Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 6 (1960)

Artikel: Einfluss des Verbundes auf die Verformungen von Stahlbetonplatten unter langdauernder Belastung

Autor: Soretz, Stefan

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-6945

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: 08.07.2025

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

Ia 5

Einfluß des Verbundes auf die Verformungen von Stahlbetonplatten unter langdauernder Belastung

Influence of Bond on the Deflections of Reinforced Concrete Slabs Under Sustained Loading

Influence de l'adhérence sur les déformations des dalles en béton armé soumises à des charges de longue durée

STEFAN SORETZ
Dipl.-Ing., Dr. techn., Wien

1. Einleitung

In den letzten Jahren sind fallweise in den Zwischenwänden von Wohnhausbauten durch Rißbildung Bauschäden aufgetreten, wenn diese Zwischenwände auf verhältnismäßig schlanken Stahlbetonplatten als Zwischendecken standen. Diese Bauschäden werden auf die starke Zunahme der Durchbiegungen der Platten unter langdauernder Belastung zurückgeführt.

Da diese Erscheinung nur fallweise auftrat und in anderen Fällen sich solche Decken aus Stahlbetonplatten einwandfrei bewährt haben, entstand die Vermutung, daß außer der langdauernden Belastung noch andere Einflüsse fallweise mitgewirkt haben müssen.

Auf Grund von Versuchsergebnissen werden zwei dieser Einflüsse hier eingehender behandelt.

2. Einfluß der Erhärtungsbedingungen

Es ist bekannt, daß tiefere Temperaturen die Erhärtung des Betons verzögern, höhere dagegen beschleunigen und daß frühzeitige Austrocknung des Betons während der Erhärtungsperiode zumindest dessen Biegzugfestigkeit wesentlich herabsetzt. Die Biegezugfestigkeit des Betons in Stahlbetonplatten

ist aber für den Beginn der Rißbildung maßgebend. Die Rißbildung in Stahlbetonplatten wird daher unter einer um so höheren Belastungsintensität beginnen und im Bereich der Gebrauchsbelastung um so schwächer sein, je höher die Biegezugfestigkeit des Betons im Stahlbeton ist.

Ganz ähnlich verhalten sich die Durchbiegungen von Platten. In Fig. 1 sind die Momentandurchbiegungen für die erste Belastung von zwei Stahlbetonplatten in Abhängigkeit von der rechnungsmäßigen Stahlspannung als Ausdruck der Belastungsintensität schematisch dargestellt. Bis zum Beginn der Rißbildung verformen sich die beiden Platten als homogene Gebilde mit verhältnismäßig großer Steifigkeit. Im gerissenen Zustand ist die Steifigkeit bekanntlich wesentlich kleiner; die Durchbiegungen nehmen daher entsprechend stärker mit der Belastung zu. Die Verhältnisse wurden hier schematisch dargestellt und kann bei Punkt A tatsächlich eine mehr oder weniger deutliche Ausrundung an Stelle des Knickes auftreten.

Die für den Beginn der Rißbildung kennzeichnende Anrißspannung oder Biegezugfestigkeit des Betons ist für die Platte 1 doppelt so groß wie für die Platte 2. Für höhere Belastungen als für den Anriß der Platte 2 wird diese daher größere Durchbiegungen aufweisen als die Platte 1.

Eine vergleichende Untersuchung [1] hat ergeben, daß langdauernde Belastung über den ganzen Bereich der Belastungsintensität, der sich vom rißfreien Zustand bis in die Nähe des Bruches erstreckt, praktisch zur gleichen relativen Verstärkung der Durchbiegungen führt, wenn ausreichender, über die Länge der Bewehrungsstäbe kontinuierlicher Verbund vorhanden ist.

Es wird daher der durch den Unterschied in der Biegezugfestigkeit des

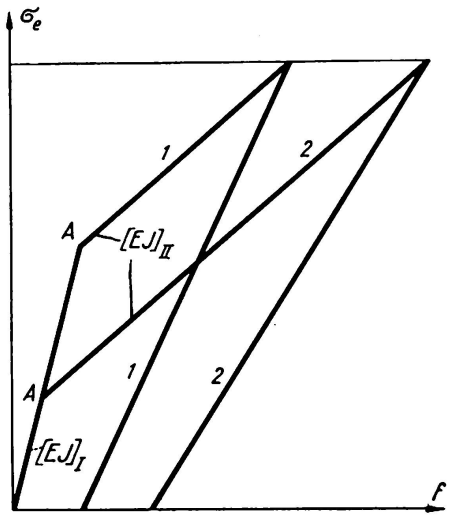

Fig. 1. σ_{eII} = Rechnungsmäßige Stahlspannung,
f = Durchbiegung,
A = Anriß,
$(EJ)_I$ = Steifigkeit im ungerissenen Zustand,
$(EJ)_{II}$ = Steifigkeit im gerissenen Zustand.

Betons bedingte Unterschied in den Durchbiegungen der Platten bei langdauernder Belastung erhalten bleiben, d. h. die Platte 2 wird auch bei langdauernder Belastung eine wesentlich größere Durchbiegung aufweisen als die Platte 1. Dieser Unterschied kann durch die Abhängigkeit des Kriechmaßes von der Beanspruchungsintensität noch wesentlich zu Ungunsten der Platte 2 verstärkt werden, wenn deren Beton aus denselben Gründen auch eine geringere Druckfestigkeit als jener der Platte 1 aufweist. Eine weitere Verstärkung des Unterschiedes in den Durchbiegungen der beiden Platten zu Ungunsten der Platte 2 ist durch eine stärkere Schwingung des Betons während der langdauernden Belastung der Platte 2 möglich. Wenn die geringere Festigkeit der Platte 2 auf kalte Witterung während der Erhärtungsperiode zurückzuführen ist, die im allgemeinen mit einer höheren Luftfeuchtigkeit verbunden ist, dann wird die langdauernde Belastung zumindest teilweise in eine trockenere Periode fallen, die zu einer verstärkten Schwindung des noch nicht ausreichend erhärteten Betons führt, welche einen weiteren Zuwachs an Durchbiegung bedingt.

Es erscheint durchaus möglich, daß zwei im übrigen vollkommen gleiche Stahlbetonplatten infolge unterschiedlicher Erhärtungsbedingungen Durchbiegungen aufweisen, die in einem Fall bis zu zweimal so groß, vielleicht sogar noch viel größer sind als im Vergleichsfall.

3. Einfluß des Verbundes nach den bisherigen Versuchen

Aus Kurzzeitversuchen mit Stahlbetonplatten üblicher Abmessungen und Bewehrungen ist bekannt [2], daß der Verbund zwischen Bewehrungsstahl und Beton auf die Rißbildung der Platten einen sehr großen Einfluß haben kann. Glatte Bewehrungsstäbe, die nur in großen Abständen (mehr als 10-facher Stabdurchmesser) punktweise im Beton verankert sind, führen zu einer wesentlich stärkeren Rißbildung in Platten als Stäbe mit über die ganze Länge kontinuierlichem Scherverbund. Der Unterschied nimmt mit abnehmender Betongüte und zunehmendem Abstand der Verankerungspunkte zu. Unter sonst gleichen Bedingungen können bei kontinuierlichem Scherverbund die Anzahl der Risse bis zu doppelt so groß sein und die Rißweiten nur etwa $^1/_4$ derjenigen Werte betragen, die bei glatten Stäben mit punktweiser Verankerung in größeren Abständen beobachtet werden.

Eine vergleichsweise Auswertung von 20 Biegeversuchen mit Stahlbetonplatten zeigte jedoch trotz dieser großen Unterschiede in der Rißbildung keinen gesicherten Einfluß des Verbundes auf die im Kurzzeitversuch ermittelten Durchbiegungen. Zu demselben Ergebnis gelangte eine vorher ausgeführte Untersuchung an Balken [3].

4. Weitere Versuche zur Klärung des Einflusses des Verbundes

Eine Reihe neuer Versuche an Stahlbetonplatten mit langdauernder Belastung wurde zur weiteren Abklärung des Einflusses des Verbundes auf die Durchbiegungen durchgeführt. Es wäre denkbar, daß durch das anfängliche starke Gleiten der glatten Stäbe zwischen den Verankerungen das Kriechen im Verbund zwischen Bewehrung und Beton und damit auch die Verformungen unter langdauernder Belastung gegenüber den Stäben mit kontinuierlichem Scherbund verringert wird.

Als Versuchsobjekte dienten die in Fig. 2 dargestellten Stahlbetonplatten. In den Platten «T» war die Bewehrung aus TOR-Stahl 60 in den Knotenpunkten in üblicher Weise mit dünnem Draht gebunden. In den Platten «M» bestand die Längs- und Querbewehrung aus gezogenem Draht und war an den Kreuzungspunkten durch Schweißung verbunden. Der Beton der Platten hatte nach 28 Tagen Erhärtung 273 kg/cm² Würfelfestigkeit. Die Platten wurden nach 23 Tagen Erhärtung ausgeschalt und standen die folgenden 264 Tage im rißfreien Zustand unter ihrem Eigengewicht, entsprechend einer rechnungsmäßigen Stahlspannung von 1,76 t/cm². Hernach wurden die Platten erstmalig bis zum Auftreten des ersten Risses unter einer rechnungsmäßigen Stahlspannung von 4,2 t/cm² belastet und verblieben die folgenden 100 Tage unter dieser Belastung. Dann wurde die Belastung für 40 Tage entfernt. Hernach wurde dieselbe Zusatzbelastung während 217 Tagen ein zweites Mal zur Einwirkung gebracht. Darauf folgte eine zweite, 85 Tage dauernde Entlastungs- und eine dritte, 232 Tage dauernde Belastungsperiode gleicher Intensität sowie eine neuerliche, zur Zeit noch andauernde Entlastung. Die Belastung erfolgte in den Drittelpunkten der Stützweite mit eisernen Knüppeln, die auf eine Belastungsbrücke gelegt werden.

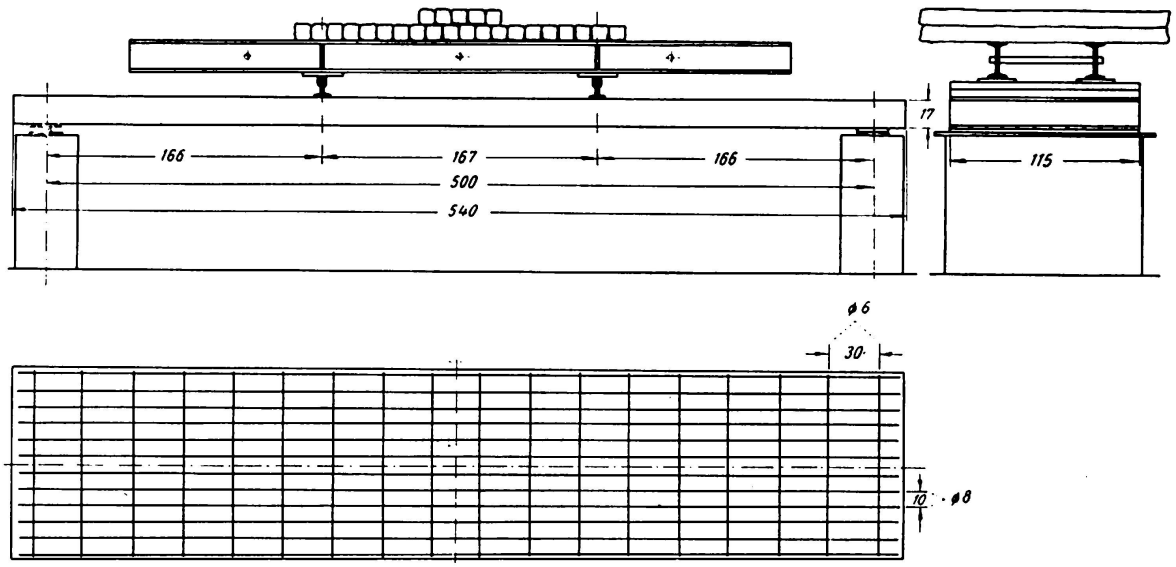

Fig. 2.

Während der Versuchsdauer werden folgende Messungen durchgeführt:

a) Durchbiegungen in der Mitte der Stützweite mit zwei auf $^1/_{100}$ mm geteilten Meßuhren, die je auf einer auf den Widerlagern ruhenden Meßbrücke befestigt sind. 2- bis 4mal in der Woche werden diese Messungen ausgeführt.
b) Die Weite sämtlicher Risse über sieben über die Breite der Platten gleichmäßig verteilten Meßlinien in Abständen von einer Woche bis zu 2 Monaten.
c) Die Formänderungen des Betons mit Setzdehnungsmesser mit 50 cm Meßlänge an je 4 Stellen am Druckrand, am Zugrand und an den Stirnflächen, als unbeanspruchte Kontrollflächen gleichzeitig mit den Rißmessungen.
d) Die Luftfeuchtigkeit, 2- bis 4mal in der Woche. Im Versuchsraum betrug die Temperatur ständig 19,5 ± 0,5° C. Die Luftfeuchtigkeit konnte nicht konstant gehalten werden.

Es ist leider nicht möglich in diese Veröffentlichung alle Versuchsergebnisse aufzunehmen. Interessenten erhalten auf Wunsch die vollständigen Versuchsberichte vom Verfasser zugesandt. Hier wird nur eine zusammenfassende Darstellung des Verlaufes der Durchbiegungen gegeben.

In Fig. 3 sind die Durchbiegungen in Form abgeglichener Mittelwerte der Messungen in Abhängigkeit von der Belastungsdauer und -intensität für die Platten mit den beiden vergleichsweise geprüften Stählen aufgetragen. Ergän-

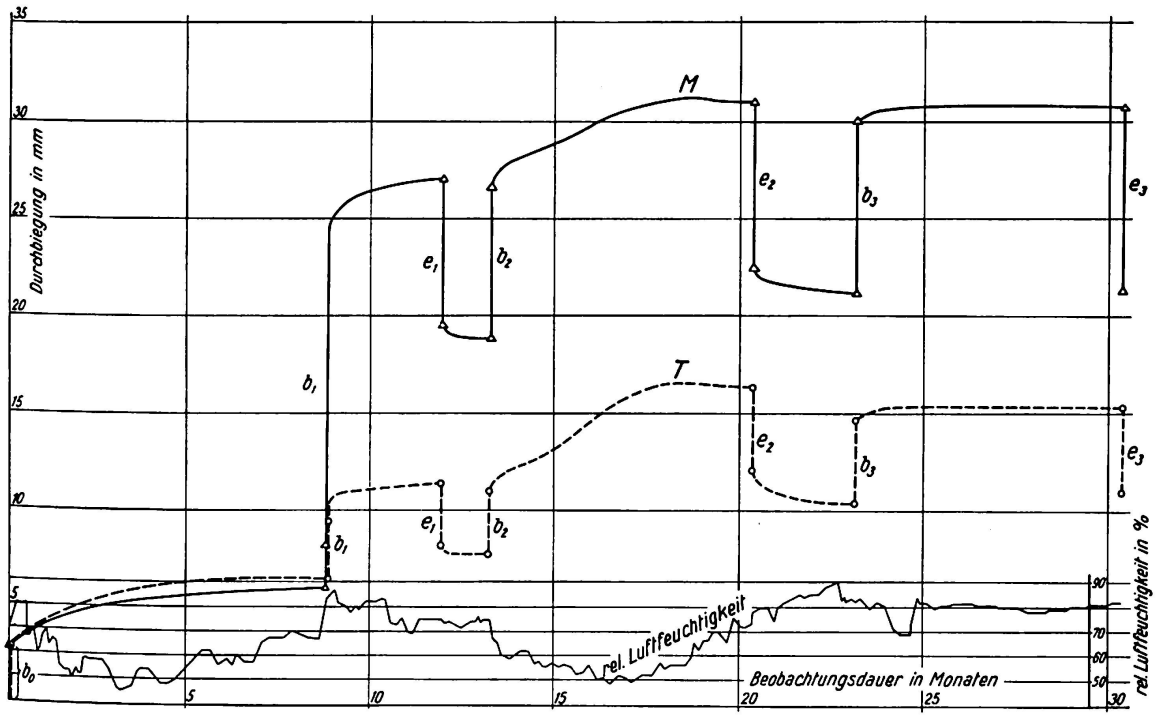

Fig. 3. b = Belastungen,
e = Entlastungen,
0 = Eigengengewicht,
1, 2, 3 = Zusatzlast.

zend ist der Verlauf der Luftfeuchtigkeit während der ganzen Versuchsdauer angegeben. Hieraus ist folgendes zu entnehmen.

Am Ende der ersten Eigengewichtsperiode war die Schwindung anscheinend noch nicht vollkommen abgelaufen, da diese mit einem Anstieg in der Luftfeuchtigkeit zusammenfällt, der der Schwindung entgegenwirkt.

Am Ende der ersten Belastungsperiode war anscheinend das Kriechen und Schwinden noch nicht vollkommen abgelaufen, da während dieser Periode eine ziemlich hohe Luftfeuchtigkeit herrschte und andererseits die Kurven offenbar noch keine waagrechten Tangenten an den Enden aufweisen.

Während der zweiten Belastungsperiode wirkt sich die trockenere Luft in einer verstärkten Schwindung aus, da die Durchbiegungszunahme stärker ist, als der Neigung der Endtangente am Ende der ersten Belastungsperiode entsprechen würde.

Die dritte Belastungsperiode bringt keinen weiteren Zuwachs an Durchbiegung; die Schwindung und das Kriechen dürften somit nach etwa 2 Jahren abgeschlossen sein. Mit beiden Stählen erreichten die Platten praktisch einen elastischen Zustand.

In jeder Entlastungsperiode wird eine elastische Nachwirkung festgestellt, indem die Durchbiegungen noch einige Zeit nach der Entlastung zurückgehen. Während der zweiten Entlastungsperiode könnte die inzwischen ansteigende Luftfeuchtigkeit auch einen gewissen Anteil an dem als elastische Nachwirkung bezeichneten Rückgang der Durchbiegungen haben.

In Fig. 4 sind die aus vorstehendem Diagramm entnommenen Anfangs- und Endwerte der Durchbiegungen für die einzelnen Belastungsperioden in Abhän-

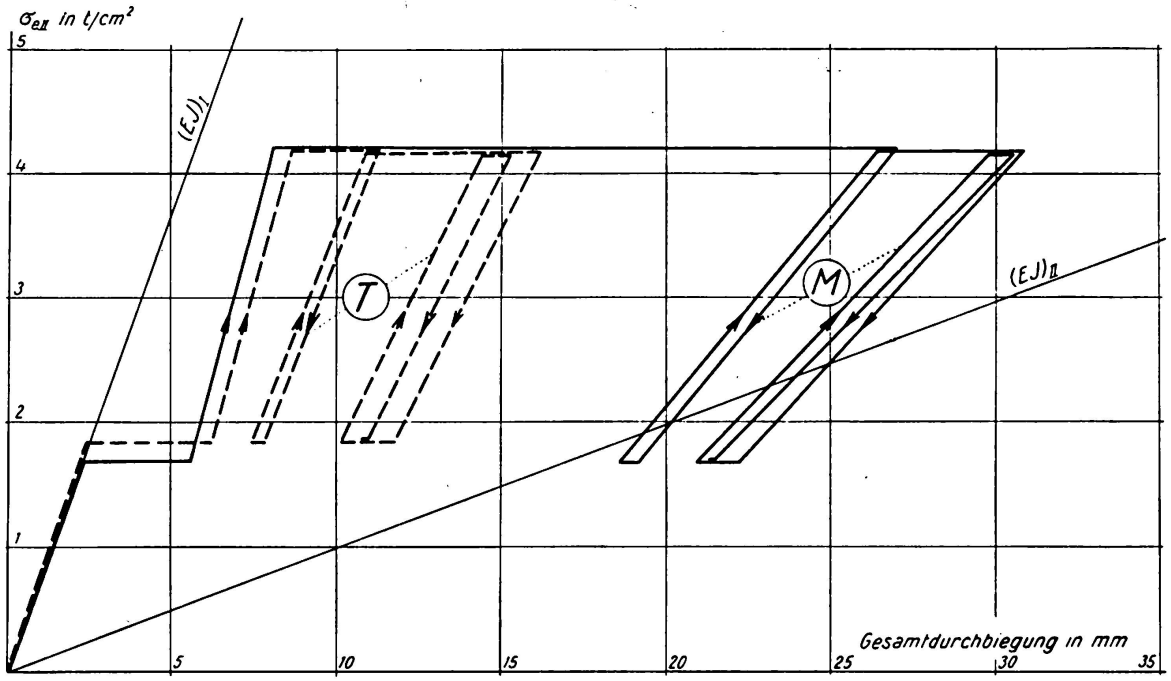

Fig. 4.

gigkeit von der Belastung, ausgedrückt durch die rechnungsmäßige Stahlspannung ($\sigma_{e\,II}$), aufgetragen. Hieraus ist folgendes zu entnehmen.

Am Ende der ersten langdauernden Belastung mit Eigengewicht, also im ungerissenen Zustand, und im gerissenen Zustand unmittelbar nach dem erstmaligen Aufbringen der Zusatzbelastung sind die Durchbiegungen ohne gesicherte Abhängigkeit von der Art der Bewehrung. Damit zeigen diese Versuche, in Übereinstimmung mit der bisherigen Erfahrung aus Kurzzeitversuchen, keine Abhängigkeit der Durchbiegungen vom Verbund der Bewehrung.

Während der langdauernden Belastung im gerissenen Zustand nimmt aber die Durchbiegung der Platte mit Bewehrung aus glatten Stäben mit punktförmiger Verankerung in größeren Abständen wesentlich stärker zu als im Falle einer gleichartigen Bewehrung aus TOR-Stahl mit kontinuierlichem Scherverbund.

Unter den Bedingungen dieser Versuche nimmt im ersteren Falle die Durchbiegung infolge langdauernder Belastung auf das 4-fache der Momentandurchbiegung zu, bei TOR-Stahl dagegen nur auf das 2-fache.

Die Momentandurchbiegung beträgt für beide Stähle rund $^1/_{600}$ der Stützweite, die endgültige Durchbiegung jedoch für TOR-Stahl $^1/_{300}$ und für den glatten Stahl mit punktförmiger Verankerung in großem Abstand $^1/_{160}$ der Stützweite.

Die verstärkende Wirkung unzureichenden Verbundes glatter Stäbe mit Verankerungspunkten in großem Abstand auf die Zunahme der Durchbiegung unter langdauernder Belastung dürfte wie folgt zu erklären sein. Nach der Rißbildung haben die glatten Stäbe zwischen den Knoten praktisch keinen Verbund mehr mit dem umgebenden Beton. Die Knoten übertragen die gesamte Beanspruchung vom Beton auf den Stahl. An diesen Stellen wird daher der Beton sehr hoch beansprucht sein und würde bei unbehinderter Verformung stark fließen. Infolge der geringen Biegesteifigkeit der Querstäbe werden die vorgenannten plastischen Verformungen des Betons nur wenig behindert und daher die Querstäbe bei der Übertragung der Kräfte vom Beton auf die Längsbewehrung verbogen. Die beiden örtlich begrenzten, aber über alle Knoten zu summierenden Verformungen führen zu der verstärkten Wirkung langdauernder Belastung auf die Durchbiegung. Hinzu kommt noch, daß die mit glattem Stahl entstehenden stärkeren Risse im allgemeinen unter sonst gleichen Umständen auch länger sind und daher die Druckzone stärker einschnüren, wodurch stärkeres Kriechen in dem höher beanspruchten Beton entsteht. Unter der langdauernden Belastung rückt die Nullinie zwar gegen den Zugrand, wodurch die Beanspruchung der Druckzone etwas vermindert wird, gleichzeitig wird aber die Dehnung und damit die Beanspruchung in den Knoten sowie deren Rückwirkung auf die Durchbiegung wieder verstärkt.

In Fig. 4 sind die rechnungsmäßigen Steifigkeiten für den rißfreien Zustand $(EJ)_I$ (voller Betonquerschnitt mit $E_b = 300\,000$ kg/cm²) und für den gerissenen Zustand mit $n = 10$ als $(EJ)_{II}$ eingetragen.

Hieraus ist folgendes zu entnehmen:

Für die erstmalige Belastung bis zum Auftreten der ersten Risse ist die durchschnittliche Steifigkeit für die Momentandurchbiegung größer als der Rechnungswert für den ungerissenen Zustand. Diese Feststellung deckt sich mit der Erfahrung, daß durch eine vorausgegangene langdauernde Belastung für die folgende Weiterbelastung eine gewisse Versteifung eintritt [4].

Für TOR-Stahl ist in den letzten beiden Belastungsgängen die durchschnittliche Steifigkeit nur geringfügig kleiner als der Rechnungswert für Zustand I.

Die rechnungsmäßige Steifigkeit für den ungerissenen Zustand ist etwa 7mal so groß als für den gerissenen Zustand. Die entsprechenden Durchbiegungen werden aber selbst von dem glatten Bewehrungsstahl mit punktförmiger Verankerung in großen Abständen nach langdauernder Belastung noch nicht erreicht, weil die Beanspruchungsintensität etwa der Rißlast entspricht und damit in der Nähe des Knickpunktes A in Fig. 1 liegt.

Diese nunmehr nahezu drei Jahre laufenden Versuche zeigen, daß der Verbund des Bewehrungsstahles auf den Durchbiegungszuwachs unter langdauernder Belastung und damit auf die endgültige Durchbiegung von Platten einen annähernd gleich großen Einfluß hat wie auf die Rißbildung unter kurz- und langdauernder Belastung.

Literaturverzeichnis

1. St. Soretz, Diskussionsbeitrag zum Thema Ib 2, RILEM-Symposium, Liège 1958, über Sonderbetonstahl, Punkt 6, Fig. 4.
2. St. Soretz, «Über neue Balkenversuche mit TOR-Stahl». Beton- und Stahlbetonbau, 50. Jg., Heft 2, Febr. 1955.
3. St. Soretz, «Einflüsse auf die Steifigkeit von Stahlbetonbalken». RILEM-Symposium, Stockholm 1957.
4. St. Soretz, Diskussionsbeitrag zu "Under-reinforced concrete beams under long-term loads". Journal of the American Concrete Institute, März 1958.

Zusammenfassung

Die hierortigen Untersuchungen haben ergeben, daß die fallweise infolge übermäßiger Durchbiegung von Decken aus Stahlbetonplatten beobachteten Bauschäden zumindest auf zwei Ursachen zurückgeführt werden können.

Durch ungünstige Erhärtungsbedingungen kann sowohl die momentane als auch die endgültige Durchbiegung von Platten sehr stark beeinflußt werden. Frühzeitiges Ausschalen, insbesondere nach Erhärtung bei kühler Witterung, kann zu erheblicher Verstärkung der Durchbiegungen der Decken führen.

Als weitere Ursache wurde der Verbund zwischen Bewehrung und Beton

festgestellt, der sich auf den Durchbiegungszuwachs unter langdauernder Belastung und damit auf die endgültige Durchbiegung der Platten besonders stark auswirkt. Durch drei Jahre dauernde Messungen wurde festgestellt, daß die endgültige Durchbiegung von Platten mit Bewehrung aus glatten Stäben mit punktförmiger Verankerung in großen Abständen etwa zweimal so groß ist als im Falle von TOR-Stahl mit über die ganze Länge kontinuierlichem Scherverbund.

Kommen beide hier angeführten Ursachen gleichzeitig in der ungünstigen Richtung zur Wirkung, dann sind bis zu fünfmal so große Durchbiegungen als unter normalen Bedingungen durchaus möglich. Damit sind einerseits die eingangs erwähnten Schadensfälle aufgeklärt. Andererseits kann folgende Lehre für die Zukunft daraus gezogen werden: Die Bewehrung von schlanken Stahlbetonplatten für Zwischendecken soll einen möglichst hochwertigen Verbund mit dem Beton haben. Solche Decken sollen erst dann ausgeschalt und damit der Einwirkung der langdauernden Belastung ausgesetzt werden, wenn die planmäßige Betongüte erreicht ist.

Die hier beschriebenen Versuche und Untersuchungen wurden im Auftrag der TORISTEG-Steel-Corporation, Luxembourg, im Laboratorium der Schmidtstahlwerke AG in Wien unter der Leitung des Verfassers durchgeführt.

Summary

The present investigations have shown that the structural damage sometimes observed to occur in reinforced concrete slab floors, in consequence of excessive deflection, is attributable to at least two causes.

Both the momentary and the final deflection of slabs may be very considerably affected by unfavourable conditions of hardening. Premature striking of the formwork, especially after hardening of the concrete has taken place in cold weather, is liable to cause a considerable increase in the deflections of floors.

A further cause was found to exist in the bond between the reinforcement and the concrete, which has a particularly marked effect upon the increase in deflection under sustained loading and thus upon the final deflection of the slabs. By means of measurements continued over a period of three years it was ascertained that the final deflection of slabs reinforced with smooth bars having anchorage points spaced far apart is about twice as large as that of slabs reinforced with TOR steel providing continuous shear bond over the entire length.

If the two above-mentioned causes happen to act at one and the same time in the unfavourable sense, then deflections up to as much as five times the normal value can quite possibly occur. For one thing, this accounts for the damage mentioned at the start. Furthermore, the following lesson can

be drawn from this for future guidance: In slender reinforced concrete floor slabs the bond between the reinforcement and the concrete should be as effective as possible. Such floors should not have their formwork struck, and thus be exposed to the effect of sustained loading, until the specified concrete strength has been attained.

The tests and investigations described in this paper were carried out in the laboratory of the Schmidt Stahlwerke A.G., Vienna, under the direction of the author on behalf of the TORISTEG Steel Corporation, Luxemburg.

Résumé

Les investigations exposées ont montré que les dommages subis quelquefois par les ouvrages à la suite d'un fléchissement excessif des plafonds formés de dalles en béton armé peuvent être attribués au moins à deux causes.

Les déformations passagères aussi bien que permanentes des dalles peuvent être très fortement influencées par des conditions de prise défavorables. Un décoffrage prématuré, en particulier après une prise par temps froid, peut produire une augmentation considérable des déformations.

Une adhérence insuffisante entre le béton et les armatures constitue une autre cause de dommages; elle exerce une influence considérable sur l'augmentation des déformations due à une application prolongée de la charge et par là sur la déformation permanente des dalles. Des mesures portant sur trois années ont montré que la déformation permanente des dalles renforcées par des armatures en fers lisses avec ancrage ponctuel à intervalles éloignés est environ deux fois plus grande que la déformation constatée dans le cas de l'acier TOR avec adhérence continue sur toute la longueur.

Lorsque les deux causes ci-dessus indiquées interviennent simultanément dans le sens défavorable, il peut fort bien se produire des déformations atteignant jusqu'à cinq fois celles qui correspondent aux conditions normales. Ainsi peuvent s'expliquer les accidents signalés au début de cette étude. D'autre part, il est possible d'en tirer les enseignements suivants pour l'avenir: l'armature des dalles en béton armé pour plafonds intermédiaires doit présenter une adhérence aussi étroite que possible avec le béton; ces plafonds ne doivent être décoffrés et par suite exposés à l'influence prolongée de la charge que lorsque le béton a atteint la qualité prévue.

Les essais et investigations ici exposés ont été effectués sous les auspices de la TORISTEG-Steel-Corporation, Luxembourg, dans les laboratoires des Schmidtstahlwerke A.G., Vienne, sous la direction de l'auteur.