Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 89 (1971)
Heft: 49

Artikel: Das Durchstanzen von Stützen bei Flachdecken: Vortrag
Autor: Ladner, Marc
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-85054

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

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

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

Download PDF: 25.12.2025

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

Reaktionsgrades r_m sowie eine zweite zu dessen direkter überschlägiger Ermittlung mit Hilfe einer zu diesem Zweck abgeleiteten einfachen Näherungsgleichung. Diese Gleichung ermöglicht zugleich, eine Übersicht über den prinzipiellen Einfluss verschiedener Parameter der Stufe auf r_m zu bekommen. Gleichungen werden noch zur direkten Berechnung der Durchsatzzahl φ und der Druckzahl ψ der Stufe abgeleitet, die ebenfalls zur Beurteilung der Zweckmässigkeit der Stufe und deren gewählten Grundgrössen herangezogen werden können.

Literaturverzeichnis

[1] *Traupel, W.:* Thermische Turbomaschinen, Bd. I, zweite Aufl., Berlin, Heidelberg, New York 1966, Springer Verlag.

[2] *Schröder, K.:* Grosse Dampfkraftwerke, Bd. III B, Berlin, Heidelberg, New York 1968, Springer Verlag.

[3] Central Electricity Generating Board: Modern Power Station Practice, V1. 3, 2nd Ed., Oxford, New York, Toronto, Sydney, Braunschweig 1971, Pergamon Press.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *N. Dimopoulos,* Nationale Technische Hochschule zu Athen, Lehrstuhl für Verbrennungsmotorenbau.

Das Durchstanzen von Stützen bei Flachdecken

DK 624.073.13

Vortrag, gehalten anlässlich der SIA-Studientagung vom 13. und 14. November 1970 in Lausanne von Dr. **Marc Ladner,** EMPA Dübendorf

1. Einleitung

Dass Flachdecken heute im Industrie-Hochbau und im Schutzraumbau einen so bedeutenden Platz einnehmen, verdankt diese Konstruktionsart nicht zuletzt dem Umstand, dass sie wirtschaftlich vorteilhaft und ästhetisch befriedigend ist (Bild 1). Charakteristisch dabei ist, dass die Stützen ohne Kopfverbreiterung in die Decke eingeführt werden, was den Flachdecken auch die Bezeichnung «pilzlose Pilzdecken» eingetragen hat. Mit dem Wegfallen dieses Pilzes werden erhebliche Schalungskosten eingespart, und überdies tragen die klaren Formen zum einfachen Verlegen von Installationen jeglicher Art sowie zur Formschönheit bei. Allerdings erhöht sich damit die Gefahr, dass die Decke im Stützenbereich überbeansprucht wird und es zu einem Durchstanzen kommt. Dieser Vorgang sowie die Methode seiner Vorausbestimmung sollen im folgenden kurz erörtert werden.

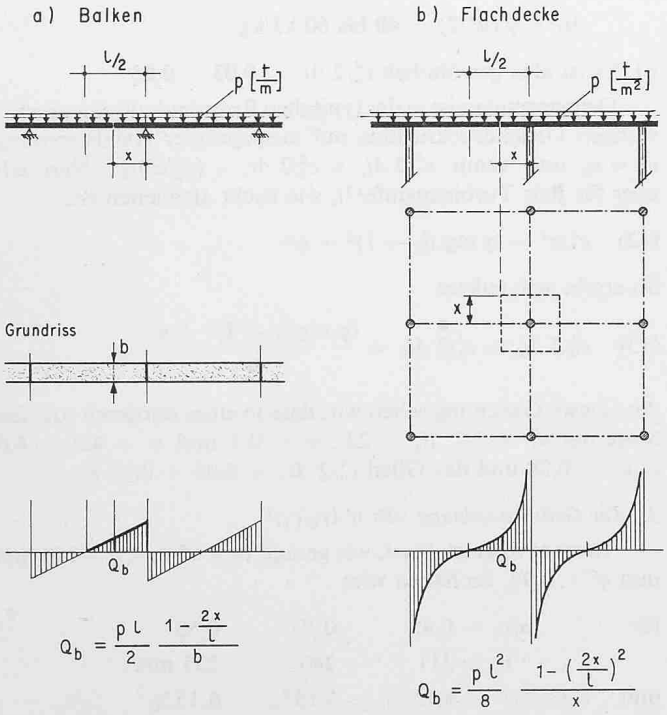
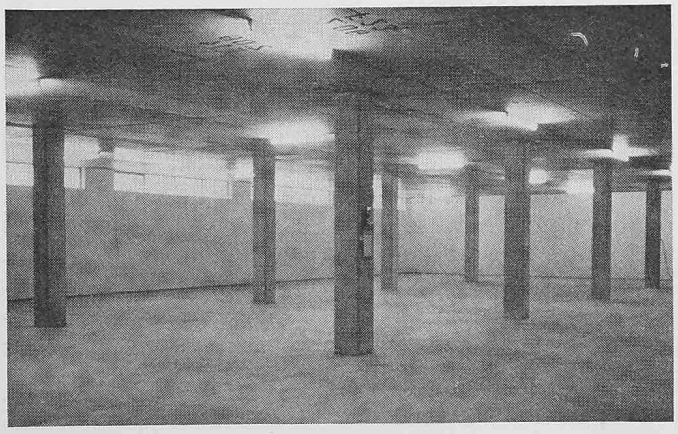


Bild 2. Querkraftverlauf beim Balken (a) und bei der Flachdecke (b)

Bild 1. Beispiel einer Flachdecke



2. Voraussetzungen

Die Gefahr eines Durchstanzens entsteht durch das Zusammenwirken von grossen Biegemomenten mit grossen Querkräften im Stützenbereich. Bei Flachdecken, wo unter gleichmässig verteilter Belastung die auf die Einheitsbreite bezogene Querkraft hyperbolisch gegen die Stütze anwächst, während beim Balken diese Zunahme nur linear erfolgt, entsteht somit eine starke Konzentration der Beanspruchung im Stützenbereich (Bild 2), was ein Durchstanzen verursachen kann. Deswegen war man früher gezwungen, durch Verbreiterung des Stützenkopfes sich diesem Querkraftverlauf anzupassen, was zu den schon erwähnten Pilzdecken führte. Eine ähnliche Aufgabe erfüllen auch über den Stützen einbetonierte, geschweisste Stahlrahmen (Bild 3).

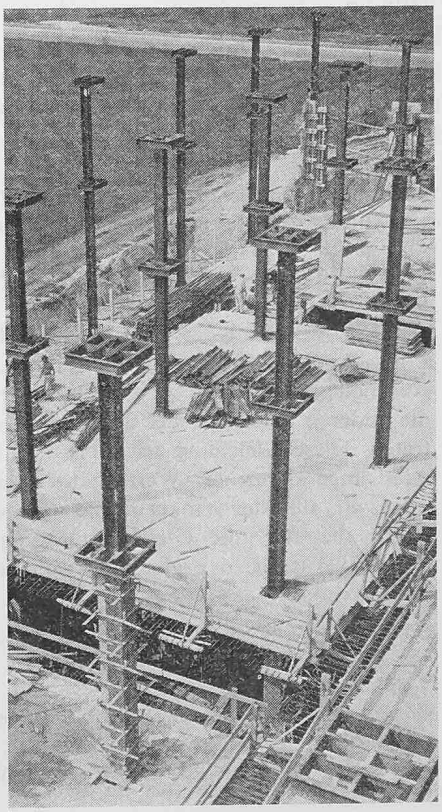


Bild 3. Verstärkung des Stützenkopfes mittels Stahlrahmen (Foto Geilinger & Co)

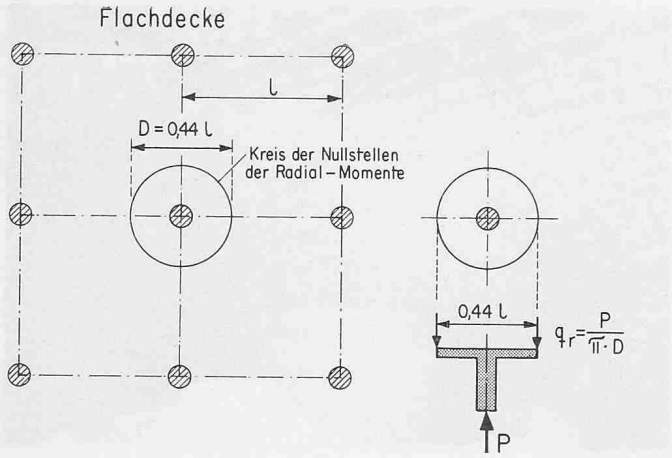


Bild 4. Ersatzplatte zur Untersuchung des Durchstanzens

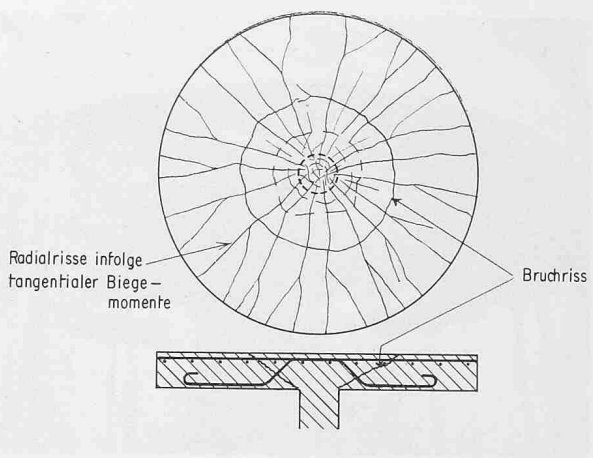


Bild 5. Schematische Darstellung des Rissbildes im Stützenbereich

Versuche haben gezeigt, dass bei Flachdecken die Bruchschubspannungen bedeutend niedriger liegen als bei Balken. Bei Anwendung von «zulässigen Spannungen» für die Bemessung von Flachdecken ist daher äusserste Vorsicht geboten, da beispielsweise schon *Bruchwerte* festgestellt wurden, die *unter den zulässigen Werten* nach Art. 37 der bis Juni 1968 gültigen SIA-Norm 162 aus dem Jahre 1956 lagen! Diese niedrigen Werte für die Bruchschubspannungen können teilweise dadurch erklärt werden, dass die Aufteilung in eine Biege- und Schubbeanspruchung nur eine gedankliche Vereinfachung ist, während in Wirklichkeit beide Beanspruchungsarten gemeinsam wirkend auftreten. Deswegen müssen für eine korrekte Beurteilung der Decke im Stützenbereich alle auftretenden Beanspruchungen und die sie beeinflussenden Grössen mitberücksichtigt werden.

3. Modell zur Erklärung des Durchstanzens

Obwohl schon verschiedene Methoden zur theoretischen Erfassung des Durchstanzens vorgeschlagen wurden, ist eine allgemeine Beurteilung dieses Vorganges noch nicht möglich, da bis heute vorwiegend nur der einfachste Fall der zentrisch beanspruchten Innenstütze untersucht wurde. Für diesen Fall scheint, wie die von *W. Schaeidt* [3] an der EMPA vorgenommenen, umfangreichen Untersuchungen zeigten, die von den schwedischen Forschern *Kinnunen* und *Nylander* [1], [2] entwickelte Theorie die besten Resultate zu liefern, weshalb auf ihre Überlegungen hier auch näher eingegangen werden soll.

Stellt man sich zunächst eine unendlich ausgedehnte, unter gleichmässig verteilter Belastung stehende Flachdecke mit regelmässigem, quadratischem Stützenraster vor, so liegen die Nullpunkte der radial gerichteten Momente auf Kreisen, deren Mittelpunkte sich im Zentrum der jeweiligen Stütze befinden (Bild 4). Längs dieser Kreise wirken nur Querkräfte und Tangentialmomente, so dass das Problem des Durchstanzens vereinfacht werden kann, wenn nur dieser Deckenausschnitt um die Stütze herum betrachtet wird. An solchen Ausschnitten wurden sowohl die theoretischen Ableitungen als auch die Versuche durchgeführt. Auf Grund der Beobachtungen an Versuchskörpern wurde schliesslich ein Modell zur Erklärung des Durchstanzens entwickelt (Bilder 5 und 6). Dieses besteht

1. aus einem starren Kegelstumpf als Fortsetzung der Stütze, begrenzt durch den geneigten Bruchriss (Durchstanzkegel); und

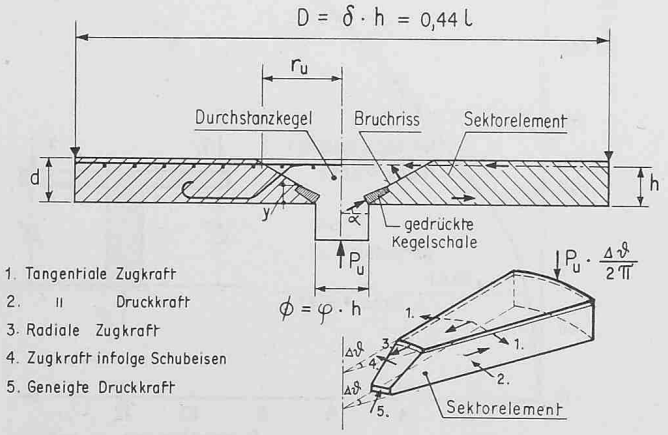


Bild 6. Modell zur Erklärung des Durchstanzens nach Kinnunen und Nylander

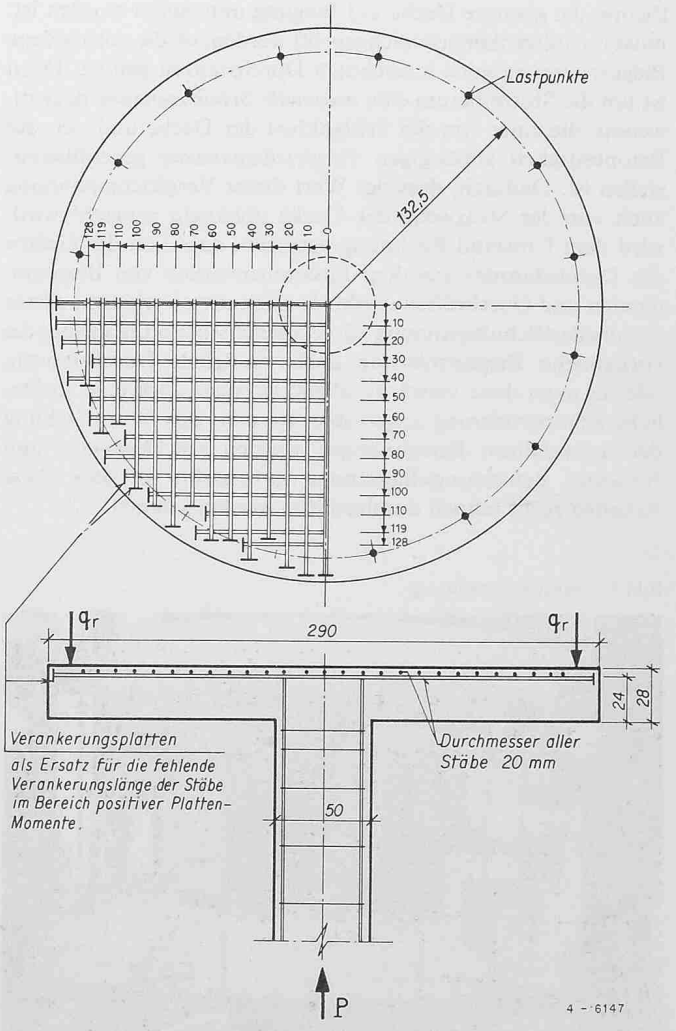


Bild 7. Abmessungen und Armierung des Versuchskörpers

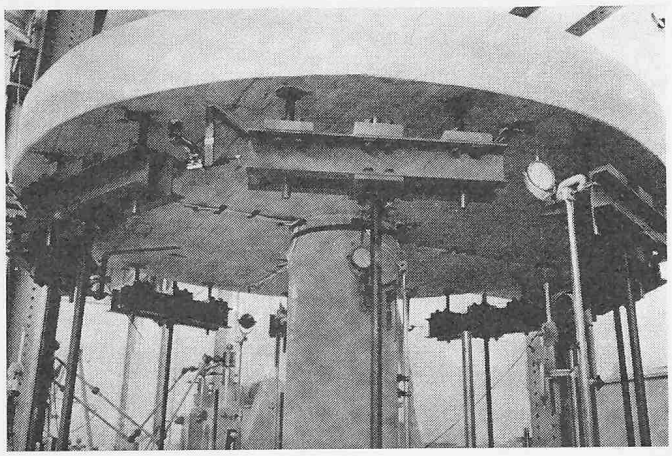


Bild 9. Einzelheit aus der Versuchseinrichtung

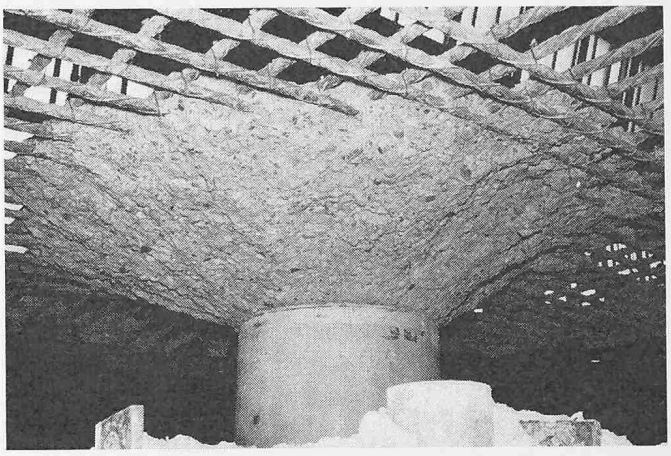


Bild 11. Durchstanzkegel

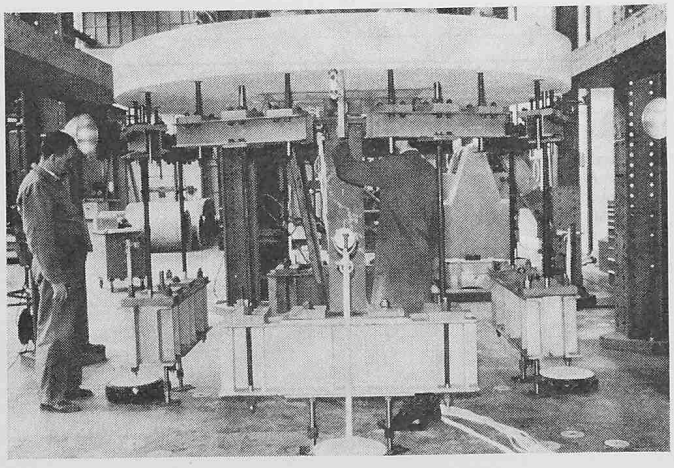
2. aus starren Sektorelementen, begrenzt durch den äusseren Plattenrand, zwei Radialrisse und den Bruchriss.

Zwischen diesen Teilen wirken als Verbindungsglieder einerseits die Biege- und Schubarmierung, anderseits eine gedrückte Kegelschale, die die schiefen Druckspannungen überträgt. An diesem Modell können die Gleichgewichts- und Verformungsbedingungen formuliert werden, was bei bekannten geometrischen Grössen und Festigkeitseigenschaften der Decke die Durchstanzlast auf iterativem Weg zu ermitteln gestattet.

Etwas einfacher gestaltet sich die Bemessung einer Flachdecke. Ohne hier jedoch auf Einzelheiten näher eingehen zu wollen, sei das grundsätzliche Vorgehen kurz skizziert.

Nachdem vorerst mittels der Elastizitäts- bzw. Plastizitätstheorie die gesamte Decke auf Biegung untersucht worden ist, muss im Stützenbereich nachgeprüft werden, ob die vorhandene Biegearmierung auch hinsichtlich Durchstanzen genügt. Dazu ist um die Stütze herum eine *nominelle Schubspannung* nachzuweisen, die einer von der Schlankheit der Decke und von der Betonfestigkeit abhängigen *Vergleichsspannung* gegenüberzustellen ist. Dadurch, dass der Wert dieser Vergleichsspannung auch von der Stützweite der Decke abhängig gemacht wird, wird dem Umstand Rechnung getragen, dass sich die Gefahr des Durchstanzens aus dem Zusammenwirken von Biegemomenten und Querkräften ergibt. Je nach dem Verhältnis dieser nominellen Schubspannung zur Vergleichsspannung genügt die vorhandene Biegearmierung auch bezüglich Durchstanzen, oder es muss diese verstärkt, allenfalls sogar auch eine zusätzliche Schubarmierung angeordnet werden. Zur Vereinfachung der notwendigen Berechnungen wurden von *Kinnunen* und *Nylander* Bemessungsdiagramme aufgestellt, so dass diese Arbeiten recht schnell durchgeführt werden können.

Bild 8. Versuchseinrichtung



4. Durchstanzversuch an einem Flachdeckenausschnitt

In der Folge sollen noch einige Ergebnisse erwähnt werden, die von einem Durchstanzversuch in der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Dübendorf (EMPA) stammen. Der Versuch wurde an dem oben beschriebenen «stellvertretenden Deckenausschnitt» durchgeführt, wobei die Randquerkräfte über 16 Lastpunkte eingeleitet wurden. In Bild 7 ist der Versuchskörper in Grund- und Aufriss dargestellt. Die gewählten Abmessungen betragen: Durchmesser des Deckenausschnittes 2,65 m, entsprechend einer Stützweite von 6 m; Deckenstärke 28 cm und Stützendurchmesser 50 cm. Der Armierungsgehalt war mit 1,32% recht hoch, die Betonfestigkeit mit 356 kg/cm² und die Streckgrenze des Stahles mit 5550 kg/cm² lagen dagegen durchaus im üblichen Bereich. Die Bilder 8 und 9 zeigen die Versuchseinrichtung.

Die an den Plattenrändern gemessenen Durchbiegungen sind in Bild 10 veranschaulicht. Daraus wird besonders eindrücklich ersichtlich, dass das Durchstanzen schlagartig erfolgte. Nachdem nämlich der Beton einmal gerissen war, verliefen die Deformationen annähernd linear bis zum Bruch, ohne dass sich dieser im voraus durch eine starke Zunahme der Verformung ankündigte. Im weiteren kann diesem Bild auch

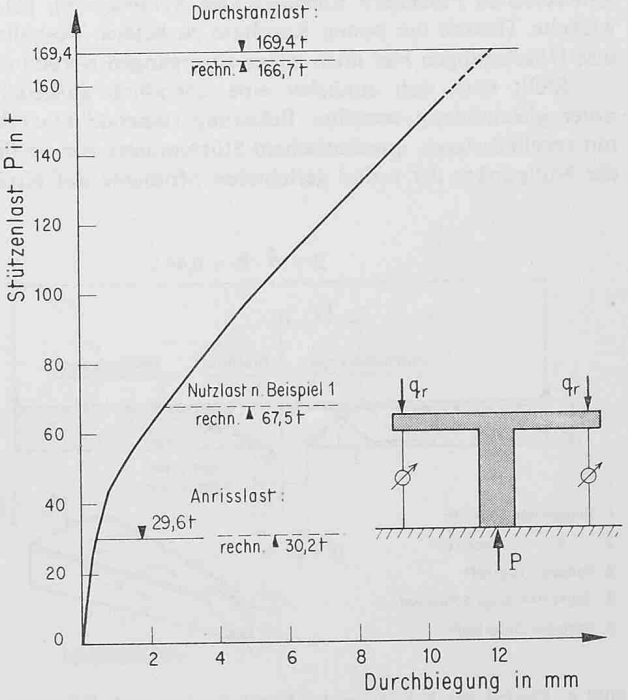
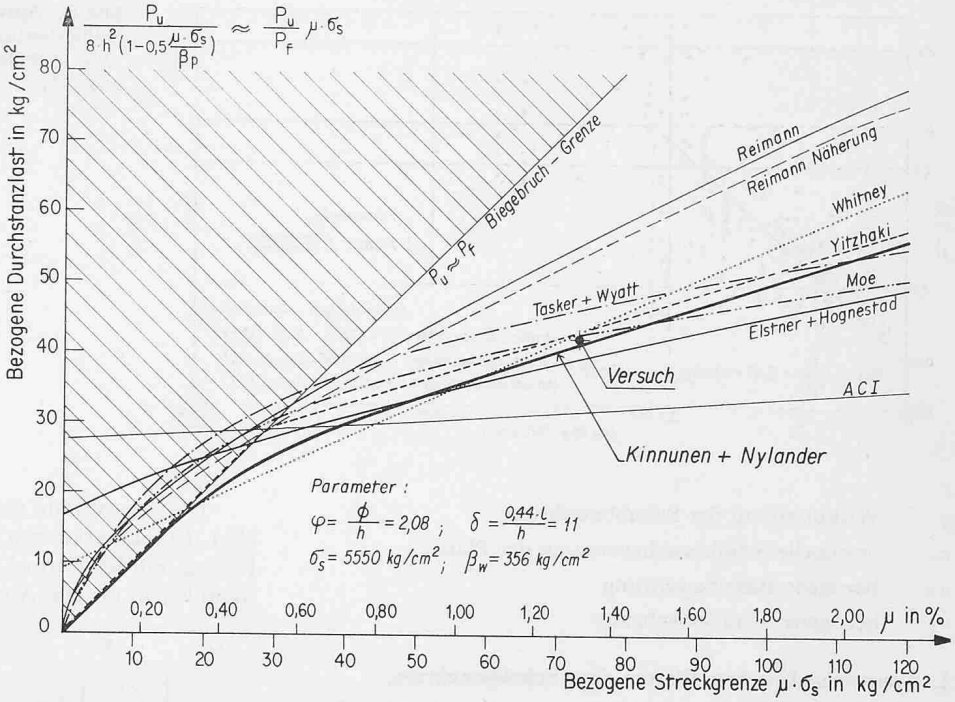


Bild 10. Durchbiegung des Plattenrandes in Funktion der Belastung

Bild 12. Durchstanzlast nach verschiedenen Theorien



die ausgezeichnete Übereinstimmung zwischen der nach der schwedischen Methode vorausberechneten und der gemessenen Durchstanzlast entnommen werden. Dieses Ergebnis ist umso bedeutungsvoller, als die Versuchsparameter bewusst aus einem extremen Bereich ausgewählt wurden, wo bis jetzt noch keine Versuche durchgeführt worden waren. Damit ist auch die Brauchbarkeit der vorgeschlagenen Theorie in solchen Fällen nachgewiesen. Bild 11 zeigt den freigelegten Bruchkegel.

Abschliessend sei noch ein kurzer Vergleich zwischen verschiedenen Theorien untereinander aufgestellt. Die in Bild 12 gewählte Darstellung erlaubt eine übersichtliche Beurteilung, indem das mit dem Faktor $\mu\ \sigma_s$ (= Armierungsgehalt · Streckgrenze) multiplizierte Verhältnis von Durchstanzlast zur Biegebruchlast nach der Bruchlinientheorie in Funktion der bezogenen Streckgrenze aufgetragen ist. Die 45°-Gerade stellt darin die Biegebruchgrenze dar; Werte oberhalb dieser Geraden haben somit keine Bedeutung. Der Abstand der Kurven von dieser Geraden ist hingegen ein Mass für die Abminderung der Tragfähigkeit der Decke infolge Durchstanzen. Das Bild zeigt die starke Streuung der nach verschiedenen Theorien ermittelten Durchstanzlasten.

5. Schlussbemerkungen

Es wurde versucht, auf die Gefahr des Durchstanzens von Stützen bei Flachdecken aufmerksam zu machen sowie den Durchstanzvorgang anhand des von den schwedischen Forschern *Kinnunen* und *Nylander* [1], [2] vorgeschlagenen Modelles zu erläutern. Für vollständigere Angaben muss auf die Literatur, insbesondere auf das bei der Technischen Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie, Wildegg, erschienene Bändchen hingewiesen werden [3].

Das Durchstanzen von Stützen durch Flachdecken ist ein plötzlicher Vorgang, der sich ohne grosse Vorankündigung abspielt, und der wegen der Schwierigkeit einer theoretischen Erfassung nur beschränkt zugänglich ist. Alle bis heute zur Verfügung stehenden Berechnungsmethoden beschränken sich auf den Spezialfall der zentrisch gedrückten Innenstütze. Exzentrisch beanspruchte Innenstützen und erst recht Rand- und Eckstützen können heute noch kaum behandelt werden. Diese Lücke schliessen zu helfen, ist Gegenstand eines weiteren Forschungsprogrammes, das an der EMPA in Angriff genommen wird.

Literaturverzeichnis

[1] *Kinnunen, S.* und *Nylander, H.:* Punching of Concrete Slabs without Shear Reinforcement. Transactions of the Royal Institute of Technology, Stockholm, Nr. 158, 1960, Civil Engineering 3.

[2] *Kinnunen, S.:* Punching of Concrete Slabs with two-way Reinforcement. Transaction of the Royal Institute of Technology, Stockholm, Nr. 212, 1963, Civil Engineering 8.

[3] *Schaeidt, W., Ladner, M.* und *Rösli, A.:* Berechnung von Flachdecken auf Durchstanzen. Schriftenreihe der Technischen Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie, Wildegg, 1970.

Adresse des Verfassers: Dr. *Marc Ladner,* Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf.

Diskussionsbeitrag

Von Dr. **Max Herzog,** dipl. Bauing., Aarau

Eine im Winter 1968/69 vorgenommene Neuauswertung aller bisher bekanntgewordenen Durchstanzversuche (mehrere Hundert) [1], [2] lieferte die folgenden Ergebnisse.[1])

1. Bezeichnungen

A_0	zentrische Durchstanzkraft
F_{eS}	Querschnitt der Schubbewehrung
K	Variationskoeffizient
M_{pl}	plastisches Moment
c	Kraglänge des Schubkreuzarmes
d	Plattendicke
h_s	Höhe des Stahlprofils
α	Neigungswinkel der Schubbewehrung zur Horizontalen
β_z	Zugfestigkeit des Betons
β_{cyl}	Zylinderdruckfestigkeit des Betons
γ_N	Raumgewicht des normalen Betons
γ_L	Raumgewicht des Leichtbetons
σ_{FB}	Fliessgrenze der Biegebewehrung
σ_{FS}	Fliessgrenze der Schubbewehrung

[1]) Sonderdrucke der Originalabhandlung können gegen Einsendung von 3 Fr. direkt beim Verfasser bezogen werden.