

Durchlaufende Platten aus
Spannbetonfertigteilen mit ergänzender
Ortbetonschicht.
Schubtragfähigkeit der unbewehrten
Fuge.

F 1762/2A

F 1762/2A

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen -BMVBW- geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

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.baufachinformation.de

Deutsch-israelisches Bauforschungsprogramm

Teilprojekt

Durchlaufende Platten aus Spannbeton-
fertigteilen mit ergänzender Ortbetonschicht.
Schubtragfähigkeit der unbewehrten Fuge.

Bericht erstattet

von

Dipl.-Ing. F. Daschner

o.Prof.Dr.-Ing. H. Kupfer

Juli 1980

Vorwort

Die vorliegende Forschungsarbeit entstand im Rahmen eines vom Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn - Bad Godesberg, finanziell geförderten deutsch-israelischen Bau-forschungsprogrammes. Dem Deutschen Ausschuß für Stahlbeton war als Projektträger die Koordi-nierung dieses Bauforschungsprogrammes über-tragen worden.

Das Teilprojekt "Durchlaufende Platten aus Spannbetonfertigteilen mit ergänzender Ort-betonschicht" wurde vom Technion - Israel Institute of Technology, Faculty of Civil Engineering, Haifa, und dem Lehrstuhl für Massivbau der Technischen Universität München bearbeitet. Dabei wurde in Haifa die Frage der Biegemomentenverteilung aufgrund der unter-schiedlichen Steifigkeitsverhältnisse im Feld und über der Stütze im Gebrauchs- und Bruch-zustand studiert. In München stand die Schub-tragfähigkeit der unbewehrten Fuge zwischen Spannbetonfertigteile und Ortbeton im Mittel-punkt der Untersuchungen.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einführung	1
2. Versuchsprogramm	2
3. Form, Abmessungen und Bewehrung der Versuchskörper	2
4. Herstellung und Lagerung der Versuchskörper	3
4.1 Abscherkörper	3
4.2 Plattenstreifen	5
5. Baustoffe	6
5.1 Beton	6
5.2 Stahl	7
6. Versuchsdurchführung	8
6.1 Abscherkörper	8
6.2 Plattenstreifen	8
7. Versuchsergebnisse	10
7.1 Abscherkörper	10
7.2 Plattenstreifen	12
8. Diskussion der hier gewonnenen Versuchsergebnisse unter Be- rücksichtigung der aus der Literatur bekannten Ergebnisse	14
9. Zusammenfassung	19
10. Literatur	24
Tabellen 1 bis 3	25/26
Bilder 1 bis 10	27 bis 35

1. Einführung

Durchlaufende Platten aus Spannbetonfertigteilen mit ergänzender Ortbetonschicht und unbewehrter Fuge stellen eine wirtschaftliche Deckenkonstruktion dar. Sie entspricht jedoch nicht den derzeit gültigen deutschen Vorschriften. Diese verlangen vielmehr stets eine Verbundbewehrung in der Fuge zwischen Fertigteil und Ortbeton zur Aufnahme der dort wirkenden Schubkräfte. Außerdem führt die Vorspannung an der Deckenunterseite bzw. die frühe Biege-
rißbildung über der Stütze zu unterschiedlichen Biegesteifigkeiten, deren Verhältnis sich beim Übergang vom Gebrauchs- zum Bruchzustand stark ändert. Dadurch treten erhebliche Momentenumlagerungen zwischen Feld und Stütze auf. Zur Ermittlung der Steifigkeitsverhältnisse und Momentenumlagerungen wurden am Technion - Israel Institute of Technology, Faculty of Civil Engineering, Haifa, entsprechende Untersuchungen durchgeführt. Dabei mußte eine praxisgerechte Biegezugbewehrung gewählt werden, die Biegebrüche mit Bruchsicherheiten in der Größenordnung von 1,75 erwarten ließ. Für die Schubtragfähigkeit der unbewehrten Fuge zwischen Fertigteil und Ortbeton müssen jedoch wegen der starken Streuung und des unangekündigten Bruches höhere Bruchsicherheiten verlangt werden. Es waren daher ergänzende Untersuchungen zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit unbewehrter Betonfugen erforderlich. Diese wurden am Lehrstuhl für Massivbau der Technischen Universität München durchgeführt. Über sie wird im folgenden berichtet.

2. Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm umfaßt insgesamt 8 Serien zu je 3 Versuchen an kleinen Abscherkörpern und 4 Versuche an 0,5 m breiten und ca. 2,5 m langen Plattenstreifen.

Mit den 24 Abscherkörpern war beabsichtigt, den Einfluß folgender Parameter zu studieren:

- . Rauigkeit der Kontaktfläche (steifer und weicher Fertigteilbeton, Konsistenz K1 und K3).
- . Saubere und verschmutzte Kontaktfläche (Verschmutzung mit Bentonitsuspension vorgenommen).
- . Dauer der Betonierpause (= Altersunterschied Fertigteil/Ortbeton) von 2, 7, 14, 28 Tagen und 3 Monaten.

Mit den 4 Versuchen an Plattenstreifen sollten die Parameter

- . saubere und verschmutzte Kontaktfläche sowie
 - . Temperaturbeanspruchung (z. B. Sonneneinstrahlung und plötzlicher Gewitterregen)
- untersucht werden.

3. Form, Abmessungen und Bewehrung der Versuchskörper

Aus den Bildern 1, 2, 5 und 6 sind Form, Abmessung und Bewehrung der Abscherkörper und Plattenstreifen ersichtlich.

Die Abscherkörper bestehen jeweils aus 2 Fertigteilen und einem Ortbeton-Zwischenstück. Alle 3 Einzelteile haben eine kubische Form mit 15 cm Kantenlänge, so daß der völlig unbewehrte Gesamtkörper die Abmessungen 45/15/15 cm aufweist.

Die Plattenstreifen bestehen jeweils aus einem in Längsrichtung vorgespannten Fertigteil mit den Abmessungen 254/50/4 cm und einer unbewehrten Ortbetonschicht mit den Abmessungen 214/50/8 cm. Um einen, das Versuchsergebnis verfälschenden Verankerungsbruch der Spannbewehrung zu vermeiden, wurde ein Auflagerüberstand der Fertigteile von 20 cm gewählt. Die Ortbetonschicht endete jedoch über den Auflagern, weil in der Praxis ungünstigenfalls Auflagertiefen von nur einigen Zentimetern möglich sind. Die Fertigteile der Plattenstreifen waren in Längsrichtung mit je 8 profilierten Spanndrähten \emptyset 5 mm, St 1570/1770 zentrisch vorgespannt. In Querrichtung war unmittelbar unterhalb der Spannbewehrung eine Bewehrung aus geripptem Betonstahl BSt 420/500, \emptyset 6 mm angeordnet.

4. Herstellung und Lagerung der Versuchskörper

4.1 Abscherkörper

Sämtliche Abscherkörper wurden in liegenden Stahlschalungen hergestellt. Dazu wurden zunächst die Fertigteile betoniert, wobei die späteren Kontaktflächen horizontal orientiert waren und die Betonieroberseite darstellten. Die Kontaktflächen waren rüttelrauh ausgebildet, d. h., sie erfuhren keinerlei Behandlung. Die Verdichtung des Betons der Fertigteile und der zugehörigen Würfel mit 20 cm Kantenlänge erfolgte auf dem Rütteltisch. Um eine unterschiedliche Rauigkeit der Kontaktflächen zu erhalten, wurde ein steifer (Konsistenz K1) und ein weicher Beton (Konsistenz K3) für die Fertigteile verwendet. Bild 3 zeigt den erzielten Rauigkeitsunterschied. Die Fertigteile

lagerten zunächst 7 Tage unter feuchten Tüchern (ausgenommen Serie 5 mit nur 2 Tagen Betonierpause) und anschließend bis zur Ergänzung mit Ortbeton ohne Abdeckung bei ca. 20° C und etwa 60 % relativer Luftfeuchte.

Nach dem Verstreichen der Betonierpause von 2 bis 84 Tagen wurden die Fertigteile wieder in die Schalungen eingebaut und mit Ortbeton ergänzt. Dabei waren die Kontaktflächen lotrecht orientiert. Die Verdichtung des Ortbetons erfolgte mit Hilfe eines Innenrüttlers. Bei den Proben der Serien 2 und 4 wurde eine Verschmutzung der Kontaktflächen vorgenommen. Dazu wurden die zunächst horizontal liegenden Kontaktflächen der Fertigteile von 15/15 cm etwa 1 Stunde vor dem Einbringen des Ortbetons mit einer Bentonitschlämme (50 g Bentonit auf 1 l Wasser) übergossen, bis sie seitlich abließ. Nach einer Stunde, also unmittelbar vor dem Einbringen des Ortbetons, wurden die Fertigteile gedreht, so daß die Kontaktflächen in ihre endgültige, lotrechte Lage gelangten. Das noch feuchte Bentonit haftete dabei an der Fugenfläche.

Bei den übrigen Abscherkörpern mit unverschmutzter Fuge waren die Kontaktflächen der Fertigteile beim Einbringen des Ortbetons den Lagerungsbedingungen entsprechend ebenfalls feucht (bei einer Betonierpause von 2 und 7 Tagen) bzw. lufttrocken (bei einer Betonierpause von 14 und mehr Tagen).

Nach dem Ergänzen mit Ortbeton lagerten die Proben zunächst wieder 7 Tage unter feuchten Tüchern und anschließend bis zur Prüfung in

einem Alter des Ortbetons von 28 Tagen ohne Abdeckung bei ca. 20° C und etwa 60 % relativer Luftfeuchtigkeit.

Der Beton der Fertigteile und des Ortbetons entsprach etwa der Festigkeitsklasse B45.

4.2 Plattenstreifen

Die 4 Plattenstreifen unterschieden sich bei der Herstellung nur darin, daß je 2 Versuchskörper mit unverschmutzter und verschmutzter Fuge ausgeführt wurden.

Die 4 cm dicken Spannbetonfertigteile aus Beton der Festigkeitsklasse B45 wurden im Spannbett hergestellt (Vorspannung mit sofortigem Verbund, vgl. Bild 2). Der Beton entsprach dem weichen Beton (Konsistenz K3), wie er für die Fertigteile der Abscherkörper verwendet wurde. Seine Verdichtung erfolgte bei allen Platten mit Außenrüttlern und bei den Würfeln (20 cm Kantenlänge) mit dem Rütteltisch. Die Fertigteiloberseite, die die Kontaktfläche darstellte, wurde nicht behandelt, also rüttelrauh belassen. Welche Unterschiede in der Beschaffenheit der Kontaktfläche sich dabei einstellten, zeigt Bild 4.

Nach 8 Tagen erfolgte das Entspannen der Spanndrähte im Spannbett und damit das Aufbringen der Vorspannung auf den Beton der Fertigteile. Wie bereits in Abschnitt 1 erwähnt, war bei den Versuchen mehr Spannbewehrung erforderlich als in der Praxis üblicherweise vorhanden ist, weil ein vorzeitiger Biegebruch vermieden werden mußte. Die 8 Spanndrähte \varnothing 5 mm, St 1570/1770 wurden mit einer Zugspannung von etwa $0,65 \cdot \beta_z$ vorgespannt. Damit ergab sich nach

dem Entspannen eine Druckspannung im Beton von etwa 9 N/mm^2 . Die Fertigteile lagerten zunächst 7 Tage unter feuchten Tüchern und weitere 7 Tage bis zur Ergänzung mit Ortbeton ohne Abdeckung bei ca. 20°C und etwa 60 % relativer Luftfeuchte. Etwa 1 1/2 Stunden vor dem Einbringen des Ortbetons wurden zur Simulation einer Verschmutzung die Plattenfertigteile Nr. 2 und 4 gleichmäßig mit einer Bentonitschlämme (50 g Bentonit auf 1 l Wasser) übergossen, und zwar etwa $1,4 \text{ l/m}^2$ Kontaktfläche. Die Kontaktflächen der beiden anderen Fertigteile (Nr. 1 und 3) waren beim Einbringen des Ortbetons, der mit Innenrüttler verdichtet wurde, sauber und trocken. Anschließend folgte wieder eine 7-tägige Lagerung unter feuchten Tüchern und danach bis zur Prüfung im Ortbetonalter von 26 bis 41 Tagen bei ca. 20°C und etwa 60 % relativer Luftfeuchte.

Der Ortbeton entsprach ebenso wie der Beton der Fertigteile etwa der Festigkeitsklasse B45.

5. Baustoffe

5.1 Beton

Als Bindemittel wurde für die Fertigteile und den Ortbeton aller Versuchskörper Portlandzement PZ 35 F verwendet. Die runden Zuschlagstoffe stammten aus natürlichem Vorkommen im Münchner Raum.

Für die Fertigteile wurden Betone folgender Zusammensetzung verwendet:

	Trockengewicht in kg/m ³	
	steif (K1) 1)	weich (K3) 2)
Sand 0/4	1387	1264
Kies 4/8	600	547
PZ 35 F	280	350
Wasser	170	210
Ausbreitmaß (cm)	-	ca. 46
Setzmaß	1,27	-

- 1) Für Abscherkörper Serie 3 und 4
- 2) Für Abscherkörper Serie 1, 2 und 5 bis 8 sowie für alle 4 Plattenstreifen

Der Ortbeton war für alle Abscherkörper und Plattenstreifen gleich und hatte folgende Zusammensetzung (Trockengewicht in kg/m³)

Sand 0,4	956
Kies 4/8	385
Kies 8/16	578
PZ 35 F	310
Wasser	185
Ausbreitmaß (cm)	43,0-45,5

5.2 Stahl

Als Biegezugbewehrung für die Plattensreifen wurde profilierter Spannstahl St 1570/1770 mit 5 mm Durchmesser verwendet. Die Querbewehrung in den Fertigplatten bestand aus Betonrippenstahl BSt 420/500, Ø 6 mm.

6. Versuchsdurchführung

6.1 Abscherkörper

Die Abscherkörper wurden mit der in Bild 5 dargestellten Versuchsanordnung geprüft, die eine nahezu reine Schubbeanspruchung in den Fugen ermöglicht, weil diese im Momentennullpunkt angeordnet sind. Sämtliche Proben wurden stufenweise bis zum Bruch belastet. Bei jeder Laststufe erfolgte die Messung der relativen Verschiebungen in den Fugen. Die Last wurde so gesteigert, daß die mittlere Schubspannung in den Fugen im Mittel um etwa $0,1 \text{ N/mm}^2$ je Minute zunahm, bezogen auf die gesamte Versuchsdauer einschließlich der Dauer der Laststufen.

6.2 Plattenstreifen

Alle 4 Plattenstreifen waren im Versuch statisch bestimmt gelagert und mit einer Einzelast belastet (vgl. Bild 6). Der Abstand dieser Einzellast vom nächstgelegenen Auflager war so gewählt, daß sich eine ausreichend große Schubschlankheit $\lambda = M/Q \cdot h$ von etwa 3,5 ergab, bei der keine tragfähigkeitsteigernde Bogen-Zugband-Wirkung mehr möglich ist. Zum gewählten Auflagerüberstand der Fertigteile und dem Enden des Ortbetons über den Auflagern wurden bereits im Abschnitt 3 Erläuterungen gemacht.

Vor dem Belastungsversuch waren je ein Plattenstreifen mit unverschmutzter (Platte Nr. 3) und verschmutzter Kontaktfläche (Platte Nr. 4) einer Temperaturbeanspruchung unterworfen worden. Es sollte die im Bauwerk mögliche Erwärmung einer Platte durch Sonneneinstrahlung und darauffolgendem plötzlichem Gewitterregen

simuliert werden. Dazu wurde jeweils die Plattenoberseite mit Infrarotstrahlern innerhalb von etwa 5 Stunden auf ca. 60° C erwärmt und nach Erreichen dieser Temperatur bei abgeschalteten Infrarotstrahlern etwa 15 Minuten lang in Intervallen mit Wasser (ca. 10° C) begossen, so daß die Plattenoberseite in dieser Zeit stets naß war. In Plattenmitte wurde während dieser Temperaturbeanspruchung die Temperatur an drei über die Querschnittshöhe verteilten Stellen (vgl. Bild 6) mittels Thermoelementen gemessen und registriert.

Bei den Belastungsversuchen wurde die Last stufenweise bis zum Bruch gesteigert, und zwar zunächst in fünf Stufen bis zur Gebrauchslast. Hier erfolgten 50 Lastwechsel zwischen 50 % und 100 % der Gebrauchslast, bevor die Last weiter erhöht wurde. Diese Lastwechsel konnten jedoch nur bei den Versuchskörpern ohne Verschmutzung in der Fuge durchgeführt werden, weil bei den Körpern mit verschmutzter Fuge der Bruch bereits vor Erreichen der Gebrauchslast auftrat (vgl. Abschnitt 7.2). Als Gebrauchslast war die Dekompressionslast definiert, d. h. jene Last, bei der an der Stelle des größten Biegemomentes die Spannung am vorgedrückten Zugrand Null war. Dabei war angenommen worden, daß die Vorspannung zentrisch nur auf das Fertigteil wirkte und bis zum Versuch ein Spannungsverlust aus Kriechen und Schwinden von etwa 10 % aufgetreten war.

Neben der Last wurden im Belastungsversuch folgende Werte gemessen:

a) Durchbiegung f in Stützenweitenmitte

- b) Relativverschiebungen parallel zur Fuge an vier Stellen (s. die Meßuhren U1 bis U4 in Bild 6)
- c) Relativverschiebungen senkrecht zur Fuge in drei Querschnitten jeweils an zwei gegenüberliegenden Stellen mit mechanischem Setzdehnmesser (s. Meßstellen S1 bis S6). Diese Messungen begannen bereits sieben Tage nach der Ortbetoneinbringung.

7. Versuchsergebnisse

7.1 Abscherkörper

Die Einzelergebnisse der Versuche mit Abscherkörpern nach Bild 1 und 5 sind in Tabelle 1 wiedergegeben. Nachfolgende Zusammenstellung gibt einen Überblick über die erzielten mittleren Bruchschubspannungen der 8 geprüften Serien, die aus jeweils drei Versuchen bestanden.

Serie Nr.	Konsistenz des Fertigteilbetons	Fugenbeschaffenheit	Betonierpause Tage	mittl. Bruchschubspannung ⁺⁺⁾ N/mm ²
1	K3 (weich)	sauber	14	0,17
2	K3 (weich)	verschmutzt	14	0,00
3	K1 (steif)	sauber	14	0,28
4	K1 (steif)	verschmutzt	14	0,07
5	K3 (weich)	sauber	2	0,01
6	K3 (weich)	sauber	7	0,39
1 ⁺)	K3 (weich)	sauber	14	0,17
7	K3 (weich)	sauber	28	0,26
8	K3 (weich)	sauber	84	0,60

⁺) Die Serie 1 ist hier nochmals aufgeführt, weil sie bei der Parametervariation "Betonierpause" die Ergebnisse für die Dauer der Betonierpause von 14 Tagen darstellt.

⁺⁺⁾ 3 Versuche je Serie

Hieraus ist zu erkennen, daß die bei den Serien 2 und 4 vorgenommene Verschmutzung der Kontaktfläche der Fertigteile einen großen Einfluß auf die Bruchschubspannung ausübte. So brachen alle 3 Versuchskörper der Serie 2 (weicher Fertigteilbeton) sowie zwei Versuchskörper der Serie 4 (steifer Fertigteilbeton) trotz größter Vorsicht bereits bei der Versuchsvorbereitung bzw. beim Einbau der Proben in die Prüfmaschine. Über den Einfluß der Konsistenz des Fertigteilbetons kann daher für die verschmutzte Fuge keine Aussage gemacht werden, sondern nur für die saubere Fuge. Hier zeigte erwartungsgemäß der steifere Fertigteilbeton, der eine rauhere Kontaktfläche als der weiche Fertigteilbeton erbrachte, im Mittel eine etwas höhere Bruchschubspannung. Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Bei allen Proben der Serien 1 und 4 waren bereits vor den Bruchversuchen umlaufende Risse in den Fugen zu erkennen. Aufgrund der unterschiedlichen Färbung der Fugenflächen nach dem Bruch konnte die Eindringtiefe dieser Risse in den Querschnitt zu ca. 2 cm ermittelt werden.

Aus dem unteren Teil obiger Übersicht und aus Bild 7 wird der Einfluß der Betonierpause (= Alter der Fertigteile beim Ergänzen mit Ortbeton) ersichtlich. Aufgrund der großen Streuungen innerhalb der einzelnen Serien und insbesondere der relativ guten Ergebnisse der Serie 6 (Betonierpause 7 Tage) ist bis zu einer Betonierpause von 28 Tagen keine eindeutige Abhängigkeit feststellbar. Lediglich die Ergebnisse der Serie 8 mit einer Betonierpause von 84 Tagen liegen merklich über den übrigen Ergebnissen. Die Ursache hierfür dürfte darin liegen, daß bei allen Proben mit Ausnahme

derer von Serie 8 vor den Versuchen ebenfalls die oben erwähnten umlaufenden Risse in den Fugen beobachtet werden konnten.

7.2 Plattenstreifen

In Tabelle 2 sind die bei den Bruchversuchen an den Plattenstreifen in der Fuge erzielten nach Zustand I ermittelten Bruchschubspannungen τ_u zusammengestellt (die Bruchschubspannung nach Zustand II unterscheidet sich hiervon nur geringfügig). Der Verlauf der Temperatur an der Plattenoberseite (T_O), Plattenunterseite (T_U) und in Plattenmitte (T_M) während der Temperaturbeanspruchung der Versuchskörper Nr. 3 und 4 ist aus den Bildern 8 und 9 ersichtlich.

Aus den Ergebnissen in Tabelle 2 ist ersichtlich, daß die vorgenommene Fugenverschmutzung eine starke Reduzierung der Bruchschubspannungen zur Folge hatte, während sich die Temperaturbeanspruchung allenfalls bei der verschmutzten Fuge negativ auswirkte.

Es waren auch hier - ähnlich wie bei nahezu allen Abscherkörpern (vgl. Abschnitt 7.1) - bereits vor dem Bruchversuch bzw. vor der Temperaturbeanspruchung Risse in den Fugen beobachtet worden, allerdings nur bei den beiden Versuchskörpern Nr. 2 und 4 mit verschmutzter Fuge. In Tabelle 3 sind die an den Meßstellen S1 bis S6 (vgl. Bild 6) vom Meßbeginn (im Ortbetonalter von 7 Tagen) bis unmittelbar vor Beginn der Bruchversuche (im Ortbetonalter von 26 bis 40 Tagen) aufgetretenen Verformungen zusammengestellt. Diese sind bei den Platten 2 und 4 (verschmutzte und gerissene Fuge) identisch mit der Breite der in den Fugen aufgetretenen Risse. Ihre Größe von 0,2 bis 1,06 mm

läßt erkennen, daß über große Fugenbereiche eine Trennung zwischen Fertigteil und Ortbeton aufgetreten sein muß, was die geringen Bruchschubspannungen dieser beiden Versuchskörper verständlich macht.

Wie aus Tabelle 3 weiter ersichtlich ist, waren die bei den Platten 1 und 3 (Fugen nach Augenschein nicht gerissen) infolge Schwindens auch in vertikaler Richtung zu erwartenden Verkürzungen nur an drei Meßstellen der Platte 3 aufgetreten. An allen übrigen Meßstellen hingegen waren Dehnungen beobachtet worden. Dies deutet auf vertikale, also senkrecht zur Fuge orientierte Zugspannungen hin. Diese resultieren aus einer Zwangbeanspruchung, deren Ursache vermutlich darin liegt, daß die mit der umgebenden Luft in Berührung stehende Plattenoberseite eine größere Schwindneigung besitzt als die an das Fertigteil angrenzende und gegen Austrocknung besser geschützte Unterseite der Ortbetonschicht und die Ortbetonschicht sich dadurch an den Rändern nach oben krümmen möchte, während das Fertigteil aufgrund der Feuchtigkeitsaufnahme aus dem Ortbeton eher eine entgegengesetzte Krümmungstendenz aufweist.

Der Bruch war bei den Plattenstreifen mit unverschmutzter Fuge schlagartig mit einem Knall aufgetreten, und zwar bei Platte Nr. 1 in der ganzen Fuge und bei Platte Nr. 3 im Bereich zwischen der Last und dem nächstgelegenen Auflager. Bei den Versuchskörpern mit verschmutzter Fuge trat der Bruch zwar ebenfalls plötzlich und in beiden Fällen in der ganzen Fugenfläche auf, aufgrund der wesentlich niedrigeren Bruchschubspannungen jedoch nicht so explosionsartig wie im Falle unverschmutzter Fuge.

An den Meßuhren U1 bis U4 (vgl. Bild 6) konnten bis zum Bruch Relativverschiebungen zwischen Fertigteil und Ortbeton von nur ca. 0,02 mm beobachtet werden.

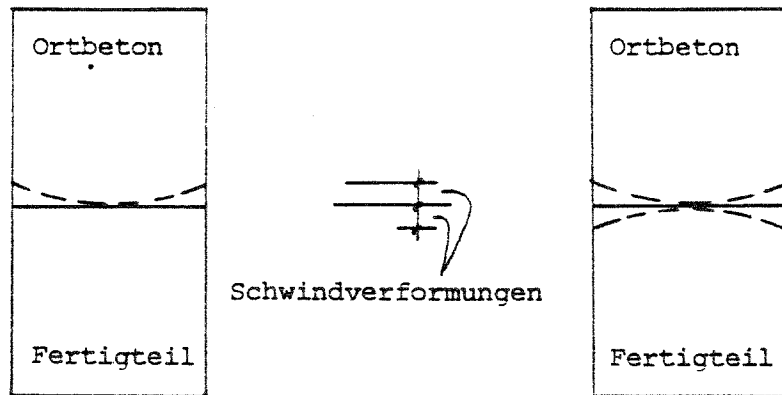
Aus Bild 10 sind die in Stützweitenmitte gemessenen Durchbiegungen in Abhängigkeit von der nach Zustand I ermittelten Schubspannung in der Fuge ersichtlich. Hier läßt sich deutlich der Einfluß der bereits vor Versuchsbeginn gerissenen Fugen von den Platten 2 und 4 (verschmutzte Fuge) erkennen, und zwar nicht nur an der niedrigen Bruchschubspannung, sondern auch an der größeren Durchbiegungszunahme.

8. Diskussion der hier gewonnenen Versuchsergebnisse unter Berücksichtigung der aus der Literatur bekannten Ergebnisse

Ein im Jahre 1976 abgeschlossenes Literaturstudium [1] hatte keine eindeutige Aussage über den Einfluß der Dauer einer Betonierpause auf die Schubtragfähigkeit von Betonfugen ergeben. Zwar war vereinzelt die Tendenz zu erkennen, daß mit zunehmender Länge der Betonierpause bessere Ergebnisse erzielt werden, doch konnte dies nicht als gesicherte Aussage auf der Basis signifikanter Versuchsdaten gelten. Ähnlich stellt sich die Situation bei den im Rahmen des hier beschriebenen Forschungsvorhabens zu dieser Frage durchgeführten Versuchen dar (vgl. Abschnitt 7.1).

Betrachtet man nur das Schwindverhalten parallel zur Fuge, so ist die oben erwähnte Tendenz nicht verständlich. Man würde unter diesem Gesichtspunkt eher erwarten, daß kurze Betonierpausen und damit weitgehend gleiche Schwindverformungen von Fertigteil und Ortbeton eine

geringere Schädigung des Verbundes in der Fuge ergeben als lange Pausen mit stark unterschiedlichen Schwindverformungen beider Teile. Es existieren aber noch andere, offenbar stärkere Einflüsse, die die erwähnte Tendenz durchaus verständlich erscheinen lassen. So haben bekanntlich Zugspannungen senkrecht zur Fuge einen negativen Einfluß auf deren Schubtragverhalten. Solche Zugspannungen treten auf, wenn die Schwindneigung senkrecht zur Fuge beispielsweise am Querschnittsrand größer ist als in Querschnittsmitte oder wenn die Biegesteifigkeiten der Plattenschichten sich stark unterscheiden. Im ersten Fall ist eine kurze Betonierpause von Nachteil (vgl. Skizze).



lange Betonierpause:
im wesentlichen nur
Schwinden des Ortbetons

kurze Betonierpause:
Schwinden des Fertig-
teils und des Ortbe-
tons

Bei den hier durchgeführten Versuchen mit Abscherkörpern waren bis zu einer Betonierpause von 28 Tagen bereits vor den Bruchversuchen in den Fugen umlaufende Risse beobachtet worden, die auf die oben genannten Ursache zurückzuführen sein dürften. Die Proben mit einer Betonierpause von 84 Tagen wiesen diese

Risse nicht auf. Außerdem haben aus der Literatur bekannte Untersuchungen gezeigt, daß trockene Kontaktflächen, wie sie auch bei älteren Fertigteilen gegeben sind, eine höhere Schubtragfähigkeit der Fuge liefern als feuchte oder nasse Kontaktflächen, die bei jungen Fertigteilen vorliegen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß bei der trockenen Fuge vermutlich die Zementschlämme tiefer in die Poren des Altbetons eingesaugt und in der Grenzschicht der W/Z-Wert des Frischbetons durch Wasserentzug verringert wird.

Wenn die beobachtete Tendenz, daß die Schubtragfähigkeit von Betonfugen mit zunehmender Dauer der Betonierpause anwächst, auch nicht als signifikant angesehen werden kann, so ist zumindest von längeren Betonierpausen, wie sie in der Praxis gegeben sein werden, kein negativer Einfluß zu erwarten.

Einen eindeutigen, festigkeitsmindernden Einfluß hatte die mit Bentonitschlämme vorgenommene Fugenverschmutzung ergeben. Bei ähnlichen, in Stuttgart durchgeführten Untersuchungen |2| hatte eine Verschmutzung der Kontaktfläche mit Schalöl ebenfalls eine starke Reduzierung der Fugenfestigkeit erbracht, jedoch nur bei der rüttelrauen Fuge. Bei einer im frischen Zustand mechanisch stark aufgerauhten Fertigteiloberseite hatte sich dieser Einfluß nicht gezeigt. Damit wird erneut die große Bedeutung der Rauigkeit der Kontaktfläche für die Tragfähigkeit einer Betonfuge bestätigt. Rüttelrauhe, also unbehandelte Oberflächen sind daher auch bei Verwendung von steifem Fertigteilbeton nicht als ausreichend rau anzusehen, auch wenn sie im Vergleich zu weichem

Fertigteilbeton ein etwas günstigeres Verhalten zeigten. Es ist vielmehr eine starke mechanische Aufrauung des noch frischen Fertigteilbetons erforderlich. In [2] wird hierzu ein Stahlrechen mit einem Zinkenabstand von rd. 30 mm empfohlen, mit dem Rauhtiefen > 2 mm geschaffen werden müssen. Es darf aber nicht angenommen werden, daß damit die aufgrund von starken Fugenverschmutzungen zu erwartenden Gefahren völlig ausgeschaltet werden können. Eine Verschmutzung der Kontaktflächen muß daher vermieden werden.

Wie bereits oben und in Abschnitt 7.2 erwähnt, treten an den Plattenrändern infolge von Schwinden Zugspannungen senkrecht zur Fuge auf, die deren Schubtragfähigkeit stark reduzieren. In der Praxis ist an diesen Rändern meist eine Auflast aus aufgehendem Mauerwerk vorhanden, die günstig wirkende Druckspannungen in der Fuge erzeugt. Es sollte daher dafür gesorgt werden, daß diese Auflast in möglichst jungem Ortbetonalter aufgebracht wird. Für Dächer, bei denen diese Auflast an den Rändern nicht vorhanden ist und zudem eine hohe und häufige Temperaturbeanspruchung auftritt, erscheint daher diese Deckenkonstruktion mit unbewehrter Betonfuge nur geeignet, wenn an den Plattenenden eine Verbindung geschaffen wird, z. B. nach Bild 5a. In [2] wird aufgrund von Untersuchungen und einer Literaturliteraturauswertung für Platten mit unbewehrten Fugen zwischen Fertigteil und Ortbeton im Gebrauchszustand eine zulässige Schubspannung von $\tau_{011b} \leq 0,5 \cdot \tau_{011b}$ für vertretbar gehalten (τ_{011b} ist die untere Schubspannungsgrenze nach DIN 1045 bei nicht gestaffelter Bewehrung, unterhalb der bei monolithischen Stahlbetonplatten ein Nachweis

der Schubdeckung nicht erforderlich ist).
Diese Aussage stützt sich auf die Tatsache,
daß bei sieben eigenen und zwanzig aus der
Literatur bekannten Versuchen gegenüber
zul $\tau_0 = 0,5 \cdot \tau_{011b}$ Bruchsicherheitsbeiwerte γ
von 3,04 bis 8,27 aufgetreten waren. Dabei ist
der Versuch mit Schalöl verschmutzter, mecha-
nisch nicht aufgerauhter Fuge, der $\gamma = 2,72$
lieferte, außer acht gelassen. Die beiden,
in München geprüften Plattenstreifen ohne Ver-
schmutzung in der Fuge lieferten vergleichbare
 γ -Werte von 3,4 und 4,4.

Eine statistische Auswertung dieser insgesamt
29 Versuchsergebnisse zeigt hinsichtlich der
auf zul $\tau_0 = 0,5 \cdot \tau_{011b}$ bezogenen Bruchsi-
cherheitsbeiwerte γ folgendes Bild:

$$\text{Mittelwert } \bar{\gamma} = 5,33$$

$$\text{Streuung } s = \pm 1,20$$

$$\text{Variationskoeffizient } v = 22 \%$$

$$5 \text{ \% -Fraktile } \gamma_{5\%} = 5,33 - 1,64 \cdot 1,20 = 3,36$$

Man kann wohl davon ausgehen, daß der Sicher-
heitsbeiwert gegenüber der 5 %-Fraktile der
Dauerstandfestigkeit im Falle eines unange-
kündigten Bruches etwa $\gamma_{D,5\%} = 2,5$ betragen
sollte. Diese Bedingung wird von dem Vor-
schlag:

$$\text{zul } \tau_0 = 0,5 \cdot \tau_{011b}$$

eingehalten, wenn man das Verhältnis von Dauer-
stand- zu Kurzzeitfestigkeit mit 75 % annimmt,
denn $\gamma_{D,5\%} = 0,75 \cdot \gamma_{K,5\%} = 0,75 \cdot 3,36 \approx 2,5$.

9. Zusammenfassung

Im Rahmen eines vom Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau finanziell geförderten deutsch-israelischen Bauforschungsprogrammes wurden vom Technion-Israel Institute of Technology, Haifa, und vom Lehrstuhl für Massivbau der Technischen Universität München Untersuchungen zu dem Teilprojekt "Durchlaufende Platten aus Spannbetonfertigteilen mit ergänzender Ortbetonschicht" durchgeführt. Insbesondere bei Ausführung mit unbewehrter Fuge kann diese Deckenkonstruktion als wirtschaftlich angesehen werden. Sie entspricht jedoch nicht den derzeit gültigen einschlägigen Vorschriften. Diese verlangen vielmehr stets eine Verbundbewehrung in der Fuge zwischen Fertigteil und Ortbeton. In München wurden daher Untersuchungen zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit unbewehrter Betonfugen durchgeführt. Die Frage der Steifigkeitsverhältnisse im Feld (Zugzone vorgespannt) und über der Stütze (Zugzone mit Betonstahl bewehrt) sowie der Momentenumlagerung beim Übergang von Gebrauchszum Bruchzustand wurde in Haifa studiert.

Das Münchner Versuchsprogramm umfaßte insgesamt acht Serien zu je drei Versuchen an kleinen Abscherkörpern (45/15/15 cm) und vier Versuche an 0,5 m breiten und ca. 2,5 m langen Plattenstreifen. Folgende Parameter wurden studiert:

- . Rauigkeit der Kontaktfläche (steifer und weicher Fertigteilbeton); nur mit Abscherkörpern.
- . Saubere und verschmutzte Kontaktfläche (Verschmutzung mit Bentonitsuspension); mit Abscherkörpern und Plattenstreifen.

- . Dauer der Betonierpause (= Altersunterschied Fertigteil/Ortbeton) von 2, 7, 14, 28 und 84 Tagen; nur mit Abscherkörpern.
- . Temperaturbeanspruchung (z.B. Sonneneinstrahlung und plötzlicher Gewitterregen); nur mit zwei Plattenstreifen.

Der Beton sämtlicher Fertigteile wurde mit dem Rütteltisch bzw. mit Außenrüttlern, der Ortbeton mit einem Innenrüttler (Rüttelflasche) verdichtet. Die späteren Kontaktflächen der Fertigteile waren bei der Herstellung die Betonieroberseite, also waagrecht orientiert. Sie wurden rüttelrauh, d. h. unbehandelt belassen. Für die Simulierung einer Verschmutzung wurde eine Betonitsuspension (50 g Bentonit auf 1 l Wasser) verwendet, die etwa eine Stunde vor dem Einbringen des Ortbetons auf die entsprechenden Kontaktflächen gegossen wurde.

Je ein Plattenstreifen mit sauberer und verschmutzter Kontaktfläche wurde vor dem Bruchversuch einer Temperaturbeanspruchung unterworfen. Dazu wurde die Plattenoberseite mit Infrarotstrahlern innerhalb von etwa fünf Stunden auf ca. 60° C erwärmt und anschließend etwa 15 Minuten mit Leitungswasser übergossen.

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens an unserem Lehrstuhl gewonnenen Versuchsergebnisse lassen sich unter Berücksichtigung der aus der Literatur [1; 2] bekannten Ergebnisse wie folgt zusammenfassen:

- a) An den Begrenzungsflächen der Versuchskörper neigt der Beton stärker zum Schwinden als im Inneren. Die daraus resultierende Zwangbeanspruchung hat Zugspannungen senkrecht zur Fuge zur Folge. Diese führten bei den Abscherkörpern mit einer Betonierpause von

höchstens 28 Tagen und bei den Platten mit verschmutzter Fuge bereits während der Erhärtungsphase zu Rissen in der Fuge.

- b) Steifer Fertigteilbeton ergab erwartungsgemäß eine größere Rauigkeit der Kontaktflächen und etwas höhere Bruchschubspannungen als weicher Beton. Rüttelrauhe Kontaktflächen sind aber auch bei steifem Beton noch zu glatt und zu empfindlich gegen Verschmutzung.
- c) Eine Verschmutzung durch Schalöl |2| und Bentonit ergab bei rüttelrauer Fuge eine starke Reduzierung der Schubtragfähigkeit. Bei einem mechanischen Aufrauen der Fertigteiloberseite im frischen Zustand hingegen ließ eine Verschmutzung mit Schalöl keinen Einfluß erkennen.
- d) Die Dauer der Betonierpause zeigte zwar keinen signifikanten Einfluß, es scheint sich aber die Tendenz abzuzeichnen, daß die Schubtragfähigkeit der Fuge mit zunehmender Dauer der Betonierpause anwächst. Die in der Praxis zu erwartenden relativ langen Betonierpausen lassen daher keinen negativen Einfluß erwarten.
- e) Die einmalige Temperaturbeanspruchung führte bei der sauberen Kontaktfläche zu keiner Schädigung in der Fuge. Bei der verschmutzten Fuge, deren Schubtragfähigkeit gegenüber der sauberen Fuge ohnehin wesentlich niedriger lag, übte die Temperaturbeanspruchung einen weiteren negativen Einfluß aus.
- f) In |2| wird aufgrund von 7 eigenen und 20 weiteren aus der Literatur bekannten Versuchen der Vorschlag unterbreitet, bis zu

einer Schubspannung von $\tau_o = 0,5 \cdot \tau_{o11b}$
(τ_{o11b} = untere Schubspannungsgrenze für Platten mit nicht gestaffelter Bewehrung nach DIN 1045) auf eine Verbundbewehrung in der Fuge zwischen Fertigteil und Ortbeton zu verzichten.

Der unter f) aufgeführte Vorschlag basiert darauf, daß die Bruchschubspannungen der ausgewerteten 27 Versuche an Platten ohne Verbundbewehrung in der Fuge gegenüber der vorgeschlagenen zulässigen Schubspannung von $0,5 \cdot \tau_{o11b}$ Sicherheiten von 3,04 bis 8,27 ergaben. Die beiden Münchner Versuche an Plattenstreifen mit sauberer Fuge liefern vergleichbare Bruchsicherheiten von 3,4 und 4,4.

Eine statistische Auswertung dieser insgesamt 29 Versuchsergebnisse zeigt hinsichtlich der auf $\tau_o = 0,5 \cdot \tau_{o11b}$ bezogenen Bruchsicherheitsbeiwerte γ folgendes Bild:

$$\begin{aligned} \text{Mittelwert } \bar{\gamma} &= 5,33 \\ \text{Streuung } s &= \pm 1,20 \\ \text{Variationskoeffizient } v &= 22 \% \\ 5 \% \text{-Fraktile } \gamma_{5\%} &= 5,33 - 1,64 \cdot 1,20 = 3,36 \end{aligned}$$

Man kann wohl davon ausgehen, daß der Sicherheitsbeiwert gegenüber der 5 %-Fraktile der Dauerstandfestigkeit im Falle eines unangekündigten Bruches etwa $\gamma_{D,5\%} = 2,5$ betragen sollte. Diese Bedingung wird von dem Vorschlag:

$$\text{zul } \tau_o = 0,5 \cdot \tau_{o11b}$$

eingehalten, wenn man das Verhältnis von Dauerstand- zu Kurzzeitfestigkeit mit 75 % annimmt, denn $\gamma_{D,5\%} = 0,75 \cdot \gamma_{K,5\%} = 0,75 \cdot 3,36 \approx 2,5$

Der oben gemachte Vorschlag ist allerdings an folgende Bedingungen geknüpft:

- . Der Ortbeton muß eine plastische Konsistenz (K2 nach DIN 1045) aufweisen.
- . Die Fertigteiloberweite (= Kontaktfläche) muß im frischen Zustand mit einem Stahlrechen maschinell oder mit Hand aufgerauht werden.
- . Der Zinkenabstand des Stahlrechens soll etwa 30 mm betragen.
- . Mit dieser Aufrauung müssen Rauhtiefen von mindestens 2 mm geschaffen werden.

Daß die Kontaktfläche beim Einbringen des Ortbetons sauber sein soll, wird hier nur noch ergänzend bemerkt.

Um die infolge von Schwinden an den Plattenrändern senkrecht zur Fuge auftretenden und die Tragfähigkeit mindernden Zugspannungen weitgehend auszuschalten, empfiehlt es sich außerdem, die in der Praxis an den Plattenrändern meist vorhandene Auflast aus aufgehendem Mauerwerk o. ä. möglichst in jungem Ortbetonalter aufzubringen. Für Dächer und ähnliche Bauteile, bei denen diese Auflast an den Plattenrändern nicht vorhanden ist und zudem eine hohe und häufige Temperaturbeanspruchung auftritt, erscheint diese Deckenkonstruktion mit unbewehrter Betonfuge nur geeignet, wenn an den Plattenenden eine Verbindung geschaffen wird, z. B. nach Bild 5a.

10. Literatur

- |1| Daschner, F.: Notwendige Schubbewehrung zwischen Betonfertigteilen und Ortbe-
ton. Lehrstuhl für Massivbau der Tech-
nischen Universität München, Juli 1976.

- |2| Rehm, G.; Eligehausen, R.; Paul, F.:
Verbundbewehrung in Fugen von Platten
ohne Schubbewehrung. Institut für Werk-
stoffe im Bauwesen, Universität Stutt-
gart, Januar 1980.

Tabelle 1: Ergebnisse der Versuche mit Abscherkörpern

Serie Nr.	Probe Nr.	Konsistenz des Fertigteilbetons	Fugenbeschaffenheit	Betonalter am Versuchstag		Druckfestigkeit am Versuchstag		Betonierpause	Bruchschubspannung τ_u
				Fertigteil	Ortbeton	Fertigteil	Ortbeton		
-	-	-	-	Tage	Tage	N/mm ²	N/mm ²	Tage	N/mm ²
1	1	K3 (weich)	sauber	42	28	42,8	44,5	14	0,155
	2								0,041
	3								0,301
	Mittel								0,166
2	4	K3 (weich)	verschmutzt	42	28	42,8	44,5	14	0
	5								0
	6								0
	Mittel								0
3	7	K1 (steif)	sauber	42	28	45,6	44,5	14	0,080
	8								0,589
	9								0,180
	Mittel								0,283
4	10	K1 (steif)	verschmutzt	42	28	45,6	44,5	14	0
	11								0
	12								0,209
	Mittel								0,070
5	13	K3 (weich)	sauber	30	28	41,7	44,0	2	0,037
	14								0
	15								0
	Mittel								0,012
6	16	K3 (weich)	sauber	35	28	43,0	41,8	7	0,478
	17								0,290
	18								0,397
	Mittel								0,388
7	19	K3 (weich)	sauber	56	28	46,3	42,7	28	0,300
	20								0,187
	21								0,300
	Mittel								0,262
8	22	K3 (weich)	sauber	112	28	45,1	41,4	84	0,542
	23								0,711
	24								0,557
	Mittel								0,603

Tabelle 2: Bruchschubspannungen in den Fugen der Plattenstreifen nach Zustand I (nur geringfügiger Unterschied gegenüber Zustand II).

Fugenbeschaffenheit	Bruchschubspannung τ_u in N/mm^2	
	ohne	mit
	Temperaturbeanspruchung	
unverschmutzt	1,18 (1)	1,54 (3)
verschmutzt	0,22 (2)	0,13 (4)

Die in Klammern stehenden Zahlen (1) bis (4) stellen die Versuchskörpernummern dar.

Tabelle 3: Verformungen an den Meßstellen S 1 bis S 6 (vgl. Bild 6) der Plattenstreifen vom Ortbetonalter von 7 Tagen an bis unmittelbar vor Beginn der Bruchversuche

Platte	Fuge	Temp.-beanspr.	Ortbetonalter am Versuchst.	Verformungen (mm) an der Meßstelle					
				S1	S2	S3	S4	S5	S6
1	unverschmutzt	nein	26	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
3	unverschmutzt	ja	33	-0,01	-0,01	0,01	0,00	-0,01	0,04
2	verschmutzt	nein	27	0,52	0,28	0,33	0,45	0,20	0,27
4	verschmutzt	ja	40	0,57	1,06	0,30	0,40	0,97	0,30

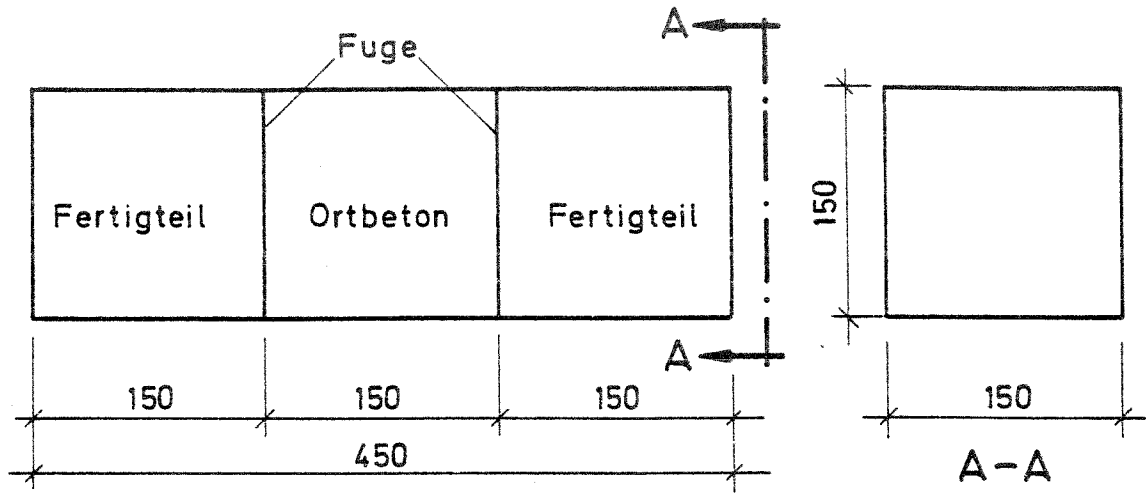


Bild 1: Form und Abmessungen der Abscherkörper.
Maße in mm.

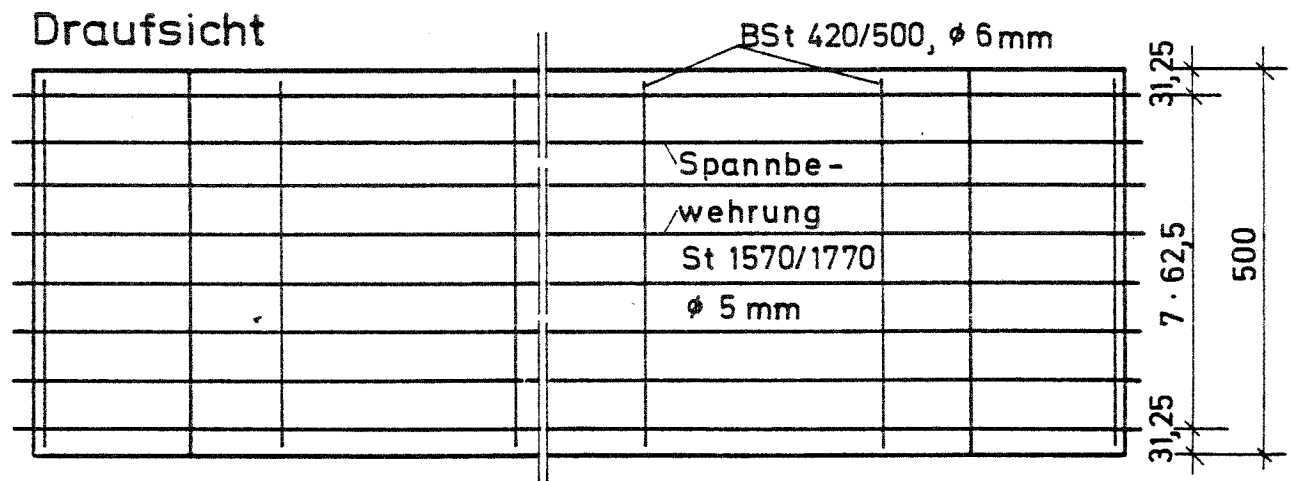
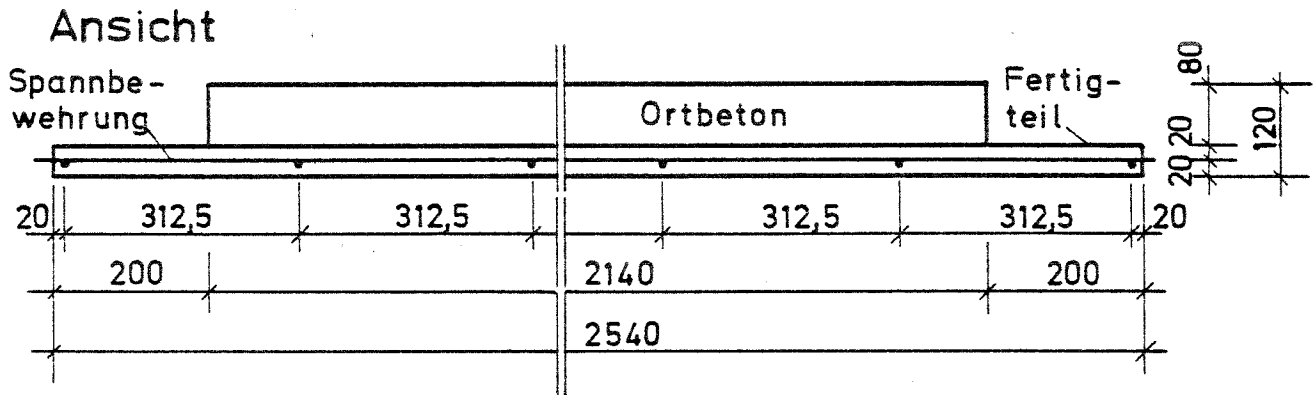
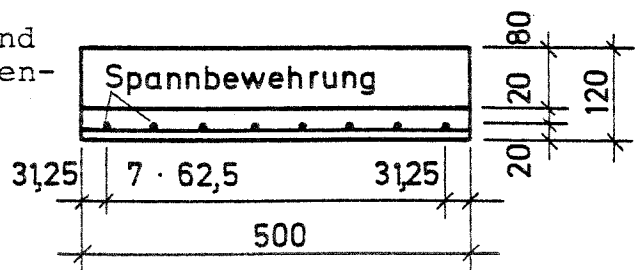


Bild 2: Form, Abmessungen und Bewehrung der Plattenstreifen.
Maße in mm.



Querschnitt

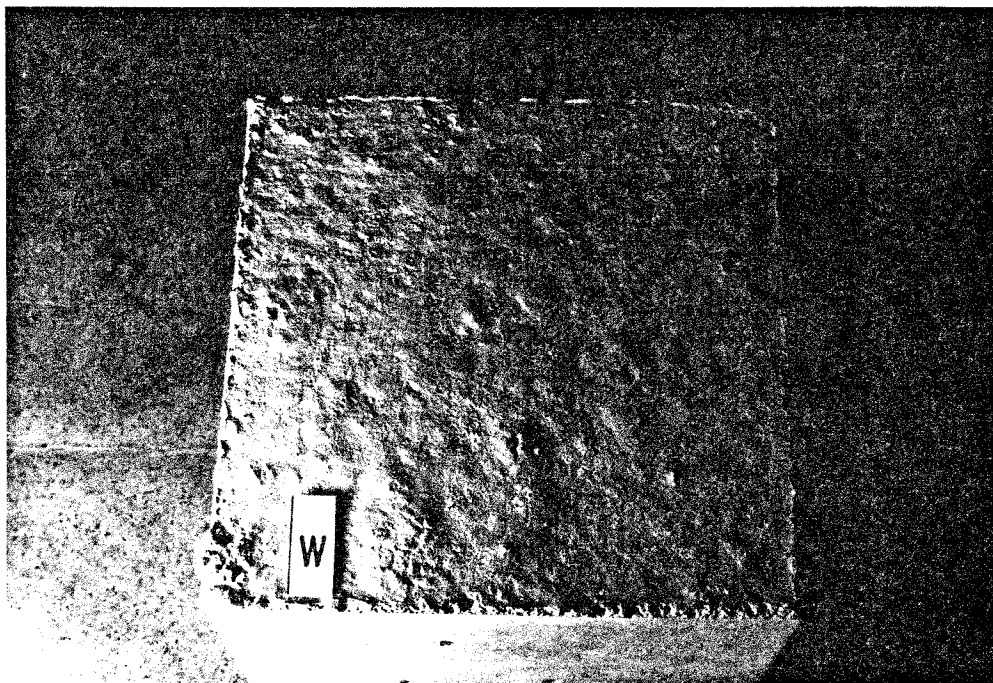
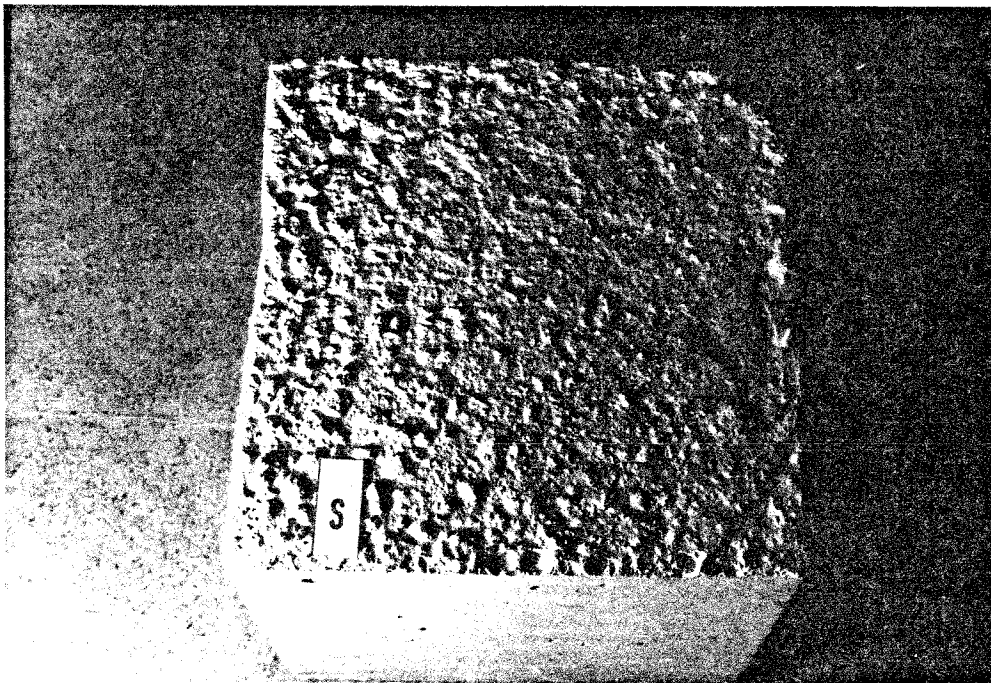


Bild 3: Kontaktflächen von Fertigteilen der Abscherkörper aus steifem (Konsistenz K1) und weichem Beton (Konsistenz K3).

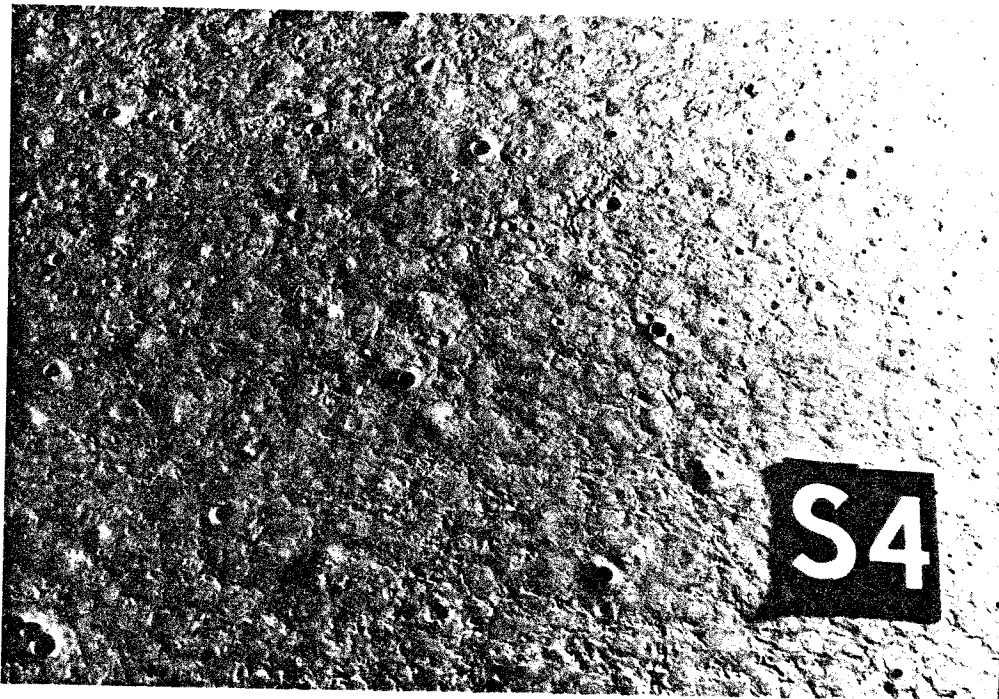


Bild 4: Unterschied in der Beschaffenheit der Kontaktflächen bei den Plattenfertigteilen (weicher Beton, Konsistenz K3).

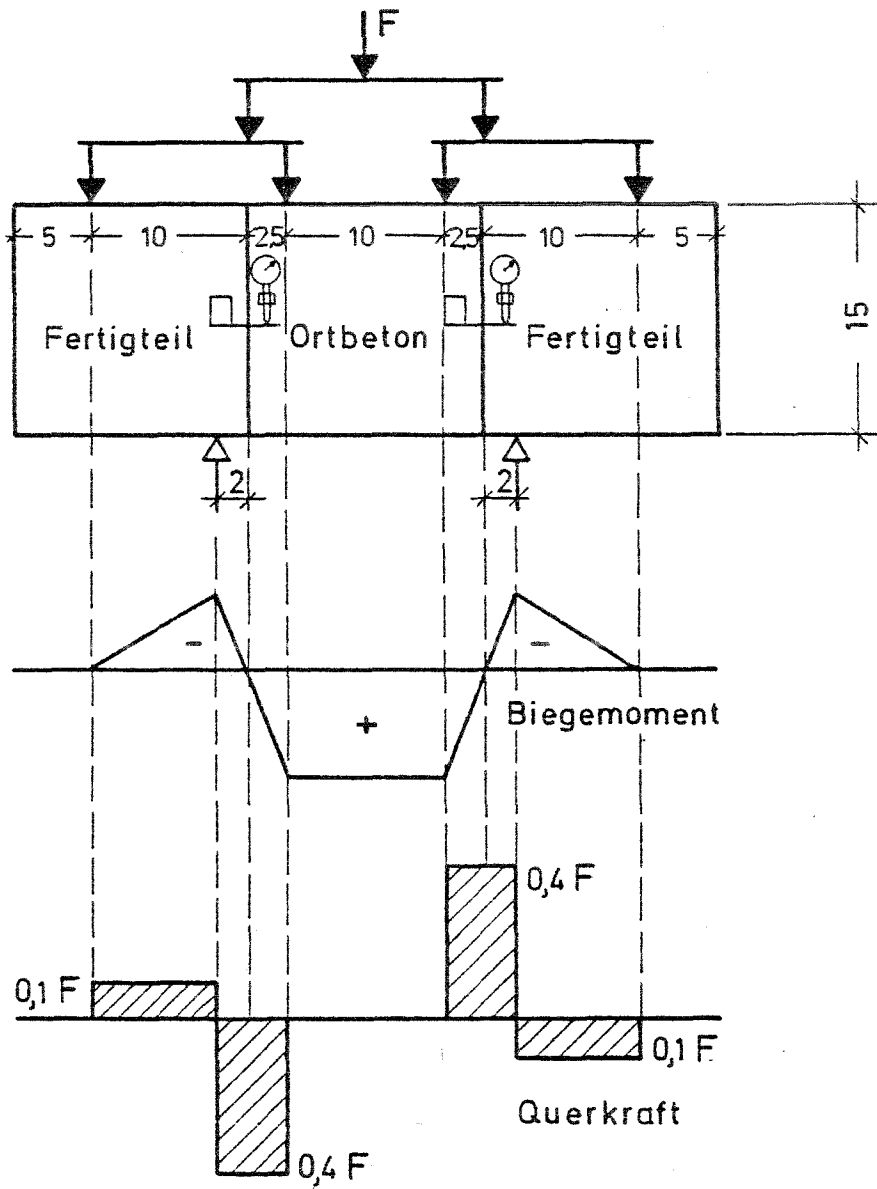


Bild 5: Schematische Darstellung der Versuchsanordnung zur Prüfung der Abscherkörper. Maße in cm.

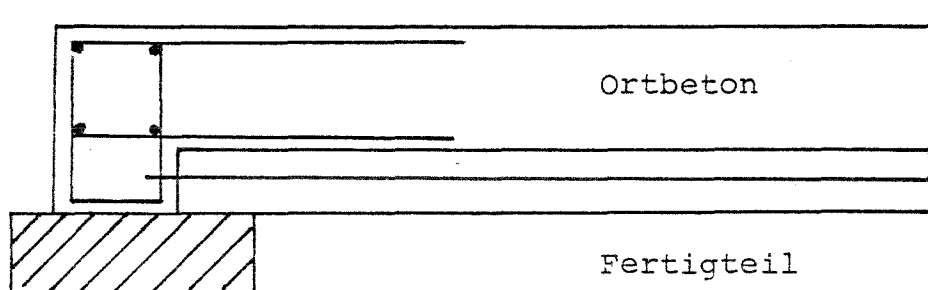
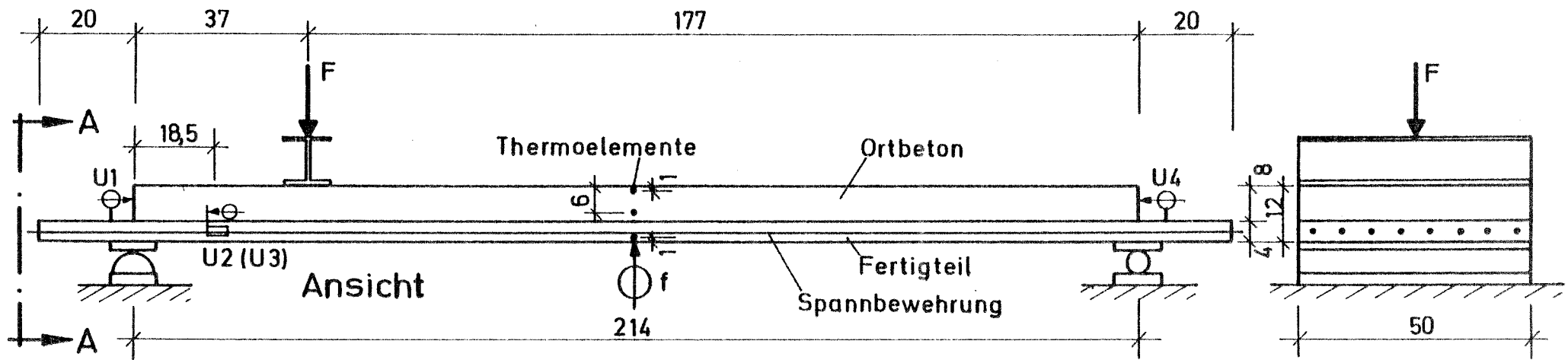
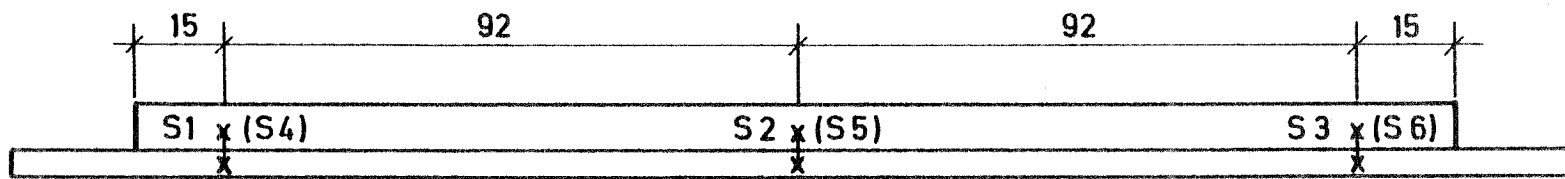


Bild 5a: Verbindung zwischen Fertigteil und Ortbeton an den Plattenenden



(Messstellen nicht dargestellt)

Maße in cm!



Anordnung der Setzdehnungsmessstellen S1 bis S3 an der Vorderseite und S4 bis S6 an der Rückseite; Meßlänge 50 mm

U 3 Draufsicht

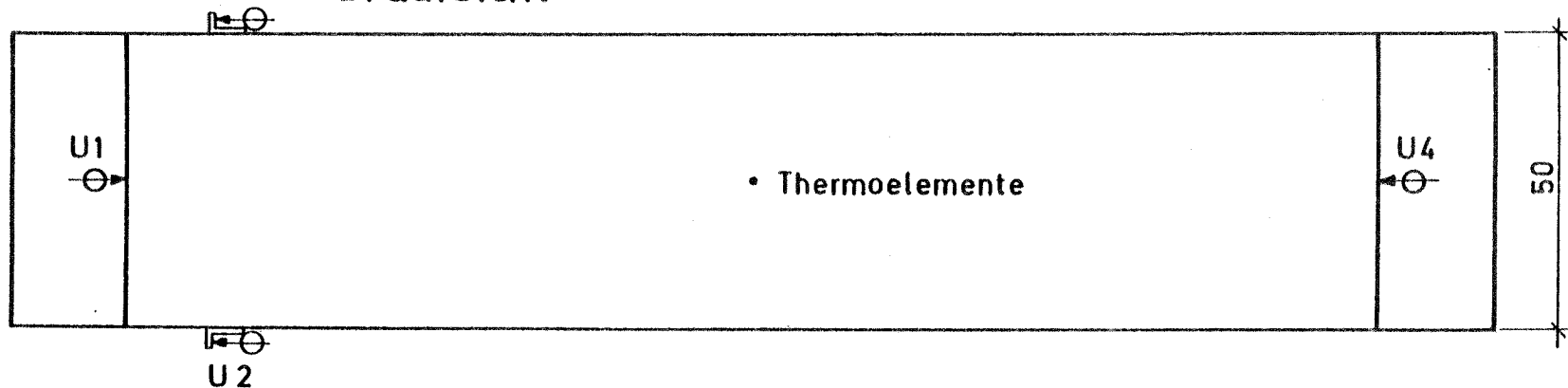


Bild 6: Versuchsanordnung für die Prüfung der Plattenstreifen und Lage der Thermoelemente

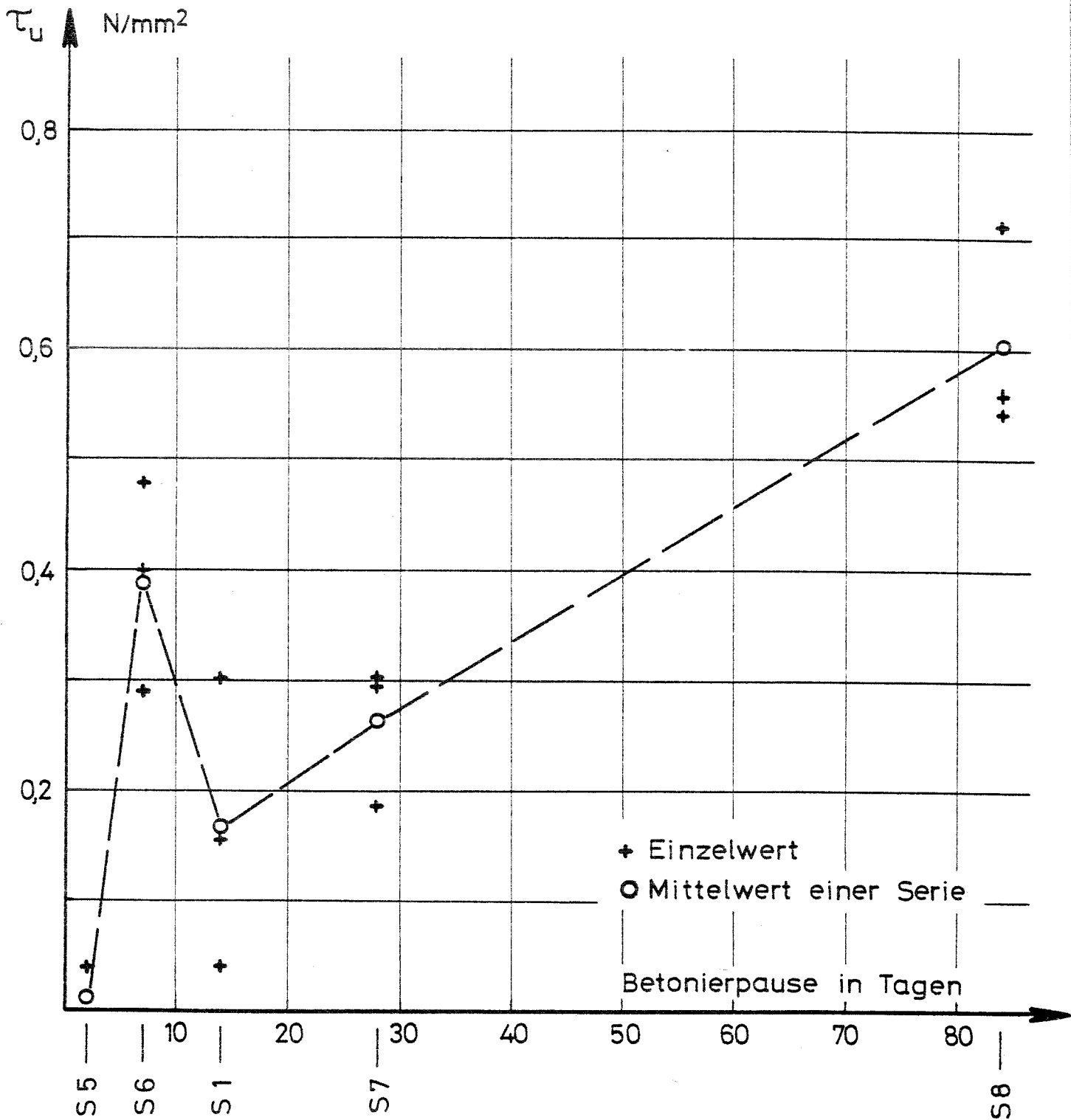


Bild 7: Bruchschubspannungen der Abscherkörper in Abhängigkeit von der Betonierpause. Konsistenz des Fertigteilbetons: K3 (weich), Fugenbeschaffenheit: sauber

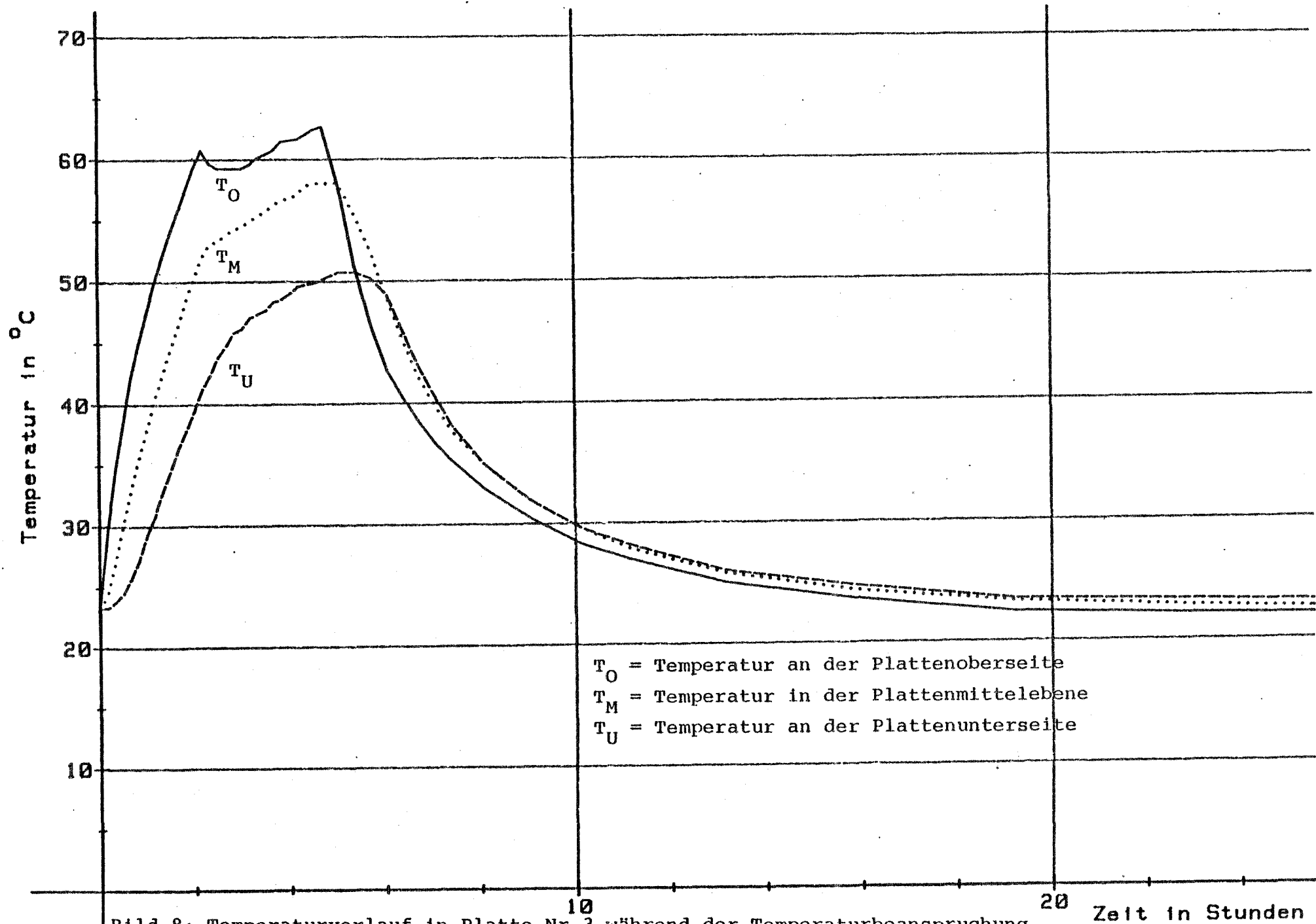
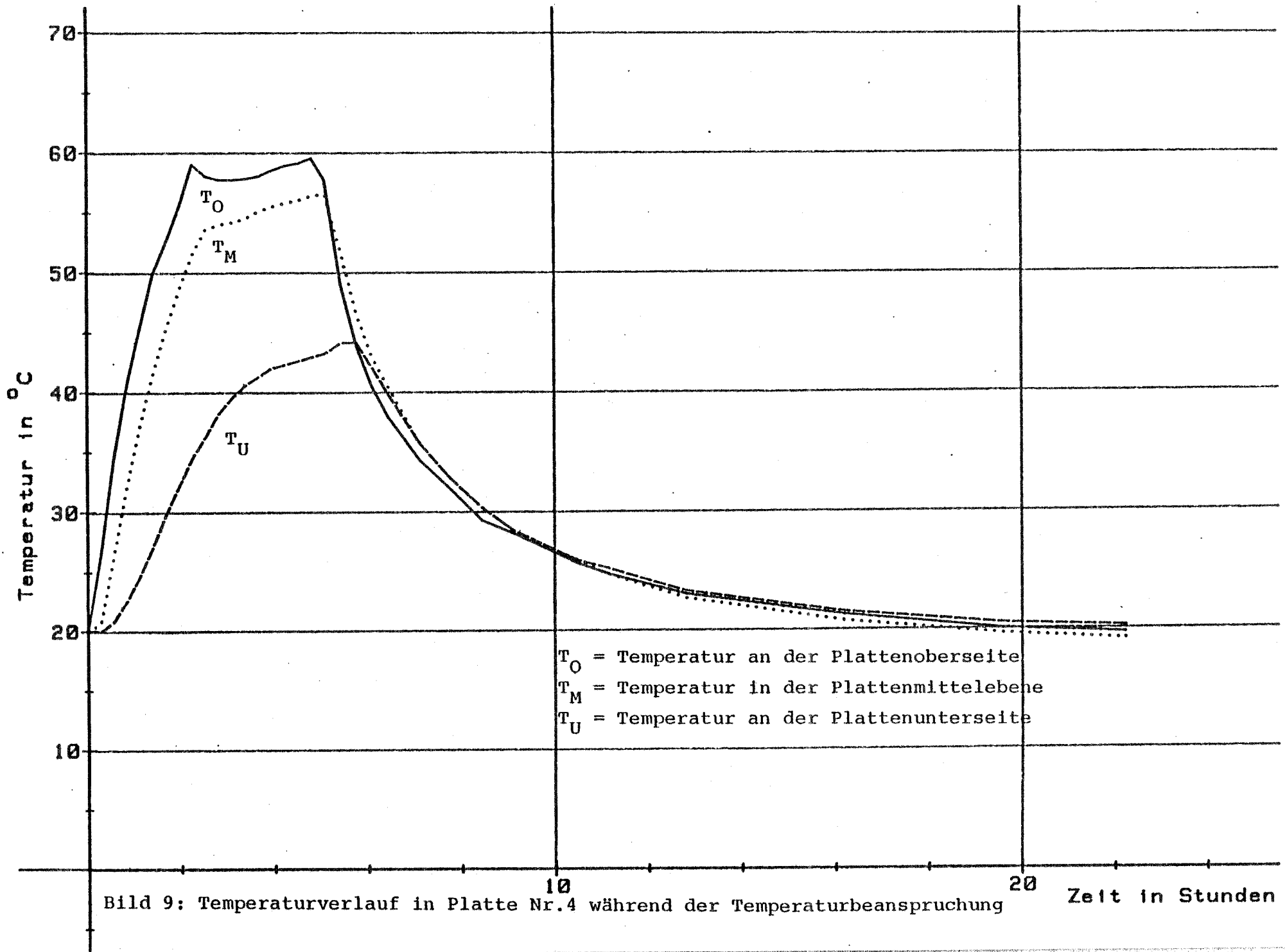


Bild 8: Temperaturverlauf in Platte Nr.3 während der Temperaturbeanspruchung

Zeit in Stunden



τ_F^I N/mm²

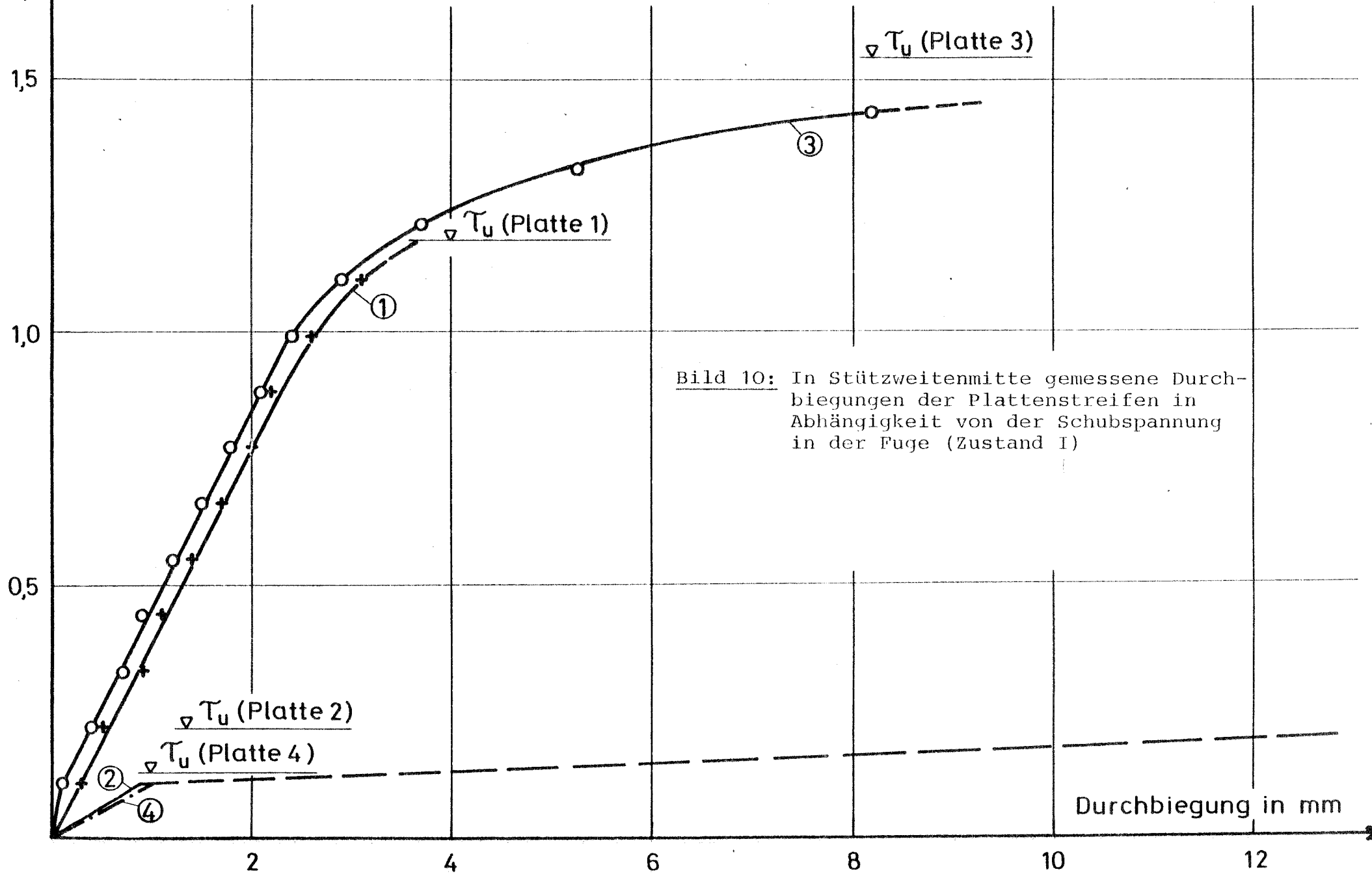


Bild 10: In Stützweitenmitte gemessene Durchbiegungen der Plattenstreifen in Abhängigkeit von der Schubspannung in der Fuge (Zustand I)

35

Durchbiegung in mm