building codes bildet, und die Dekompressionsmethode nach Regan [siehe alle N12]. Alle Berechnungsmethoden erfassen ausschließlich den Längskraftanteil der Vorspannung.

Die Ausführungen des CEB bulletin d'information No. 168 [N12] enthalten keine rechnerischen Empfehlungen für die Berücksichtigung des vertikalen Anteils der Vorspannung. Die Autoren stellen fest, dass durch die Vernachlässigung des vertikalen Anteils der Vorspannung bei der Ermittlung der Durchstanztragfähigkeit (im Zuge der Vergleichsuntersuchungen) eine fehlerhafte Betrachtung geführt wurde. Der Fehler ist nach Aussage der Autoren bei den hier untersuchten Versuchsplatten gering und kann bei einer konservativen Betrachtungsweise vernachlässigt werden. Es wird jedoch betont, dass der vertikale Anteil der Vorspannung bei entsprechend konzentrierter Spanngliedführung im Stützenbereich durchaus einen erheblichen Traganteil am Gesamtdurchstanzwiderstand erreichen kann. Eine genaue Erfassung ist nach Aussage der Autoren jedoch derzeit aufgrund eines Mangels an Versuchen mit unterschiedlicher Spanngliedführung nicht möglich.

3.4 Zeitraum 1985-1995

3.4.1 Versuchsreihen

In dem besagten Zeitraum konnten keine Versuchsreihen bezüglich des Durchstanzverhaltens von vorgespannten Flachdecken im Bereich von Innenstützen gefunden werden. Foutch, Gamble, Sunidja, 1990 [V11] und Long, Cleland, 1993 [V12] führten Versuchsreihen bezüglich Durchstanzen von vorgespannten Flachdecken im Bereich von Randstützen durch. Die Versuchsreihen werden im Folgenden vorgestellt:

Foutch, Gamble und Sunidja [V11] berichten 1990 von einer Versuchsreihe, bestehend aus 4 Einzelversuchen, hinsichtlich dem Tragverhalten einer vorgespannten Platte im

Bereich von Randstützen. Die Versuche wurden an Plattenausschnitten mit einer Plattendicke von 100 mm durchgeführt. Die Spannglieder lagen nicht im Verbund und hatten einen gekrümmten Spanngliedverlauf mit längerem Horizontalanteil im direkten Bereich der Randstütze. Die Verteilung der Spannglieder variierte in den Versuchen zwischen einer starken Konzentration der Spannglieder parallel und senkrecht zum freien Rand (siehe Abbildung A 10 und A 11 im Anhang). Es wurde eine zusätzliche herkömmliche Biegebewehrung angeordnet. In den Versuchen wurde die Auswirkung eines variierenden Momenten-Querkraft-Verhältnisses auf das Tragverhalten untersucht. Zwei Versuche versagten in Form eines Biegeversagens, zwei versagten in Form eines plötzlichen Durchstanzversagens. Es folgte ein rechnerischer Vergleich mit den Regelungen des ACI 318-83 [siehe V11]. Der Vertikalanteil der Vorspannung wurde bei der Ermittlung der rechnerischen Durchstanztragfähigkeit nicht berücksichtigt.

Long und Cleland [V12] untersuchten im Jahre 1993 ebenfalls das Tragverhalten einer vorgespannten Flachdecke im Bereich von Randstützen. Es wurden 5 Versuche an Plattenausschnitten durchgeführt. Vergleichbar zu den Versuchen von Franklin und Long, 1982 [V10] wurde durch die Einhaltung von Randbedingungen versucht, das Tragverhalten einer Gesamtplatte möglichst genau zu simulieren (siehe Abbildung A 12 im Anhang). Die Plattendicke betrug ca. 60 mm. Die Spannglieder lagen nicht im Verbund und wurden gekrümmt eingelegt. Die Stützen-Platten-Verbindung wurde durch herkömmliche Längsbewehrung ergänzt. Alle Versuchsplatten versagten durch plötzliches Durchstanzen. Im Verlauf der Untersuchungen wurde beurteilt, welchen Einfluss die Bündelung der Spannglieder im Bereich der Stützen, bzw. welchen Einfluss der Spanngliedverlauf auf den Tragwiderstand hat. Es folgte ein rechnerischer Vergleich mit den rechnerischen Empfehlungen des ACI-ASCE Komitee 423-89 [N5]. Der Vertikalanteil der Vorspannung wurde bei der Ermittlung der rechnerischen Durchstanztragfähigkeit nicht berücksichtigt. In Abbildung A 13 ist die Spanngliedanordnung der Versuchsplatten dargestellt.

3.4.2 Bemessungsansätze

Bereits 1974 wurde in den Empfehlungen des ACI-ASCE Komitee 423 [N4] ein Vorschlag für die Berücksichtigung der günstigen Wirkung der Vorspannung auf das Durchstanzverhalten gemacht. Die Empfehlungen des **ACI-ASCE Komitee 423, 1989** [N5] sind diesbezüglich unverändert. Es wird darauf hingewiesen, dass die Widerstandskomponente in Folge der Vertikalanteils der Vorspannung V_p bei dünnen Platten aufgrund möglicher Ungenauigkeiten bei der Spanngliedverlegung äußerst vorsichtig zu beurteilen ist. Gegebenfalls sollte der Anteil bei einer konservativen Betrachtung vernachlässigt werden.

Model Code 90 [N13] enthält im Abschnitt 6.4.3.7 eine Regelung für die Berücksichtigung des Traglastanteils der vertikalen Anteile der Vorspannung am gesamten Durchstanzwiderstand. Demnach dürfen sämtliche vertikalen Kraftkomponenten der Spannglieder innerhalb eines Rundschnitts mit Abstand $d/2$ (d beschreibt die statische Nutzhöhe der Platte) vom Stützenrand von der durchstanzrelevanten Last abgezogen werden. Bezüglich weiterer Regelungen beim Durchstanzen von vorgespannten Flachdecken wird auf die FIP recommendations [N9, bzw. N6] verwiesen.

In **Eurocode 2, 1992-1-1 (Juni 1992)** [N14] wird sowohl der Längskraftanteil der Vorspannung als auch der Vertikalanteil der Vorspannung bei der Ermittlung des Durchstanzwiderstands von vorgespannten Flachdecken berücksichtigt. Der Längskraftanteil wird vergleichbar zur DIN 4227 [N10], bzw. der rechnerischen Empfehlung in Heft 371 [N7] durch eine additive Erhöhung des Längsbewehrungsgrads verarbeitet (siehe Gleichung 4.56 in [N14]):

$$\rho_{ges} = \rho_l + \rho_v \quad (8) \quad ,wobei \quad \rho_v = \frac{\sigma_{cp0}}{f_{yd}} \quad (9)$$

Dabei beschreibt ρ_l den Längsbewehrungsgrad der herkömmlichen Bewehrung, σ_{cp0} die Längsbetondruckspannung infolge Vorspannung und f_{yd} den Bemessungswert der Streckgrenze der herkömmlichen Bewehrung.

Der Vertikalanteil der Vorspannung wird im Abschnitt 4.3.4.1(10) behandelt. Demnach darf der vertikale Anteil der geeigneten Spannglieder innerhalb der kritischen Fläche bei der Ermittlung der durchstanzrelevanten Querkraft berücksichtigt werden. Der kritische Rundschnitt verläuft im Gegensatz zu Model Code 78 [N8], bzw. den FIP recommendations, 1982 [N9] nicht im Abstand von $d/2$ sondern im Abstand von $1,5 d$ vom Stützenrand. Der Anteil des Vertikalanteils der Vorspannung am gesamten Durchstanzwiderstands wird somit im Vergleich zu Model Code 78 [N8], bzw. FIP recommendations, 1982 [N9] und Model Code 90 [N13] erheblich höher berücksichtigt.

Kordina kritisiert 1994 in den „**Erläuterungen zur Neuauflage von Heft 425 und Anwendungsrichtlinie zu EC 2**“ [N15] die rechnerische Berücksichtigung des Längskraftanteils der Vorspannung in den Regelungen des Eurocode 2, 1992-1-1 (Juni 1992) [N14] aufgrund der ungewollten und indirekten Verknüpfung mit der Betongüte (siehe Gl. 4.56 in [N14]). Er empfiehlt eine Formulierung, die unabhängig von der Betongüte ist und als additives Glied zum Durchstanzwiderstand der nicht vorgespannten Platte hinzugefügt wird:

$$\Delta v_{Rd1} = 0,10 \sigma_{cp0} d \quad (10)$$

σ_{cp0} beschreibt dabei die zentrischen Betondruckspannungen infolge Vorspannung, d die statische Nutzhöhe der Platte. Hinsichtlich der in EC 2 1992-1-1 [N14] vorgeschlagenen Berücksichtigung des vertikalen Anteils der Vorspannung bei der Ermittlung des Gesamtdurchstanzwiderstands einer vorgespannten Flachdecke wird von Kordina keine Kritik erwidert. Eine Beurteilung, bzw. Bestätigung des Ansatzes erfolgt nicht.

3.5 Zeitraum 1995 bis heute

3.5.1 Versuchsreihen

Im Jahre 1996 untersuchte **Kubat** [V8] das Tragverhalten von vorgespannten, punktförmig gestützten Platten aus Stahlfaserbeton. Hierzu wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt. Die Versuchsreihe I bestand aus zwei quadratischen Versuchsplatten, deren Abmessungen sowie Anzahl und Lage der Spannglieder nahezu identisch mit den Versuchen von Kordina im Jahre 1984 [siehe V8] war. Es wurde keine zusätzliche Längsbewehrung angeordnet. Im Verlauf der Bruchlastversuche versagten beide Platten der Versuchsreihe I in Form eines Biegeversagens.

Versuchsreihe II bestand aus 7 Einzelversuchen an Platten mit einer Plattendicke von 150 mm und 225 mm. Mit Ausnahme einer Versuchsplatte wurden alle Platten vorgespannt. Vier der Versuchsplatten wurden mit Stahlfasern bewehrt, drei blieben unbewehrt. Bei keiner der Platten wurde eine zusätzliche herkömmliche Bewehrung ergänzt. Die Vorspannung wurde in Form von ebenen, ringförmigen Spanngliedern aufgebracht (siehe Abbildung A 14 im Anhang). Die Spannglieder lagen nicht im Verbund. Aufgrund der gewählten, ebenen Spanngliedlage konnte nur der Einfluss der zentrischen Vorspannung auf das Durchstanzverhalten der Platte hin untersucht werden. Sämtliche Versuchsplatten der Serie II versagten in Form eines spröden Durchstanzens.

An der University of Ottawa wurde im Jahre 1998 mit einem Versuchsprogramm bezüglich des Durchstanzens von vorgespannten Flachdecken begonnen. **Gardner und Rezai Kallage** [V13] führten einen Großversuch an einer 4-feldrigen doppelsymmetrischen Gesamtdecke mit einer Plattendicke von 90 mm durch. Die einzelnen Feldweiten betragen jeweils 2,70 m. Die Spanngliederführung entsprach den in ACI 318-95 [siehe V13] gestellten Forderungen mit der Ausnahme, dass keine zusätzliche Längsbewehrung angeordnet wurde. Die Spannglieder wurden in der einen Plattentragrichtung ausschließlich im Bereich der Stützenreihen konzentriert, in der senkrecht dazu verlaufenden Tragrichtung wurden die Spannglieder gleichmäßig über die gesamte Plattenbreite verteilt. Der Verlauf der Spannglieder war parabelförmig (siehe Abbildung A 15 und A 16 im Anhang). Im Verlauf der Bruchlastversuche versagte die Platte im Bereich einer Randstütze, einer Innenstütze und

einer Eckstütze. Das Versagen entsprach nach Aussage der Autoren einem spröden Durchstanzversagen. Die zerstörten Bereiche der Platte wurden vor jeder Wiederbelastung der Platte erneuert und gegebenenfalls unterstützt. Im Anschluss erfolgt ein rechnerischer Vergleich des Berechnungsansatzes des ACI 318 - 95 [siehe V13] sowie eines Berechnungsvorschlags von Gardner mit ausgewählten Versuchsergebnissen. Der Vorschlag von Gardner, welcher eine Erweiterung der rechnerischen Modelle von Regan und Shehata [A2] darstellt, berücksichtigt den Vertikalanteil der Vorspannung durch einen modifizierten Dekompressionsansatz. Es kann gezeigt werden, dass eine Ermittlung des rechnerischen Durchstanzwiderstands auf Grundlage des ACI 318-95 [siehe V13] trotz Vernachlässigung des vertikalen Anteils der Vorspannung zu wenig konservativen Bemessungsergebnissen führt. Eine rechnerische Vorhersage auf Grundlage des vorgeschlagenen Berechnungsmodells nach Gardner führt den Ausführungen zur Folge zu exakteren Ergebnissen.

Im Jahre 2000 wird das Versuchsprogramm durch eine weitere Versuchsreihe ergänzt. **Gardner und Sharifi** [V14] untersuchen das Tragverhalten von vorgespannten Flachdecken speziell im Bereich von Randstützen und dabei insbesondere den Einfluss der Betondruckspannungen auf den Durchstanzwiderstand. Die experimentellen Untersuchungen erfolgen an einem 4-feldrigen Deckensystem mit Feldabmessungen von jeweils 3,20 m und einer Plattendicke von 90 mm. Die parabelförmig verlegten Spannglieder werden in unterschiedlicher Anordnung auf die beiden Spannrichtungen verteilt. Die resultierende Gesamtvorspannung ist in beiden Spannrichtungen gleich groß. Eine zusätzliche herkömmliche Bewehrung wird nicht angeordnet. Im Verlauf der Bruchlastversuche versagen zuerst die beiden Randstützen in deren direkter Umgebung vergleichsweise wenig Spannglieder eingelegt sind. Das Versagen tritt nach Aussage der Autoren in Form eines spröden Durchstanzversagens ein. Rechnerische Vergleichsuntersuchungen mit den Versuchsergebnissen zeigen, dass in Folge der Vorspannung im Vergleich zur herkömmlichen Platte durchaus Traglasterhöhungen im Randstützenbereich möglich sind. Eine dahingehende Anpassung des ACI 318-95 [siehe V13] Rechenansatzes erscheint nach Aussagen der Autoren angebracht (ACI 318-95 behandelt vorgespannte Flachdecken im Bereich von Randstützen hinsichtlich Durchstanzen wie eine herkömmlich bewehrte Platte).

Lucio und Ramos [V15] berichten im Jahre 2000 von zwei Versuchsreihen an verbundlos vorgespannten Versuchsplatten. Ziel der Untersuchungen ist es, den Einfluss auf die Durchstanztragfähigkeit infolge der Längsdruckspannungen und des vertikalen Anteils der Vorspannung getrennt und unabhängig voneinander zu beurteilen. Die Versuche werden an

quadratischen Plattenausschnitten mit einer Seitenlänge von 2,30 m und einer Plattendicke von 100 mm durchgeführt. Versuchsreihe 1 besteht aus 5 Versuchsplatten, welche mit Ausnahme einer nicht vorgespannten Vergleichsplatte eben vorgespannt werden. Die betragsmäßige Größe, bzw. die Verteilung der Spannglieder auf die jeweilige Spannrichtung wird innerhalb der Einzelversuche variiert. Die zweite Versuchsreihe beinhaltet 4 Versuchsplatten, wovon eine als Vergleichsplatte dient und nicht vorgespannt wird. Es werden vier Spannglieder pro Seite eingelegt. Die Spannglieder verlaufen direkt über der Stütze, bzw. des Lasteinleitungsbereichs. Der Spanngliedverlauf ist trapezförmig mit einer Umlenkstelle direkt über der Stütze (siehe Abbildung A 17 im Anhang). Die Verankerung der Spannglieder erfolgt über eine unabhängige Rahmenkonstruktion, so dass der Eintrag von Längskräften auf die Versuchsplatte infolge Vorspannung verhindert werden kann. Innerhalb der Einzelversuche wird die Größe des vertikalen Anteils variiert. Die Größe der vertikalen Anteile der Vorspannung wird sowohl für das unverformte System als auch unter Berücksichtigung von Verformungen bestimmt. Die Auswertung der Versuchsergebnisse zeigt, dass der Längskraftanteil der Vorspannung bei den durchgeführten Versuchen deutlich weniger Einfluss auf die Durchstanztragfähigkeit hat als der vertikale Anteil der Vorspannung. Rechnerische Vergleichsuntersuchungen mit Model Code 90 [N13] in Verbindung mit den FIP recommendations, 1998 [N6] zeigen dass die Berechnung der Vertikalanteile unter Berücksichtigung der Verformungen zu der besten Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen führt.

Sundquist und Hassanzadeh [V16] berichten im Jahre 2000 von drei Versuchsreihen an verbundlos vorgespannten Plattenausschnitten. Gegenstand der Untersuchungen ist die Variation der Spanngliedverteilung in Bezug auf den gedachten Durchstanzkegel und die daraus resultierenden Einflüsse auf den Durchstanzwiderstand im Bereich von Innenstützen. Die Versuche werden an nahezu kreisrunden Plattenausschnitten durchgeführt, der Kreisdurchmesser an dem die Lasteinleitung erfolgt, beträgt ca. 2,40 m. Es werden jeweils 6 Spannglieder in beiden Richtungen verwendet. Die Spannglieder werden mit Ausnahme eines Versuchs, bei dem ausschließlich zentrisch vorgespannt wird, parabolisch verlegt. Die beiden untersuchten Spanngliedverteilungen können in Abbildung A 18 im Anhang eingesehen werden. Versuchsreihe A besteht aus drei Einzelversuchen an Platten mit einer Plattendicke von 180 mm. Bei allen Versuchen wird zusätzlich eine herkömmliche Längsbewehrung angeordnet. Bei einer Versuchsplatte wurde zudem noch eine Schubbewehrung ergänzt. Versuchsreihe B besteht aus 4 Einzelversuchen an Platten mit einer Plattendicke von 220 mm, wovon mit einer Ausnahme alle Platten vorgespannt werden (siehe Abbildung A 19). Platte B2 wird ausschließlich zentrisch vorgespannt. Alle Platten sind zusätzlich mit herkömmlicher Längsbewehrung bewehrt. Versuchsreihe C beschäftigt sich

mit zwei Stahlfaserbetonplatten. Die beiden Platten entsprechen in den Abmessungen den Versuchsplatten der Serie B. Platte C1 wird nicht vorgespannt, Platte C2 wird vorgespannt. Es wird keine zusätzliche Längsbewehrung ergänzt. Als Ergebnis der Untersuchungen stellen die Autoren fest, dass in Abhängigkeit der Spanngliedverteilung unterschiedliche Durchstanztragfähigkeiten resultieren. Auch außerhalb des gedachten Durchstanzkegels (im Abstand d vom Stützenrand) liegende Spannglieder haben einen günstigen Einfluss auf die Durchstanztragfähigkeit.

Im Zuge des **Verbundforschungsvorhabens, 1999** [V17] wurde eine Datenbank aus ca. 250 Durchstanzversuchen an nicht schubbewehrten Stahlbetonplatten zusammengestellt und ausgewertet. Durchstanzversuche an vorgespannten Platten wurden nicht untersucht.

3.5.2 Bemessungsansätze

In Ergänzung zu Model Code 90 [N13] wird im Jahre 1998 von der *fédération internationale de la précontrainte (FIP)* mit den **FIP recommendations, 1998** [N6] ein Hilfsmittel für die Bemessung von vorgespannten Flachdecken und Fundamenten veröffentlicht. Beim Durchstanznachweis von vorgespannten Flachdecken wird sowohl der vertikale Anteil der Vorspannung als auch der Anteil der Längsspannungen berücksichtigt.

So reduziert sich die durchstanzrelevante Querkraft zum einen durch die vertikalen Vorspannungsanteile im Bereich des kritischen Rundschnitts im Abstand $d/2$ vom Stützenrand, bzw. dem Rand der Lasteinleitungsfläche (siehe Abbildung 4).

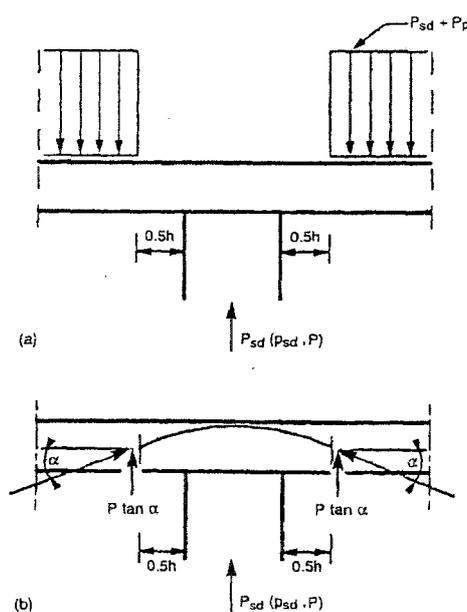


Abbildung 4: Innenstützbereich einer vorgespannten Flachdecke (Abb. 8 in [N6]).

Zum anderen wird der Einfluss der Längsspannungen über einen Dekompressionsansatz, vergleichbar zu dem von Regan [V9], rechnerisch in Ansatz gebracht. Die durchstanzrelevante Last auf Bemessungsniveau ermittelt sich nach Gleichung 3.37 in [N6] durch folgenden Ansatz:

$$P_{Sd,eff} = \beta \cdot P_{Sd}(p_{Sd}, P) - P_{p0} \quad (11)$$

Dabei beschreibt β den Einfluss ausmittiger Beanspruchungen, P_{Sd} beschreibt die durchstanzrelevante Last unter Berücksichtigung der äußeren Lasten und des vertikalen Anteils der Vorspannung und P_{p0} beschreibt die äquivalente Dekompressionsdurchstanzlast. P_{p0} wird nach Gleichung 3.38 in [N6] über die Beziehung

$$P_{p0} = \frac{P_{y0}b_x + P_{x0}b_y}{b_x + b_y} \quad (12)$$

bestimmt, wobei b_x und b_y die jeweilige Breite des durch den Rundschnitt erfassten Bereichs in x- und y-Richtung darstellt und P_{x0} und P_{y0} die jeweiligen Dekompressionskräfte in diesen Richtungen beschreiben. Die Dekompressionskräfte lassen sich durch die folgenden Ansätze ermitteln:

$$P_{x0} = \frac{M_{y0}}{M_{ySd}} P_{Sd} \quad (13) \quad \text{und} \quad P_{y0} = \frac{M_{x0}}{M_{xSd}} P_{Sd} \quad (14)$$

Darin beschreibt $P_{Sd} = P_{Sd}(p_{Sd}, P)$ den Bemessungswert der Durchstanzlast und $M_{xSd} = M_{xSd}(p_{Sd}, P)$ und $M_{ySd} = M_{ySd}(p_{Sd}, P)$ die Biegemomente im Bereich der Stützseiten auf den jeweiligen Breiten b_x und b_y . M_{x0} und M_{y0} stehen für die Dekompressionsmomente auf den Breiten b_x und b_y :

$$M_{x0} = \sigma_{cpy} \frac{b_x h^2}{6} \quad (15) \quad \text{und} \quad M_{y0} = \sigma_{cpX} \frac{b_y h^2}{6} \quad (16)$$

Dabei beschreiben σ_{cpX} und σ_{cpy} die Betondruckspannungen infolge des Normalkraftanteils der Vorspannung.

Vergleichbar zu den rechnerischen Empfehlungen von Regan [V9] wird bei dem vorgestellten Dekompressionsansatz der unterschiedliche Einfluss einer Längs- und Quervorspannung bei der Ermittlung des Durchstanzwiderstands der vorgespannten Platte berücksichtigt.

Der allgemeine rechnerische Ansatz für den Durchstanzwiderstand von vorgespannten Flachdecken wird im **ACI 318-99** [N3] im Vergleich zu den bereits 1989 empfohlenen

Regelungen des ACI-ASCE Komitee 423, 1989 [N5] und damit auch den Regelungen des ACI-ASCE Komitee 423, 1974 [N4] weitestgehend unverändert übernommen:

$$v_{cw} = \beta_p \sqrt{f_c'} + 0,3 f_{pc} + \frac{V_p}{b_w d} \quad (17)$$

Der Vorfaktor β_p bestimmt sich dabei aus einer Minimalwertbetrachtung des bereits aus den rechnerischen Empfehlungen der ACI-ASCE Komitees bekannten, konstanten Werts $\beta_p = 3,5$ und einer Beziehung in Abhängigkeit der geometrischen Decken-Stützen-Verhältnisse:

$$\beta_p = \frac{\alpha_s d}{b_0} + 1,5 \quad (18)$$

Dabei berücksichtigt α_s die Lage der Stütze im betrachteten System ($\alpha_s = 40$ für Innenstützen, 30 für Randstützen und 20 für Eckstützen) b_0 beschreibt die Länge des kritischen Rundschnitts und d beschreibt die statische Nutzhöhe.

Der Einfluss der vertikalen Anteile der Vorspannung auf den Durchstanzwiderstand V_p wird durch die Erfassung der vertikalen Vorspannungsanteile entlang des kritischen Rundschnitts im Abstand $d/2$ vom Stützenrand, bzw. der Lasteinleitungsfläche berücksichtigt.

Die **DIN 1045-1** [N2] regelt das Durchstanzen von herkömmlichen und vorgespannten Flachdecken im Abschnitt 10.5. Dabei werden sowohl die Einflüsse der Längskraftanteile der Vorspannung als auch die Einflüsse der vertikalen Anteile der Vorspannung auf den Durchstanzwiderstand berücksichtigt. Der Einfluss des Längskraftanteils wird bei der Formulierung des Widerstands in Gleichung (105) durch einen additiven Zuschlag ($0,12\sigma_{cd}$) erfasst. Diese Regelung ist vergleichbar mit den rechnerischen Empfehlungen von Kordina [N15] für EC 2 1992-1-1 [N14]. Sowohl bei DIN 1045-1 [N2] als auch bei EC 2 1992-1-1 [N14] bildet ein Rundschnitt im Abstand von $1,5 d$ die Nachweisgrundlage.

Der Vertikalanteil der Vorspannung wird entsprechend den Regelungen des Abschnitts 10.5.3(5) innerhalb des Rundschnitts im Abstand $1,5 d$ vom Stützenrand berücksichtigt. Demnach dürfen alle vertikalen Anteile der Vorspannung innerhalb des Rundschnitts von der durchstanzrelevanten Last abgezogen werden.

Das Durchstanzen von Flachdecken wird im **EC 2 Teil 1 (July, 2002)** [N1] in Abschnitt 6.4 geregelt. Grundlage für die Nachweise ist ein kritischer Rundschnitt im Abstand $2 d$ vom Stützenrand. Gleichung (6.48) beschreibt den Durchstanzwiderstand von nicht schubbewehrten Flachdecken. Der Einfluss des Längskraftanteils der Vorspannung auf den Durchstanzwiderstand wird in (6.48) durch eine additive Erhöhung ($0,10\sigma_{cp}$) entlang des

kritischen Rundschnitts erfasst. Der vertikale Anteil der Vorspannung wird gemäß Abschnitt 6.4.3 (9) berücksichtigt. Demnach dürfen alle vertikalen Anteile der Vorspannung innerhalb des kritischen Rundschnitts (mit Abstand $2d$ vom Stützenrand) bei der Ermittlung der durchstanzrelevanten Last in Ansatz gebracht werden.

3.6 Zusammenfassung

Im Zuge der Literaturstudie konnten zahlreiche Versuchsreihen zum Durchstanzen von vorgespannten Flachdecken gesammelt und vorgestellt werden. Die Versuche wurden im Hinblick auf die Beurteilung des Traganteils des vertikalen Anteils der Vorspannung am gesamten Durchstanzwiderstand beschrieben.

Parallel dazu wurden rechnerische Empfehlungen von Normen und Normenkomitees der betrachteten Zeiträume vorgestellt.

4 Beurteilung der Versuchsreihen hinsichtlich der Verwertbarkeit.

4.1 Allgemeines

Im Verlauf der Literaturstudie konnten zahlreiche Versuchsreihen zum Durchstanzen von vorgespannten Flachdecken zusammengestellt werden. Nur wenige Versuchsreihen haben sich direkt mit der Auswertung der vertikalen Anteile der Vorspannung bezüglich des Durchstanzwiderstands beschäftigt.

Im Folgenden wird untersucht, inwieweit auf Grundlage der vorgestellten Versuchsreihen beurteilt werden kann, welchen Einfluss der vertikale Anteil der Vorspannung auf das Durchstanzverhalten hat. Es wird kritisch hinterfragt, ob die jeweilige Versuchsreihe, bzw. der jeweilige Versuch genügend Informationen für eine differenzierte Auswertung beinhaltet. Dabei wird unter anderem überprüft, inwieweit eine Beurteilung des Traganteils der vertikalen Spannglieder am gesamten Durchstanzwiderstand in Abhängigkeit der Spanngliederverteilung möglich ist, bzw. ob eine Beurteilung unabhängig vom Längskraftanteil erfolgen kann.

Des Weiteren wird untersucht, ob der Versuch für den Zweck einer Vergleichsrechnung ausreichend erscheint.

4.2 Zeitraum vor 1975

Im vorigen Abschnitt wurden die Versuche im Zeitraum vor 1975 von Scordelis, Lin und May [V1], bzw. die beiden ersten Versuchsreihen an der University of Texas, Austin (Gerber / Burns [V2] und Smith / Burns [V3]) vorgestellt. Im Folgenden wird gezeigt, dass sich die Versuchsreihen nicht als Grundlage für eine differenzierte Beurteilung des

Durchstanzwiderstands unter Berücksichtigung des vertikalen Anteils der Vorspannung eignen.

Die Versuche von Scordelis / Lin / May [V1] wurden in erster Linie mit eben verlegten Spanngliedern durchgeführt. Die Beurteilung des Einflusses der vertikalen Anteile der Spannglieder auf den Durchstanzwiderstand der Platten ist somit nicht möglich. Die Versuche von Scordelis / Lin / May [V1] und Gerber / Burns [V2] wurden größtenteils an Hubdecken durchgeführt. Eine direkte Übertragung auf Flachdecken ist nicht uneingeschränkt möglich. Die Versuche von Smith / Burns [V3] werden dagegen an Flachdeckenausschnitten durchgeführt. Die Versuchsplatte weist eine Plattendicke von nur 70 mm auf. Diese Plattendicke entspricht bei weitem nicht der Plattendicke einer praxisüblichen Flachdecke, weshalb die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse, gerade im Hinblick auf die Beurteilung vertikaler Vorspannungsanteile, nur eingeschränkt möglich ist.

Die versuchstechnische Auswertung der vertikalen Anteile der Vorspannung bezüglich des Durchstanzwiderstands war nicht Gegenstand der vorgestellten Versuchsreihen. Dies dürfte auch der Grund dafür sein, dass nur wenige Informationen hinsichtlich der exakten Spanngliedverläufe dokumentiert wurden.

4.3 Zeitraum 1975-1985

Die weiteren Versuchsreihen an der University of Texas, Austin (Burns / Hemakom 1977 [V4], Burns / Hemakom 1985 [V5], Kosut / Burns / Winter 1985 [V6]) wurden an maßstäblichen Gesamtdeckensystemen durchgeführt. Die Plattendicke der Versuchsplatten betrug vergleichbar zu den Versuchen von Smith / Burns [V3] nur ca. 70 mm und bietet somit nicht die Grundlage für eine auf die Verhältnisse von praxisüblichen Flachdecken übertragbare Versuchsauswertung. Zudem konnten bei den Versuchen von Burns / Hemakom [V5] im Jahre 1985 keine eindeutigen Durchstanzversagen festgestellt werden. Die Versuche von Kosut / Burns / Winter [V6] (1985) behandeln dagegen ausschließlich das Versagen der vorgespannten Platte im Bereich von Rand- und Eckstützen. Das Durchstanzen vorgespannter Platten im Bereich von Rand- und Eckstützen wird von mehreren sich zum Teil gegenseitig beeinflussenden Parametern beeinflusst. Eine differenzierte Beurteilung des Widerstandsanteils der vertikalen Vorspannungsanteile am gesamten Durchstanzwiderstand ist derzeit nur bedingt möglich. Vergleichbar zu den früheren Versuchsreihen war die versuchstechnische Auswertung der vertikalen Anteile der Vorspannung bezüglich des Durchstanzwiderstands nicht Gegenstand der vorgestellten Versuchsreihen. Dementsprechend wenige Informationen hinsichtlich der exakten Spanngliedverläufe wurden dokumentiert.

Die Versuche von Pralong / Brändli / Thürlimann [V7] wurden an Plattenausschnitten mit einer Plattendicke von 180 mm durchgeführt. Aufgrund der Versuchseinrichtung können die Längskraftanteile der Vorspannung und die vertikalen Anteile der Vorspannung getrennt voneinander beurteilt werden. Zudem sind die Versuche ausreichend dokumentiert. Die Versuche können trotzdem nicht als Grundlage für eine umfassende Untersuchung des Einflusses des vertikalen Anteils der Vorspannung auf den gesamten Durchstanzwiderstand herangezogen werden, weil die Spannglieder in einer Trapezform verlegt wurden. Die Umlenkstellen der Spannglieder liegen ca. im Abstand $d/2$ vom Stützenrand, die Verteilungsbreite der Spannglieder im Grundriss ist auf eine Breite $c+d$ beschränkt (c beschreibt den Stützendurchmesser, d die statische Nutzhöhe der Platte). Sämtliche aktivierten Umlenkkräfte werden in einem Bereich innerhalb $d/2$ vom Stützenrand in Form von Einzelkräften direkt in die Stütze eingeleitet. Eine differenzierte Erfassung, bzw. Beurteilung des erweiterten Falls, nämlich die Beurteilung des Widerstandsanteils infolge außerhalb dieses Bereichs angreifender, gleichmäßig verteilter Umlenkkräfte von gekrümmten Spanngliedern ist somit nicht möglich (EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] berücksichtigt sämtliche Umlenkkräfte innerhalb eines Bereichs mit Abstand $2d$ vom Stützenrand).

Die Versuchsplatten von Kordina und Nölting aus dem Jahre 1984 [siehe V8] haben eine Plattendicke von 150 mm. Die Versuche sind vergleichbar zu den Versuchen von Pralong [V7] ebenfalls gut dokumentiert. Die Spannglieder sind parabolisch mit einem Hochpunkt im Bereich des Stützenzentrums verlegt. Die Anordnung und Führung der Spannglieder wurden jedoch derartig gewählt, dass die Summe der Umlenkkräfte aller Spannglieder ausschließlich innerhalb eines gedachten Durchstanzkegels (45° Kegel) über der Stütze nach unten und im gesamten restlichen Bereich mit konstantem Betrag nach oben gerichtet ist. Vor diesem Hintergrund ist eine Beurteilung weiter außen angreifender, nach unten gerichteter, Umlenkkräfte auf Grundlage dieser Versuche nicht möglich.

Die Versuche von Regan [V9] werden an Versuchsplatten mit einer Plattendicke von 180 mm, bzw. 225 mm durchgeführt. Die Spannglieder werden auf einer Kreisbahn mit einem Hochpunkt im Bereich der Stütze verlegt und liegen im Verbund (nachträglich verpresste Hüllrohre). Die Kriterien einer Flachdecke bezüglich der erforderlichen Plattendicke sind erfüllt und die nach unten gerichteten Umlenkkräfte der Spannglieder erstrecken sich über einen Bereich weit außerhalb des gedachten Durchstanzkegels unter 45° . Als Hintergrund für Vergleichsrechnungen hinsichtlich der Gesamtdurchstanztragfähigkeit inklusive der Berücksichtigung der Einflüsse der vertikalen Vorspannungsanteile eignen sich die Versuche. Dadurch dass die Spannglieder im Verbund

liegen, müssten geringe Anpassungen für die Rechenansätze von nicht im Verbund liegenden Spanngliedern gemacht werden.

Als Grundlage für eine differenzierte Beurteilung eignen sich die Versuche jedoch nur bedingt. Zum einen erfolgt die Vorspannung nur einachsig, die Lastabtragung erfolgt dagegen zweiachsig. Es handelt sich hinsichtlich der Vorspannung somit um einen Sonderfall, der unabhängig von den vertikalen Anteilen der Vorspannung für sich alleine betrachtet schon schwierig zu beurteilen ist. Zum anderen handelt es sich bei dem gewählten Deckensystem mit der Lagerung auf vier Eckstützen um einen weiteren Sonderfall. Die differenzierte und unabhängige Ermittlung des Traganteils der vertikalen Vorspannungsanteile ist vor diesem Hintergrund nicht eindeutig möglich.

Franklin und Long [V10] untersuchten bei ihren Versuchen in erster Linie den Einfluss einer exzentrischen Lasteinleitung auf den Durchstanzwiderstand von vorgespannten Flachdecken. Bei dieser kombinierten Lastbeanspruchung aus zentrischer Querkraft und Moment handelt es sich um einen Sonderfall. Die Schubspannungen sind vergleichbar zu Rand- und Eckstützen ungleichmäßig über den kritischen Rundschnitt verteilt. Der Durchstanzwiderstand ist im Vergleich zum zentrischen, bzw. rotationssymmetrischen Grundfall des Durchstanzens von weiteren Parametern abhängig. Eine differenzierte Beurteilung des Widerstandsanteils der vertikalen Vorspannungsanteile am gesamten Durchstanzwiderstand ist für diese Lastbeanspruchung derzeit nur bedingt möglich. Zudem wurden die Versuche an Versuchsplatten mit einer Plattendicke von 60 mm durchgeführt. Diese Plattendicke entspricht bei weitem nicht der Plattendicke einer praxisüblichen Flachdecke, weshalb die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse, gerade im Hinblick auf die Beurteilung vertikaler Vorspannungsanteile, nur eingeschränkt möglich ist.

4.4 Zeitraum 1985-1995

Die beiden Versuchsreihen von Foutch / Gamble / Sunidja, 1990 [V11] und Long / Cleland, 1993 [V12] befassen sich mit dem Durchstanzens von vorgespannten Flachdecken im Bereich von Randstützen. Es handelt sich bei dieser Belastungsform um einen Sonderfall des Durchstanzens. Der Durchstanzwiderstand ist im Vergleich zum zentrischen, bzw. rotationssymmetrischen Grundfall des Durchstanzens von weiteren Parametern abhängig. Eine differenzierte Beurteilung des Widerstandsanteils der vertikalen Vorspannungsanteile am gesamten Durchstanzwiderstand ist für diese Lastbeanspruchung derzeit nur bedingt möglich. Die Versuchsplatten von Long / Cleland [V12] haben vergleichbar zu den Versuchen von Franklin / Long [V10] eine Plattendicke von 60 mm. Die Übertragbarkeit der

V Versuchsergebnisse auf die Verhältnisse von praxisüblichen Flachdecken ist, gerade im Hinblick auf die Beurteilung vertikaler Vorspannungsanteile, nur eingeschränkt möglich.

4.5 Zeitraum 1995 bis heute

Die beiden Versuchsreihen von Kubat, 1996 [V8] wurden an Versuchsplatten aus Stahlfaserbeton durchgeführt. Die Versuchsplatten der Versuchsreihe I entsprechen hinsichtlich der Abmessungen sowie Anzahl und Lage der Spannglieder den Versuchsplatten von Kordina, 1984 [siehe V8]. Die Anordnung und Führung der Spannglieder wurden derartig gewählt, dass die Summe der Umlenkkräfte aller Spannglieder ausschließlich innerhalb eines gedachten Durchstanzkegels (45° Kegel) über der Stütze nach unten und im gesamten restlichen Bereich mit konstantem Betrag nach oben gerichtet ist. Eine differenzierte Erfassung, bzw. Beurteilung des erweiterten Falls, nämlich die Beurteilung des Widerstandsanteils infolge außerhalb dieses Bereichs nach unten gerichteter, gleichmäßig verteilter Umlenkkräfte von gekrümmten Spanngliedern ist somit nicht möglich (EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] berücksichtigt sämtliche Umlenkkräfte innerhalb eines Bereichs mit Abstand $2d$ vom Stützenrand). Versuchsreihe II wurde an Versuchsplatten mit einer Plattendicke von 150 mm, bzw. 225 mm durchgeführt. Die Vorspannung wurde in Form von ebenen, umlaufenden Ringspanngliedern aufgebracht. Bei der gewählten Spanngliedführung entstehen keine vertikalen Anteile der Vorspannung.

Das Versuchsprogramm der University of Ottawa bezüglich dem Durchstanzen von vorgespannten Flachdecken besteht aus zwei Versuchen an 4-feldrigen Gesamtdeckensystemen [V13], [V14]. Die Spannglieder wurden in beiden Versuchsplatten parabelförmig mit einem Hochpunkt im Bereich der Rand- und Innenstützen verlegt, eine zusätzliche herkömmliche Längsbewehrung wurde nicht angeordnet. Hinsichtlich der Plattendicke (90 mm) entsprechen die Versuchsplatten nicht den Abmessungen von praxisüblichen Flachdecken. Die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse, gerade im Hinblick auf die Beurteilung vertikaler Vorspannungsanteile, ist nur eingeschränkt möglich. Im Zuge der Untersuchungen von Gardner / Rezai Kallage, 1998 [V13] konnte sowohl ein Versagen der vorgespannten Platte im Bereich einer Rand-, Innen- und einer Eckstütze festgestellt werden. Die beschädigten Bereiche wurden vor Wiederbelastung ausgebessert und gegebenenfalls unterstützt. Es ist fraglich, inwiefern die Vorschädigungen im Randbereich der Platte Auswirkungen auf das Durchstanzverhalten im Bereich der Innenstütze der Platte hatten. Vor diesem Hintergrund kann der Versuch nicht als Grundlage für die Formulierung eines rechnerischen Normenansatzes dienen. Es ist jedoch durchaus denkbar, den Versuch bei Vergleichsrechnungen heranzuziehen.

Die Versuchsplatte von Gardner / Sharifi, 2000 [V14] versagte im Bereich der Randstützen. Es handelt sich bei dieser Belastungsform um einen Sonderfall des Durchstanzens. Der Durchstanzwiderstand ist im Vergleich zum zentrischen, bzw. rotationssymmetrischen Grundfall des Durchstanzens von weiteren Parametern abhängig. Eine differenzierte Beurteilung des Widerstandsanteils der vertikalen Vorspannungsanteile am gesamten Durchstanzwiderstand ist für diese Lastbeanspruchung derzeit nur bedingt möglich.

Lucio / Ramos, 2000 [V15] untersuchten in ihrer Versuchsreihe den Einfluss des Längskraftanteils der Vorspannung getrennt von dem Einfluss des vertikalen Anteils der Vorspannung auf den Durchstanzwiderstand. Die Versuche wurden an Plattenausschnitten mit einer Plattendicke von 100 mm durchgeführt. Vergleichbar zu den Versuchen von Pralong [V7] können die Versuche nur bedingt für die umfassende Beurteilung des Gesamtdurchstanzwiderstands unter Berücksichtigung des vertikalen Anteils der Vorspannung verwendet werden. Die Spannglieder werden trapezförmig innerhalb des Stützbereichs, bzw. innerhalb des Lasteinleitungsbereichs verlegt. Die Umlenkstelle der Spannglieder befindet sich direkt über der Stütze. Bei dem gewählten Spanngliedverlauf ist es nicht möglich, den Einfluss von außerhalb des direkten Stützbereichs nach unten gerichteter Umlenkkräfte von gekrümmten Spanngliedern auf das Durchstanzverhalten zu beurteilen (EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] berücksichtigt sämtliche Umlenkkräfte innerhalb eines Bereichs mit Abstand $2d$ vom Stützenrand).

Die Versuche von Sundquist / Hassanzadeh [V16] werden an Versuchsplatten mit einer Plattendicke von 180 mm, bzw. 220 mm durchgeführt. Die Spannglieder werden parabelförmig mit einem Hochpunkt im Bereich der Stütze, bzw. Lasteinleitung verlegt, es wird zusätzlich eine herkömmliche Längsbewehrung angeordnet. Im Zuge der Untersuchungen wird die Lage der Spannglieder in Bezug auf die Stütze, bzw. den Lastenleitungsbereich variiert. Neben einer konzentrierten Spanngliederanordnung wird zudem eine Spanngliederverteilung untersucht, bei der die Spannglieder außerhalb eines gedachten Durchstanzkegels von 45° (Bereich außerhalb eines Abstands d vom Stützenrand) verlegt werden. Die Versuchsreihe von Sundquist / Hassanzadeh [V16] stellt damit die erste Versuchsreihe dar, die den Einfluss unterschiedlicher Spanngliederverteilungen (von geneigt verlaufenden Spanngliedern) im Hinblick auf den Traganteil der vertikalen Vorspannungsanteile auf den Durchstanzwiderstand untersucht. Die Versuche der Versuchsreihen A und B sind durch flache Spanngliedverläufe, geringe Bewehrungsgrade und große zentrische Vorspannkräfte gekennzeichnet. Der Traganteil der zentrischen Vorspannung im Versuch B2 bringt eine nahezu 100%-ige Traglastserhöhung im Vergleich

zur nicht vorgespannten Platte (B1). Die zusätzliche Traglaststeigerung bei den Versuchen B3 und B4 (gekrümmt verlaufende Spannglieder) ist vergleichsweise gering.

Der Versuch mit der zentrischen Vorspannung (B2) unterscheidet sich von den Versuchen mit gekrümmt verlaufenden Spanngliedern (B3 und B4) neben der gekrümmten Spanngliedführung zusätzlich durch die exzentrische Lage der Spannglieder bezüglich der Plattenschwerelinie. Der Traglastanteil der exzentrisch verlaufenden Spannglieder kann den Versuchsergebnissen nicht unabhängig entnommen werden. Eine exakte experimentelle Bestimmung der Traglastanteile infolge des vertikalen Anteils der Vorspannung ist somit nicht möglich. Die Versuchsergebnisse zeigen zudem, dass der kombinierte Traglastanteil infolge exzentrisch liegender und gekrümmt verlaufender Spannglieder im Vergleich zum reinen Längskraftanteil verhältnismäßig klein ist. Gründe hierfür liegen in dem flachen Verlauf der Spannglieder.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die Versuche von Sundquist / Hassanzadeh [V16] für die Beurteilung des Einflusses der vertikalen Vorspannungsanteile auf den Durchstanzwiderstand unabhängig von den weiteren Traglasteinflüssen nicht eignet. Die Versuche können jedoch im Zuge von Vergleichsrechnungen hinsichtlich der Gesamtbruchlasten verwendet werden.

4.6 Zusammenfassung

Im Zuge der Literaturstudie konnte gezeigt werden, dass sich nur wenige der gesammelten Versuchsreihen direkt mit der Auswertung der vertikalen Anteile der Vorspannung bezüglich des Durchstanzwiderstands beschäftigt hatten.

In diesem Abschnitt wurde untersucht, inwieweit die Versuche im Hinblick auf die Beurteilung des vertikalen Anteils der Vorspannung auswertbar sind. Es konnte aufgezeigt werden, dass keine der Versuchsreihen ausreichend Informationen für eine differenzierte Beurteilung der vertikalen Anteile der Vorspannung liefert.

Allein die Versuchsreihe von Sundquist / Hassanzadeh [V16] beschäftigt sich mit dem Einfluss des vertikalen Anteils der Vorspannung bei gekrümmten Spanngliedern und untersucht dabei die Auswirkungen verschiedener Spanngliedverteilungen auf das Durchstanzverhalten. Im Zuge der Untersuchungen konnte jedoch gezeigt werden, dass eine differenzierte und unabhängige Beurteilung des Traganteils der vertikalen Vorspannungsanteile auf Grundlage der Versuche nicht möglich ist.

Die Versuche von Lucio / Ramos [V15] betrachten die Längskraftanteile der Vorspannung unabhängig von den vertikalen Anteilen der Vorspannung. Aufgrund des linearen

Spanngliedverlaufs mit der Umlenkstelle direkt über der Stütze ist jedoch eine umfassende Auswertung der vertikalen Vorspannungsanteile nicht möglich.

Einzelne Versuchsreihen, bzw. Einzelversuche eignen sich für vergleichende rechnerische Betrachtungen hinsichtlich der Gesamtdurchstanzlast.

5 Untersuchung der wissenschaftlichen Hintergründe der Normenformulierungen.

5.1 Allgemeines

Im Verlauf der Literaturstudie wurden rechnerische Empfehlungen nationaler, europäischer und amerikanischer Normen und Normungskomitees bezüglich dem Durchstanzen von vorgespannten Flachdecken vorgestellt. Im Folgenden wird untersucht, welche wissenschaftlichen Hintergründe, bzw. mechanische Voraussetzungen die Grundlage für die Rechenansätze hinsichtlich der Berücksichtigung der vertikalen Vorspannungsanteile bilden. Dabei werden versuchstechnische und mechanische Hintergründe getrennt voneinander betrachtet.

5.2 Untersuchung der versuchstechnischen Hintergründe

Die amerikanische Normung unterscheidet in der building code Ausgabe ACI 318-71 [siehe V2] bei der Bemessung von Flachdecken im Bereich von Einzelstützungen nicht zwischen vorgespannten und herkömmlich bewehrten Platten. Das ACI – ASCE Komitee 423 empfiehlt im Jahre 1974 [N4] den Einfluss der Vorspannung beim Durchstanzen von vorgespannten Platten durch die im Abschnitt 3 vorgestellte Widerstandsgleichung (vgl. Gl. 2) zu erfassen. Gemäß den Empfehlungen des ACI – ASCE Komitee 423, 1974 [N4] dürfen demnach die vertikalen Kraftanteile der den kritischen Rundschnitt (im Abstand $d/2$ vom Stützenrand, bzw. vom Rand der Lasteinleitungsfläche) kreuzenden Spannglieder bei der Ermittlung des Durchstanzwiderstands berücksichtigt werden. Der Einfluss des vertikalen Anteils der Vorspannung auf den Durchstanzwiderstand, bzw. die rechnerische Verwertung in Verbindung mit der Formulierung des Durchstanzwiderstands wurde in ACI – ASCE Komitee 423, 1974 [N4] nicht durch Vergleichsrechnung mit einzelnen Versuchsergebnissen bestätigt.

Der Rechenansatz für das Durchstanzen von vorgespannten Flachdecken im Bereich von Innenstützen wurde bis heute (Building Code ACI 318-99 [N3]) bezüglich der Erfassung der vertikalen Anteile der Vorspannung unverändert übernommen. Im Zuge der Literaturstudie konnten in dem Zeitraum seit 1974 keine Untersuchungen bezüglich der Beurteilung des

vertikalen Vorspannungsanteils und dem damit verbundenen Einfluss auf den Durchstanzwiderstand gefunden werden.

In den Model Code Versionen der Europäischen Normung wird der vertikale Anteil der Vorspannung vergleichbar zu den rechnerischen Empfehlungen des amerikanischen Building Codes berücksichtigt. Sowohl in Model Code 78 [N8] in Verbindung mit den FIP recommendations, 1982 [N9] als auch in Model Code 90 [N13] in Verbindung mit den FIP recommendations, 1998 [N6] (vgl. auch DIN 4227 [N10] in Verbindung mit DIN 1045 [N11]) dürfen die vertikalen Kraftanteile der Spannglieder im Bereich eines Rundschnitts im Abstand $d/2$ vom Stützenrand, bzw. vom Rand der Lasteinleitungsfläche berücksichtigt werden. Rechnerische Vergleiche der Rechenansätze mit Versuchsergebnissen konnten im Zuge der Literaturstudie nicht gefunden werden.

Im Gegensatz dazu wurde die Erfassung der Längskraftanteile der Vorspannung und deren Auswirkungen auf den Durchstanzwiderstand von vorgespannten Flachdecken in dem beschriebenen Zeitraum immer wieder verändert. Die jeweiligen rechnerischen Empfehlungen wurden dabei durch Vergleiche mit Versuchsergebnissen bestätigt.

In Abschnitt 3 konnte gezeigt werden, dass sich die Betrachtungen des CEB bulletin d'information 168 [N12] in Bezug auf das Durchstanzen von vorgespannten Flachdecken auf die Untersuchung der Längskraftanteile der Vorspannung beschränken. In Bezug auf die Erfassung der vertikalen Anteile der Vorspannung werden keine rechnerischen Empfehlungen gegeben. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die vertikalen Vorspannungsanteile bei einer konzentrierten Spanngliedführung im Stützbereich erhebliche Anteile am Gesamtdurchstanzwiderstand erreichen können. Eine experimentelle Beurteilung ist jedoch nach Aussage der Autoren aufgrund des Mangels an entsprechenden Versuchen nicht möglich.

In den Ausführungen des Eurocode 2, 1992-1-1 (Juni 1992) [N14], bzw. der DIN 1045-1 [N2] wird bei der Ermittlung des Durchstanzwiderstands der vertikale Anteil der Vorspannung innerhalb einem kritischen Rundschnitt mit Abstand von $1,5 d$ vom Stützenrand berücksichtigt. Für die erhöhte Berücksichtigung der vertikalen Vorspannungsanteile im Vergleich zu den bisherigen europäischen, bzw. den amerikanischen rechnerischen Empfehlungen konnte keine Bestätigung durch entsprechende Untersuchungen gefunden werden.

Die Regelungen des EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] gehen gar noch einen Schritt weiter, indem die Berücksichtigung der vertikalen Vorspannungsanteile am Durchstanzwiderstand

innerhalb eines Rundschnitts mit Abstand $2d$ vom Stützenrand erfolgt. Bezüglich der nochmaligen rechnerischen Erhöhung konnten keine Untersuchungen gefunden werden.

5.3 Untersuchung der mechanischen Hintergründe

Das mechanische Modell, das den Betrachtungen bezüglich des vertikalen Anteils der Vorspannung zugrunde liegt, trennt zwischen sich direkt abstützenden Belastungen und Belastungen, die durchstanzrelevante Querkräfte erzeugen. Vertikalbelastungen, die sich direkt auf der auflagernden Stütze abstützen können, erzeugen in der Platte keine durchstanzrelevanten Querkräfte und liefern somit zum eigentlichen Durchstanzen keinen Beitrag. Der Bereich der direkten Lasteinleitung ist auf die Fläche des Durchstanzkegels beschränkt. Belastungen, die außerhalb des Durchstanzkegels angreifen, erzeugen dagegen durchstanzrelevante Querkräfte und müssen beim Durchstanznachweis voll angerechnet werden. Im übertragenen Sinne bedeutet dies, dass sämtliche innerhalb des Durchstanzkegels angreifenden vertikalen Umlenkkräfte infolge Vorspannung der resultierenden Durchstanzlast nicht angerechnet werden müssen, außerhalb liegende Umlenkkräfte hingegen müssen voll berücksichtigt werden.

Vergleichbare Betrachtungen werden beim Durchstanznachweis von Fundamenten gemacht, wo die relevante Durchstanzlast um die Summe der Bodenpressungen innerhalb des kritischen Rundschnitts reduziert werden darf.

Damit ergeben sich die folgenden Zusammenhänge für die hier betrachteten rechnerischen Ansätze:

Die Berücksichtigung der vertikalen Anteile der Vorspannkkräfte beschränkt sich sowohl im amerikanischen Building Code als auch in den europäischen Model Codes in Verbindung mit den FIP recommendations, bzw. der DIN 4227 [N10] in Verbindung mit DIN 1045 [N11] auf einen Bereich innerhalb eines Rundschnitts im Abstand $d/2$ vom Stützenrand. Der erforderliche Durchstanzkegel, der diesen rechnerischen Betrachtungen zugrunde liegt, beschreibt einen Ausbruchwinkel von ca. 60° . Der erfasste Bereich liegt somit deutlich innerhalb eines gedachten Durchstanzkegels mit einem Ausbruchwinkel von 45° .

In den Regelungen des Eurocode 2, 1992-1-1 (Juni 1992) [N14], bzw. der DIN 1045-1 [N2] sowie des EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] werden die vertikalen Vorspannungsanteile in einem Bereich innerhalb eines Rundschnitts mit Abstand $1,5d$, bzw. $2d$ vom Stützenrand, bzw. dem Rand der Lasteinleitungsfläche berücksichtigt. Der erfasste Bereich liegt vor allem bei den Regelungen des EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] deutlich außerhalb des gedachten Ausbruchkegels mit Winkel 45° . Der erforderliche Durchstanzkegel, der diesen rechnerischen Betrachtungen zugrunde liegt, beschreibt einen Ausbruchwinkel von ca. 25° .

5.4 Zusammenfassung

Im Verlauf dieses Abschnitts wurden die jeweiligen Rechenansätze der Normen zunächst hinsichtlich ihrer versuchstechnischen Hintergründe untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass auf Grundlage der in dieser Forschungsarbeit durchgeführten Literaturrecherche, für keinen der Normenansätze Vergleichsuntersuchungen mit Versuchsergebnissen, bzw. eine versuchstechnische Bestätigung gefunden werden konnte.

Des Weiteren wurde untersucht, welche Hintergründe, bzw. Voraussetzungen den jeweiligen Rechenansätzen in mechanischer Hinsicht zugrunde liegen.

Mechanischer Hintergrund der Rechenansätze des ACI ([N3], [N4], [N5]), der Model Codes ([N8], [N13]) in Verbindung mit den FIP recommendations ([N9], [N6]) und der DIN 4227 [N10] in Verbindung mit DIN 1045 [N11] bildet ein rechnerisch erforderlicher Durchstanzkegel mit einem Ausbruchwinkel gegenüber der Horizontalen von ca. 60°. Der erfasste Bereich liegt somit deutlich innerhalb eines gedachten Durchstanzkegels mit einem Ausbruchwinkel von 45°.

Die Regelungen des EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] mit der Berücksichtigung der vertikalen Spanngliedanteile innerhalb eines Rundschnitts im Abstand 2 d von Stützenrand erfordern hingegen einen weiter ausgedehnten, flacheren Durchstanzkegel. Der erforderliche Ausbruchwinkel des Durchstanzkegels gegenüber der Horizontalen beträgt ca. 25°.

6 Beurteilung der Durchstanzformulierung des EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] im Hinblick auf die Berücksichtigung der vertikalen Anteile der Vorspannung.

Im Verlauf der Forschungsarbeit wurden zahlreiche Versuchsreihen und rechnerische Empfehlungen von Normen und Normenkomitees zum Durchstanzen von vorgespannten Flachdecken vorgestellt und im Hinblick auf die Beurteilung des Traglastanteils des vertikalen Anteils der Vorspannung untersucht.

Es konnte gezeigt werden, dass sich nur wenige Versuchsreihen direkt mit der Auswertung der vertikalen Anteile der Vorspannung bezüglich des Durchstanzwiderstands beschäftigt hatten. Die im Rahmen der Arbeit durchgeführten Untersuchungen haben zudem aufgezeigt, dass keine der Versuchsreihen ausreichend Informationen für eine differenzierte Beurteilung der vertikalen Anteile der Vorspannung im Zusammenhang mit dem Durchstanzwiderstand von vorgespannten Flachdecken liefert.

In den rechnerischen Formulierungen der einzelnen Normen und Normenkomitees wird der vertikale Anteil der Vorspannung bezüglich dem Durchstanzen von vorgespannten Platten in

Abhängigkeit des betrachteten Rundschnitts stark unterschiedlich berücksichtigt. Eine Bestätigung der jeweiligen Ansätze in versuchstechnischer Hinsicht erfolgt in den recherchierten Unterlagen nicht. Entsprechende Vergleichsbetrachtungen der Rechenansätze mit Versuchsergebnissen konnten nicht festgestellt werden. In Anbetracht der Erkenntnisse der hier untersuchten Versuchsreihen sowie der Aussagen des CEB bulletin d'information 168 [N12] liegen die Gründe hierfür in dem Mangel an verwertbaren Versuchsergebnissen.

Eine differenzierte Beurteilung der in EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] formulierten Berücksichtigung der vertikalen Anteile der Vorspannung im Zusammenhang mit der Ermittlung des Durchstanzwiderstands ist in versuchstechnischer Hinsicht vor diesem Hintergrund nicht möglich.

In mechanischer Hinsicht bildet die Größe des Durchstanzkegels das maßgebende Kriterium dafür, welcher Anteil der vertikalen Vorspannungskräfte sich direkt auf der Stütze abstützen kann und somit bei der Ermittlung der durchstanzrelevanten Last vernachlässigt werden darf.

Die Rechenansätze, welche die vertikalen Anteile der Vorspannung innerhalb eines Abstands $d/2$ vom Stützenrand berücksichtigen (ACI ([N3], [N4], [N5]), Model Codes ([N8], [N13]) in Verbindung mit den FIP recommendations ([N9], [N6]) und DIN 4227 [N10] in Verbindung mit DIN 1045 [N11]) basieren auf einem rechnerisch erforderlichen Durchstanzkegel mit einem Ausbruchwinkel von ca. 60° zur Horizontalen. Der erfasste Bereich liegt deutlich innerhalb eines Durchstanzkegels unter der konservativen Annahme eines Ausbruchwinkels mit 45° . In mechanischer Hinsicht ist es durchaus nachvollziehbar, dass sich die vertikalen Anteile der Vorspannkkräfte unter dieser Annahme direkt auf der Stütze abstützen können. Es handelt sich bei dem hier beschriebenen Rechenansatz um eine konservative Berücksichtigung der vertikalen Vorspannungsanteile am Durchstanzwiderstand, die keine versuchstechnische Bestätigung erfordert.

Vergleichbare Betrachtungen für den Rechenansatz des EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] (vertikale Anteile der Vorspannung werden innerhalb eines Bereichs mit $2d$ vom Stützenrand berücksichtigt) führen zu einem erforderlichen rechnerischen Ausbruchkegel unter ca. 25° . Dabei handelt es sich im Vergleich zu dem vorher beschriebenen Ausbruchkegel um einen deutlich ausgedehnteren und flacheren Ausbruchkegel. Mechanisch ist der erweiterte Durchstanzkegel und damit die erweiterte Erfassung der vertikalen Anteile der Vorspannung auf Grundlage des derzeitigen Kenntnisstands nicht eindeutig begründbar.

Eine Bestätigung der nach EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] gewählten Formulierung für die Berücksichtigung der vertikalen Vorspannungsanteile im Zusammenhang mit der Ermittlung des Durchstanzwiderstands ist somit auch in mechanischer Hinsicht nicht möglich.

Der Einfluss des vertikalen Anteils der Vorspannkkräfte auf den Durchstanzwiderstand von vorgespannten Flachdecken wird in den Regelungen des EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] deutlich höher berücksichtigt als in anderen europäischen, bzw. amerikanischen Normen, wie z. B. dem ACI 318-99 [N3]. Bei dem eingangs genannten rechnerischen Beispiel von Zorn [A1] beträgt der Traganteil der vertikalen Vorspannkkräfte nach EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] das 2,4-fache des Traganteils auf Grundlage des ACI 318-99 [N3].

Die Ausführungen der Forschungsarbeit konnten zeigen, dass es sich bei den Rechenansätzen, welche die vertikalen Vorspannungsanteile ausschließlich innerhalb eines Rundschnitts im Abstand $d/2$ vom Stützenrand berücksichtigen (vgl. z. B. ACI 318-99 [N3]), in mechanischer Hinsicht um konservative rechnerische Empfehlungen handelt. Eine erhöhte Berücksichtigung der vertikalen Vorspannungsanteile bei der rechnerischen Ermittlung des Durchstanzwiderstands ist vor diesem Hintergrund durchaus denkbar.

Als Ergebnis des Forschungsvorhabens muss jedoch festgestellt werden, dass auf Grundlage der recherchierten Daten eine differenzierte Beurteilung des Traganteils der vertikalen Vorspannungsanteile am gesamten Durchstanzwiderstand nicht möglich ist. Die erhöhte Berücksichtigung der vertikalen Vorspannungsanteile bei der Ermittlung des Durchstanzwiderstands nach EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] kann somit nicht bestätigt werden.

Weitere experimentelle Untersuchungen sind notwendig, die sich speziell mit dem Einfluss des vertikalen Anteils der Vorspannung auf das Durchstanzverhalten von vorgespannten Flachdecken beschäftigen. Es werden Erkenntnisse bezüglich des Einflusses der Spanngliedverteilung und eines variierenden Spanngliedverlaufs auf die Traglasterrhöhung erforderlich. Des Weiteren muss untersucht werden, in welcher Abhängigkeit der vertikale Anteil der Vorspannung und der Längskraftanteil der Vorspannung im Zusammenhang mit dem Durchstanzverhalten stehen. Untersuchungen, die vergleichbar zu den Versuchen Lucio / Ramos, 2000 [V15] die beiden Einflüsse komplett unabhängig voneinander betrachten, werden erforderlich. Zudem muss der Einfluss eben verlaufender, exzentrisch angeordneter, Spannglieder untersucht werden.

7 Zusammenfassung

Gegenstand des Forschungsvorhabens ist die Untersuchung des vertikalen Anteils der Vorspannung im Zusammenhang mit dem Durchstanzwiderstand von vorgespannten Flachdecken. Es erfolgt eine Beurteilung der diesbezüglichen Regelungen des EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1].

Im Verlauf der Forschungsarbeit wurde zunächst eine umfangreiche Literaturrecherche hinsichtlich entsprechender Versuche und rechnerischer Empfehlungen ausgewählter Normen und Normungskomitees durchgeführt.

Es konnte aufgezeigt werden, dass sich nur wenige Versuchsreihen direkt mit der Auswertung der vertikalen Anteile der Vorspannung bezüglich des Durchstanzwiderstands beschäftigt hatten. Weitere Untersuchungen ergaben, dass keine der Versuchsreihen ausreichend Informationen für eine differenzierte Beurteilung der vertikalen Anteile der Vorspannung im Zusammenhang mit der Ermittlung des Durchstanzwiderstands liefert.

In den rechnerischen Formulierungen der einzelnen Normen und Normenkomitees wird der vertikale Anteil der Vorspannung bezüglich dem Durchstanz von vorgespannten Platten in Abhängigkeit des betrachteten Rundschnitts stark unterschiedlich berücksichtigt. Im Rahmen der Forschungsarbeit konnte aufgezeigt werden, dass auf Grundlage der recherchierten Daten für keinen der Normenansätze eine versuchstechnische Bestätigung gefunden werden konnte.

Die Rechenansätze des ACI ([N3], [N4], [N5]), der Model Codes ([N8], [N13]) in Verbindung mit den FIP recommendations ([N9], [N6]) sowie der DIN 4227 [N10] in Verbindung mit DIN 1045 [N11]) berücksichtigen die vertikalen Vorspannungsanteile innerhalb eines Rundschnitts mit Abstand $d/2$ vom Stützenrand. Die Ansätze stellen in mechanischer Hinsicht eine konservative Berücksichtigung der vertikalen Vorspannungsanteile dar und können in dieser Form auch ohne den Vergleich mit Versuchsergebnissen bestätigt werden kann.

Im Gegensatz dazu wird der Einfluss der vertikalen Vorspannungsanteile auf den Durchstanzwiderstand in den Regelungen des EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] (Berücksichtigung der vertikalen Vorspannungsanteile innerhalb eines Rundschnitts mit Abstand $2d$ vom Stützenrand) deutlich erhöht berücksichtigt.

Eine erhöhte Berücksichtigung der vertikalen Vorspannungsanteile bei der rechnerischen Ermittlung des Durchstanzwiderstands ist in mechanischer Hinsicht grundsätzlich denkbar. Als Ergebnis des Forschungsvorhabens muss jedoch festgestellt werden, dass auf Grundlage der recherchierten Daten eine differenzierte Beurteilung des Traganteils der vertikalen Vorspannungsanteile am gesamten Durchstanzwiderstand nicht möglich ist. Die

erhöhte Berücksichtigung der vertikalen Vorspannungsanteile bei der Ermittlung des Durchstanzwiderstands nach EC 2 Teil 1 (July, 2002) [N1] kann somit nicht bestätigt werden.

Weitere experimentelle Untersuchungen sind notwendig, die sich speziell mit dem Einfluss des vertikalen Anteils der Vorspannung auf das Durchstanzverhalten von vorgespannten Flachdecken beschäftigen.

München, den 27.05.2003



Univ.-Prof. Dr.-Ing. K. Zilch



Dipl.-Ing. G. Hammelehle

8 Literatur

8.1 Normen, Komitee - Empfehlungen und Anwendungshefte (DAfStb)

- [N1] Eurocode 2: Design of concrete structures part 1: General rules and rules for buildings prEN 1992-1-1 (draft for stage 49, July 2002).
- [N2] DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton Teil 1: Bemessung und Konstruktion, (Juli 2001).
- [N3] ACI 318-99: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary; American Concrete Institute; 1999.
- [N4] ACI-ASCE Committee 423: Tentative Recommendations for prestressed concrete flat plates; ACI Journal V. 71, No. 2, February 1974, pp. 61-71.
- [N5] ACI-ASCE Committee 423: Recommendations for concrete members prestressed with unbonded tendons (Committee report ACI 423.3R); ACI Structural Journal V. 86, No. 3, May-June 1989, pp. 301-318.
- [N6] Fédération Internationale de la Précontrainte (FIP): Recommendations for the design of post-tensioned slabs and foundations rafts; May 1998.
- [N7] *Kordina, K.; Nölting, D.*: Tragfähigkeit durchstanzgefährdeter Stahlbetonplatten; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 371; Berlin 1986.
- [N8] Comité Euro-International du Béton: International System of Unified Standard Codes of Practice for Structures; Volume 2: CEB-FIP Model Code for concrete structures (CEB Bulletin d'information No. 124 – 125 E, Paris 1978).
- [N9] Fédération Internationale de la Précontrainte (FIP): Recommendations on practical design of reinforced and prestressed concrete structures based on the CEB/FIP Model Code (MC 78); Draft June 1982.
- [N10] DIN 4227: Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung; Teil 1 (12.79; 07.88), Teil 6 (Vornorm 05.82).
- [N11] DIN 1045: Beton und Stahlbeton: Bemessung und Ausführung; (12.79, 07.88).

- [N12] Comité Euro-International du Béton: Punching shear in reinforced concrete, Lausanne 1985; (CEB Bulletin d'information No. 168).
- [N13] Comité Euro-International du Béton: CEB-FIP Model Code 1990 ; London: Th. Telford, 1993. (CEB Bulletin d'information No. 213 – 214).
- [N14] Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken; Teil 1-1; Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau; Deutsche Fassung ENV 1992-1-1: 1991 (Juni 1992).
- [N15] *Kordina, K.*: Zum Tragsicherheitsnachweis gegenüber Schub, Torsion und Durchstanzen nach EC 2, Teil 1: Erläuterungen zur Neuauflage von Heft 425 und Anwendungsrichtlinie zu EC 2; Beton- und Stahlbetonbau 89 (1994), Heft 4, S. 97-100.

8.2 Versuchsreihen

- [V1] *Scordelis, A. C., Lin, T. Y. and May, H. R.*: Shearing strength of prestressed lift slabs, ACI Journal V. 30, No. 4, October 1958, pp. 485-506.
- [V2] *Gerber, L. L., Burns, N. H.*: Ultimate strength tests of post-tensioned flat plates, PCI Journal, V. 16, No. 6, Nov.-Dec. 1971, pp. 40-58.
- [V3] *Smith, S. W., Burns, N. H.*: Post-tensioned flat plate to column connection behaviour, PCI Journal, V. 19, No. 5, May 1974 pp. 74-91.
- [V4] *Burns, N. H., Hemakom, R.*: Test of scale Model Post-tensioned flat plate; Journal of structural Engineering, ASCE, V. 103, No. ST6, June 1977, pp. 1237-1255.
- [V5] *Burns, N. H., Hemakom, R.*: Test of Post-tensioned flat plate with banded tendons, Journal of structural Engineering, ASCE, V. 111, No. 9, Sept. 1985, pp. 1899-1915.
- [V6] *Kosut, M., Burns, N. H., Victor, Winter. C.*: Test of post tensioned flat plate; Journal of structural Engineering, ASCE, V. 111, No. 9, Sept. 1985, pp. 1916-1929.
- [V7] *Pralong, Brändli, Thürlimann*: Durchstanzversuche an Stahlbetonplatten und Spannbetonplatten. Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Bericht 7305-3, Birkhäuser-Verlag Basel, Dezember 1979.

- [V8] *Kubat, B.:* Durchstanzverhalten von vorgespannten, punktförmig gestützten Platten aus Stahlfaserbeton; TU Braunschweig, Diss. 1996; Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 118.
- [V9] *Regan, P. E.:* The punching resistance of prestressed concrete slabs; Proc. Institution of civil Engineers, Part 2, 79, December, 1985, pp. 657-680.
- [V10] *Franklin, S. O., Long, A. E.:* The Punching Behaviour of unbonded post-tensioned flat plates, Proc. Instn. Civ. Engrs., Part 2, 73, Sept. 1982, pp. 609-631.
- [V11] *Foutch, D.; Gamble, W.; Sunidja, H.:* Tests of post-tensioned concrete slab-edge column connections; ACI Structural Journal, V. 87, No. 2, March-April 1990, pp. 167-179.
- [V12] *Long, A. E. Cleland, D. J.:* Post-tensioned Concrete Flat Slabs at Edge columns, ACI Materials Journal, V 90, No. 3, May-June 1993, pp. 207-213.
- [V13] *Gardner, N. J.; Rezai Kallage, M.:* Punching shear strength of continuous post-tensioned concrete flat plates; ACI Materials Journal, V. 95, No. 3, May-June 1998, pp. 272-283.
- [V14] *Gardner, N. J.; Sharifi, H.:* Punching strength of edge column slab connection of unbonded post-tensioned flat plates; International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs-Proceedings, Stockholm, June 2000, pp. 431-439.
- [V15] *Lucio, V; Ramos, A.:* Punching of prestressed flat slabs – experimental analysis; International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs-Proceedings, Stockholm, June 2000, pp. 441-448.
- [V16] *Sundquist, H.; Hassanzadeh, G.:* Influence of post-tensioned reinforcement distribution on design of prestressed reinforcement in column supported flat slabs; International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs-Proceedings, Stockholm, June 2000, pp. 457-466.
- [V17] Datenbank des DIBT Forschungsvorhabens IV 1-5-876/98; Überprüfung und Vereinheitlichung der Bemessungsansätze für querkraftbeanspruchte Stahlbeton- und Spannbetonbauteile aus normalfestem und hochfestem Beton nach DIN 1045-1; 1999.

8.3 Allgemein

- [A1] *Zorn, A.*: Durchstanzen bei verbundlos vorgespannten Flachdecken; Schriftenreihe der Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Heft 50 / November 2002.
- [A2] *Shehata, I.A.; Regan, P.*: Punching in RC Slabs; Journal of structural engineering, ASCE, V. 115, No. 7, July 1989, pp. 1726-1740.

Anhang A:

Der vorliegende Anhang A ergänzt die Ausführungen des Abschnitts 3 hinsichtlich der vorgestellten Versuchsreihen. Im Folgenden werden ausgewählte Abbildungen bezüglich des Versuchsaufbaus, der Spanngliedverteilung und des Spanngliedverlaufs der einzelnen Versuche dargestellt.

Scordelis, Lin und May, 1958 [V1]:

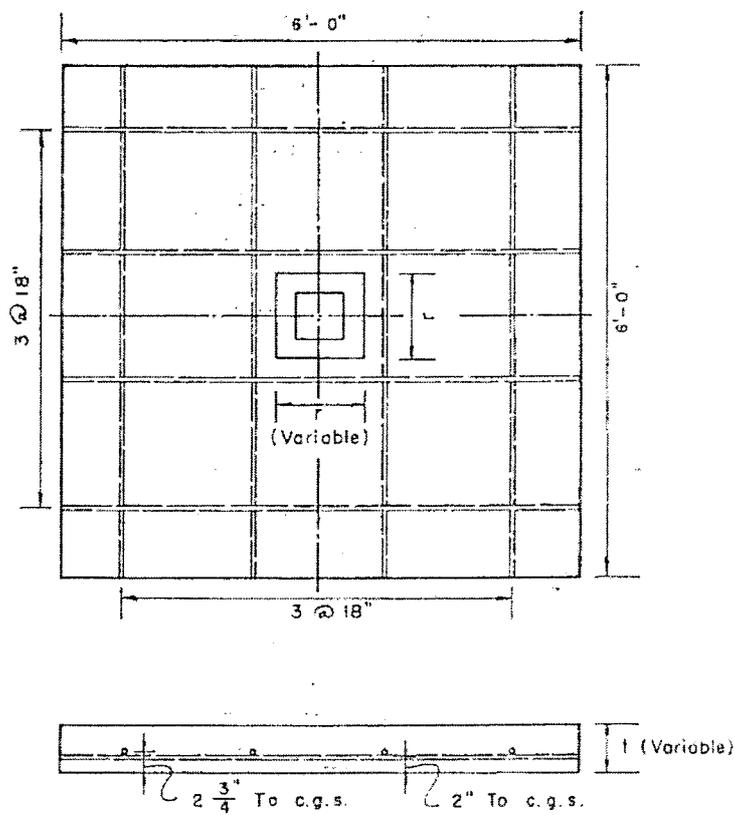


Abbildung A 1: Spanngliedverteilung und Spanngliedverlauf (Abb. 2 in [V1]).

Gerber und Burns, 1971 [V2]:

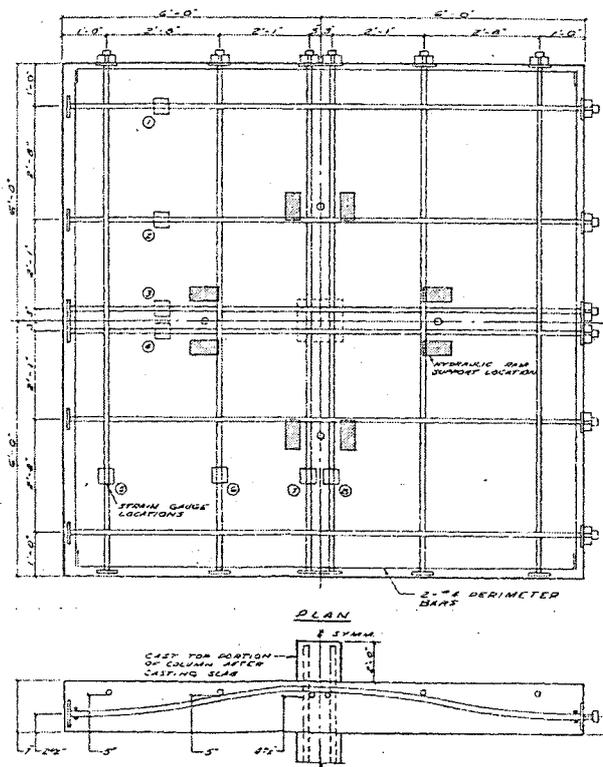


Abbildung A 2: Spanngliedverteilung und Spanngliedverlauf (Abb. 3 in [V2]).

Smith und Burns, 1974 [V3]

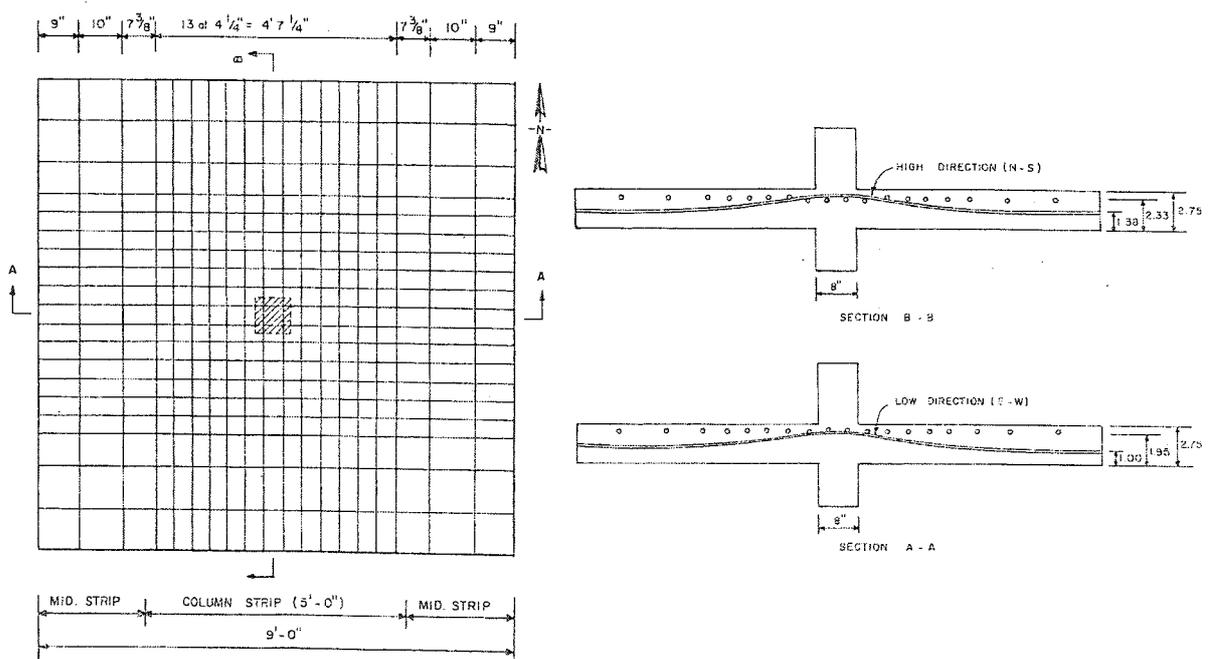
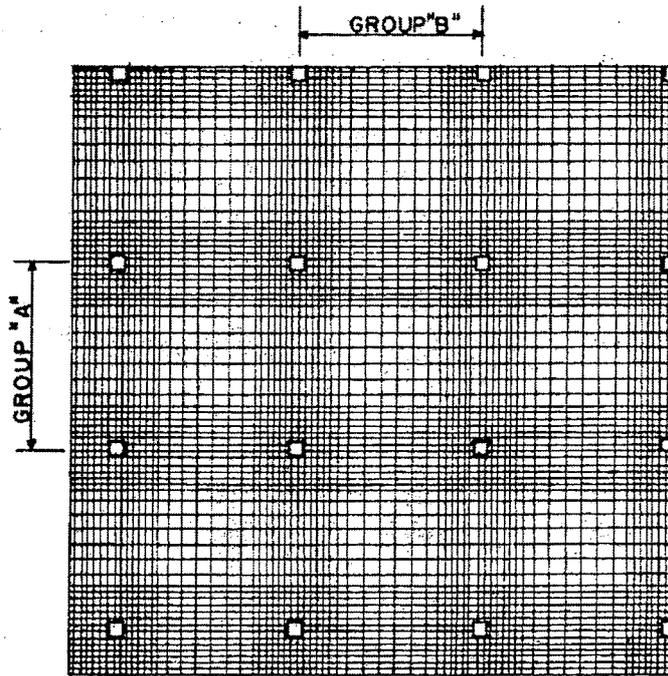


Abbildung A 3: Spanngliedverteilung und Spanngliedverlauf (Abb. 3 in [V3])

Burns und Hemakom, 1977 [V4]



68 Tendons each direction total
 Spacing 4.25" O.C. column strip (70%)
 Spacing 10.0" O.C. middle strip (30%)

Abbildung A 4: Spanngliedverteilung (Abb. 2 in [V4]).

Burns und Hemakom, 1985 [V5]

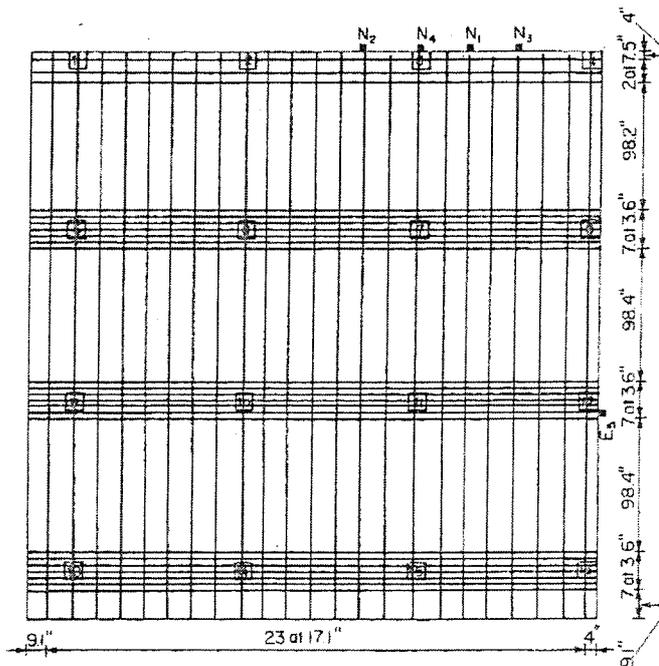


Abbildung A 5: Spanngliedverteilung (Abb. 3 in [V5]).

Pralong, Brändli, Thürlimann, 1979 [V7]

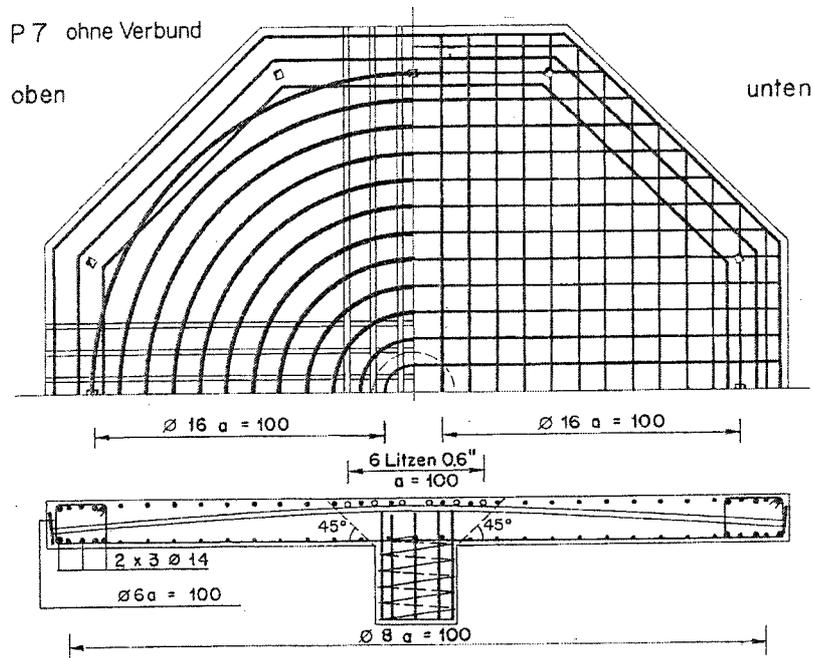


Abbildung A 6: Spanngliedverteilung und Bewehrungsführung (Abb. 3 in [V7]).

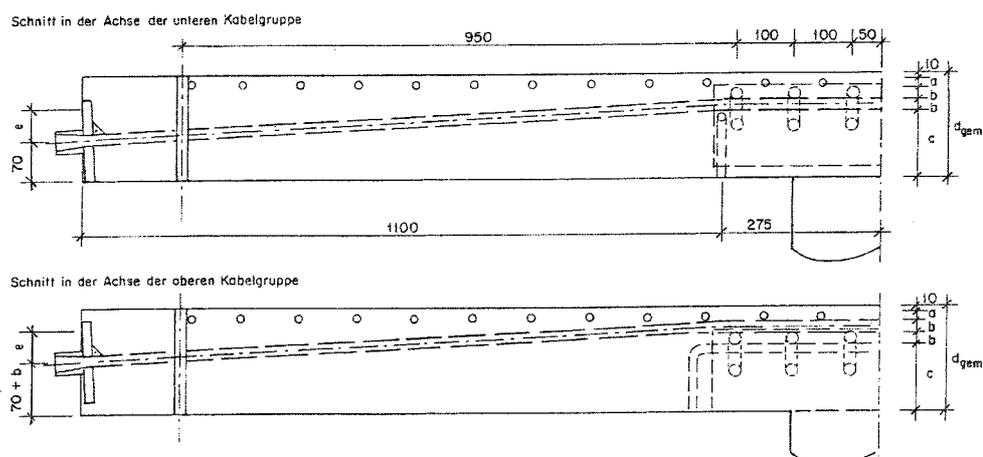


Abbildung A 7: Detaillierter Spanngliedverlauf (Abb. 7 in [V7]).

Kordina und Nölting, 1984 [siehe V8]

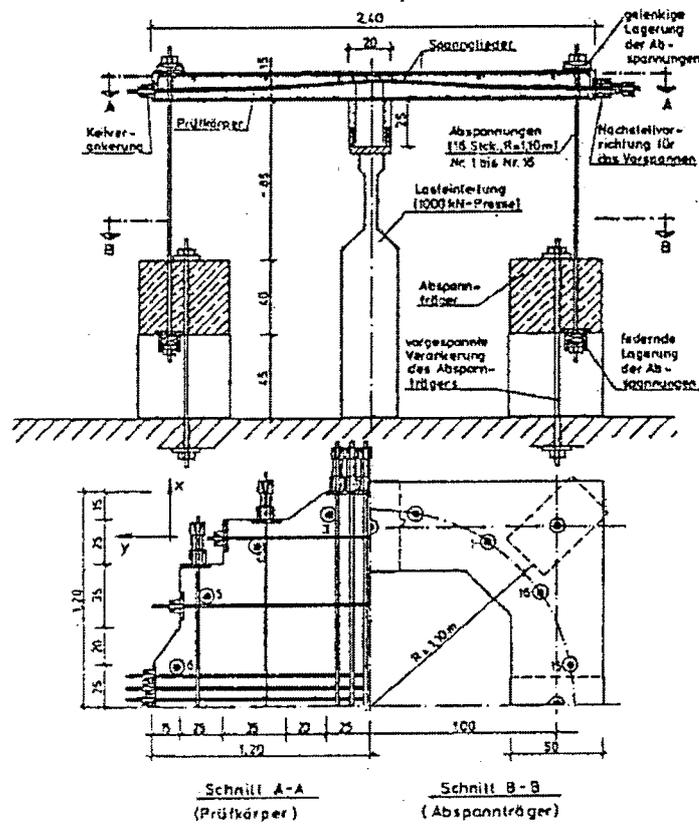


Abbildung A 8: Versuchsaufbau und Spanngliedverteilung (Abb. A3.1 in [V8]).

Regan, 1985 [V9]

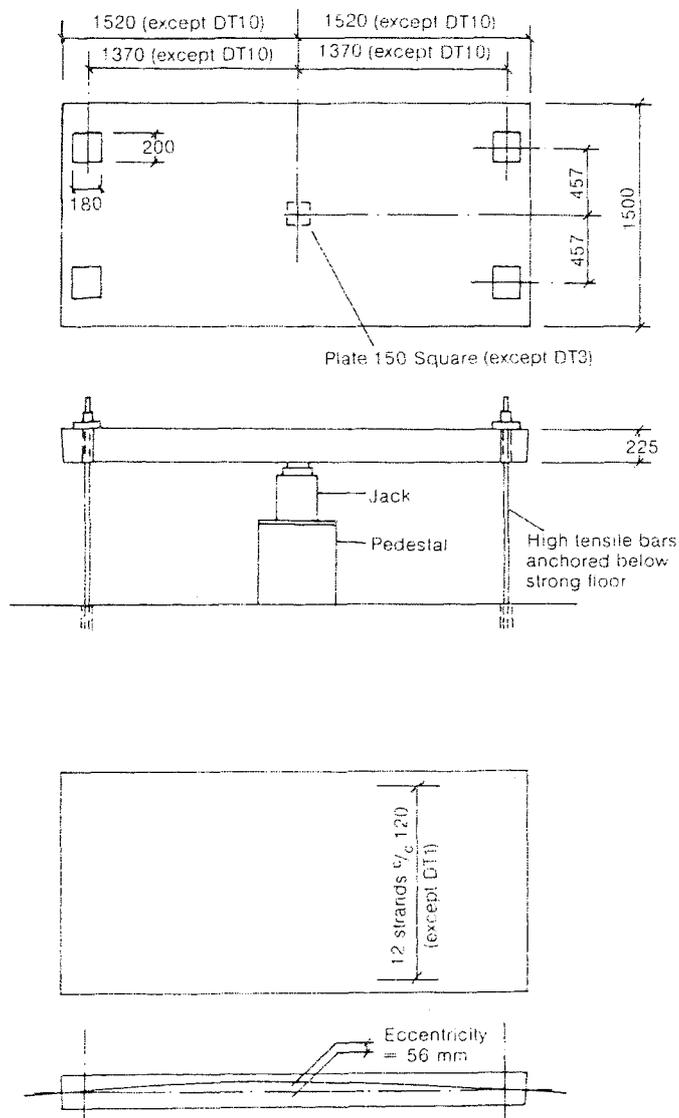


Abbildung A 9: Versuchsaufbau, Spanngliedverteilung und Spanngliedverlauf (Abb. 1 in [V9]).

Foutch, Gamble und Sunidja, 1990 [V11]

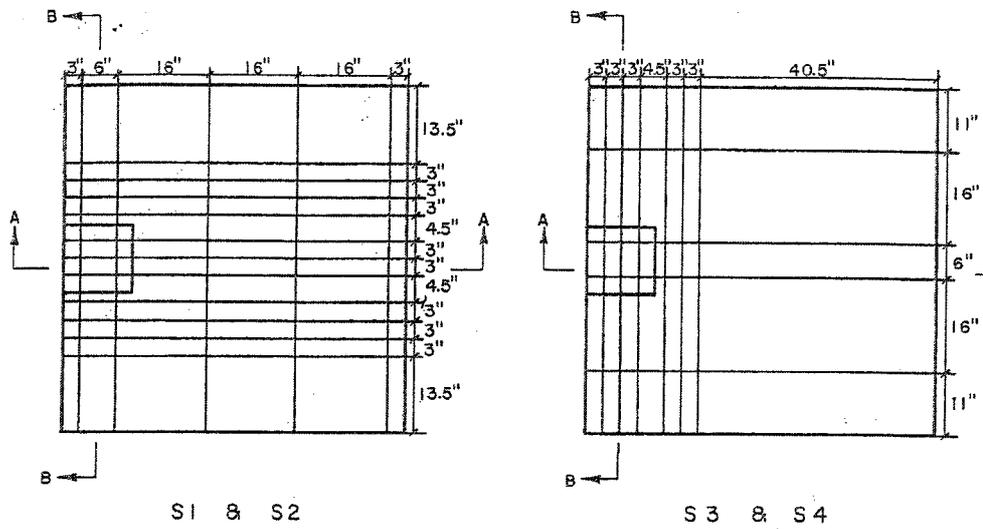


Abbildung A 10: Spanngliedverteilung (Abb. 3 in [V11]).

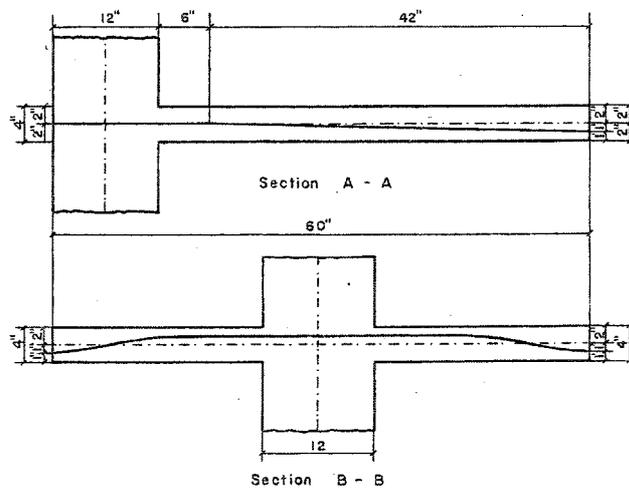


Abbildung A 11: Spanngliedverlauf (Abb. 4 in [V11]).

Long und Cleland, 1993 [V12]

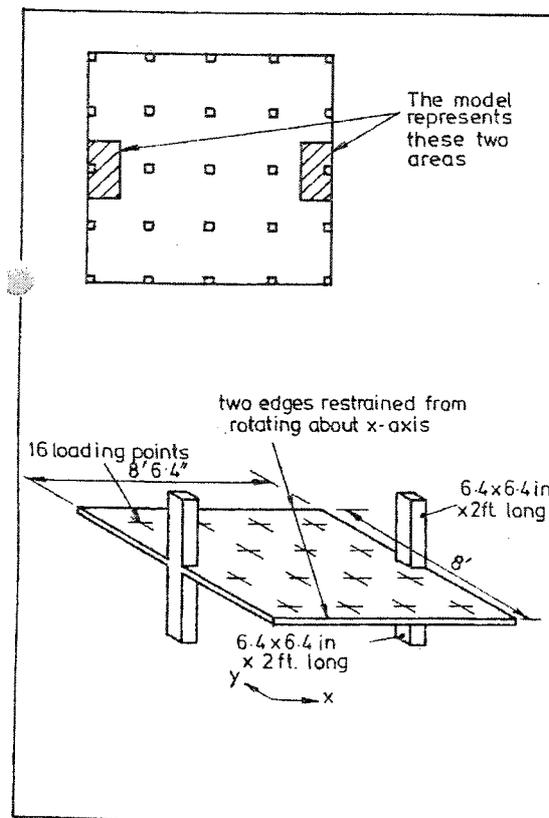


Abbildung A 12: Darstellung Gesamtsystem und Versuchsaufbau (Abb. 2 in [V12]).

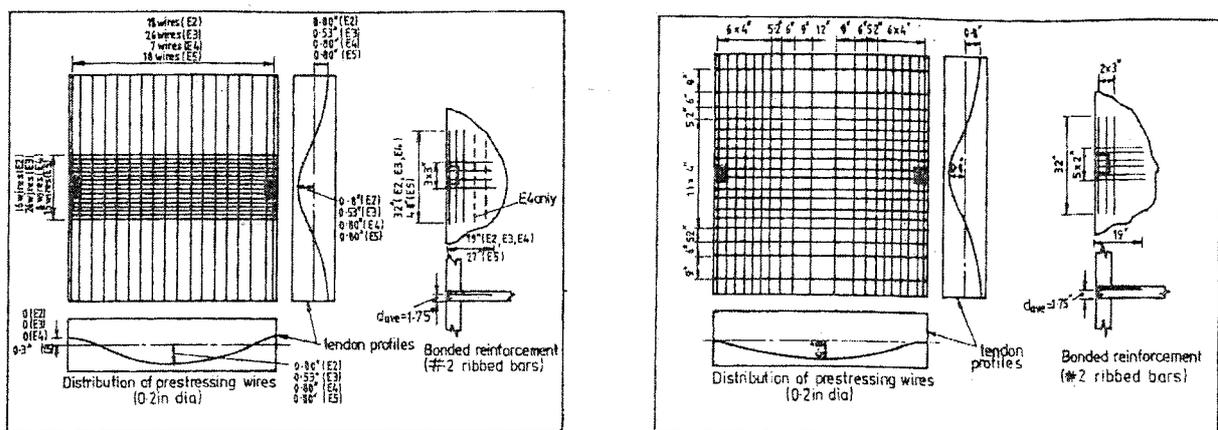
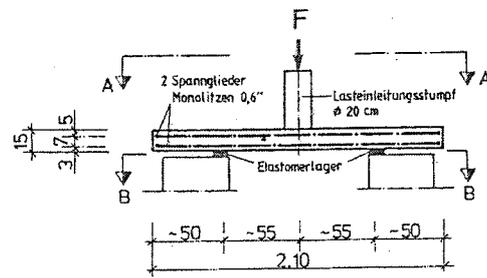
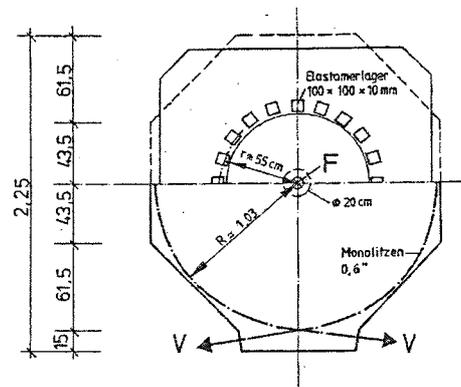


Abbildung A 13: Darstellung der Varianten der Spannliedanordnung (Abb. 3 und 4 in [V12]).

Kubat, 1996 [V8]



Schnitt B-B (Lagerung)



Schnitt A-A (Prüfkörper)

Abbildung A 14: Versuchsaufbau und Spanngliedführung (Abb. 4.2 in [V8]).

Gardner und Rezaei Kallage, 1998 [V13]

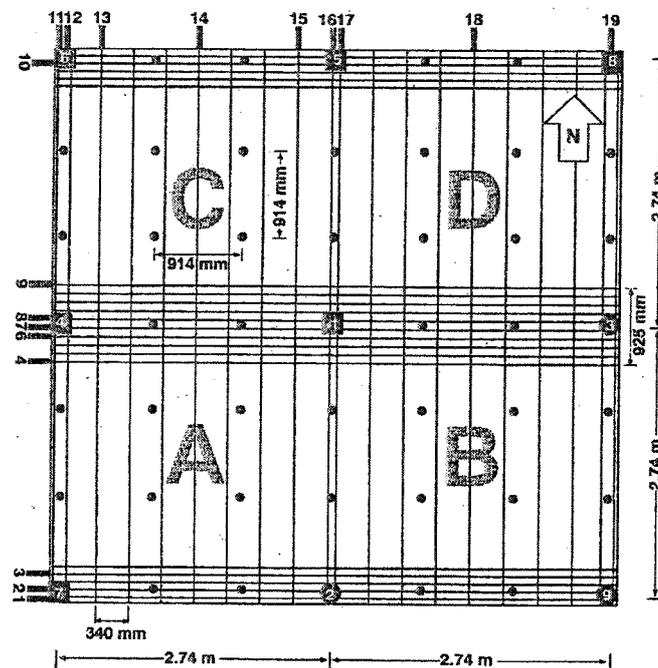


Abbildung A 15: Spanngliedverteilung (Abb. 1 in [V13]).

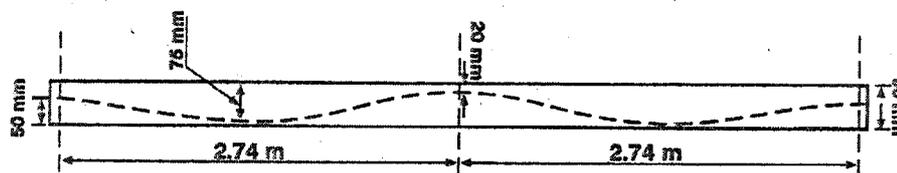


Abbildung A 16: Spanngliedverlauf (Abb. 2 in [V13]).

Lucio und Ramos, 2000 [V15]

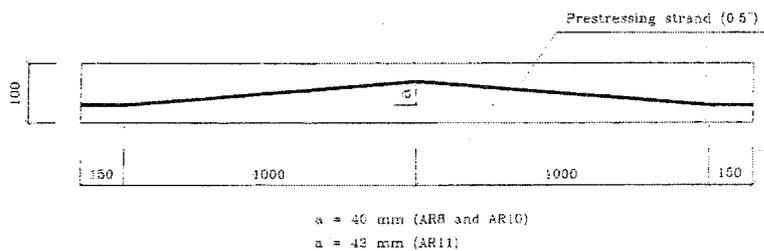


Abbildung A 17: Spanngliedverlauf (Abb. 3 in [V15]).

Sundquist und Hassanzadeh, 2000 [V16]

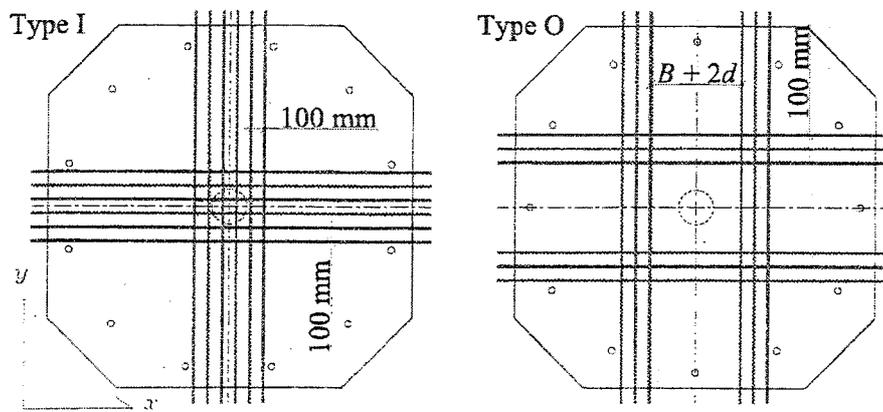


Abbildung A 18: Untersuchte Spanngliedverteilungen (Abb. 1 in [V16]).

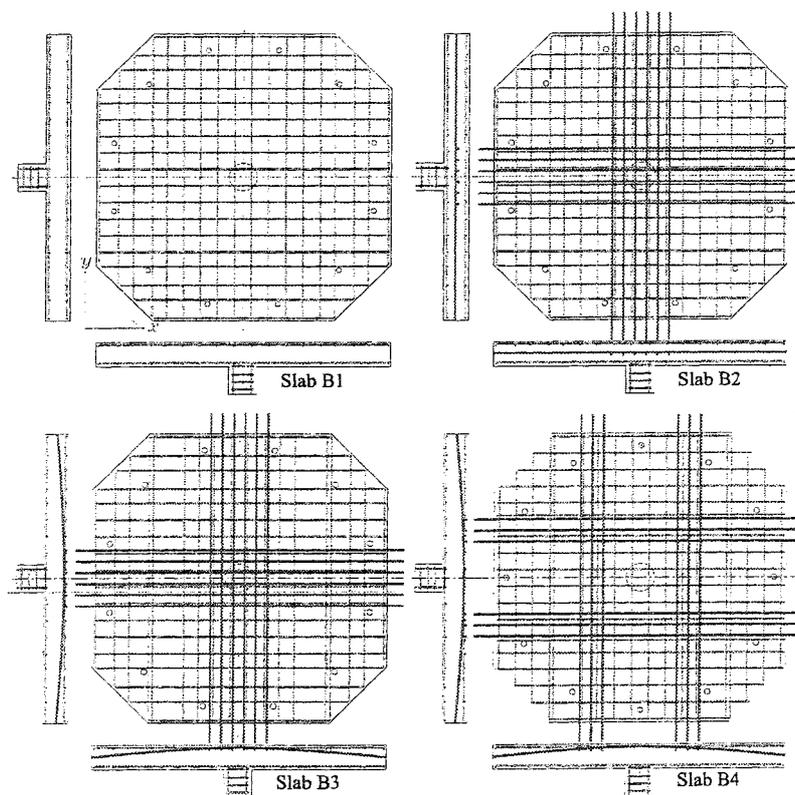


Abbildung A 19: Spanngliedanordnung und Bewehrungsführung Versuchsreihe B (Abb. 3 in [V16]).

Anhang B:

Im Folgenden werden zunächst die wichtigsten Daten der in Abschnitt 3 vorgestellten Versuchsreihen in tabellarischer Form zusammengefasst (siehe Tabelle B 1). Die Auflistung der Versuchsreihen erfolgt dabei vergleichbar zu Abschnitt 3 in zeitlicher Reihenfolge unter Berücksichtigung definierter Zeitabschnitte.

Tabelle B 2 und Tabelle B 3 erläutern in Kurzform die in Abschnitt 3 vorgestellten Bemessungsansätze der Normen und Normenkomitees, bzw. die rechnerischen Empfehlungen einzelner Forschungsergebnisse. Dabei werden die Rechenansätze hinsichtlich des Einflusses des Längskraftanteils der Vorspannung auf den Durchstanzwiderstand von Platten in Tabelle B 2 erfasst. In Tabelle B 3 werden die rechnerischen Empfehlungen für die Berücksichtigung des Einflusses des vertikalen Vorspannungsanteils auf den Durchstanzwiderstand von Platten zusammengefasst.

Erläuterungen zu Tabelle B 1:

Spalte 7:	PA	Plattenausschnitt
	DS	Deckensystem
	ES	Ersatzsystem
Spalte 9:	IS	Innenstütze
	RS	Randstütze
	ES	Eckstütze
Spalte 11:	Vers.	Versuch(e)
	Vers.-R.	Versuchsreihe
Spalte 14:	GL	Gleichmäßige Verteilung
	Ststr	konzentrierte Anordnung im Stützstreifen
Spalte 15/18:	Spgl.	Spannglied
Spalte 19:	Bv	Biegeversagen
	Dsv	Durchstanzversagen

Versuch	Jahr	Literaturstelle				Versuchsplatte					Bewehrungsführung		Spanngliedführung					Bemerkungen zur Versagensart
		Literaturstelle	Versuchsbeschreibung (Seitenangabe)	Beurteilung hins. Vp (Seitenangabe)	Abbildung der Versuchsplatte	Versuchsaufbau	Plattendicke [mm]	Stützenlage	Gesamtanzahl	Bemerkungen	Längsbewehrung	Bemerkungen	Verteilung in x-Fichtung	Verteilung in y-Fichtung	Verlauf	Verbund	Bemerkungen	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Zeitraum vor 1975																		
Scordelis, Lin und May	1958	V1	9	27	A1	PA	150-250	IS	12	Hubdecken	Nein		Gl	Vgl. x	Eben	Ohne	1 x gekrümmt	Dsv
Gerber, Burns	1971	V2	9	27	A2	PA	180	IS	10	-6 Hubdecken -4 Ort betonplatten	Ja	-4 x mit 2 x ohne -3 x mit 1 x ohne	Gl	Vgl. x	Gekrümmt	Ohne	-2 Spgl. über Stütze bei den Ort betonplatten	Kombiniertes Bv / Dsv
Smith, Burns	1974	V3	9	27	A3	PA	70	IS	3		Ja	-2 x mit, 1 x ohne	Leicht verdichteter Ststr.	Vgl. x	Gekrümmt	Ohne		3 x kombiniertes Bv / Dsv
Zeitraum 1975-1985																		
Burns, Hemakom	1977	V4	11	28	A4	DS	70	IS/RS		3 x 3 Felder à 3,0m	Ja	-Längsbew. nur im Stützbereich	70 % Ststr 30 % FStr	Vgl. x	Parabel	Ohne		Dsv (4 x IS, 3 x RS)
Burns, Hemakom	1985	V5	12	28	A5	DS	70	IS/RS		3 x 3 Felder à 3,0m	Ja	-Längsbew. nur im Stützbereich	Ststr	Gl	Parabel	Ohne		Kein eindeutiges Dsv
Kosut, Burns, Winter	1985	V6	12	28		DS	70	RS/ES		2 x 2 Felder à 3,0m	Ja	-Längsbew. nur im Stützbereich -vereinzelt Schubbew.	Ststr	Gl	Parabel	Ohne		Dsv (3 x RS, 2 x ES)
Pralong, Brändli, Thürlimann	1979	V7	12	29	A6/A7	PA	180	IS	3		Ja	Ringförmig	Ststr (b = c+d)	Vgl. x	Trapez	2 x o. Verb. 1 x m Verb.	-Umlenkstellen im Abstand d/2 v. Stützenrand	3 x Dsv
Kordina, Nölting	1984	V8	13	29	A8	PA	150	IS	3/5	-Vers.-R. 2: u. a. Variation der Randfederung	Ja	-Vers.-R. 1: 1 x ohne -Vers.-R. 2: konstant	50 % Ststr (b = c+d)	Vgl. x	-gekrümmt -Vers.-R. 2: 1 x eben	ohne	-Einleitg. sämtlicher Umlenkkräfte direkt in Stütze (45° Kegel) -Vers.-R. 2: Vorsp. konstant	
Regan	1985	V9	13	29	A9	ES	225/180	IS	15	-überwiegend einachsige Lastabtr.	Ja	-Längsbew. in Haupt- und Querrichtg. -1 x ohne Längsbew. -1 x mit Schubbew.	Gl	Keine Spgl.	Kreis	Nachtr. Verb.		12 x Dsv, 3 x Bv
Franklin, Long	1982	V10	15	30		ES	60	IS	7	-Einfluss exzentrischer Lasteinleitg. -Berücksichtigt. realitätsnaher Randbedingungen	Ja		Ststr	Gl	Gekrümmt	Ohne		
Zeitraum 1985-1995																		
Foutch, Gamble, Sunidja	1990	V11	18	30	A10/A11	PA	100	RS	4	-Variation der Lastausmitte	Ja	Konstant bei allen Versuchen	Ststr, bzw. Gl	Ststr, bzw. Gl	Gekrümmt	Ohne	-Längerer Horizontalanteil im Stützbereich -Konzentrierte Spanngliedordnung wahlweise parallel und senkrecht zum Rand	2' x Dsv, 2x Bv

Tabelle B 1: Tabellarische Zusammenstellung der Grunddaten von Versuchsreihen bezüglich Durchstanzen vorgespannter Flachdecken.

Versuch	Jahr	Literaturstelle				Versuchsplatte				Bewehrungsführung		Spanngliedführung				Bemerkungen zur Versagensart		
		Versuchsbeschreibung (Seitenangabe)	Beurteilung hins. Vp (Seitenangabe)	Abbildung der Versuchsplatte	Versuchsaufbau	Plattendicke [mm]	Stützenlage	Gesamtanzahl	Bemerkungen	Längsbewehrung	Bemerkungen	Verteilung in x-Richtung	Verteilung in y-Richtung	Verlauf	Verbund		Bemerkungen	
Long, Cleland	1993	V12	19	30	A13	ES	60	RS	5	-Berücksichtig. realitätsnaher Randbedingungen	Ja		Ststr, bzw. Gl	Ststr, bzw. Gl	Gekrümmt	Ohne	-Konzentrierte Spanngliedanordnung wahlweise parallel und senkrecht zum Rand	Dsv (5 x)
Zeitraum 1995 bis heute																		
Kubat	1996	V8	21	31	A14	PA	150/225	IS	2/7	-Vers.-R. 1: 2 x Stahl-faserbeton -Vers.-R. 2: 4 Stahl-faserbeton, 3 x unbew. Beto -Vers.-R. 1: Plattengeometrie vgl. Kordina, 1984)	Nein		-Vers.-R. 1: vgl. Kordina -Vers.-R. 2: Ringförmig	Vgl. X	-Vers.-R. 1: gekrümmt -Vers.-R. 2: eben	Ohne	-Vers.-R. 2: 1 x ohne Vorsp.	-Vers.-R. 1: Bv -Vers.-R. 2: Dsv
Gardner, Rezai Kallage	1998	V13	21	31	A15/ A16	DS	90	IS/RS/ ES		2 x 2 Felder à 2,70 m	Nein		Ststr	Gl	Parabel	Ohne		Dsv (1x IS, 1 x RS, 1 x ES)
Gardner, Sharifi	2000	V14	22	32		DS	90	RS		2 x 2 Felder à 3,20 m	Nein		Variabel	Variabel	Parabel	Ohne		Dsv (3 x RS)
Lucio, Ramos	2000	V15	22	32	A17	PA	100	IS	5/4	-Vers.-R. 1: 5 Vers. -Vers.-R. 2: 4 Vers.	Ja	-Vers.-R. 1 und 2: konstant	-Vers.-R. 1: variabel -Vers.-R. 2: Ststr	Vgl. X	-Vers.-R. 1: eben -Vers.-R. 2: linear	Ohne	-unabhängige Untersuchung, von Längs- und Vertikalanteil -Vers.-R. 1: 1 x ohne Vorsp. -Vers.-R. 2: 1 ohne Vorsp.	
Sundquist, Hassanzadeh	2000	V16	23	32	A18/ A19	PA	180/220 /220	IS	3/4/ 2	-Vers.-R. 3: Stahlfaserbeton.	Ja	-Vers.-R. 1, bzw. 2: jeweils konstant -Vers.-R. 3: ohne -Vers.-R. 1: 1 x mit Schubbewehrung	Ststr, bzw. verteilt	Vgl. x	-parabel -Vers.-R. 2: 1 x eben	Ohne	-Untersuchung versch. Spgl-Verteilungen -Vers.-R. 2: 1 x ohne Vorsp. -Vers.-R. 3: 1 x ohne Vorsp.	-Vers.-R. 1: 2 x Dsv 1 x Bv (Vers. mit Schubbewehrung) -Vers.-R. 2: 4 x Dsv -Vers.-R. 3: 2 x Bv

Tabelle B 1 (Fortsetzung): Tabellarische Zusammenstellung der Grunddaten von Versuchsreihen bezüglich Durchstanzen vorgespannter Flachdecken.

Norm, bzw. Empfehlung	Jahr	Literaturstelle	Beschreibung im Text (Seitenangabe)	Art der Berücksichtigung	Rechnerische Beziehung	Bemerkungen und Besonderheiten
Zeitraum vor 1975						
ACI-ASCE Komitee 423	1974	N4	9	Gesamtansatz	$v_{cw} = 3,5\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc}$	- Bemessungsniveau - f'_c Betondruckfestigkeit (psi) - f_{pc} Längsbetondruckspannung infolge Vorspannung (psi)
Zeitraum 1975-1985						
DAfStB Heft 371	1986	N7	15	Erhöhung des Längsbewehrungsanteils	$\mu_{ges} = \mu_s + \mu_{vi}$ $\mu_{vi} = 100 \frac{\sigma_{bv,N}}{\beta_{ss}}$	- μ_s tatsächlich vorhandener Längsbewehrungsgrad - μ_{vi} Erhöhung des Längsbewehrungsgrads infolge Vorspannung - $\sigma_{bv,N}$ Längsbetondruckspannung infolge Vorspannung - β_{ss} Streckgrenze des Betonstahls
Regan	1985	V9	14	Dekompressionsansatz	$P_{up} = P_{ur} + P_{ol} \left(\frac{P_{wt}}{P_{ur}} \right) + P_{or} \left(\frac{P_{wt}}{P_{ur}} \right)$	- P_{up} gesamte Durchstanzlast der vorgespannten Platte - P_{ur} Durchstanzlast der nicht-vorgespannten Platte - P_{ol} Dekompressionskraft infolge Längsvorspannung - P_{or} Dekompressionskraft infolge Quervorspannung - P_{url} Durchstanzlastanteil in Längsrichtung - P_{urt} Durchstanzlastanteil in Querrichtung
FIP recommendations, 1982	1982	N9	16	Dekompressionsansatz	$v_{Rd1,mit\,Vorspannung} = v_{Rd1,ohne\,Vorspannung} \cdot \left(1 + \frac{M_0}{M_s} \right)$	- Bemessungsniveau - M_0 Dekompressionsmoment - M_s Bemessungsmoment an der betrachteten Stelle

Tabelle B 2: Einfluss des Längskraftanteils der Vorspannung auf den Durchstanzwiderstand von Platten – Rechnerische Berücksichtigung in ausgewählten Normen und Komitee - Empfehlungen.

Norm, bzw. Empfehlung	Jahr	Literaturstelle	Beschreibung im Text (Seitenangabe)	Art der Berücksichtigung	Rechnerische Beziehung	Bemerkungen und Besonderheiten
DIN 4227 ; DIN 1045	1978	N1 0/N 11	17	Erhöhung des Längsbewehrungsanteils	$\mu_{ges} = \mu_s + \mu_{vi}$ $\mu_{vi} = 100 \frac{\sigma_{bv,N}}{\beta_{ss}}$	<ul style="list-style-type: none"> -μ_s tatsächlich vorhandener Längsbewehrungsgrad -μ_{vi} Erhöhung des Längsbewehrungsgrads infolge Vorspannung -$\sigma_{bv,N}$ Längsbetondruckspannung infolge Vorspannung -β_{ss} Streckgrenze des Betonstahls
Zeitraum 1985-1995						
ACI-ASCE Komitee 423	1989	N5	19	Gesamtansatz	$v_{cw} = 3,5\sqrt{f_c} + 0,3f_{pc}$	<ul style="list-style-type: none"> -Bemessungsniveau -f_c Betondruckfestigkeit (psi) -f_{pc} Längsbetondruckspannung infolge Vorspannung (psi)
Eurocode 2, 1992-1-1	1992	N1 4	20	Erhöhung des Längsbewehrungsgrads	$\rho_{ges} = \rho_l + \rho_v$ $\rho_v = \frac{\sigma_{cp0}}{f_{yd}}$	<ul style="list-style-type: none"> -Bemessungsniveau -ρ_l tatsächlich vorhandener Längsbewehrungsgrad -ρ_v Erhöhung des Längsbewehrungsgrads infolge Vorspannung -σ_{cp0} Längsbetondruckspannung infolge Vorspannung -f_{yd} Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls
Erläuterungen zu EC 2, Kordina	1994	N1 5	20	Additiver Widerstandsanteil	$\Delta v_{Rd1} = 0,10\sigma_{cp0}d \quad (\text{MN/m})$	<ul style="list-style-type: none"> -Bemessungsniveau -σ_{cp0} Längsbetondruckspannung infolge Vorspannung -d statische Nutzhöhe der Platte

Tabelle B 2 (Fortsetzung 1): Einfluss des Längskraftanteils der Vorspannung auf den Durchstanzwiderstand von Platten – Rechnerische Berücksichtigung in ausgewählten Normen und Komitee - Empfehlungen.

Norm, bzw. Empfehlung	Jahr	Literaturstelle	Beschreibung im Text (Seitenangabe)	Art der Berücksichtigung	Rechnerische Beziehung	Bemerkungen und Besonderheiten
Zeitraum 1995 bis heute						
FIP recommendations, 1998	1998	N6	24	-Dekompressionsansatz -Berücksichtigung auf der Einwirkungsseite	$P_{Sd,eff} = \beta \cdot P_{Sd}(p_{Sd}, P) - P_{p0}$ mit $P_{p0} = \frac{P_{y0}b_x + P_{x0}b_y}{b_x + b_y}$	-Bemessungsniveau - $P_{Sd,eff}$ Zu bemessende durchstanzrelevante Last - β Einflussfaktor für die Berücksichtigung ausmittiger Beanspruchungen - P_{Sd} durchstanzrelevante Last unter Berücksichtigung der äußeren Lasten und des vertikalen Anteils der Vorspannung - P_{p0} äquivalente Dekompressionsdurchstanzlast - P_{y0} äquivalente Dekompressionskraft in y-Richtung - P_{x0} äquivalente Dekompressionskraft in x-Richtung - b_x durch den Rundschnitt erfasste Breite in x-Richtung - b_y durch den Rundschnitt erfasste Breite in y-Richtung
ACI 318-99	1999	N3	25	Gesamtansatz	$v_{cw} = \beta_p \sqrt{f_c} + 0,3 f_{pc}$ mit $\beta_p = \alpha_s d / b_0 + 1,5 \leq 3,5$	-Bemessungsniveau - f_c Betondruckfestigkeit (psi) - f_{pc} Längsbetondruckspannung infolge Vorspannung (psi) - α_s 40 für Innenstützen, 30 für Randstützen, 20 für Eckstützen - d statische Nutzhöhe - b_0 Länge des kritischen Rundschnitts
DIN 1045-1	2001	N2	26	Additiver Widerstandsanteil	$\Delta v_{Rd} = 0,12 \sigma_{cd} \quad (\text{MN/m}^2)$	-Bemessungsniveau - σ_{cd} Längsbetondruckspannung infolge Vorspannung

Tabelle B 2 (Fortsetzung 2): Einfluss des Längskraftanteils der Vorspannung auf den Durchstanzwiderstand von Platten – Rechnerische Berücksichtigung in ausgewählten Normen und Komitee - Empfehlungen.

<i>Norm, bzw. Empfehlung</i>	<i>Jahr</i>	<i>Literaturstelle</i>	<i>Beschreibung im Text (Seitenangabe)</i>	<i>Art der Berücksichtigung</i>	<i>Rechnerische Beziehung</i>	<i>Bemerkungen und Besonderheiten</i>
Eurocode 2 Teil 1 (July, 2002)	2002	N1	26	Additiver Widerstandsanteil	$\Delta v_{Rd} = 0,10\sigma_{cp}$ (MN/m ²)	-Bemessungsniveau - σ_{cp} Längsbetondruckspannung infolge Vorspannung

Tabelle B 2 (Fortsetzung 3): Einfluss des Längskraftanteils der Vorspannung auf den Durchstanzwiderstand von Platten – Rechnerische Berücksichtigung in ausgewählten Normen und Komitee - Empfehlungen.

Norm, bzw. Empfehlung	Jahr	Literaturstelle	Beschreibung im Text (Seitenangabe)	Keine Berücksichtigung	Berücksichtigung innerhalb			
					d/2	d	1,5 d	2 d
Zeitraum vor 1975								
ACI-ASCE Komitee 423	1974	N4	9		X			
Zeitraum 1975-1985								
DAfStB Heft 371	1986	N7	15			X		
Regan	1985	V9	14	X				
FIP recommendations, 1982	1982	N9	16		X			
DIN 4227 ; DIN 1045	1978	N10/ N11	17		X			
Zeitraum 1985-1995								
ACI-ASCE Komitee 423	1989	N5	19		X			
Eurocode 2, 1992-1-1	1992	N14	20				X	
Erläuterungen zu EC 2, Kordina	1994	N15	20				X	
Zeitraum 1995 bis heute								
FIP recommendations, 1998	1998	N6	24		X			
ACI 318-99	1999	N3	25		X			
DIN 1045-1	2001	N2	26				X	
Eurocode 2 Teil 1 (July, 2002)	2002	N1	26					X

Tabelle B 3: Einfluss des Vertikalanteils der Vorspannung auf den Durchstanzwiderstand von Platten – Rechnerische Berücksichtigung in ausgewählten Normen und Komitee - Empfehlungen.

- Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern**
 W. Richter, T. Ender, T. Hartmann, A. Kremonke, u.a.
 Hrsg.: TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung, Bereich TGA
 Band 63: 2003, 127 S., zahlr. Abb., Tab., Lit., ISBN 3-8167-6345-6
 € 35,- [sFr 58,-]
- Baukostensenkung durch Anwendung innovativer Wettbewerbsmodelle**
 Udo Blecken, Lothar Boenert
 Hrsg.: Universität Dortmund, Lehrstuhl Baubetrieb, Fakultät Bauwesen
 Band 62: 2003, 350 S., zahlr. Abb., Tab., Lit., ISBN 3-8167-6338-3
 € 50,- [sFr 82,-]
- Flachdachsanieerung über durchfeuchteter Dämmschicht**
 Ralf Spilker
 Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik gGmbH AIBau
 Band 61: 2003, 260 S., zahlr. farbige Abb., ISBN 3-8167-6183-6
 € 45,- [sFr 74,-]
- Bauqualität – Verfahrensqualität und Produktqualität bei Projekten des Wohnungsbaus**
 Hannes Weeber, Simone Bosch
 Band 60: 2003, 170 S., Abb., Tab., ISBN 3-8167-4259-9
 € 45,- [sFr 74,-]
- Brandschutzkosten im Wohnungsbau**
 Karl Deters
 Band 59: 2001, 245 S., Abb., Tab., ISBN 3-8167-4258-0
 € 50,- [sFr 82,-]
- Gemeinschaftliches Wohnen im Alter**
 R. Weeber, G. Wölflle, V. Rösner
 Band 58: 2001, 175 S., Abb., Tab., ISBN 3-8167-4257-2
 € 46,- [sFr 76,-]
- Entwicklung eines Bewertungssystems für ökonomisches und ökologisches Bauen und gesundes Wohnen**
 C.J. Diederichs, P. Getto, S. Streck
 Band 57: 2002, 230 S., mit CD-ROM, Abb., Tab., ISBN 3-8167-4256-4
 € 50,- [sFr 82,-]
- Vergabeverfahren und Baukosten**
 Hannes Weeber, Simone Bosch
 Band 56: 2001, 192 S., Abb., Tab., ISBN 3-8167-4255-6
 € 50,- [sFr 82,-]
- Konzepte für die praxisorientierte Instandhaltungsplanung im Wohnungsbau**
 Ralf Spilker, Rainer Oswald
 Band 55: 2000, 71 S., 5 Abb., zahlr. Tab., ISBN 3-8167-4254-8
 € 22,- [sFr 37,-]
- Bewährung innen wärmegeämmteter Fachwerkbauten**
 Reinhard Lamers, Daniel Rosenzweig, Ruth Abel
 Band 54: 2000, 173 S., 123 Abb., ISBN 3-8167-4253-X
 € 25,- [sFr 41,60]
- Überprüfbarkeit und Nachbesserbarkeit von Bauteilen – untersucht am Beispiel der genutzten Flachdächer**
 Rainer Oswald, Ralf Spilker, Klaus Wilmes
 Band 53: 1999, 133 S., 49 Abb., 4 Tab., ISBN 3-8167-4252-1
 € 37,- [sFr 61,-]
- Bauschadensfibel für den privaten Bauherrn und Hauskäufer**
 Rainer Oswald, Ruth Abel, Volker Schnapauff
 Band 52: 1999, 140 S., 19 Abb., 3 Tab., fester Einband, ISBN 3-8167-4251-3
 € 25,- [sFr 41,60]
- Balkone – kostengünstig und funktionsgerecht**
 Hannes Weeber, Margit Lindner
 Band 51: 1999, 146 S., 102 Abb., 26 Tab., ISBN 3-8167-4250-5
 € 38,- [sFr 62,50]
- Kostenfaktor Erschließungsanlagen**
 Hannes Weeber, Michael Rees
 Band 50: 1999, 226 S., 107 Abb., 15 Tab., ISBN 3-8167-4249-1
 € 50,- [sFr 82,-]
- Eigenleistung beim Bauen**
 R. Weeber, H. Weeber, S. Kleebaur, u.a.
 Band 49: 1999, 154 S., 25 Abb., 12 Tab., ISBN 3-8167-4248-3
 € 22,- [sFr 37,-]
- Kosteneinsparung durch Bauzeitverkürzung**
 Barbara Bredenbals, Heinz Hullmann
 Band 48: 1999, 174 S., 38 Abb., 36 Tab., ISBN 3-8167-4247-5
 € 37,- [sFr 61,-]
- Das wärme- und feuchteschutztechnische Verhalten von stählernen Fassadendurchdringungen**
 Lutz Franke, Gernod Deckelmann
 Band 47: 1998, 74 S., 38 Abb., 13 Tab., ISBN 3-8167-4246-7
 € 15,- [sFr 25,80]
- Kostengünstige bauliche Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs im Wohnungsbestand**
 R. Oswald, R. Lamers, V. Schnapauff, u.a.
 Band 46: 1998, 100 S., 57 Abb., ISBN 3-8167-4245-9
 € 17,- [sFr 28,80]
- Sicherung des baulichen Holzschutzes**
 Horst Schulze
 Band 45: 1998, 168 S., 136 Abb., 10 Tab., ISBN 3-8167-4244-0
 € 22,- [sFr 37,-]
- Luftdichtigkeit von industriell errichteten Wohngebäuden in den neuen Bundesländern**
 Wolfgang Richter, Dirk Reichel
 Band 44: 1998, 88 S., 34 Abb., 15 Tab., ISBN 3-8167-4243-2
 € 15,- [sFr 25,80]
- Leitfaden Kostendämpfung im Geschoßwohnungsbau**
 Karl Deters, Joachim Arlt
 Band 43: 1998, 162 S., 135 Abb., 34 Tab., ISBN 3-8167-4242-4
 € 22,- [sFr 37,-]
- Langzeitbewährung und Entwicklungstendenzen von Kunststoff-Bauprodukten im Wohnungsbau**
 Dieter Arlt, Rainer Weltring
 Band 42: 1998, 137 S., 90 Abb., 7 Graph., ISBN 3-8167-4241-6
 € 20,- [sFr 33,40]
- Gebrauchsanweisung für Häuser**
 Volker Schnapauff, Silke Richter-Engel
 Band 40: 1997, 116 S., 4 Abb., 7 Tab., ISBN 3-8167-4239-4
 € 19,- [sFr 31,90]
- Ergänzender Neubau in bestehenden Wohnsiedlungen**
 H. Weeber, R. Weeber, M. Lindner, u. a.
 Band 39: 1997, 194 S., 230 Abb., ISBN 3-8167-4238-6
 € 25,- [sFr 41,60]
- Lüftung in industriell errichteten Wohnhäusern**
 Wilfried Jank
 Band 37: 1997, 66 S., 17 Abb., 12 Tab., ISBN 3-8167-4236-X
 € 15,- [sFr 25,80]

Bestellschein

Fax 07 11 / 970 - 25 08 oder -25 07

Fraunhofer IRB Verlag
 Fraunhofer-Informationszentrum
 Raum und Bau IRB
 Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Telefon 07 11 / 970 - 25 00
 E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de
 www.IRBbuch.de

Absender

.....

E-Mail.....

Straße/PF

PLZ/Ort

Datum

Unterschrift

1/2004 [BfP_Gesamt-Anzeige.qxd]

- Auswirkungen der neuen Wärmeschutzverordnung auf den Schallschutz von Gebäuden**
Siegfried Koch, Werner Scholl
Band 36: 1997, 72 S., 33 Abb., 2 Tab.,
ISBN 3-8167-4235-1
€ 15,- [sFr 25,80]
- Baukostensenkung durch gesicherte Schadensbeurteilung an haufwerksporigen Leichtbetonelementen der industriell errichteten Wohnbauten der ehemaligen DDR**
Mirko Neumann, Mathias Reuschel
Band 35: 1997, 320 S., 227 Abb., 105 Tab.,
ISBN 3-8167-4234-3
€ 41,- [sFr 68,-]
- Verhinderung von Emissionen aus Baustoffen durch Beschichtungen**
Lutz Franke, Martin Wesselmann
Band 34: 1997, 68 S., 11 Abb., 9 Tab.,
ISBN 3-8167-4233-5
€ 15,- [sFr 25,80]
- Wirksamkeit von Lüftungsgeräten – Zuluftversorgung von Wohnungen mit dezentralen Lüftungseinrichtungen**
Wolfgang Richter, Dirk Reichel
Band 33: 1996, 161 S., Abb., Tab.,
ISBN 3-8167-4232-7
€ 22,- [sFr 37,-]
- Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) im Wohnungsbau**
Institut für Bauforschung e.V., Hannover
Band 32: 1997, 250 S., 128 Abb., 20 Tab.,
ISBN 3-8167-4231-9
€ 30,- [sFr 50,40]
- Niedrigenergiehäuser unter Verwendung des Dämmstoffes Styropor**
Teil 1: Konstruktionsempfehlungen und optimierte Anschlusssituationen (Details)
W.-H. Pohl, S. Horschler, R. Pohl
Teil 2: Quantitative Darstellung der Wirkung von Wärmebrücken
Gerd Hauser, Horst Stiegel
Band 31: 1997, 294 S., 169 Abb.,
ISBN 3-8167-4230-0
€ 14,- [sFr 24,30]
- Fenster – Sanierung und Modernisierung**
Hans-Rudolf Neumann
Band 30: 1997, 134 S., 90 Abb., 11 Tab.,
ISBN 3-8167-4229-7
€ 20,- [sFr 33,40]
- Schäden an nicht industriell hergestellten Wohnbauten der neuen Bundesländer**
R. Oswald, R. Spilker, V. Schnapauff, u. a.
Band 29: 1996, 116 S., 66 Abb., 30 Tab.,
ISBN 3-8167-4228-9
€ 17,- [sFr 28,80]
- Die Berechnung von Flachdecken über Zustands- und Einflußflächen**
Max Baerschneider
Band 26: 1996, 380 S., 196 Tab., zweibändig,
ISBN 3-8167-4225-4
€ 49,- [sFr 80,-]
- Feuchttransportvorgänge in Stein und Mauerwerk – Messung und Berechnung**
M. Krus, H.-M. Künzel, K. Kießl
Band 25: 1996, 75 S., 31 Abb., 2 Tab.,
ISBN 3-8167-4224-6
€ 15,- [sFr 25,80]
- Wohngebäudesanierung und Privatisierung**
Hannes Weeber, Michael Rees
Band 24: 1996, 107 S., 51 Abb., 17 Tab.,
ISBN 3-8167-4223-8
€ 20,- [sFr 33,40]
- Der Feuchtehaushalt von Holz-Fachwerkwänden**
Helmut Künzel
Band 23: 1996, 85 S., 32 Abb., 10 Tab.,
€ 15,- [sFr 25,80]
- Neue Konstruktionsalternativen für recyclingfähige Wohngebäude**
Barbara Bredenbals, Wolfgang Willkomm
Band 22: 1996, 110 S., 26 Abb., 3 Tab.,
ISBN 3-8167-4221-1
€ 17,- [sFr 28,80]
- Standesicherheit der Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern**
E. Cziesielski, N. Fouad, F.-U. Vogdt
Band 21: 1996, 226 S., 71 Abb.,
ISBN 3-8167-4220-3
€ 30,- [sFr 50,40]
- Sicherheit von Glasfassaden**
X. Shen, H. Techen, J. D. Wörner
Band 20: 1996, 38 S., 26 Abb., 4 Tab.,
ISBN 3-8167 4219-X
€ 12,- [sFr 20,70]
- Kostengünstige Umnutzung aufgegebener militärischer Einrichtungen für Wohnzwecke, Wohnergängungseinrichtungen und andere Nutzungen**
B. Jacobs, J. Kirchhoff, J. Mezler
Band 19: 1996, 204 S., zahlreiche Abb.,
ISBN 3-8167-4218-1
€ 28,- [sFr 46,70]
- Gefährdungspotentiale asbesthaltiger Massenbaustoffe in den neuen Bundesländern**
Klaus Bergner, unter Mitarbeit von Franka Stodollik und Hans-Otto Eckler
Band 17: 1996, 75 S., 26 Abb., 9 Tab.,
ISBN 3-8167-4216-5
€ 15,- [sFr 25,80]
- Transparent gedämmte Altbauten**
G. H. Bondzio, K. Brandstetter, P. Sulzer, u.a.
Band 15: 1996, 130 S., 44 Abb., 7 Tab.,
ISBN 3-8167-4214-9
€ 22,- [sFr 37,-]
- Kosten und Techniken für das »Überwintern« erhaltenswerter Bausubstanz**
Michael Rees, Hannes Weeber
Band 14: 1995, 190 S., zahlreiche Abb.,
ISBN 3-8167-4213-0
€ 25,- [sFr 41,60]
- Körperschalldämmung von Sanitärräumen**
Karl Gösele, Volker Engel
Band 11: 1995, 76 S., zahlreiche Abb.,
ISBN 3-8167-4210-6
€ 15,- [sFr 25,80]
- Bauschäden an Holzbalkendecken in Feuchtraumbereichen**
Gertraud Hofmeister
Band 9: 1995, 210 S., zahlreiche Abb.,
ISBN 3-8167-4208-4
€ 25,- [sFr 41,60]
- Ökologische Auswirkungen von Hochhäusern**
Band 8: 1995, 418 S., 114 Abb.,
ISBN 3-8167-4207-6
€ 50,- [sFr 82,-]
- Abfallvermeidung in der Bauproduktion**
Barbara Bredenbals, Wolfgang Willkomm
Band 6: 1994, 198 S., 75 Abb., 16 Tab.,
ISBN 3-8167-4205-X
€ 25,- [sFr 41,60]
- Niveaugleiche Türschwellen bei Feuchträumen und Dachterrassen**
R. Oswald, A. Klein, K. Wilmes
Band 3: 1994, 56 S., 48 Abb.,
ISBN 3-8167-4202-5
€ 12,- [sFr 20,70]
- Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern**
R. Oswald, V. Schnapauff, R. Lamers, u. a.
Band 2: 1995, 333 S., 515 Abb.,
ISBN 3-8167-4201-7
€ 40,- [sFr 66,70]
- Heizung und Lüftung im Niedrigenergiehaus**
Gerhard Hausladen, Peter Springl
Band 1: 1994, 214 S., 74 Abb., 17 Tab.,
ISBN 3-8167-4200-9
€ 25,- [sFr 41,60]
- Informieren Sie mich bitte laufend über Neuerscheinungen

Bestellschein

Fax 07 11 / 970 - 25 08 oder -25 07

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum
Raum und Bau IRB
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Telefon 07 11 / 970 - 25 00
E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de
www.IRBbuch.de

Absender

.....

E-Mail.....

Straße/PF

PLZ/Ort

Datum

Unterschrift

Alle Bände (außer Band 52) mit kartoniertem Einband

Herausgegeben von Günter Zimmermann und Ralf Ruhнау

- Gründungsschäden**
Klaus Hilmer, Manfred Knappe
Band 34: 2004, ca. 172 S., zahlr. Abb. und Tab.,
ISBN 3-8167-6347-2
ca. € 46,- [sFr 76,-]
- Schäden an Balkonen**
Nils Oster
Band 33: 2004, 148 S., 79 Abb., 9 Tab.,
ISBN 3-8167-6313-8
€ 39,- [sFr 65,20]
- Schäden durch mangelhaften Wärmeschutz**
Michael Bonk, Frank Anders
Band 32: 2004, 130 S., 92. Abb., 2 Tab.,
ISBN 3-8167-6307-3
€ 39,- [sFr 65,20]
- Die vorsorgliche Beweissicherung im Bauwesen**
Georg Philipps, Frank Stollhoff, Jürgen Wieck
Band 31: 2004, 211 S., 29 Grafiken,
83 Abb., 9 Tab.,
ISBN 3-8167-6306-5
€ 49,- [sFr 80,-]
- Schäden an Tragwerken aus Stahl**
Peter Oehme, Werner Vogt
Band 30: 2003, 152 S., 148 Abb., 7 Tab.,
ISBN 3-8167-6133-X
€ 39,- [sFr 65,20]
- Schäden an Holzfußböden**
Andreas O. Rapp, Bernhard Sudhoff
Band 29: 2003, 176 S., 80 Abb., 17 Tab.,
ISBN 3-8167-6170-4
€ 46,- [sFr 76,-]
- Schäden an Holztragwerken**
Georg Dröge, Thomas Dröge
Band 28: 2003, 169 S., 80. Abb., 2 Tab.,
ISBN 3-8167-6156-9
€ 46,- [sFr 76,-]
- Mangelhafter Schallschutz von Gebäuden**
Herwig Baumgartner, Roland Kurz
Band 27: 2003, 256 S., 143 Abb., 29 Tab.,
ISBN 3-8167-5797-9
€ 58,- [sFr 94,-]
- Schäden an polymeren Beschichtungen**
Robert Engelfried
Band 26: 2001, 146 S., 94 Abb., 14 Tab.,
ISBN 3-8167-5795-2
€ 40,- [sFr 66,70]
- Schäden an Belägen und Bekleidungen mit Keramik- und Werksteinplatten**
Günter Zimmermann
Band 25: 2001, 190 S., 175 Abb., 16 Tab.,
ISBN 3-8167-5791-X
€ 48,- [sFr 79,-]
- Schäden an Installationsanlagen**
Heinz Wirth, Stefan Wirth
Band 24: 2001, 256 S., 114 Abb., 33 Tab.,
ISBN 3-8167-5790-1
€ 57,- [sFr 92,-]
- Schäden an Türen und Toren**
Ralf Schumacher
Band 23: 2001, 368 S., 291 Abb., 32 Tab.,
ISBN 3-8167-4169-X
€ 71,- [sFr 114,-]
- Schäden an elastischen und textilen Bodenbelägen**
Hans-Joachim Scheewe
Band 22: 2001, 232 S., 80 Abb., 50 Tab.,
ISBN 3-8167-4168-1
€ 50,- [sFr 82,-]
- Schäden an Glasfassaden und -dächern**
Peter Küffner, Oliver Lummertzheim
Band 21: 2000, 132 S., 106 Abb., 6 Tab.,
ISBN 3-8167-4165-7
€ 40,- [sFr 66,70]
- Schäden an Wärmedämm-Verbundsystemen**
Erich Cziesielski, Frank Ulrich Vogdt
Band 20: 2000, 202 S., 75 Konstruktions-
skizzen, 28 Tab., 98, teilw. farb. Fotos,
ISBN 3-8167-4164-9
€ 50,- [sFr 82,-]
- Schäden an Dränanlagen**
Wilfried Muth
Band 17: 2., überarb. und erw. Aufl. 2003,
128 S., 157 Abb., 13 Tab.,
ISBN 3-8167-6261-1
€ 36,- [sFr 59,50]
- Tauwasserschäden**
Richard Jenisch, Martin Stohrer
Band 16: 2., überarb. Aufl. 2001, 129 S.,
66 Abb., 6 Tab.,
ISBN 3-8167-5792-8
€ 37,- [sFr 61,-]
- Schäden an Estrichen**
Klaus G. Aurnhammer
Band 15: 2., erg. Aufl. 1999, 216 S.,
44 Abb., 17 Tab.,
ISBN 3-8167-4162-2
€ 46,- [sFr 76,-]
- Schäden an Tragwerken aus Stahlbeton**
Bernhard Brand, Gerhard Glatz
Band 14: 2., erw. Aufl. 2004, ca. 220 S.,
129 Abb., 24 Tab.,
ISBN 3-8167-6422-3
ca. € 49,- [sFr 80,-]
- Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk**
Helmut Klaas, Erich Schulz
Band 13: 2., überarb. Aufl. 2002, 224 S.,
162 Abb., 13 Tab.,
ISBN 3-8167-6114-3
€ 49,- [sFr 80,-]
- Schäden an Metallfassaden und -dachdeckungen**
Franz Lubinski, Fritz Röbber, Uwe Nagel, u.a.
Band 12: 2., erw. Aufl. 2001, 410 S.,
303, teilw. farb. Abb., 22 Tab.,
ISBN 3-8167-4166-5
€ 76,- [sFr 122,-]
- Schäden an Fassadenputzen**
Helmut Künzel
Band 9: 2., erw. Aufl. 2000, 142 S.,
97 Abb., 3 Tab.,
ISBN 3-8167-4167-3
€ 38,- [sFr 62,50]
- Schäden an Abdichtungen in Innenräumen**
Erich Cziesielski, Michael Bonk
Band 8: 2., überarb. und erw. Aufl. 2003,
111 S., 76 Abb., 5 Tab.,
ISBN 3-8167-6197-6
€ 35,- [sFr 58,-]
- Risschäden an Mauerwerk**
Werner Pfefferkorn, Helmut Klaas
Band 7: 3., überarb. Aufl. 2002, 292 S.,
290 Abb., 18 Tab.,
ISBN 3-8167-5793-6
€ 53,- [sFr 86,-]
- Schäden an Industrieböden**
Erich Cziesielski, Thomas Schrepfer
Band 4: 2., erw. Aufl. 1999, 169 S.,
69 Abb., 33 Tab.,
ISBN 3-8167-4163-0
€ 46,- [sFr 76,-]
- Schäden an Flachdächern und Wannen aus wasserundurchlässigem Beton**
Gottfried C.O. Lohmeyer
Band 2: 3., neu bearb. Aufl. 2001, 272 S.,
171 Abb., 28 Tab.,
ISBN 3-8167-5794-4
€ 50,- [sFr 82,-]
- Gesamtausgabe Bände 1 – 34**
2004, alle Bände mit festem Einband und
Register-CD-ROM,
ISBN 3-8167-6447-9
€ 1 368,- [sFr 2 066,-]

Bestellschein

Fax 07 11 / 970 - 25 08 oder -25 07

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum
Raum und Bau IRB
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Telefon 07 11 / 970 - 25 00
E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de
www.IRBbuch.de

Absender

.....

E-Mail.....

Straße/PF

PLZ/Ort

Datum

Unterschrift

Bauschadensfälle • mit Register-CD-ROM •

ANZEIGE

Herausgegeben von Günter Zimmermann und Ralf Schumacher

Diese Sammlung von Bauschäden hilft, Schäden zu vermeiden.



Von der kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtung einer Kellerwand bis zu Schäden an einer Dachdeckung mit Titanzinkblechen: Die »Bauschadensfälle« bieten Ihnen wesentliche Erkenntnisse zur Analyse der Ursachen von Schäden und zu deren fachgerechten Sanierung. Die Beispiele zeigen auf, welche Schäden für ein Bauteil typisch sind und wie Sie einen Schaden von Anfang an vermeiden können.

Die beiliegende Register-CD-ROM erschließt den gesamten Inhalt der Fachbuchreihen »Bauschadensfälle«, »Bauschäden-Sammlung« und »Schadenfreies Bauen«. Mit Hilfe eines »elektronischen Bibliothekars« nutzen Sie Ihre Schadensbibliothek zeitsparend und effektiv.

Aus den Inhalten:

- Dächer
- Tragwerke
- Außenwände, Keller und Fenster
- Außenwände, Fenster und Balkone
- Außenwände und Erker
- Innenwände
- Fußböden und Treppen
- Fußböden und Decken
- Estriche und Fußböden
- Entwässerungs- und Lüftungsanlagen
- Wärmeschutz
- Bautenschutz
- Becken und Wannen
- Schwimmbäder
- Heizungsanlagen
- Installationen
- Raumlufttechnische Anlagen
- Behälter und Sperrwerke
- Masten
- Baumängelgutachten nach neuem Baurecht
- Mangelverantwortung und Verjährung nach neuem Baurecht in BGB und VOB/B

Die Reihe »Bauschadensfälle« ist auch im Abonnement beziehbar. Auf Wunsch erhalten Sie automatisch jedes halbe Jahr den neuesten Band zu einem deutlich ermäßigten Preis zugestellt. Sie sparen Zeit und Kosten. Ihre Fachbibliothek bleibt lückenlos und jederzeit auf dem neuesten Stand.

Bestellschein

Band 1:
2002, 206 Seiten
ISBN 3-8167-6110-0
€ 39,- [sFr 65,20]

Band 2:
2002, 205 Seiten
ISBN 3-8167-6152-6
€ 39,- [sFr 65,20]

Band 3:
2003, 208 Seiten
ISBN 3-8167-6215-8
€ 39,- [sFr 65,20]

Band 4:
2003, 208 Seiten
ISBN 3-8167-6271-9
€ 39,- [sFr 65,20]

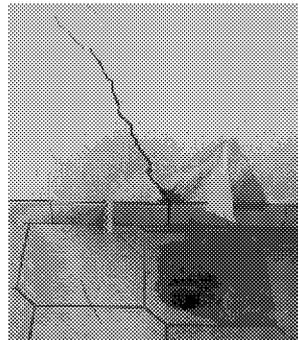
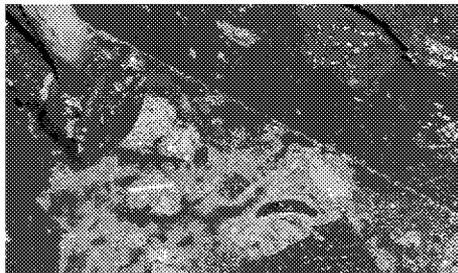
Band 5:
2004, 207 Seiten
ISBN 3-8167-6366-9
€ 39,- [sFr 65,20]

Sie sparen € 19,50 bei Abnahme der

Bände 1-5:
ISBN 3-8167-6457-6
€ 175,50 [sFr 265,-]

Abonnement:
€ 35,10 pro Band

Jeder Band mit Register-CD-ROM, zahlr., durchgehend farb. Abbildungen, Tabellen, festem Einband



Fax 07 11 / 970 - 25 08 oder -25 07

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum
Raum und Bau IRB
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Telefon 07 11 / 970 - 25 00
E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de
www.IRBBuch.de

Absender

.....

E-Mail

Straße/PF

PLZ/Ort

Datum

Unterschrift

Fraunhofer IRB Verlag